



解説

## これからの自動車と高強度薄鋼板

大 橋 正 昭\*

### Future Trend of Automobile and the High Strength Sheet Steel

Masaaki OHASHI

#### 1. はじめに

1973年の第一次石油ショックとその後のイラン政変を契機に、石油の供給不安、価格の慢性的上昇が全世界をおおつた。その結果大量安価な中東石油に支えられていた先進国の社会および経済システムは、一転して省資源・省エネルギーを主体としたものに転換せざるを得なくなった。自動車の生産と利用の面でも、その方向に添った努力が続けられている。

すなわち、自動車の大量普及に伴い社会生活との調和の観点から、安全・公害など多様化するユーザーニーズにこたえる車を設計・生産する技術の開発に加えて、省資源・省エネルギー技術、なかでも低燃費化技術の開発が自動車産業に携わる技術者の最重要課題となった。

このような情勢下で、燃費の優れた日本車の生産台数は、第一次石油ショックで一時減少したものの、輸出を“テコ”に毎年増加し、ついに1980年には、米国を抜いて世界第一位となり<sup>1)</sup>(図1)、メーカー別ベスト10<sup>2)</sup>にも日本メーカー4社が名をつらねることになった。

特に、石油製品の自動車向け消費割合<sup>3)</sup>が50%以上を占める米国では、1979年初めの石油パニック以降低燃費車指向となり、サブコンパクト車が増大した。インフレの進行による総市場低下の中で、日本車輸入割合は1980年に21%のシェアを占めることになり、1981年春には自動車輸出の自主規制を行わざるを得なくなった。

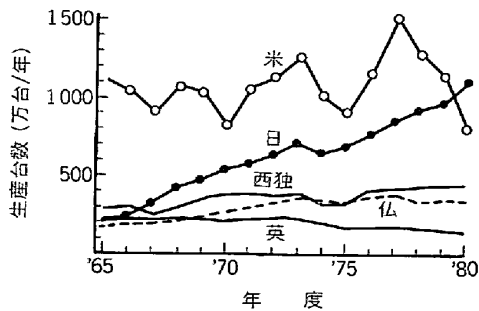


図1 世界の自動車生産台数の推移

ここでは、自動車用材料の概要と最近の自動車技術の課題について概説する。なかでも、低燃費化技術は最重要課題であり、その一方策である軽量化との関連において、高強度薄鋼板の位置づけを各種競合材料との比較の中で解説する。さらに、高強度薄鋼板の現状と問題点、今後要請される事項などについても述べる。

#### 2. 自動車用材料

##### 2.1 種類と使用量

自動車生産に必要な部品は約3万点以上にもおよぶ。表1に、昭和55年度の自動車生産に必要な各資材の使用量とその構成割合<sup>4)</sup>、および全産業に対する自動車用各資材の割合を示す<sup>4)5)</sup>。

この表から計算すると、普通鋼鋼材は、自動車に使用される全資材の約59%を占めている。その内訳は、冷延鋼板28%、熱延鋼板18%、高強度薄鋼板1.3%、亜鉛めつき鋼板4.4%、アルミめつき鋼板0.4%、および鉛・錫めつき鋼板0.4%、その他6.5%となる。亜鉛めつき鋼板は、後で述べる防錆向上要求に対処する材料として、その使用量が増大しつつある。アルミめつき鋼板は、ステンレス鋼、耐熱鋼などと共に、排出ガス対策のため、昭和50年からその需要が増加した材料で、主にマフラ、排気管、遮熱板などに利用されている。鉛・錫めつき鋼板は、主にフェル・タンクに使用されている。

特殊鋼鋼材は全資材の約17%を占めている。炭素鋼、クロム鋼、クロム・モリブデン鋼、ニッケル・クロム・モリブデン鋼は、エンジン主要部品、駆動部品、足廻り部品などの重要部品に使用され、ステンレス鋼は、触媒コンバータ、エキゾーストパイプ、各種モールド類に使用される。鉄鉄は、全資材の3.1%を占め、主にエンジン用鋳物部品に使用される。これら普通鋼鋼材、特殊鋼鋼材に鉄鉄を加えた鉄系材料は、全資材の約79%を占める。軽量材料として期待されるアルミニウム、プラスチックなどは、それぞれ3.7%、3.6%と現状ではその比率は低い。

また、これら自動車用資材の全産業に対する割合をみ

昭和57年1月25日受付 (Received Jan. 25, 1982) (依頼解説)

\* トヨタ自動車工業(株) (Toyota Motor Co., Ltd., 1 Toyota-cho Toyota 471)

表 1 自動車用資材使用量 (昭和 55 年度)

材 料 名		自動車用使用量(万t/年)	全産業に対する割合(%)	材 料 名		自動車用使用量(万t/年)	全産業に対する割合(%)
鉄		43.7	34.2	非鉄金属			
普通鋼鋼材	板	400.1	50.7	アルミニウム	52.7	42.1	
	薄板	106.6			10.4		38.2
	厚板	141.2			4.6		
	鋼板	18.3			11.3		
	鋼管	62.4			0.5		
	その他	5.9			4.2		
計	825.6	13.8	計	83.7	25.5		
特殊鋼鋼材	炭素鋼	98.2	30.6	プラスチック	塩化ビニール	14.9	10.5
	クロム・モリブデン鋼	22.1			6.4	24.7	
	熱ねえの鋼	41.0			8.2	41.5	
	ステンレス鋼	2.1			9.6	10.4	
	その他	9.4			4.0	2.2	
	計	239.5			21.6	計	51.1
合 計		1108.8	—	その他の非金属			
				ゴマ	53.5	37.7	
				ラ	19.8	9.9	
				の	34.1	13.1	
				ム	12.4	6.0	
				料	21.0		
				ス	22.3		
				維			
				材			
				他			
				計	163.1		
				合 計	297.9	—	

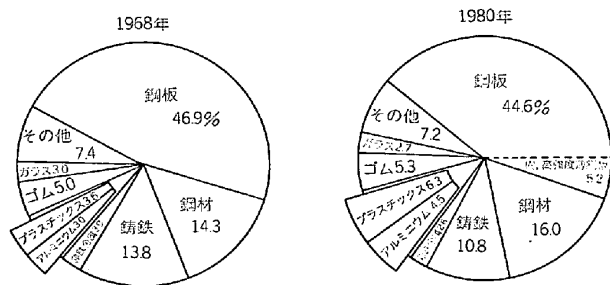


図 2 車両構成材料の推移 (トヨタマーク II)

ると、金属材料では、冷延鋼板、構造用鋼、鋳鉄、アルミニウムなどが、非金属材料では、ゴム、ウレタンなどが自動車向けに多量に出荷されている。

つぎに同一モデルの乗用車で、その材料構成がどのように推移してきたかを、トヨタマーク II について調べた結果を図 2 に示す。1980 年モデルでも鋼板が 44.6% と約半分近くを占めており 12 年前とほとんどかわっていない。また、鉄系材料は、約 71% でやや減少しているが、大きな変化はない。一方、プラスチックは 6.1%、アルミニウムは 4.5% と共に 12 年前に比べてそれぞれ 1.7 倍、1.5 倍に増加している。

それでは、将来の材料構成はどうなると予測されているのだろうか。図 3 に、Arther Anderson Co. (以下 AAC と略す) が 1981 年に発表した 1990 年モデルの材料構成予測を示す<sup>6)</sup>。これによると軽量材料の使用割合がかなり増加し、アルミニウムが 9%、プラスチックが 13% と予測されている。EPA (Environmental Protection Agency, 米国環境保護庁) が 1976 年に予測したデータ<sup>7)</sup> (図 4) では、同じ 1990 年モデルでア

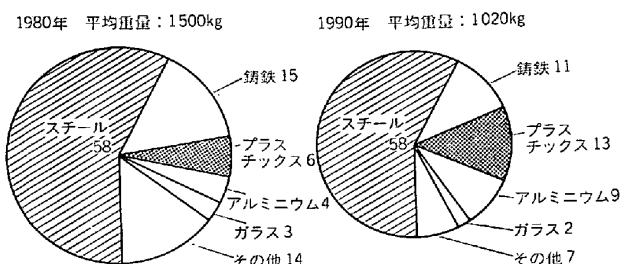


図 3 乗用車の材料構成予測 (米国車)<sup>6)</sup>

ルミニウム 12%、プラスチック 9% であり、これに比べると AAC 予測は、アルミニウムが少なく、プラスチックが多くなっている。一方、鉄鋼に注目してみると、前に述べた EPA と同様に AAC も、その使用割合が減少すると予測している。ただし、鋼板については、EPA 予測では、1980 年 57%、1990 年 54% と減少すると予測しているのに対し、AAC 予測では、共に 58% と変化しないと予測している。これは、鋳・鍛造部品の鋼板化あるいは、鋼板類の高強度鋼板化などがより進み、車両重量としては減少するが、鋼板部品の割合は変化しないためと思われる。以上のように、将来的にも、鉄鋼が主要構成材料であることにはかわりはない。自動車の軽量化を進めるには、鉄鋼材料をいかにうまく使いこなすかが重要な課題といえる。

### 2.2 材料選択の考え方

自動車用材料としては、一般的に、

- (1) 大量に安定して供給されること、
- (2) 量産向きであること (生産性, 均一性),
- (3) コストが安く、安定していること、

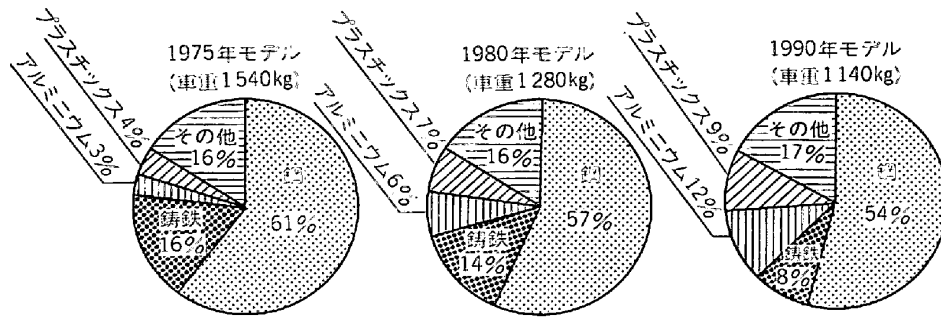


図 4 乗用車の材料構成予測 (米国車)<sup>7)</sup>

表 2 材料変換による軽量化とコスト<sup>8)</sup>

展 伸 材		材		鋳 物		樹 脂		
材 料	軽減率%	コスト比	材 料	軽減率%	コスト比	材 料	軽減率%	コスト比
普通鋼板	0	1	ねずみ 鋳 鉄	0	1	普通鋼板	0	1
耐デント鋼	10~20	0.8~1	Al ダイカスト	50~60	0.9~1.2	F R P	50	1.25
高強度鋼板	15~30	0.9~1.1	Al 低圧 鋳 造	50~60	1.5~1.9	S M C	35~50	1.15
超高強度鋼板	40~50	2~3	Zn ダイカスト	10~40	0.7~1.1	C F R P	60~70	1.5~4
アルミニウム	50~60	2~3	Mg ダイカスト	75	0.9	S T X	35	1.5

表 3 日米の材料価格比較 (1980年)

単位: 指数

材 料	日 本	米 国
鋼 板	100	110
プラスチック	100	70
アルミニウム	100	80

が要求される。どの材料を選択するかは、それぞれの部品の要求特性により異なる。また、最近の低燃費化ニーズの増大の中では、安価で安定した品質の他に、いかに軽量化部品とするかが重要となる。

一般に軽量材料への単純な置き換えは、材料価格の影響をうけてコストアップにつながる。しかしながら部品や材料によつては、生産性のよい製造法を適用するか、部品の一体化による組付費の低減でコストアップにつながらない場合もあり、それぞれ検討が進められている。一例として、表 2 に、クライスラーが発表したデータを示す<sup>8)</sup>。これによると、展伸材では、耐デント鋼を含め高強度鋼板が軽量化率は低いがコスト的に有利である。鋳物では、生産性のよいアルミダイカストを用いることにより、コストアップをできるだけおさえて大きな軽量化が得られる。アルミニウムやプラスチックは、軽量化率は大きいですが、コストアップにつながりやすく、アルミニウムにおけるダイカストのような安価で生産性のよい部品製造技術の開発が期待される。

一方、日米の材料価格を比べてみると、米国は日本に比べて鋼板が高く、アルミニウムやプラスチックが安い。(表 3) こうした有利な条件を生かして、米国では比較的少量の軽量材料を使用した軽い小型車を生産する

可能性がある。日本では、こうした状況に対応するために、安い材料の製造技術、材料歩留りと生産性のよい製品製造技術、コストアップに見合う新しい機能の付与、材料リサイクル技術の開発など、あらゆる面から軽量材料の使用を可能にする技術開発が必要であろう。

なお、新しい材料を使つていくには、高い信頼性が要求される。材料品質の安定していることはもちろんだが、加工による製造品質のばらつきをおさえ、各種使用条件下での 10 年以上にもおよぶ高度の耐久性を確保するため、設計・試作段階から徹底した評価改良が行われる。

### 3. 自動車の課題

自動車産業はこれまで多くの市場ニーズに対応し、車を提供してきた。図 5 に、日本の自動車技術の変遷について示す。1950 年代初めの技術導入ブームに続き、国民車構想に始まる国産乗用車技術確立期をへて、1960 年代に入ると、車がだんだん大衆化し始め、高速性能の向上と量産技術の確立が重要となつた。自動車の保有台数の増加につれ、交通事故が多発し、安全問題がさげられるようになつた。特に 1966 年米国で自動車安全法案が上下院で承認され、翌 1967 年に安全基準が発表されると、その対応が加速され、この時期から、各種プラスチック・フォーム材が採用されることになつた。同時に、モータリゼーションの進展に伴い、環境公害問題が論議され、排出ガス・騒音などの規制が矢継ぎ早に制定された。排出ガス規制については、1970 年に、米国でマスキー法が成立し、1975 年までに日米同時に同じ規制値を達成しなければならなくなり、その対応技術を検討している最中の 1973 年秋に第一次石油ショックが起

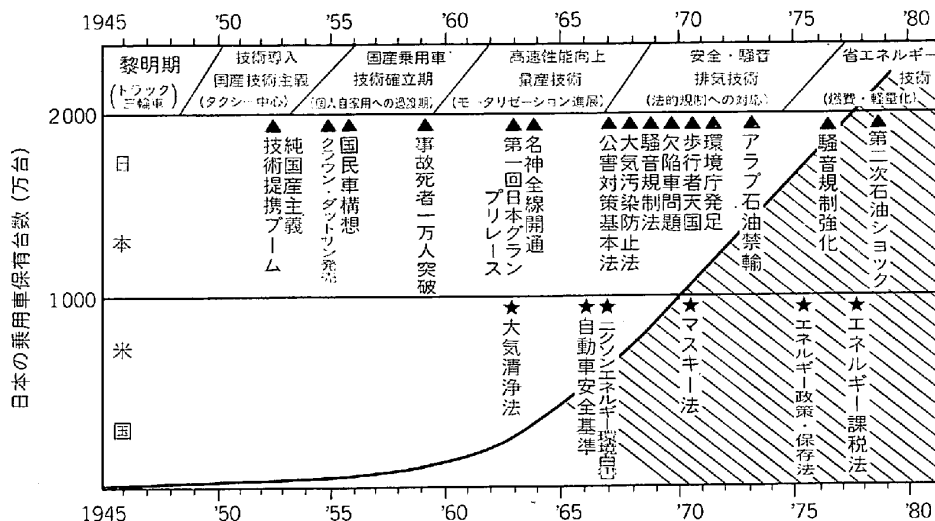


図 5 日本の自動車技術の発展

こつた。そこで新たに、省資源・省エネルギー対策もあわせて対応をせまられることになった。また、日本車の輸出先が拡大するにつれ、車の使用環境も広範囲に及び、北米・北欧などで鋼板腐食が重要な問題となり、その対応も必要となった。このように、いくつも重複し、背反する課題を同時に満足し、かつ規制値を十分満足するだけではなく、法規制以外にもますます多様化するユーザー・ニーズに合わせて魅力があり総合的にバランスのとれた車を提供することが、自動車産業に従事する技術者の課題となつている。

以下に、現在自動車に課せられている重要課題のいくつかについて述べる。

### 3.1 低燃費化対策

1973年の第一次石油ショック以後、それぞれの分野で省資源・省エネルギー対策が進められている。

ここでは、自動車の走行段階での省エネルギー（燃料消費の低減）について検討した結果を示す。自動車が生産されてから廃車になるまでに消費するエネルギーは、生産段階のエネルギーと走行段階のエネルギーに大別できる。生産段階のエネルギーには、鉄、軽合金、ゴム、プラスチックなどの材料を製造するエネルギーと、自動車会社で加工組み立てをするのに必要なエネルギーとが含まれる。走行エネルギーはオイル消費も含まれるが、ほとんどが燃料消費エネルギーである。燃費が 10 km/l の代表的な小型車が一生の間に 10 万 km 走行した場合の消費エネルギーを試算すると図 6 のようになる。この図から走行段階の消費エネルギーが約 80% を占め、燃料消費の低減が重要であることが理解できる。

燃料消費を低減するため、各国で燃費規制あるいは燃費基準が設定されている。以下各国別にその状況を述べる。

#### 3.1.1 各国の燃費規制

##### (1) 米国の燃費規制

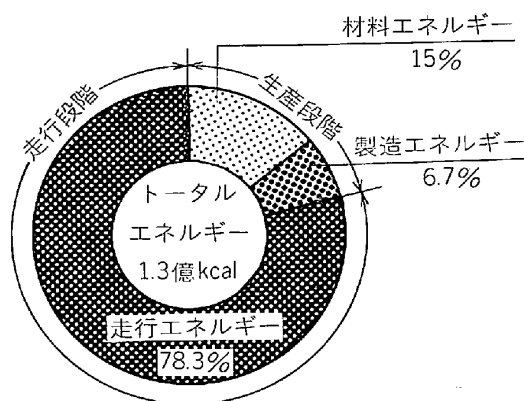


図 6 各段階でのエネルギー消費 (10万km 走行相当)

ガソリン需要の多い米国では、1975年に省エネルギー法 (Energy Policy and Conservation Act) が成立し、1978年モデルから1985年モデルまでの乗用車のメーカー平均燃費規制値 (CAFE) が決定された (図 7)。この値を達成できないメーカーは、未達成の 0.1 mile/gallon に対し 5 ドルの罰金を、その年の全生産台数に乗じて支払わねばならない。さらにこれとは別に、1978年にエネルギー課税法 (The Energy Tax Act of 1978) が成立した。これは燃費の特に悪い車両の生産をおさえるために、1980年モデルから1986年モデルまでの各年次モデル車における燃費の最低値を示すモデルタイプ別燃費規制値を設け、この値を達成できない乗用車を販売する場合、税金を払わねばならない。また課税額も年々増加することになつている。また、乗用車以外のトラックについても、同様に規制値が設定されている。

##### (2) 日本の燃費基準

日本では、昭和 54 年 6 月に「エネルギー使用の合理化に関する法律」が制定され、同年 12 月に、昭和 60 年度における国内販売車の燃費基準が示された。この値は、表 4 に示すそれぞれのクラスの車両での平均燃費値

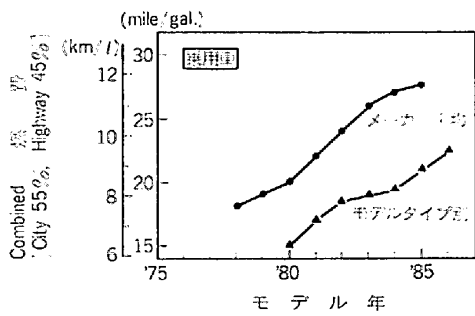


図 7 米国の燃費規制値

表 4 日本の燃費基準 (乗用車)

	車両重量 (kg)	昭和60年目標燃費 (km/l)	改善率 (%)
軽自動車	577.5 未満	19.8	6.5
大衆車クラス	577.5~827.5	13.0 [ 16.0 12.5 ]	13.0 [ 11.1 12.5 ]
小型車クラス	827.5~1265.5		
中・大型車クラス	1265.5~2015.5	8.5	11.8

を示している。改善率は、53 年型車の実績との比較を示している。測定法が米国と異なるため、絶対値の比較はできないが、かなり厳しい基準となつている。

(3) その他の国の動向

その他、英国、西独、豪州などで規制化の動きがある。規制内容は各国の事情により異なり、自動車業界が自主規制するもの、あるいは国が制定するものなどがある。これらの国では、燃費は業界全体の平均値として考えられている。

3.1.2 低燃費化技術

低燃費化技術としては、

- (1) 小型化、高強度材・軽量材への置き換えによる軽量化、
- (2) エンジン、駆動系の効率向上、
- (3) タイヤのころがり抵抗、空気抵抗などの走行抵抗の低減

などが考えられる。これらの要因の寄与率を GM の F F 車 Xカー (1979 年 4 月発売) の例でみると図 8 のようになる。車種によりこの比率は異なるが、軽量化が燃費改善の有効な方法であることがわかる。ちなみに、X カーは、これらの技術を採用することにより、1978 年モデルとほぼ同じ車室内空間を維持しつつ、360 kg も軽量化し、燃費は 19.4 から 26.7 mile/gallon へと 37% も向上している<sup>9)</sup>。GM は、この X カーの開発に 5 年の歳月と 27 億ドルを費したといわれる。

次に、車両重量と燃費との関係について述べる。結論的にいえば次のようになる。

- (1) 高速走行では車重が燃費に与える影響は少ない。
- (2) 登坂路では、車重変化割合とほぼ同等以上の燃費への影響がある。

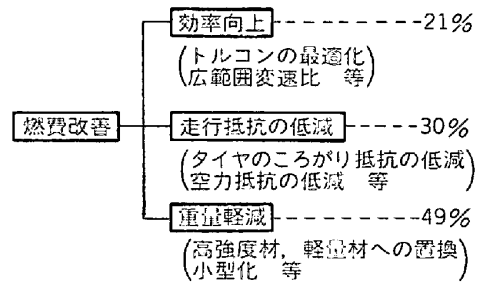


図 8 燃費改善要因の寄与率 (X 車の例)

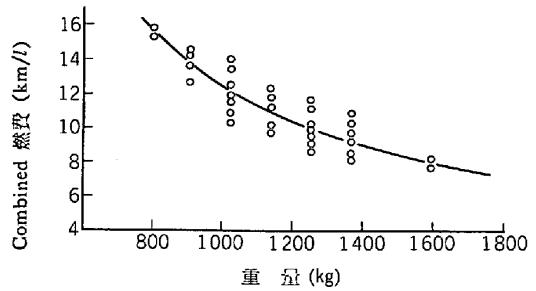


図 9 車両重量と燃費

(3) 加減速の多い市街地走行では、車重が燃費に与える影響は大きい。

車重による燃費変化の一例を図 9 に示す。エンジン排気量、ミッションの種類などで異なるが、1t クラスの小型車では、1 kg の軽量化により約 0.01 km/l の燃費向上が期待できる。また、各コンポーネントの軽量化は、それ自身の軽量化のみでなく、他部品の軽量化も可能となるため (波及効果)、一部品ごとの軽量化の積み上げのみでなく、総合的な軽量化設計が重要となる。

3.1.3 軽量化技術

軽量化技術としては、以下の 3 つに集約できると思われる。

- (1) 小型化・FF 化、
- (2) 合理化設計、
- (3) 軽量材料・高強度材料への置き換え。

(1) については駆動方式・エンジン搭載位置・サスペンション形式などが大きな影響を与えており、その一つの手段として、前輪駆動 (FF) 方式がある。FF 化は、エンジン、トランスミッション、デファレンシャル・ギヤ・ケースなどがすべて取りまとめられるため、トランスアクスル系全体の重量が軽くなる。リヤ・アクスルは従動輪となつているのでサスペンションの自由度も大きくなる。また、プロペラシャフトがないため、フラットなフロアが得られる。デファレンシャル・ギヤ・ハウジングがリヤにないため、トランクルームのスペースが拡大し、フェル・タンクの位置も自由度が大きくなり、居住性の面で有利となる。反面、エンジンだけでなく、トランスミッション、デファレンシャル・ギヤなどの騒音源がすべてフロントに集中しているため、騒音対策が難しい。また、エンジン・ルームにパワー・トレインが

押し込まれているのと、ドライブシャフトの脱着に時間がかかるためサービス性がやや劣り、修理費用も高くなる。さらにスポーツ仕様車などでは、操縦安定性の面でやや不利となる。このように欠点はあるものの、FF化は軽量化の有効な手段として増加すると思われる。

(2)については、有限要素法の活用による限界設計、使用条件に合った設計品質の適正化、単なる置き換えではなく材料特性を生かした設計品質の確保などがある。たとえば有限要素法を用いて、ボデー構造の強度・剛性解析をすることにより、実物を作らなくても、問題のありそうな部位を容易に摘出でき、限界設計が可能となる。また、補強すべき部位とその方法も予測可能である。さらに熱変形解析により、たとえばピストンの温度分布を把握し、効率よく熱を逃がすための形状検討も可能である。一方、材料特性を生かした合理化設計という点では、ロッカー・アームの例がある。すなわち本体をアルミニウム合金で軽量化し、耐摩耗性の必要なカムとの摺動部分に特殊耐摩耗焼結合金を鑄ぐるみ、性能、コスト、軽量化を両立させたものである。

(3)の軽量材料への置き換えは、サイズ・ダウンの余地の少ない小型車では有効な手段である。軽量材料としては、アルミニウム、マグネシウム、プラスチック、各種複合材料などが考えられる。アルミニウム、プラスチックについては、2節でも示したように、これまで着実に増加しているし、また図2に示すように、今後増加が予想される。マグネシウムや各種複合材料には、これまで採用されなかつた部位への拡大が期待されている。しかしながら、これら軽量材料は、鋼に比べ弾性率が低い、耐熱性が低い、材料コストが高いなどの問題点があり、飛躍的な増加は期待できない。したがって、将来的にも車両重量の50%以上を占める薄鋼板を高度強薄鋼板へ置き換えることにより、さらに薄肉化をはかることが重要となる。また、後で述べるように、最近の安全性向上要求に対し、衝突エネルギー吸収性の高い高強度鋼板の役割がより高まりつつある。高強度鋼板の採用状況については4節で触れることにする。

以上、最重要課題である低燃費化、軽量化について説明したが、その他の課題について、以下に簡単に述べる。

### 3.2 安全対策

米国における安全規制は、1965年1月に政府購入車について17項目の安全基準が示された時に始まる。翌1966年、一般の車両を対象にした交通安全法案 National Traffic and Motor Vehicle Safety Act と Highway Safety Act との2つが上下院の承認を受け、それに基づき1967年1月に米国連邦自動車安全基準 FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) が発表された。以来、各自動車メーカーは、この規制への対応をはかつてきた。

最近、Motor Vehicle Information and Cost Saving Act Title II Consumer Information に基づき、Automotive Rating の導入が計画されている。

これは、燃費と同様、新車の安全性について全乗用車を対象に順位づけを行うことにより、保険会社におけるランキングと保険料のディスカウント制を導入しようとするもので、これまでのように規制に適合すればよいという考え方から、それ以上に安全性を向上する必要性が出てきた。Rating としては、(1)Damageability (2)Crashworthness (3)Ease of Diagnosis and Repair の3種がある。この中で具体的に進んでいるのは(2)のCrashworthness で、これは NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration, 米国道路交通安全局) が New Car Assessment Program により、FMVSS で規定されている以上の速度で車を衝突させたり、規定以外の衝突モードで試験をし、1979年モデルよりデータを公表しているものである。

米国では、低燃費化対策として小型化が積極的に推進されているが、小型車ほど“つぶれ代”が少なくなるので安全対策が難しくなる。そこでエネルギー吸収性の優れた高強度鋼板などの材料と構造の最適設計により、ボデーのエネルギー吸収性を向上し、かつ軽量化をはかることが重要となる。その他、歩行者保護基準の新設、サ

表5 世界の主要な自動車安全基準<sup>1)</sup>

	安 全 基 準	特 徴
ア メ リ カ	FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards) 100 番台：事故防止 200 番台：衝突時の乗員保護 300 番台：衝突後の安全	衝突時の乗員保護を最重視 傷害基準の導入
E C E (国連欧州経済委員会)	ECE No. 1~No. 39 灯火類、ブレーキ装置、電波妨害など	部品の認定基準の統一 乗員保護について FMVSS の影響を受けつつあるが ヨーロッパ独自のものを作ろうという意向が強い
E E C (欧州共同体)	ECE とは同じ	
オーストラリア	ADR (Australian Design Rule) 車両の安全公署関係の法規	灯火、ブレーキ関係はECEに準拠、乗員保護はFMVSSに準拠、シートベルト、安全ガラスなどはオーストラリア独自の規制
日 本	道路運送車両法 (道路運送車両の保全基準) 自動車の構造、装置および性能についての安全基準	歩行者、二輪車乗員に対する対策の強化 車検制度による信頼性の確保

表 6 カナダ防錆規定 (CCAコード)

性能要件	1978モデル～	1981モデル～
設計・材料製造上の欠陥に起因する表面錆のなきこと	12カ月または 4万 km	18カ月または 6万 km
正常な使用条件で錆穴なきこと	36カ月または 12万 km	60カ月または 20万 km
正常な使用条件で構造的被害なきこと	72カ月または 24万 km	72カ月または 24万 km

メンテナンス要件：ユーザー、ディーラー、メーカーに対し、メンテナンスに関する義務要件あり

対象：車両重量 4536kg 以下の乗用車、バス、トラック、多目的乗用車のボデー部品

イド・ドア強度についての動的評価基準の追加などの規制強化も検討されている。また、日本では、昭和55年10月に「自動車安全基準の第2次拡充強化目標」が示された<sup>10)</sup>。内容的には、高速化対策、火災防止対策、トラック安全対策が、その3本柱となつている。米国、日本を含め世界の主要な自動車安全基準の特徴を表5に示す<sup>11)</sup>。

### 3.3 防錆対策

自動車の輸出先が拡大するに伴い、車の使用条件、使用環境も広範囲になつてきた。特にカナダ、北米、北欧地域では、冬期に路面凍結防止用融雪塩を散布するが、その使用量が増加し自動車腐食対策が重要な問題となつてきた。そこでカナダでは、ユーザーが自動車腐食による損害を受けないようにするため、1978年に防錆規定が制定された(表6)。米国政府もまた同一保証を要求している。

一方、省資源、省エネルギー情勢の中で、自動車の使用年数は年々延長の傾向にあり、防錆品質が重要なセールス・ポイントとなつてきている。日本のメーカーも、対米・国内とも CCA コードと同一の目標品質で、種々の防錆対策を実施している。

#### 3.3.1 自動車腐食の特徴

自動車用ボデーは、大部分が 0.7～1.6 mm 程度の薄い鋼板より構成されており、最近では軽量化に伴い鋼板が更に薄くなる傾向のため、その腐食が心配される。また、外板の腐食は美観低下につながり、自動車の商品価値を下げるので問題となる。

##### (1) 内部腐食

フェンダ下部、ホイールハウス上部、ドア内面下部などの閉じたり奥まつたりしている構造部位は、前処理が不十分となりがちであり、塗装のつきまわりも不足になりやすく短期間で腐食が局部的に進行するおそれがある。

また、ドア・フードなどのヘミング部や、ボデー内板と外板との合わせ部などは、前処理や塗装が不十分となりやすく、その場合はすきま腐食がおこる。

##### (2) 外部腐食

パネルの端面部(エッジ)は、塗装を行つても、塗膜焼付時などに表面張力で塗膜がひけて薄くなり錆びやすい。また、外装部品(ステンレスモール、プラスチックマークなど)の取り付けビス部や周囲端部において、塗

膜の傷付きによる腐食または、異種金属の接触腐食が起ることがある。フェンダ下部、ホイールハウジング、ロッカー・アウターなどは、路面の小石、砂などが当たることにより、塗膜がチップング剝離し、腐食を誘発しやすい条件を持つている。

#### 3.3.2 防錆対策技術

ボデーの耐食性を向上する上で最も重要なものは、ボデー構造である。水、塩類、泥などの袋部への侵入防止、電着塗装などのつきまわりの悪い中空部、細隙部の回避などがポイントとなる。ついで重要なのは、ボデー材料の選定である。プラスチック類は、腐食に対しては有効だが、剛性とコストに難点があり、各種の防錆鋼板が主体となる。種々の製造方法による亜鉛めつき鋼板、およびあらかじめジंकリッチ・プライマーを塗装した鋼板など、各社各様のものがあるが、軽量化のための薄ゲージ化による錆代の減少や表面処理鋼板のスポット溶接の問題などを改善できる薄目付で高性能な防錆鋼板の開発も期待したい。

以上の方法を十分適用できない場合も多いので、シーラーの活用やボデー塗装技術でボデー防錆のかなりの部分を達成する方法が行われている。

その方法としては、従来のスプレー方式に代わるフルディップ方式の化成処理と耐食性の優れるカチオン電着塗装の採用である。また、これらを組み合わせることによりさらに防錆効果が向上する。また、各種の防錆シーラーをヘミング部などの細隙部に使い分けて用いるケースも増えている。いずれも従来よりコスト・アップを招くことが多くなり、その克服が課題である。

#### 3.4 その他の課題

その他の課題としては、

- (1) 将来燃料対策、
- (2) 排出ガス規制対策、
- (3) 騒音規制対策

などがあるが、高強度鋼板と直接的には関係ないので、ここではふれないことにする。

#### 3.5 これからの自動車(機能と商品性)

以上、自動車の各種課題のうち、高強度薄鋼板に関係の深いものについて概説した。これからの自動車は、これら背反する各種課題にこたえていくことはもちろん、車が大衆向きの便利な耐久消費材である以上、ますます多様化するユーザー・ニーズに的確にこたえていく必要がある。

まず将来の自動車の動力源はどうなるであろうか。石油については、価格は上昇し不安感が残るものの、ここしばらくは入手可能であり、ガソリン、軽油が燃料の主体として残る以上、動力源に画期的な変更はないと思われる。材料的に見た場合ボデーシェル材料として薄鋼板が材料の主体であることも変わりはない。したがって、ここしばらくは、使用割合からみて個々の累積による軽

量化量が大きく、現状の生産ラインも大幅に変えることなく採用でき、コスト・アップがそれほど大きくない高強度鋼板の採用拡大がさらに進もう。これについては次の節で述べる。

1990年代に入ると、各種材料の複合化技術が進み、耐熱性および剛性が低くて採用のむずかしかったアルミニウム、マグネシウム、プラスチックが各種フィルター、繊維などで強化され、外板パネル類やリーフスプリング、コンロッドのような機能部品など強度、剛性部品に採用されるようになると思われる。また、高温強度の高いセラミックスが、ディーゼルエンジン部品や、ガスタービン部品に採用されよう。なお、ホイーカーや形状記憶合金などの材料の使用が現実のものになるかも知れない。

一方大型耐久消費材となつた乗用車の動向はどうか。先進諸国では、ドライバー人口に占める中高年、婦女子の割合が増加するため、イージー・ドライブ化が進むであろう。それには、エレクトロニクスの高度な活用で運転に必要な道路情報をはじめ、車両自体、運転者自身の刻々の状況が種々のセンサーでキャッチされ、ドライブ・コンディションを常に最適に維持できる機構が付加されるようになる。また、そのため、高度化した車の諸機構の信頼性を高め、コスト・オブ・オーナーシップの見地から維持費を最小限にする設計、加工技術の開発が進むと思われる。また、その車の使われる地域の気候、環境、生活習慣を考慮した、きめ細かい内装を施しうるような技術も可能になり、車室内は高級サロン、動くレジャー・ルームともいふべきものの出現が近いと思われる。脱着自在の各種大型ユニット部品で、その時々気分に応じて外観の一部を含めたイメージ・チェンジが容易になし得ることも考えられ、そのためにも基本構成部分のロング・ライフ化が一層進められることになる。

魅力ある商品でかつ自動車として一層バランスのとれたものにするには、材料、設計、生産技術の三つが今以上に調和した形で発展する必要がある。

#### 4. 高強度薄鋼板の現状と問題点

高強度薄鋼板の現状と問題点については、別に具体的かつ個別の報告があるので、ここでは総論的に述べることにする。

##### 4.1 高強度薄鋼板の問題点

高強度薄鋼板が脚光を浴び始めたのは、1970年代始めに、交通事故発生時の乗員保護追求のため、実験用安全車 (ESV) の製作が米国を中心に欧州、日本で行われた頃に始まる。ESVでの成果の一部として 50~60 kgf/mm<sup>2</sup> 級の鋼板が、バンパー・リィンフォースメントとか、ドアのインパクト・ビームとして量産車に使用されたが、その後の展開は、どちらかと言えば足踏み状態で

表 7 高強度薄鋼板の問題点

- 1) 成形性不足、(特に張出し性、伸びフランジ性)
- 2) 形状凍結性不足 (高強度程スプリングバック、反り、面歪み、ねじれ増加→プレス工程増加)
- 3) 適性溶接条件範囲減少 (ナゲット部硬化、HAZ部硬化、軟化、電極寿命低下)
- 4) 強度、剛性面での制約 (スポット溶接部引張強度、各種溶接部疲労強度)
- 5) デュアルフェイズ鋼の焼戻し抵抗性少 (溶接部近傍の強度低下、加熱による板金修正時の軟化)
- 6) コストエフェクティブネス (ゲージダウン率と材料コストアップとのバランス)

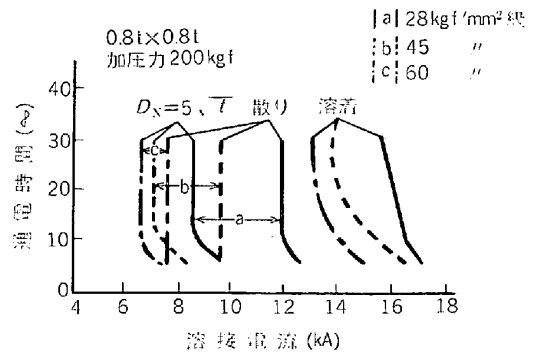


図10 スポット溶接条件範囲

あつた。しかし、4~5年前より、石油ショック後の軽量化ニーズへの対応策として、また同時に安全性向上ニーズへの対応策として、再び各社とも活発に採用部位の拡大に取り組むようになった。しかし、実際に高強度薄鋼板を活用する場合、現状ではいくつかの制約がある。主なものを表7に示す。成形加工の面では強度レベルの高いものほど、成形限界が低下し、割れが発生する。また、型なじみ不良や形状凍結性悪化による面歪み、スプリング・バック、反りが増大し、メンバー類など長尺ものではねじれが発生する。これらに対しては、材料の加工性向上、プレス加工技術の改良、たとえばプレス工程の増加などにより対処しなければならない。

溶接では、鋼板の高強度化によりスポット溶接の適性条件が低電流側に移動し、条件選択範囲が狭くなる (図10)。その結果、プレスでの形状のばらつきによる溶接部の合い不良および、工場での溶接条件のばらつきを補って、適切な溶接品質を確保することがむずかしくなる。さらに、最近防錆ニーズの増大のなかで、高強度鋼板をベースにした表面処理鋼板、いわゆる防錆処理高強度鋼板となると、スポット溶接性が一段と低下し、溶接部ナゲット不形成、ブロー・ホールの発生、ナゲット周辺のき裂発生、ひどい場合にはナゲットが飛散することもある。

また、溶接部の強度の点で、高強度鋼板のスポット溶接部の十字引張強度は、材料の引張強度が高くなつても向上しにくい (図11)。高強度鋼板を用いて板厚を低減したとしても、溶接部強度はその板厚減少分だけ低下することになる。溶接部の疲労強度も引張強さに対し直線



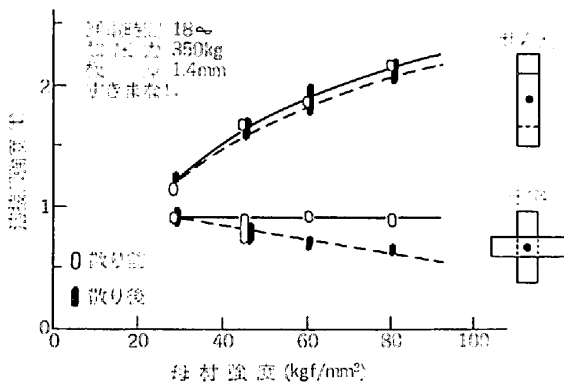


図11 母材引張強度と溶接部引張強度

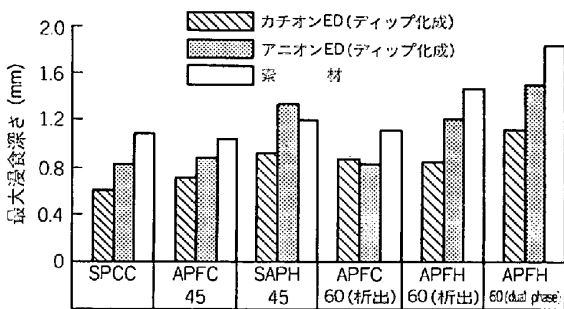


図12 高強度鋼板の腐食試験結果

的に増加せず、板厚減少により低下する場合があることも知られている。

高強度鋼板の剛性（弾性率）は、軟鋼板と同等であるため、剛性上の限界から板厚が定まっている場合には、軽量化できない。

強度レベルが高くなるほど溶接部硬度は高くなり、ドリルによる穴あけがむつかしくなるため、リペア性が悪くなる。特に Dual Phase 鋼板は、板金修理の際加熱により軟化をおこすのでこの点も留意する必要がある。

最近のように全体としては薄肉化して軽量化をはかり、必要部位のみ補強材を追加する構造においては、部位によって電着塗料がつきにくく、かつ薄肉でもあるため裸材の耐食性が重要となる。図 12 に示すように、強度レベルが高いほど、耐食性が劣る。

コストの面では、外板などは、高強度鋼板化しても、剛性上の制約からそれほど薄肉化をはかれないので、一般には材料コストの影響をうけコスト・アップとなる。

4.2 高強度薄鋼板の採用状況

以上、いろいろ問題はあるものの、高強度鋼板の使用量は、ここ 1~2 年で大幅に増大している。

(1) 耐デント性の必要な外板パネル：35~40 kgf/mm<sup>2</sup> 級・薄肉化率 10~15%

外観品質の要求から面歪みに対し、生産技術上の対応が可能なのは、このクラスになる。r 値のよいリン添加の固溶強化鋼が主流である。なお一部には塗装温度での焼付硬化性のある BH 型も用いられている。

(2) 衝撃吸収に寄与する内板構造部材：40~50 kgf/mm<sup>2</sup> 級・薄肉化率 20% 内外

この程度なら、軟鋼板の場合に近い深絞りや曲げ加工の適用がほぼ可能で、今までの形状効果を生かすことができ、形状凍結性の低下も、生産技術で補い得る。リン添加鋼の他、Dual Phase 鋼が使われている。

(3) 衝撃吸収部材：60~100 kgf/mm<sup>2</sup> 級・薄肉化率 20% 以上

衝突時の衝撃力緩和のために設けられている部材は、通常では高い静荷重や変動荷重を受けないものもあり、これらは極力、強い材料を用いて薄くしたい部品である。プレス加工では 60 kgf/mm<sup>2</sup> が限度で、加工時に大きな変形を要しないロール成形や折り曲げ成形では 100 kgf/mm<sup>2</sup> 以上のものまで使用可能である。いずれも加工工程を増やしたり、専用加工機を開発するなど対処される。50~70 kgf/mm<sup>2</sup> 級では、析出強化鋼が主であるが、形状によつてはプレス加工性のよい Dual Phase 鋼が使用される。

最近の新型乗用車におけるボデー部品の高強度鋼板採用状況を図 13 に示す。また、昭和 56 年 7 月発売のセリカリフトバックにおける高強度鋼板の主な採用部位を図 14 に示す。ボデー部品以外で特筆すべきものとしては、ホイールがある。コロナ、セリカの一部車種でディスク、リム共 60 kgf/mm<sup>2</sup> 級の材料を使用し、一本当たり約 1.6 kg、台当たり 4 本または 5 本で約 6.4 kg または 8 kg の軽量化が達成できた。今後もさらに使用量の増大が期待される。

以上、軽量化および安全性向上の面で期待される高強度鋼板の現状と問題点について概説した。なお、それぞれの自動車会社によつて考え方や材料選択の方向が異なつていたり、まだ採用可否の検討段階のものもあるため、ここでは簡単な説明にとどめる。

4.3 高強度薄鋼板のへ要望

高強度薄鋼板への要望をまとめると表 8 のようになる。成形性については、ここ数年でかなり改善されたが、一層成形性のすぐれたものが望まれる。一つの答えとして塗装焼付硬化型高強度鋼板 (BH 鋼板) があるが、さらに、成形性のよいもので焼付硬化量の高い材料の開発が望まれる。特に現状の BH 鋼板は、耐デント性は向

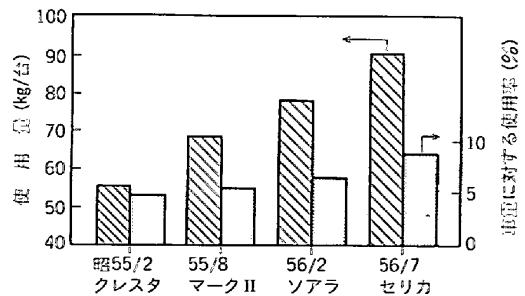


図13 乗用車の高強度鋼板採用状況

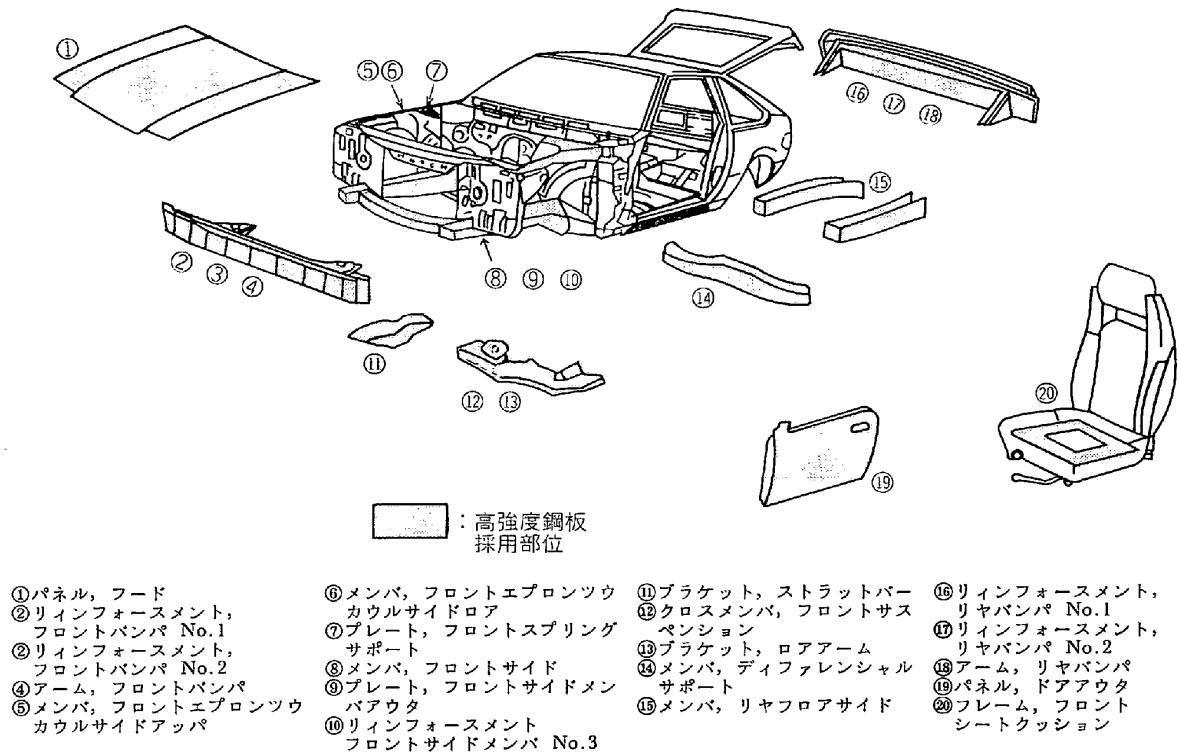


図14 主な高強度鋼板採用部位 (セリカ リフトバック)

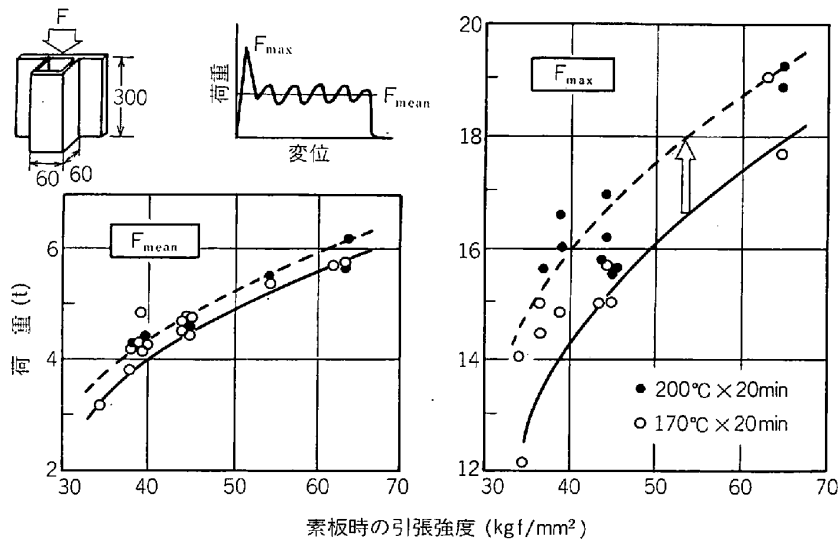


図 15 BH鋼板のエネルギー吸収特性

表 8 高強度薄鋼板への要望

- 1) 成形性、形状凍結性の改良  
( $r$  値,  $n$  値のレベル向上, BH性, 強度延性値のばらつき低減)
- 2) 溶接性の改良  
(硬化, 軟化の少ない成分, 組織, 表面処理)
- 3) エネルギー吸収特性の向上 (特にBH鋼板)
- 4) より経済的な高強度鋼板  
(添加合金の見直しと節減, 製造工程の省力, 省エネ)
- 5) 高耐食性高強度鋼板の開発 (防錆材, 裸材)

上するが、エネルギー吸収量 ( $F_{mean} \times \text{変位}$ ) はほとんど向上しない (図 15) ので、この点の改良も期待したい。なお、鋼板の各特性値のばらつきは極力狭い範囲に

おさえることが必要である。

また、溶接性の点からは、ナゲット部の硬化、軟化の少ない成分、組織の材料開発が望まれる。また、防錆処理高強度鋼板では、ナゲット部飛散のない表面処理の開発が重要である。

軽量化のための薄肉化は防錆上不利であり、高耐食性の成分、あるいは表面処理鋼板の開発を期待したい。

さらに、添加合金の見直しなどによるコストダウンも必要である。

表 9 材料変換による軽量化とコスト

No.	材 料	板 厚 (mm)		製品重量 W (kg)	軽 減 量 $\Delta W$ (kg)	製品コスト C (円)	コストアップ $\Delta C$ (円)	$\Delta C/\Delta W$ (円/kg)
		外 板	内 板					
1	軟 鋼	0.9 (シンクロメタル)	0.7 (冷延材)	14.4	—	4 445	—	—
2	高強度鋼板 (40K HSS)	0.65 (HSS シンクロメタル)	0.6 (HSS)	11.1	3.3	3 780	-665	-202
3	アルミ合金 (6014-T4)	0.7	0.6	4.8	9.6	4 920	475	49
4	S M C	2.0	—	7.9	6.5	6 090	1 645	253

## 5. お わ り に

自動車の今後の課題と、高強度薄鋼板の現状、問題点、今後要請される諸特性について概説した。最近、オールズモービル・オメガのラゲージ・ドアパネルを対象に、各素材メーカー3社 (US スチール社, アルコア社, O. C. F 社) が、高強度鋼板, アルミニウム合金, SMC (Sheet Molding Compound, シート状の繊維強化プラスチック) で、現行材料である軟鋼板の材料置換を検討した例がある<sup>12)</sup>。その結果を表9に示す。これによると、軽量化とコストダウンが共に可能なものは高強度鋼板しかない。素材メーカーでの検討例であり、他の車両特性が考慮されていないので、軽量化率, コストなどでやや疑問な点はあるが、高強度鋼板が一番期待される材料であることには変わりはない。

将来的にも、ボデーシェル材料の主体は薄鋼板である。使用割合からみて個々の累積による軽量化が大きく、現状の生産ラインを大幅に変えることなく採用でき、コストアップがそれほど大きくない高強度鋼板の採用拡大がここしばらく進むと思われる。

すでに述べたように、多様かつ高度な自動車への技術課題を達成するには、鉄鋼・自動車の両産業が、より密

接な間柄を保ち、共同研究などを幅広く展開する必要がある。そのために、この報告がいくらかでもお役に立てば幸いである。

## 文 献

- 1) 国際連合統計局: 世界統計年鑑(1981), p. 351 [原書房]
- 2) 自動車工業新聞 3 (1981)
- 3) International Energy Agency: Energy Balances of OECD Countries, (1980) [OECD Publication Office]
- 4) 自動車工業会資料 (1980)
- 5) 鉄鋼統計委員会: 鉄鋼統計要覧 (日本鉄鋼連盟編) (1981) [日本鉄鋼連盟]
- 6) AL. W. RIGLEY: Ward's Auto World, 9(1981), p. 45
- 7) EPA: Impact of Material Substitution in Automobile Manufacture on Resource Recovery, EPA-600/5-76-007a, 7 (1976)
- 8) American Metal Market-Metalworking News Edition, 2 (1976)
- 9) D. SMITH and AL. FLEMING: Wards' Auto World, 1 (1979), p. 25
- 10) 後藤健一: 自動車技術, 35 (1981) 1, p. 32 [自動車技術会]
- 11) 佐藤 武: 自動車工学全書, 16 (1980) [山海堂]
- 12) M. K. McCANN: Automotive Industry, 9 (1981), p. 60