



自動車の衝突安全性を高める鉄鋼材料

自動車の安全性能を高める研究は以前から行われてきたが、その中でも衝突安全性能に関する技術が最近著しく進歩している。万が一衝突をしても乗員や歩行者を守るための数々の技術が開発され、多くの自動車に採用されるようになった。頑丈な車体を形作る鉄鋼材料の利用においても、高強度材料や加工技術の進歩を生かして、より安全な次世代車体の提案が行われてきており、世界中で注目を集めている。



オフセット衝突試験のようす

衝突しても人間を守る車体構造

自動車に人間の形をしたダミー人形を乗せ、障壁（バリア）に衝突させる。また、直立したダミー人形に、走ってきた自動車が衝突する。自動車の衝突安全テストの光景は、見る者に自動車事故の恐ろしさと安全性能の重要性を再認識させる。車社会の今日、日本で自動車による死者数は年間約8,700人と20年ぶりに9,000人を下回ったものの、負傷者数は年間約118万人で最近約20年間増加傾向という状況にある（平成13年度）。この対策として、自動車開発においてもさまざまな観点から研究が行われてきた。

安全性能には、アクティブセーフティとパッシブセーフティという2つの考え方がある。アクティブセーフティは、衝突する前に危険を予知し対策を講じる予防安全である。これに対しパッシブセーフティは、衝突時の被害軽減と衝突後の被害拡大防止を目的としている。

自動車の車体構造は、乗員の安全に影響を与える最も大



平成13年度の日本の自動車アセスメント総合評価で最高の評価を得た車種の1つである「スカイライン」(写真提供: 日産自動車(株))

きな要因の一つであり、乗員の生存空間を確保するために、衝突時に車体変形によるエネルギー吸収を利用し衝撃を和らげるという機能を持つように設計される。この機能を最大限に発揮できるように開発されたのが衝撃吸収（クラッシュアブル）車体であり、車体前後部が衝突時に変形することにより、効率よく衝突エネルギーを吸収するものである。

車体構造以外にも、エアバッグの装着、乗員が車外に投げ出されるのを防止するシートベルト装備やドアの開放防止、ステアリングホイールの突出抑制などの技術も開発され、車体構造とともに大きな効果を発揮している。

ULSAB-AVCが目指した衝突安全性能

最近の自動車開発における最大のテーマは、CO₂排出量の低減である。運輸部門はCO₂総排出量の約2割を占め、その大半は自動車からの排出である。この対応として、ヨーロッパでは自主協定で、2008年までにCO₂排出量140g/km以下の達成（1995年比25%削減）を定めている。日本でも省エネ法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）の平成10年改正で、ガソリン自動車は1995年比22.8%の燃費向上を定めている。CO₂排出

■注目を集める客観的評価—自動車アセスメント

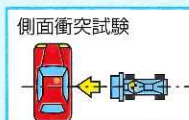
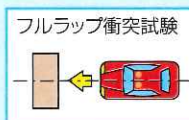
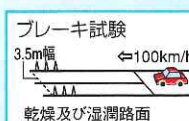
衝突安全性能を客観的に評価したものが「自動車アセスメント」である。自動車アセスメントは、自動車ユーザが安全な車選びをしやすい環境を整えるとともに、自動車メーカーのより安全な自動車の開発を促進することにより、安全な自動車の普及を促進しようとする目的を持っている。

自動車アセスメントは、NCAP (New Car Assessment Program) と呼ばれ、各国で実施しているが、その試験内容は実施機関ごとに多少の違いがある。

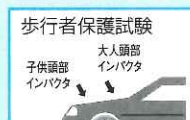
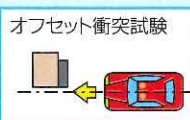
国土交通省の自動車アセスメントでは、運転席と助手席に乗車時の衝突安全性の評価試験に加え、ブレーキ性能およびチャイルドシートの衝突安全性を評価する試験から構成される。このうち、運転席と助手席の衝突安全性を評価する試験では、55km/hでコンクリートのバリアに前面すべりを衝突させる「フルラップ前面衝突試験」、64km/hで運転席側の一部（前面の40%）をバリアに衝突させる「オフセット衝突試験」、55km/hの台車（重量950kg）を静止した車体側面に衝突させる「側面衝突試験」の3種類がある。この結果をもとに、運転席と助手席のそれぞれに対して、運転席ではフルラップ前面衝突試験、オフセット衝突試験及び側面衝突試験、助手席ではフルラップ前面衝突試験と側面衝突試験の試験結果の合計点

数に基づき、最高6つ星までの総合評価を行う。

最近では、消費者の衝突安全性への関心が高まり、自動車アセスメントの評価は新車購入時の判断基準ともなる。欧米では、自動車の衝突安全性能に応じて自動車保険料が変動し、日本でも安全装備による自動車保険料の割引がある。このため、自動車メーカーは自動車アセスメント評価を高める努力を続けるとともに、よい評価の場合には積極的にPRされるようになっている。



国土交通省の自動車アセスメントの将来計画 (各年度の追加項目)



衝突安全性能総合評価

～平成11年度

平成12年度

平成13年度

平成14年度

平成15年度（以降）

(出典:自動車事故対策センター「自動車アセスメント」、「チャイルドシートアセスメント」)



量の削減のためには、自動車のエンジン性能向上などと合わせ、車体の軽量化が不可欠である。

その一方で、自動車の衝突安全性能を高めようとするれば、頑丈な車体構造や装備の追加により重量が増加する傾向にある。そこで車体の開発には、衝突安全性能を確保しながら軽量化を図ることが求められる。

国際鉄鋼協会 (IISI) を中心として世界18カ国の鉄鋼メーカー35社が1994～1998年に共同で推進したULSAB (UltraLight Steel Auto Body) プロジェクトは、車体性能や衝突安全性を確保し、同時に価格の上昇を抑えた軽量鋼製車体の研究を行った。本プロジェクトとともに鉄鋼材料を使った軽量化提案として、ドアなどの外板を対象としたULSAC (UltraLight Steel Auto Closure) およびサスペンションを対象としたULSAS (UltraLight Steel Auto Suspension) の2つのプロジェクトも推進された。

これらの3つのプロジェクトの成果を踏まえて、1998～2002年には、車体、外板、シャシー、駆動系などを含めた自動車全体で総合的な検討を行うため、ULSAB-AVC (ULSAB-Advanced Vehicle Concept) プロジェクトが実施された。ULSAB-AVCは、低燃費、低CO₂排出、リサイクルなどの環境適合性、衝突安全性能、歩行者保護などの安全性、さらに量産が可能で製造や



ULSAB-AVCプロジェクトにおけるPNGV-Classセダン（上）C-Class3ドア（下）

維持に低コストな経済性を、鉄鋼材料の活用によって達成することを目標とした。

具体的には、2004年に実用化を前提としたC-Class (1,500cc相当クラス)とPNGV-Class (2,500cc相当クラス)の自動車の設計が行われた。軽量化に関しては、同クラスの市販車をベンチマーク車とし、これに比べ車両全体で20~30%軽量化することを目標とし、さらにCO₂排出量に関してはヨーロッパの目標基準に合わせ140g/km以下を目指した。また、衝突安全性に関しては、ULSABプロジェクト時以降に安全基準がますます厳格化していることに対応し、2004年に想定される米国及びヨーロッパの自動車アセスメントの衝突安全テストの評価基準(最高等級は5つ星)において4つ星から5つ星の評価を得ることを目標とした。評価項目は6つあり(6ページ上図参照)、前面オフセット衝突(Front Offset)や側面衝突(Side Impact)はULSABプロジェクト時より厳しくなり、さらに剛体ポール衝突(Pole Test)が新たに加わった。

高張力鋼板を効果的に使用

ULSAB-AVCで開発した車体の特徴は、高張力鋼板の活用と、テラードブランク、ハイドロフォーム、レーザ溶接などの成形・接合技術との組み合わせにより、構造の高強度化、衝突安全性の向上および軽量化を図ったことである。

ULSAB時に比べ高強度で成形性のすぐれた鋼材の開発・実用化が進んだことを受け、使用された材料の強度レベルはさらに高まった。例えば主要骨格部材は、ULSAB時に引張強度は340~440MPaであったが、ULSAB-AVCでは800~1,000MPaとなり、2004年に量産適用可能な先進的な高張力鋼板と位置付けて積極的に採用した。代表的な例として、成形性と強度を兼ね備えたDP (Dual Phase) 鋼、TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼などの複合組織鋼板があり、車体重量比で80%採用された。これらの鋼板は、衝

突時の高速変形において強度が上昇するという特徴にもすぐれており、衝突安全性能の向上にも貢献する。日本ではすでに実用化が進んでいるが、世界的に見れば本格的な使用はこれからという段階である。

加工技術として注目される一つ目はテラードブランクの活用であり、車体の11部品、車体重量比にして38%に適用された。例えばボディサイドアウトパネルでは、板厚や強度の異なる5種類の材料を接合し、これをプレス成形している。テラードブランクは、使用箇所に応じて細かく鋼板の種類が選択でき、重量削減が容易という特徴がある。ただし、高張力鋼板はプレス成形後の形状凍結性などの課題もあり、今後は成形シミュレーション技術などを生かし最適条件を確立していく必要がある。

次にハイドロフォームがさまざまな部材に採用され、部材の薄肉化及び高強度化を図ることができた。例えば、Aピラーまでを含めたルーフサイドレール、またテラードチューブをハイドロフォーム加工し板厚の異なる素管を一体化したフロントレール、シートハイドロフォーム加工によるドアアウトパネルなどに採用された。

接合技術では、基本構造に対してはレーザ溶接による連続溶接で強度を確保した。また小物部品の取り付け部にはスポット溶接を適用し、アーク溶接や接着も部分的に用いられた。

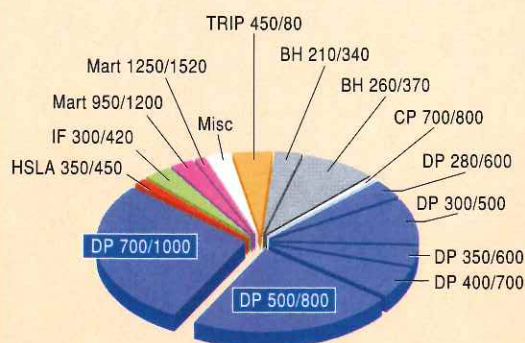
ULSAB-AVCでの特徴ある提案

ULSAB-AVCプロジェクトではC-ClassとPNGV-Classを各々225,000台/年製造することを前提としている。

全体構造はULSABと同様にモノコック構造(車体が卵の殻の形状をした構造で、応力外皮構造ともいう)だが、フロントレールやボディサイドメンバの荷重伝達経路にフレーム部品が配置されている。車体のフロント構造は、製造コストの優位性の実現のために、共通化が図られた。

フロントエンドは、衝突安全性を確保するため特徴的な構造となっている。長手方向2本のフロントレールの途中に、ピラミッド

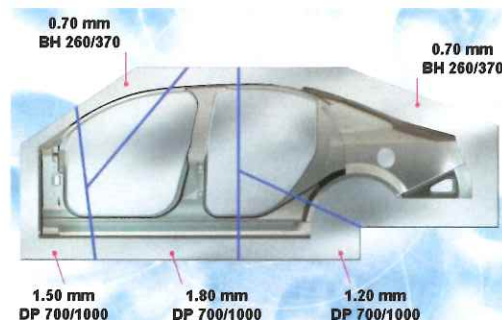
■ULSAB-AVCの材料構成



ハイテンの表記法

DP 500/800
引張強度
鋼の種類

BH: BH鋼板
IF: IF鋼
CP: 複合組織型鋼板
HSLA: 低炭素析出強化型鋼板
DP: Dual Phase鋼板
TRIP: 残留オーステナイト型鋼板
Mart: マルテンサイト型鋼板
Misc: その他の軟質鋼板



ボディサイドアウトパネルのテラードブランク (PNGV-Class)
(数字は上段が板厚、下段が鋼種、降伏強度/引張強度)

状のクラッシュボックスが配置された。前面衝突の荷重は、クラッシュボックスを経由して、車体後方のロッカー、Aピラーおよびトンネル上部に分散されて伝達される。フロントレールは、直径100mmのDP500/800鋼テールドチューブをハイドロフォーム加工しており、前面からの衝突荷重はフロントレールを介して車体後部にまで分散する。

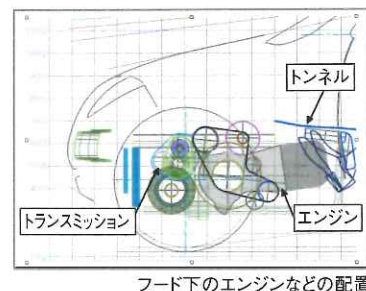
また鋼板の強度を生かして、骨格構造を構成している箇所もある。例えばリアサイドメンバでは、リアフロアとホイールハウスインナ（ともにパネル材）を組み合わせてボックス構造を作り、強度部材の役割を持たせている。

ドアには、ULSACプロジェクトで開発されたドア構造が採用された。フロントドアは、両端にハイドロフォーム部品を配置し、その間を2本の高張力鋼管で結び、側面衝突性能の向上が図られている。

サスペンションは、横向き板バネ付きのダブルウィッシュボーンが採用された。これは、サスペンションをできるだけ低い位置に納め、歩行者衝突時に安全性を阻害する硬い部品を突き出させないためである。

エンジンのレイアウトにも工夫がなされた。エンジンは、通常フロントレールの上のボンネットフード中央部に配置されるが、

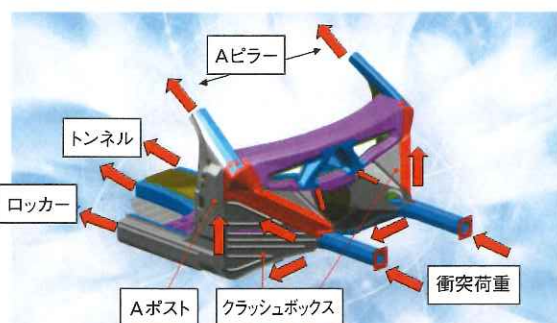
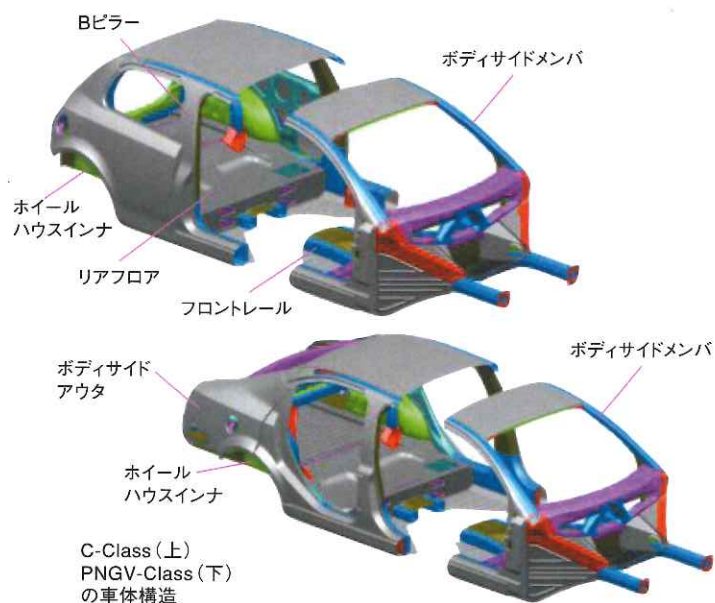
ULSAB-AVCではフロントレールより下にあるサブフレーム上に、後方に倒して設置された。これにより、歩行者がフードに衝突してもフー



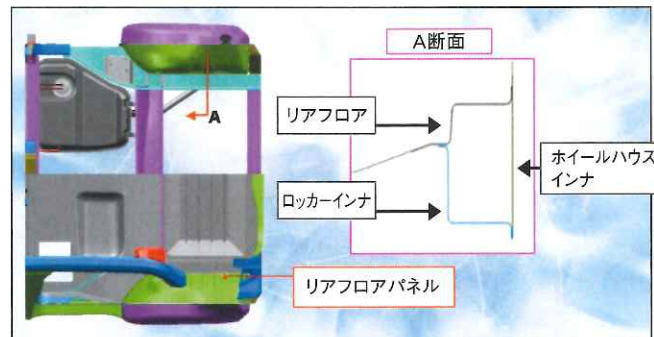
フード下のエンジンなどの配置

ドから離れた位置に硬いエンジンがあることから安全性が高い上に、製造時に取り付けが容易なこと、音響振動特性に優れることなどの効果が期待される。衝突安全性能の評価の視点では、エンジンは前面衝突時に車体中央のトンネル部分に入り込み、客室の足元空間への侵入が最小の水準に抑えられる。

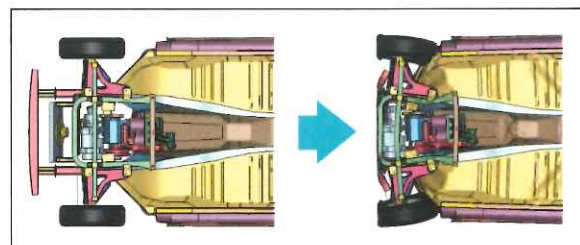
衝突安全性能の総合評価は、米国NCAP、米国SINCAP、欧州NCAPにおいて目標どおり4～5つ星の評価を獲得できると予想される。また、CO₂排出量では目標の140g/kmに対し、C-Classで105g/km、PNGV-Classで108g/km（いずれもガソリン車の場合）を達成し、目標の3/4程度の排出量に抑えることができた。軽量化では、ベンチマーク車に比べC-Classで19%、PNGV-Classで32%の重量低減を達成した。こうして ULSAB-AVCプロジェクトは、2002年7月に成果報告を終え、完了した。



前面衝突の荷重をクラッシュボックスで受け、車体後方に分散するフロントエンド構造



パネルの組み合わせによる骨格構造 (C-Classリアサイドメンバ)



米国NCAP前面衝突でのC-Classの変形状況、エンジンは車体中央に潜り込む(右図)



■ULSABプロジェクト及びULSAB-AVCプロジェクトの衝突安全基準

	ULSAB	ULSAB-AVC
フルラップ前面衝突	US-NCAP 35MPH	US-NCAP 35MPH
前面オフセット衝突	AMS 55km/h 剛体壁 15°傾斜, 50%オフセット	Euro-NCAP 64km/h デフォーマブルバリア 0°, 40%オフセット
側面衝突	European Side Impact 55km/h 90°, 950kg	US-SINCAP 38.5MPH 63°, 1370kg
剛体ボール衝突	なし	側面ボール衝突 32km/h, Φ10" Pole
後方衝突	FMVSS301 準拠 35MPH, 1814kg	FMVSS301 準拠 35MPH, 1814kg
ロールオーバー (横転時)	FMVSS216 車種の1.5倍/5000lbs	FMVSS216 準拠 車種の2.5倍

1MPH=1.6km/h, 1lb=0.45kg

US-NCAP、US-SINCAP、Euro-NCAP、AMS、FMVSS：欧米の自動車衝突安全基準の略称

FMVSS216：車両無積載重量の1.5倍または5000lbsのいずれか小さい方の力をルーフに加え、ルーフのへこみを測定するルーフ衝撃性能試験



大型車との衝突を考慮した安全対策を取り入れた「イスト」(写真提供: トヨタ自動車(株))



側面衝突対策のため後部ドア内部に高張力鋼管を組み合わせた「RX-8」(写真提供: マツダ(株))



さまざまな事故形態に対応する最近の自動車技術

最近では衝突安全技術の研究開発が進み、車体前後の衝撃吸収構造と客室の高剛性化は、ほとんどの量産車に備わりつつある。これに加え自動車各社が独自の提案を行っており、さまざまな衝突での事故形態を想定した対応技術を発表している。

例えば、歩行者が車体前方に衝突した場合を想定し、本田技研工業は、脚部にかかる衝撃を和らげるために、フロントバンパー

やラジエータ部分の衝撃吸収構造を開発している。またULSAB-AVCに見られたようにボンネットフードとエンジンの間に空間を設けたり、フードやワイパーの取り付け部分が陥没して衝撃を吸収できる構造を取り入れている。歩行者保護対策は、今後さらに数多く導入されることが見込まれ、例えば歩行者への衝撃力を緩和する歩行者用エアバッグなどの登場も予想される。

ミニバンのような小型車と大型車とが衝突した場合には、コンパチビリティ(共生性)という考え方がある。これは、どちらの車の乗員も安全性が確保できるような構造を目指すものである。自動車の死亡事故の過半数が車両

同士の衝突によるもので、特に前面衝突による死亡者の約75%が車両重量の軽い車で発生している。小型車のトヨタ「イスト」では、ドアウインドウ下端部分に補強材を装着し、大型車と前面衝突したときの客室の変形を防ぐ構造を採用している。さらにサイドメンバの高さの違いから、車体が潜りこんだりせずに衝撃を吸収できるように、大型のバンパ補強材を取り付けるなどの技術を取り入れている。

2003年1月に、米国・デトロイトで北米自動車ショーが開催された。ここで発表された新型スポーツカーのマツダ「RX-8」は、観音開きの4ドアボディが採用されていた。この形式は、乗降性を向上させるため、センターピラーがないのが特徴である。しかし、車体側面の開口部が大きくなるという欠点を補う必要があり、これまでにない側面衝突対策が施されている点が注目された。後部ドア内部に高張力鋼管を組み合わせた補強部材「ビルトインセンターピラー」を設け、ドアを閉めたときは、この部材上下端を強固なドアラッチによって車体側と結合するという構造を採用した。これによりセンターピラーがある車体と同等以上の側面衝突性能を実現している。車体のサイドパネル補強材には、5種類の鋼板を組み合わせたテラードブランク材が使用され、3種類の鋼板を組み合わせたテラードブランク材のインナパネルと組み合わせることで、客室の剛性を確保している。

消費者にとって、走行性やデザインが自動車の大きな魅力であることは言うまでもないが、基本的な安全性能が確保されていなければ十分に実用性があるとはいえない。安全性能を支える車体構造やそれを構成する鉄鋼材料の技術は、今後新しい世代の自動車が次々に登場しても、重要な役割を果たしていくことに変わりはない。

●取材協力: ULSAB日本委員会



歩行者保護の衝突試験の連続写真(上から下へ)。最初にダミーの足がフロントバンパー部分に当たり、足がすくわれた後、頭部がフード部分に衝突する(写真提供: 本田技研工業(株))