ULSAB-AVC の開発の経緯と成果*

栗山 幸久**, 山崎 一正**, 橋本 浩二**, 大橋 浩**

栗山 幸久

山崎 一正

橋本 浩二

大橋 浩

Progress in ULSAB-AVC Project*

by KURIYAMA Yukihisa**, YAMAZAKI Kazumasa**, HASHIMOTO Koji**, OHASHI Hiroshi**

キーワード

自動車, 軽量化, 衝突安全, 高張力鋼板, レーザ溶接, テーラードブランク, ハイドロフォーミング

1. まえがき

地球環境問題は、海水面の上昇・異常気象などから温暖化が認識されつつあり、CO₂総排出量の2割ほどを占める自動車において、CO₂排出削減ないし燃費向上の法制化が進んでいる¹⁾。このようなCO₂排出削減にはエンジンの改良・ハイブリッド化などと併せて軽量化が大きな鍵である。

一方、交通事故による死傷者は、種々の安全対策により改善されて来ているが、2001年の死傷者は119万人を数えている²⁾。このような衝突安全性に関しては、正面衝突・側面衝突などの対応が取られてきたが、電柱などへの衝突対応も含め衝突規制は益々厳しくなっている。このような衝突安全性を確保しながら自動車を軽量化することが課題である。

鉄鋼材料は、リサイクルが確立しており環境負荷も小さいこと³⁾、歪速度依存性が高いため成形時には軟らかく衝突時には十分な強度が得られること⁴⁾から環境と衝突安全の両立に好適な材料と考えられる。世界の鉄鋼素材供給メーカはこのような考えに基づき ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) プロジェクト^{5, 6)}を初めとし、鉄鋼による一連の自動車軽量化プロジェクト^{7, 8)}を推進して来た。更にこれらに引き続き次世代の鋼製自動車の提案を行うべく ULSAB-AVC (Advanced Vehicle Concept) プロジェ

クト^{9, 10)}に取り組んできた。ULSAB-AVC は2004年実車化を想定し、新しい鉄鋼材料・加工法を大胆に採り入れた提案を行っており、今後このプロジェクトの成果が具現化されて行く中で、接合技術の面においても改善がなされる筈であり、自動車軽量化に向けた課題抽出の観点からも本プロジェクトの内容を理解頂くことは重要と考え、以下に ULSAB-AVC プロジェクトの経緯と成果概要を報告する。

2. ULSAB 関連プロジェクト

ULSAB は IISI (国際鉄鋼協会) が中心となり、18カ国35の鉄鋼会社が共同で、1994年から1998年にかけて、車体性能・衝突安全性を確保し、しかもコスト増なしで25%軽量の鋼製車体が可能であることを実証したプロジェクトである。ULSAB は車体の設計・試作を対象とした(図1)が、外板、および、サスペンションについても鋼による軽量化提案を行うべく ULSAC (Ultra Light Steel

図1 ULSAB 車体軽量化プロジェクト

*原稿受付 平成14年9月6日

** 新日本製鐵(株) Nippon Steel Corporation

図2 ULSAB-AVC 車体・外板・サスペンション・エンジンなどの総合軽量化プロジェクト

Auto Closure) および ULSAS (Ultra Light Steel Auto Suspension) の両プロジェクトを1997年から2000年にかけて推進して来た。

ULSAB は、斬新な車体構造とハイドロフォーム・テーラードブランク・レーザ接合などの生産技術を活用し、高張力鋼板の大幅な採用により25%の軽量化を達成できた。

ULSAB は、ハイドロフォーム部品によるフレーム構造、内板形状の最適化、高張力鋼板の適用により、25%～30%の軽量化設計を達成し、ドアを試作し実証した。

ULSAS は代表的なサスペンション形式について検討を行い、機構解析に基づく構造最適化、最適な材料選定により、アルミニウム製マルチリンクサスペンションに対してはほぼ重量増加なしで20%のコスト低減、その他の鋼製サスペンションに対してはほぼコスト増なしで20～30%軽量化を達成できた。

更なる環境問題・衝突安全の要求に応えるべく、自動車全体で総合的な検討を行い(図2)先進的な鉄鋼材料の活用により達成しようとする ULSAB の次世代プロジェクト ULSAB-AVC を1999年に開始し、上記の要求を満足しつつ、車全体で約20～30%の軽量化を達成した。

3. ULSAB-AVC プロジェクト

3.1 ULSAB-AVC の目標

ULSAB-AVC プロジェクトは鉄鋼材料の活用により車全体で環境適合性・安全性・経済性を確保しようとするものであり、2004年実車化を前提としたCクラス(1500ccクラス)とPNGVクラス(2500ccクラス)の自動車の設計を行うものである。図3に各々の外観を示す。

1999年モデルの車を調査し、これらに対し車両全体で20～30%軽量化することを目標とした。剛性関連の目標は、比較車の平均的な性能を上回るべく、振り・曲げの静的剛性、振り・曲げの1次の固有振動数の目標値を決定した。また、衝突安全に関しては、ULSABの当時よりも、ますます厳格化する安全基準に対応すべく、柱への側面衝突を含め2004年に想定される衝突安全テスト(NCAP: New Car Assessment Program)で4つ星から最高の等級である5つ星の高い評価を得ることを目標とした。

ULSAB-AVC での、もう一つの大きな目標は環境問題へ

図3 Cクラス3ドアおよびPNGVクラスセダンのスタイリング

の対応である。欧州のEUCARでは車種平均のCO₂排出目標を2008年に140g/kmと定めており、この平均値をULSAB-AVCの車の目標値とし、CO₂排出≤140g/kmを目標に設定した。

3.2 ULSAB-AVCの特徴

ULSABでは骨格材は成形性の問題もあり440MPa材が中心であったが、日本では成形性・衝突安全性に優れた590MPa以上の材料が既に適用されており、さらに成形性・強度を兼ね備えた先進的高張力鋼板の開発も進んでいる。また、ULSABが完了した1998年当時は、日本ではテーラードブランクの適用も限定的であり、ハイドロフォームは量産に用いられていなかったが、現在では1台で12部品にテーラードブランクを適用している車もあり、ハイドロフォームの量産適用もシャシー部品を中心に進展している。

ULSAB-AVCでは、このような技術の進展を踏まえ2004年に適用可能な先進的な高張力鋼板、また、量産適用が進み技術の進歩が著しいテーラードブランク、ハイドロフォーム、レーザ溶接といった成形・溶接技術との組合せにより、構造強度・衝突安全性に優れた軽量の自動車の提案を行った。

3.3 ULSAB-AVC の材料

ULSABでは、YP≥280MPa材を64%と高張力鋼板を多用して衝突安全と軽量化の両立を達成した。ULSAB-AVCでは、高強度で成形性の優れた鋼材の開発・実用化が進んでいることを受け、ほぼ100%高張力鋼板を採用すると共に、強度レベルを更に高強度化して厳格化する衝突安全性への対応と軽量化を両立させた。例えば、主要骨格部材はULSABでは抗張力(TS)340～440MPa材であったが、ULSAB-AVCではTS800～1000MPa材と高強度化している。

鉄鋼材料は、実衝突速度では準静的な変形時に比べ変形抵抗が上昇し、衝突時に有利に働く。先進的高張力鋼板は成形性と強度を兼ね備えているのみならず、衝突時

の高速変形特性も優れている。メンバーの主要鉄鋼会社では、開発した高張力鋼板について、1000/sまでの高速変形特性のデータを収集し解析に役立てている。ULSAB-AVCではこれらのデータを用い、材料の高速変形特性を考慮したFEM解析を行い、より精度の高い衝突解析を行っている。

3.4 ULSAB-AVCの加工技術

ULSAB-AVCでは、ULSAB同様テラードブランク、ハイドロフォーム、レーザ溶接を重点的に使用することにより、構造強度と軽量化を両立させている。

テラードブランクは、ULSABでは車体の45%、16部品に適用したが、ULSAB-AVCでもボディサイドアウトの5枚結合のテラードブランクを初めとし、リアレール、ホイールハウスインナ、リアフロアなど11部品、重量比で38%に適用している。テラードチューブのフロントレールも入れれば13部品で車体の46%となる。また、自動車全体で見るとドアインナー、サスペンションのアームなどにもテラードブランクを採用しており、合計でCクラスでは21部品、PNGVクラスでは23部品のテラードブランクを採用している。

ハイドロフォームは、ULSAB-AVCでもULSABと同じく車体側面に適用しているが、加工技術の進歩および加工性の良いDP鋼（YS500MPa/TS800MPa）の適用によりULSABでは不可能であったAピラーまで含めた一体成形部品（ボディサイドメンバ）が可能となった。また衝突特性を確保し軽量化すべく板厚の異なる素管を一体化したテラードチューブを用いたハイドロフォーム加工をフロントレールに採用した。

更に、リアサスペンションのトレーリングアームにもテラードチューブハイドロフォームを適用し剛性を確保しつつ軽量化した。また、ULSACで提案したハイドロ

フォーム部品を活用したフレーム構造ドアを適用し、更にシート構造材にもハイドロフォームを適用するなどULSABに比べチューブハイドロフォームの適用が増大している。シートハイドロフォームもドアアウトおよびルーフに適用し、加工硬化によるデント特性向上、良形状化による張り剛性向上などにより軽量化できた。

接合技術についても、ULSABと同様の考え方で基本構造はレーザ溶接により強度を確保し、スポット溶接は小物部品の取り付けを中心とし、アーク溶接の使用は最小限に抑えた。そのため、組立のレーザ溶接長は100m程度と長く、スポット溶接は700~800点程度に減少している。前述のチューブハイドロフォームでは閉じ断面になるため片側からの溶接が必須であり、レーザ溶接の適用が拡大した一因である。またドアアウトなどに接着を1.6m適用した。

テラードブランクおよび組立にレーザ溶接を大幅に適用することにより、軽量かつ剛性・強度を満足することができた。

980MPa鋼板を用いたテラードブランクパネル、薄肉テラード鋼管によるハイドロフォーム、スプリングバックの大きい高張力鋼板材の組立へのレーザ溶接の適用など製造技術に関しては、今後解決して行かなくてはならない加工技術上の課題はあるものの、高張力鋼板とこれらの最新の加工技術により次世代の自動車が可能になると考えられる。

3.5 ULSAB-AVCの構造

ULSAB-AVCのボディ構造を図7に示す。ULSAB-AVCではPNGVクラスとCクラスを製造する前提であるため図の分割部より前のフロント構造を共通化しコスト低減を図った。ULSAB同様ユニボディ構造ではあるが、フロントレール、ボディサイドメンバなど荷重伝達経路にハイドロフォーム加工されたフレーム部品を配したハイブリッド構造である。

特にフロントレールはフロアを通り後部座席のキックアップクロスメンバに結合されている。また、客室前面

図4 ハイドロフォーム部品（ボディサイドメンバ）

図5 テラードチューブ ハイドロフォーム部品

図6 レーザ溶接適用例

図7 ULSAB-AVCの構造（Cクラス左とPNGVクラス右）

にピラミッド状の構造体を設け、これによりフロントレールからの衝突荷重を4方向に分散させている。この上外側の荷重は、一体成形されたボディサイドメンバにより後部のリアメンバまで伝達される。衝突強度を確保しながら軽量化するため ULSAB-AVC では部品の組合せにより図8に示すようにフレーム構造を実現している。

このような乗員保護の観点からの衝突安全対策に加え、ULSAB-AVC では歩行者保護の対策も講じた。図9に示すようにエンジンを小型化し後に倒して搭載するとともに、サスペンションもリーフスプリングを用いた特異なダブルウィッシュボーンを採用することにより硬い構造体を全てフロントレールより下に配置することができ、フード下の空間を確保した。またフードは開かない構造としヒンジなどの硬い部分をなくし、歩行者への衝撃を低減することができた。

3.6 ULSAB-AVC におけるその他の軽量化提案

ULSAB-AVC は車全体での軽量化を検討したものであり、これまで述べてきた、車体骨格、サスペンション、

図8 パネルの組合せによるフレーム構造

図9 フード下のエンジンなどの配置

図10 背の低いフロントサスペンション（ダブルウィッシュボーン）

外板での軽量化に加え、エンジンの小型化、シート構造の車体骨格構造兼用化、CAN-Bus の採用によるハーネス類の軽量化などを行い総合的に車の軽量化を図った。足回りも、ホイールにテラードブランクを採用することにより大幅な軽量化を達成した。また、電気油圧式ブレーキの採用も提案している。これらにより図11に示すように車両全体での軽量化を達成した。

3.7 ULSAB-AVCの製造コスト

ULSAB-AVC では、ULSAB と同様に原型が MIT で開発されたコストモデルにより、製造コストを算定した。ULSAB と異なるのは車体だけでなく車全体での検討となるためタイヤなどの購入品も多く含まれるため、これらの購入品価格の見積もりも含めての検討を行った。コスト算定の前提は ULSAB と同様年間生産量 225,000 台とし、必要な生産設備を建屋含め新設し、材料購入から製造にかかる費用、金利などを算定し、購入品と合わせて総コストを算定するものである。

表1に ULSAB-AVC の車体の製造コストを、ULSAB および ULSAB の比較車と対比して示す。ULSAB では、ULSAB の比較車と比べ、部品点数も削減され、コストも低減された。ULSAB-AVC では、ULSAB に比べ厳しい衝突安全基準を満足しなければならないため重量が増加しているが、成形性に優れた先進的な高張力鋼板の適用、構造上の工夫により、主要な部品点数を減らすことが出来ており、ULSAB よりコストが高くなるものの、ULSAB 比較車と同等の製造コストで衝突安全性に優れかつ軽量化を達成することが可能なことを示せた。

ULSAB では上述のようにコストの比較を行うため従来技術で製造する平均的な仮想の車体を設計し、その製造

図11 部位毎の重量・軽量化（Cクラス）

表1 車体の製造コスト・部品点数の比較

	ULSAB-AVC	ULSAB	ULSAB 比較車
材料費	\$423	\$375	\$328
加工費	\$213	\$250	\$282
購入品	\$44	\$41	\$41
組立費	\$291	\$281	\$328
製造コスト計	\$972	\$947	\$979
主要部品数	81	96	136
BIW 重量	218kg	203kg	270kg

表2 ULSAB-AVCの重量・性能

		Cクラス		PNGVクラス		PNGV と Cクラスで フロント構造共通化
		ガソリン車	ディーゼル車	ガソリン車	ディーゼル車	
寸法	全長/全高/全幅	4179 / 1765 / 1455		4744 / 1765 / 1455		
燃費	燃費(L/100km)*	4.4	3.2	4.5	3.4	*欧州燃費モード
	CO ₂ (g/km)	105	86	108	92	目標≤140g/km
	燃費 (km/L)	22.5	31.0	22.1	29.0	
重量	車両重量(kg)	933	966	998	1031	ベンチマーク車に対し Cクラス▲19% PNGVクラス▲32%
	ベンチマーク	1147		1470		
	ボディ重量(kg)	202	202	218	218	
	ベンチマーク	243		263		
安全 性能	米国前面衝突	4-5★		5★		
	米国側面衝突	5★		5★		
	欧州ポール側突	5★		5★		
製造コスト		\$9,190	\$9,890	\$9,538	\$10,238	PES のコストモデル

図12 ULSAB-AVC の製造コストと現行車の販売価格

コストとの比較を行った。ULSAB-AVC は、車全体での軽量化を検討したものであるため製造コストも車全体で算定したが、比較参照とする仮想的車を詳細部品まで含め車全体を設計することは困難であること、また、車全体のコストは販売価格から推し量ることができるため、ULSAB-AVC プロジェクトでは ULSAB-AVC の算定製造コストと、現在の車の販売価格とを比較することにした。図12に ULSAB-AVC の製造コストと現行車の販売価格との比較を示す。

図12・表2に示すように PNGV クラスは、現行車に比べ十分に低い製造コストが達成できた。またCクラスの製造コストは、現行車がCO₂排出の改善のために製造コストが上昇することを考慮すると、これに対しコスト上昇なしで衝突安全とCO₂の排出低減を満足する解が提供できると考えられる。

3.8 ULSAB-AVC の成果

上述したようにULSAB-AVC では、2004年に適用可能な強度と成形性を兼ね備えた先進的な高張力鋼板、また、量産適用が進み技術の進歩が著しいテーラードブランク、ハイドロフォーム、レーザ溶接といった成形・溶接技術との組合せにより、構造強度・衝突安全性に優れた軽量な自動車の提案を行った。

その結果、CO₂排出は目標である140 g/kmの2/3程度の排出に抑えることができた。衝突安全も2004年に予想される厳格な衝突安全テストで4★から最高の5★の評

価を達成することができた¹⁰⁾。軽量化は車両全体でベンチマーク車に比べCクラスで19%、PNGVクラスで32%の重量低減を達成した。車体の重量はPNGVクラスでULSABより15kg重い218kgであるが、厳格な衝突安全基準を満足しながらベンチマーク車より45kg軽い大幅な軽量化が達成できた。

4. ま と め

地球環境問題は、COP3 京都議定書が2002年に批准される見通しであり、CO₂削減に向けて全世界的な取組みが具体化しつつあり、自動車もその対応を求められている。これに呼応して鉄鋼会社が共同で推進して来た ULSAB 関連プロジェクトを統合した車全体での次世代の環境・安全対応の ULSAB-AVC プロジェクトは、19%～32%の軽量化設計をレーザ溶接などの加工技術と先進の鉄鋼材料により達成した。強度の高い高張力鋼板の成形・溶接などの製造技術については今後更なる検討が必要な部分もあるが、鉄鋼材料はリサイクルのシステムも整備され環境負荷も小さいことから、鉄鋼材料による軽量化は、自動車ひいては社会への貢献が大きいものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 湊：自動車技術，53-9 (1999) 58-64
- 2) 石川：自動車研究，24-5 (2002) 153
- 3) 高松，大橋：自技会材料フォーラム (2001) 7-15
- 4) Uenishi et al.: IBEC'96 Automotive Body Interior & Safety Systems 89-94
- 5) 滝田，栗山，橋本：自技会材料フォーラム (1998) 1-9
- 6) R. Koehr：自技会 材料フォーラム (1998) 10-21
- 7) 橋本，栗山，滝田：自技会材料フォーラム (1999) 5-10
- 8) 福井，小松原：自技会材料フォーラム (2000) 12-16
- 9) 栗山，橋本，大橋，滝田：自技会材料フォーラム (2000) 17-23
- 10) 栗山，山崎，橋本，大橋：自技会材料フォーラム (2002) 16-21
- 11) 岩谷：溶接学会誌 71-8 (2002)