

自動車軽量化に寄与する鉄鋼材料 PART 1

軽量化と衝突安全性の両立に 貢献する鉄鋼材料・技術

地球温暖化問題の対策として、自動車においてはCO₂排出量低減を図るため、燃費向上が急務となっている。そのため自動車のあらゆる箇所において軽量化が求められ、なかでもボディの軽量化は重要な課題となっている。



ULSAB-AVC (詳細は5ページ参照)の成果が大きく取り入れられたボルシェ「カイエン」(2005年8月発売)。先進の高強度鋼板と成形技術を採用し、ボディ構造の最適化により衝突安全性と軽量化を両立させている。

© Porsche

軽量化をめざし高強度化が進展する 自動車ボディ

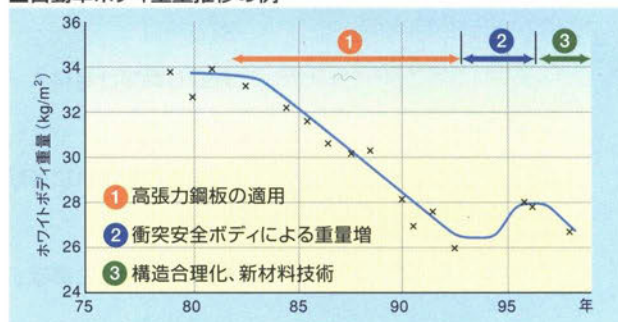
燃費向上には車両の軽量化が有効である。例えば100kg車両重量が低減すると燃費は約1.3km/リットル向上し、CO₂排出量は約20g/km低減する(国土交通省資料による)。このため自動車メーカーでは積極的に車両の軽量化を進めている。

一方で、自動車に求められるニーズは多様化、高度化し、車体サイズの拡大や、快適性、安全性向上を図る機能の充実により、車両重量は増加傾向にある。特に衝突安全対策として補強材の使用量が増加し、そこで、軽量化と衝突安全性向上という、相反するニーズをいかに両立させていくかが課題となっている。

現在、自動車の原材料構成比のうち73%を鉄鋼材料が占めている。アルミニウム合金など軽量材料への材料置換が行われたこと等により、鋼材の使用量は従来に比べ減少したが、軽量材料は材料コストが高いことや新たな設備投資が必要となることが多く、現在では高級車やスポーツタイプの車種に採用が限られている。そのため自動車の主要構成材料として、鉄鋼材料が果たす役割は依然として大きい。

車両重量に占めるボディの重量は約30%であり、軽量化への主なターゲットのひとつとなっている。現在、ボディ各部において

■自動車ボディ重量推移の例

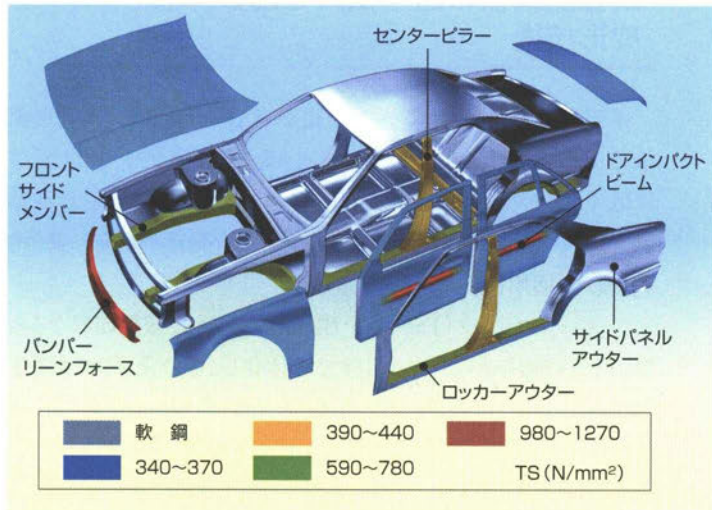


藤根学、林壮一、須藤俊太郎、大橋豊

「車両の軽量化」(『TOYOTA Technical Review』Vol.53, 2004.8, P41)

高強度化が進展しており、従来は440MPa級の鋼板が多く使用されていたが、最近では590MPa級が増加し、980MPa級以上の鋼板も構造部品に採用され始めている。一般的に国内では冷延鋼板の場合、340MPa以上の引張強度を有する鋼板を高強度鋼板(または高張力鋼板(ハイテン))と呼んでいるが、軽量化と衝突安全性向上を両立する材料として、高強度鋼板の採用が増加しており、現在、車体への高強度鋼板の使用比率は40%に達し、なかには50%を超える車種もあるほどである。本記事では、ボディを中心に高強度化の進展状況と使用される鉄鋼材料について紹介する。

■高強度化が進む自動車ボディ



資料提供:新日本製鐵(株)

成形性を確保しながら高強度化が検討される
パネル部品

ボディに使用される鋼板は、使用部位によって異なる特性が要求される。ボディはパネル部品と構造部品に分類される。パネル部品は特に意匠性が重視されるため、高い成形性が求められる。そのため高強度化が最も困難と考えられている部位である。それでも高成形高強度鋼板の開発とともに、最近では徐々に高強度化が検討され始めている。

ドアやフードなどのパネル部品は、プレス成形時に発生する面歪を避け高い面精度を確保するため、降伏強度は抑える必要がある一方、軽量化のためには降伏強度の高い鋼材が求められる。特に耐デント性(小石があたっても凹まない)の向上には降伏強度が高いことが有効であり、塗装の焼き付け熱を利用した焼き付け硬化(Bake-hardening, BH)鋼板が多く使用されている。最近では固溶CやNの高精度制御により、高いBH量を付与した鋼板も開発されている。

パネル部品のなかでも特に厳しい深絞り成形性が要求されるのがサイドパネルアウターである。サイドパネルアウターは一体成形が主流となっており、深絞りと外板品質を両立させるため成形難易度が非常に高く、多くの車種では軟鋼板が使用されているのが現状である。しかし近年高成形高強度鋼板の開発が進められ、その採用も始まっている。

現在、サイドパネルアウターにはプレス成形性に優れたIF(Interstitial Free)鋼が多く使用されているが、このIF鋼をベースとした高強度化が進められている。例えばIF鋼をベースにMn、Siなどの固溶強化元素を添加し、高強度化を図る方法が取られている。また最近ではNbの微細炭窒化物を活用し、結晶粒

を微細にすることにより高強度化した微細粒型高強度鋼板が開発されている。結晶粒の微細化強化を活用することで外板表面品質を向上するとともに、低降伏強度、高 r 値*を達成し、絞り性に優れた390MPa級の鋼板がサイドパネルアウターに採用されている。

衝突安全性向上から最も高い強度を要する
構造部品および補強材

ボディのなかでも最も高強度化が進展している部位が構造部品および補助材である。これらは自動車が発生した場合に衝撃から乗員を保護する役割を担う。1470MPa級、1180MPa級の高強度鋼板が補強材に採用されるなど、衝突安全性向上と軽量化を図るため、高強度鋼板の採用が積極的に進められている。

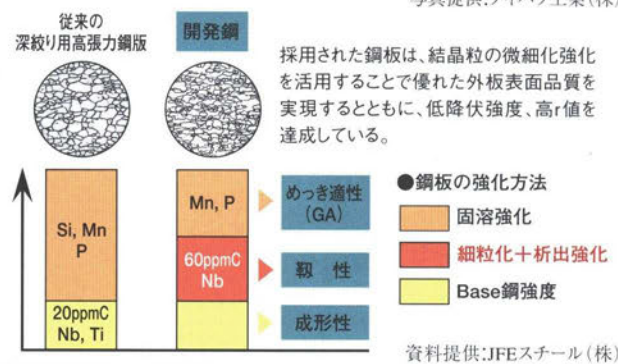
フロントサイドメンバーなどの構造部品は、前方向からの衝突時に座屈、曲げ変形により衝突エネルギーを吸収するとともに、エンジンおよび周辺部品のキャビンへの侵入を阻止し、乗員の生存空間を確保することが求められる。一方センターピラーなどの車体側面の構造部品は、側面衝突時に変形すると乗員の生存空間を狭めることから、極力剛な構造とする必要がある。最近ではフロントサイドメンバーなどに590MPa~780MPa級、またセンターピラーなどに980MPa級の高強度鋼板を採用する車種も登場している。さらにパ

●パネル部品の高強度化例

2006年にフルモデルチェンジしたダイハツ「ムーヴ」は、サイドパネルアウターに390MPa級、ロッカーアウターに440MPa級の高強度鋼板を採用している。



写真提供:ダイハツ工業(株)



資料提供:JFEスチール(株)

* r 値: 鋼板に歪みを加えた場合に生じる、板幅方向と板厚方向の歪みの比。大きいほど深く絞る際に板厚減少を減らし破断や強度低下を抑制する。

ンパーリールフォース、ドアインパクトビームなどの補強材等では、980MPa級以上の高強度鋼板が使用されている。

構造部品や補強材は、複雑な形状へプレス成形されるため、良好な成形性が要求される。しかし延性は鋼板の強度上昇とともに低下し、プレス成形は困難となる。そこで注目されているのが、DP鋼やTRIP鋼である。これらは延性と強度を合わせもつことから、複雑形状を持つ衝突安全部品に採用されている。

DP (Dual Phase) 鋼は、柔らかいフェライト相と硬いマルテンサイト相からなる複合組織を有し、軟質フェライト相の存在により高延性化が図れる。補強材などの難成形部品の高強度化に広く使用されている。

TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼は、フェライトとベイナイトの母相中にマルテンサイトに変化する準安定オーステナイトを約3~20%程度残留させた鋼である。熱力学的に不安定なオーステナイト相が、プレスや衝突などの力が加わると安定した硬いマルテンサイト相に変わり、変形部分の強度が高まる。通常は1箇所を力に加え続けると、最終的に変形部分にくびれの発生が起り破断してしまいが、TRIP鋼は変形部分がすぐに硬くなるため周囲に力が伝わり変形が広がっていくという性質がある。非常に広い歪範囲において高い加工硬化特性を示し、良好な成形性を発揮する。しかも衝突時に力が加わると硬化して強度が高まることから、衝突安全性にも優れている。

一般的にボディには表面処理鋼板が使用されるため、DP鋼やTRIP鋼にもめっき処理が行えることが前提となる。従来、TRIP鋼は溶融めっき鋼板の製造が困難であったが、成分や製造条件の最適化によりTRIP鋼の合金化溶融亜鉛めっき鋼板の製造が可能となるなど、表面処理鋼板化が実現している。

高強度鋼板の適用拡大を図る成形技術

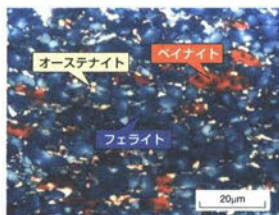
ボディの各部において高強度化が進められるなか、高強度鋼板の成形性が大きな課題となっている。高強度化するほど延性は低下し、また弾性回復(スプリングバック)が増大し、形状凍結性が低下する。これに対し各種成形技術の開発が活発に進められており、適用も拡大している。

テーラードブランク (Tailored Blanks) 技術は、複数の異なる板厚、材質の板をあらかじめ溶接で一体化し、その後プレスする工法である。ボディは各部において板厚、材質が細かく設定され、構成するパネル数は大小合わせて数百にのぼる。テーラードブランク技術を利用すれば、一つの部品の特性を部位ごとに変えることができ部品点数の削減が図れる。例えば強度が要求される部位には440MPa級材のような高強度材を使用し、成形性が必要な部位には270MPa級材のような高成形性材を使用することが可能である。従来は主に材料歩留まりの向上と部品点数の削減によるコスト低減を目的として採用されていたが、最近では板厚や材質の最適配置による衝突安全性向上や軽量化の目的で適用が拡大している。

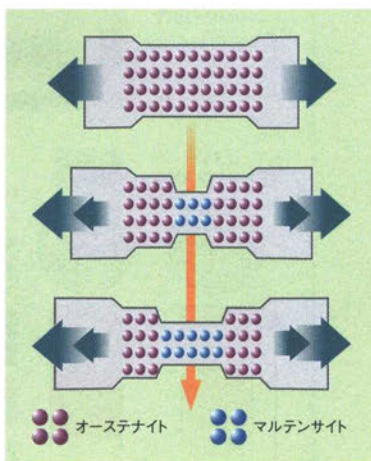
また、軽量化ニーズから注目が集まっているのがハイドロフォーミング (Hydroforming) 技術である。ハイドロフォーミングは金型にはさんだ管材を水圧で膨らませて成形する技術である。部品を溶接する必要が少いため、溶接部のない閉断面にでき強度が向上できる。また成形精度が高く、複雑形状の成形に適す。さらに形状凍結性も良好である。このような特性から形状の設計自由度が増すとともに、部品点数の削減、軽量化を図ることができる。

●TRIP鋼における変形途中の変態挙動と延性改善効果

鋼中に準安定オーステナイトを残しておく、その部分は少しの力が加わるだけで安定した硬いマルテンサイトになる。その原理を利用し、加工後、または衝突後に硬くなる鋼材が開発された。



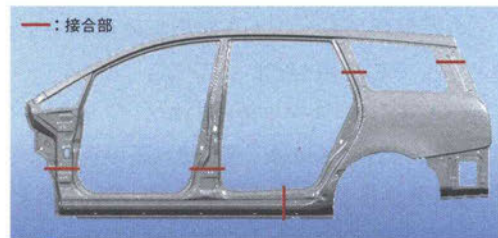
TRIP鋼のミクロ組織例



資料提供: 新日本製鐵(株)

●テーラードブランク技術の適用例

テーラードブランクの接合形態は、通常、接合線が直線方向に配置される直線接合が多い。この方法では接合方向が1方向に限られ、接合箇所も多くて2箇所程度である。三菱「グランディス」のサイドパネルアウターでは、接合方向を2方向、接合箇所を5箇所とし、鋼板の最適配置を行なっている。サイドパネルアウターは成形難易度が高く、このような接合方法の適用は前例が少なく、注目を集めている。



写真提供: 三菱自動車工業(株)

しかし成形条件が複雑であることから、従来は配管の継手部材など小物部品が中心であった。近年、技術開発の進展から大型部品の成形が可能となり、適用が始まっている。ハイドロフォーミングは巨大な油圧プレス機を要し、設備投資が大きくなるため、普及には設備コストの低減が課題となっている。このため最近では自動車メーカーと材料メーカーの共同開発により低コスト化を図った成形機が開発されるなど、今後の適用拡大が期待されている。

自動車ボディは、デザイン性、強度、耐久性、防錆、衝突安全性など多様な特性が要求され、これら多くの特性を備えながら軽量化を進展させるには、高強度鋼板の適材適所での使用がこれまで以上に重要となる。現在、高強度鋼板の使用比率は40%程度にまで上昇しているが、CO₂低減を目指したさらなる軽量化には、いっそうの拡大が期待される。それには成形技術の向上を含め、求められる特性をいかにバランスよく向上させていくかが課題だ。今後は車体設計段階からの自動車メーカー、材料メーカーの総合的な取り組みが重要になっていくだろう。

●取材協力 新日本製鐵(株)、JFEスチール(株)

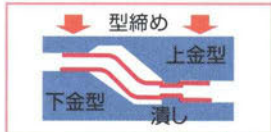
●取材・文 杉山 香里

●一般的なハイドロフォーミングの工程

管材・曲げ



潰し・型締め



ハイドロフォーム



ピアッシング



開発された小型成形機(略図)

独自開発の構造により、従来機に対し1/10の小型化(容積比)、1/2の低コスト化を図ったハイドロフォーミング成形機が開発されている。すでにこの成形機により加工された部品が数車種に搭載されている。

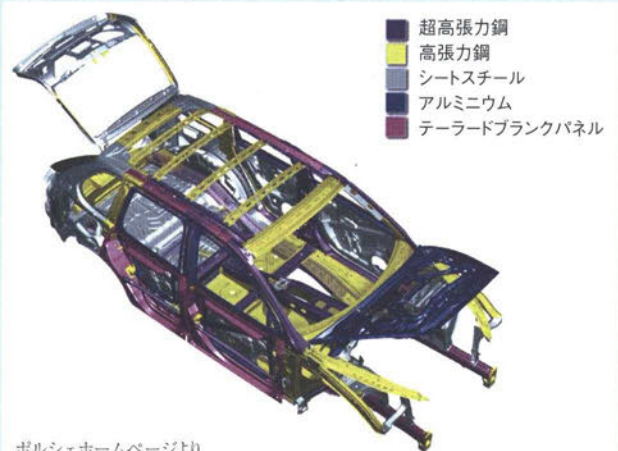
●新成形機により試作されたフロントサイドメンバー



資料提供:新日本製鐵(株)

相反するニーズの両立をめざして

IIISI(International Iron and Steel Institute, 世界鉄鋼協会)加盟の鉄鋼メーカー33社は、先進の高強度鋼板を多用したコンセプト車の設計プロジェクトULSAB-AVC(Ultra Light Steel Auto Body-Advanced Vehicle Concept)に取り組み、成果を上げている(1999~2002年)。このプロジェクトは先に取り組まれたULSABプロジェクト(1994~1998年)を受けて、実用化が見込まれる先進の高強度鋼板を可能なかぎり取り込んだものである。ボディ構造を工夫し、ボディのほぼ100%に高強度鋼板を、80%以上に590MPa以上の高強度鋼板を使用し、さらにテーラードブランク、ハイドロフォーミングなどの成形技術を組み合わせ最適化を図ることで、19~32%の軽量化を達成した。しかも衝突安全性は最近の厳しい規制に対応した高い性能を備えている。その結果CO₂排出量は目標(140kg/km)に対し2/3程度の低減を実現している。



ボルシェホームページより

ULSAB-AVCの成果は、実際の自動車に採用されつつあり、たとえばボルシェ「カイエン」(2005年8月発売)では、高強度鋼板を大幅に採用し、またテーラードブランクなどの成形技術を組合すことで、車体構造の最適化とともに軽量化と衝突安全性向上を実現している。

注目されるホットスタンプ工法

側面衝突に対応する車体側面の高強度化が重要となり、この部位の補強材にホットスタンプ(あるいはダイクエンチ)工法により、1470MPa級まで高強度化した鋼板が採用され、注目を集めている。この成形法は、オーステナイト域の温度(900℃程度)に加熱した鋼板を、金型で成形すると同時に冷却して焼入れを行い、強度を上昇させる方法である。通常、1470MPa級の鋼板を加工することは容易ではないが、熱間で加工を行うと同時に高強度化を図ることができる。さらに形状凍結性に優れるという特性もある。しかし絞り加工が十分にできないことや、加熱時のスケールの発生等が課題となっており、耐熱性に優れた亜鉛めっきやアルミめっきを施した鋼板が開発されている。