

超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の開発

福尾 幸一・藤村 章・斉藤 政昭・角田 和彦・瀧口 士郎

(株) 本田技術研究所

321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢 4630

Development of the Ultra-Low-Fuel-Consumption Hybrid Car – INSIGHT

Koichi FUKUO, Akira FUJIMURA, Masaaki SAITO,

Kazuhiko TSUNODA and Shiro TAKIGUCHI

HONDA R&D Co., Ltd.

4630 Shimotakanezawa, Haga-machi, Haga-gun, Tochigi 321-3393

For the global environment preservation, the model has been developed with the objective of reducing CO₂ in the exhaust, in other words, sparing on fuel, to 1/2 of Honda's typical low-fuel-consumption car CIVIC. A variety of new technologies have been developed on the basis of new scheme of hybrid power train, e.g. relating to improvement in thermal efficiency for engine, weight reduction for vehicle body and reduction of aerodynamic drag, resulting in extreme fuel economy of 35km/L at 10-15 mode. Also, the exhaust emission attains as low as 1/2 of 2000 Japanese exhaust emission regulation. Additionally, due consideration was given to its recycling capability, safety performance in crash, comfortable running and the styling to be highly sophisticated ultra-low-fuel-consumption hybrid car.

Key words: hybrid, fuel consumption, low emission, aluminum body

1. はじめに

環境問題への対応として、自動車の低燃費化および排気エミッション低減に対する要求はますます強まってきた。

ホンダではすでに VTEC (Variable valve timing and lift electronic control system) [1], メタルハニカム触媒 [2] と始動後急速暖機システム [3] などの技術により、平成 12 年規制値の 1/2 という低エミッションレベルを達成した量産車を世の中に送り出しているが、このたび環境対応のもう一つの大きなテーマである CO₂ の削減。すなわち低燃費化に対して従来にない高い目標を掲げて取り組んだ。

そのためにパワートレインとしてハイブリッドシステムの新しい概念を生み出し、エンジン本体の効率向上、車体の軽量化と空力抵抗低減など多くの新技術を開発することによって、10・15 モードにおいて 35km/L という低燃費性能を実現したので報告する。

2. 開発の目標とコンセプト

今回の開発の目的は低燃費化の追求であり、ホンダの代表的低燃費車である CIVIC のさらに 1/2 という、世界で最高の低燃費性能を目標として設定した。

その際に、ややもすると低燃費化のために犠牲にされがちな排気性能についても、すでに他の量産車で達成している低エミッション性能を確保することとした。

また排気エミッション、CO₂ と並んで重要な環境対応課題であるリサイクル性にも配慮し、衝突安全性能、および車両としての基本的特性である走りやスタイリングにも十分な配慮をした。

以上をまとめると、今回の開発のコンセプトは次のようになる。

- ・世界最高の低燃費性能
- ・排出ガスクリーン性能
- ・優れたリサイクル性
- ・世界最高水準の衝突安全性能
- ・先進のスタイリング

- ・実用的で軽快な走り
- ・2シーターパーソナルユーティリティ空間

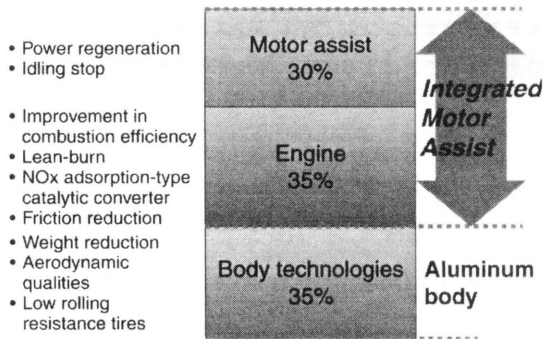
3. 低燃費化の方針

目標として設定した低燃費化の方針を決定するために、ベース車である 1.5L エンジン搭載の CIVIC の走行エネルギー消費についての詳細な分析を行い、各種のシステムについて検討を行った。その結果、低燃費化を含む前述の多くの目標を達成するには Fig.1 に示すように、

- ・エンジン自体の熱効率の向上
- ・ハイブリッドパワートレインによる制動エネルギーの回収とアイドルストップ
- ・軽量化、および空力抵抗、転がり抵抗低減などの車体技術

で約 1/3 ずつを分担する必要があることが分かった。

Fig. 1 Rate of contribution to achieve an improvement in fuel economy (10-15 mode)

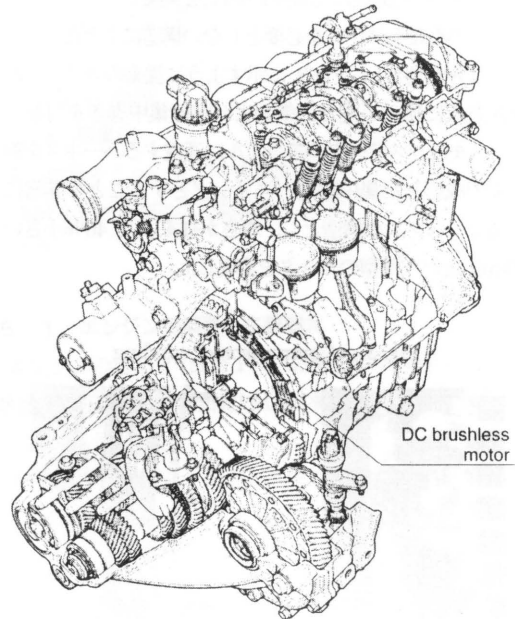
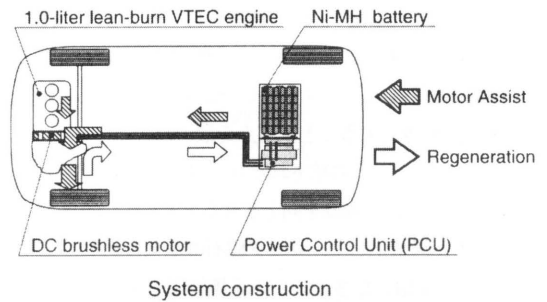


4. ハイブリッドパワートレイン

4. 1. システム構成

駆動システムは Fig.2 に示すように主動力源をエンジンとし、加速力が必要な時にモータを補助動力源として使用するハイブリッドシステムとして、IMA (Integrated Motor Assist) システムと称した。エンジンとミッションの間に DC ブラシレスモータを配置したパラレルハイブリッド方式を採用し、モータを補助動力源としてのみ使用しているためシステム全体がシンプルになり、モータ、バッテリー、PCU (Power Control Unit) の小型・軽量化が可能となった。

Fig. 2 IMA (Integrated Motor Assist) system



Engine, motor, and transmission (5-speed manual transmission)

加速時にはアクセル開度、エンジン、バッテリーなどの状態から補助駆動（以下、アシスト）量を演算し、PCU でバッテリーからの電流量を制御してモータを駆動する。また減速時にはブレーキ踏力と車速に応じた回生制動（発電による車両の運動エネルギーの回収）を行ない、ニッケル水素バッテリーに充電する。

4. 2. モータアシスト機構

IMA システムのモータアシスト機能を加速時のアシストと減速時の回生に限定して、次の2点を図った。

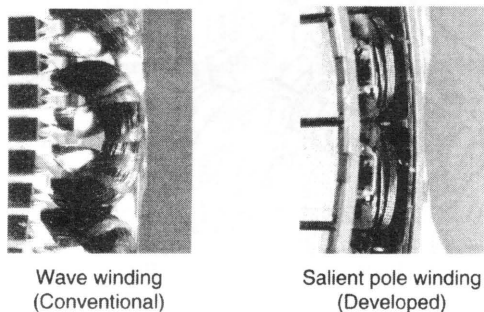
- ・シンプルで小型な構造
- ・車両重量の 10%以下のシステム重量

4. 2. 1. 薄型 DC ブラシレスモータ

アシストとエネルギー回生の機能を持つモータは、最大 10kW の出力を持つ、高効率、小型軽量の永久磁石型三相同期電動機である。パワートレーンを小型化するため、モータの幅を薄くすることに重点を置いた。

クランクシャフトに直結されたロータは、ロストワークス精密鋳造を用いて強度を向上させるとともに、鍛造品に対し約 20%軽量化した。ロータ磁石は電気自動車の EV PLUS でも採用したネオジウム系焼結磁石をさらに改良し、約 8%の性能向上と耐熱性向上を実現した。その結果、モータの冷却システムを必要としない構造にできた。ステータは分割型とし、Fig.3 に示すように従来のコイルの波巻き方式に比べ小型で効率のよい突極集中巻きを可能にした。また、ステータの各コイルに通電するハーネスを銅の板で成形した集中配電バスリングとすることで非常に小型でシンプルな構造とし、厚さが従来より 40%小さい 60mm という薄型のモータを実現した。

Fig. 3 Comparison of winding



4. 2. 2. ニッケル水素 (Ni-MH) バッテリ

モータアシスト用のバッテリーには、充電状態によらず出力特性が安定していて耐久性にも優れるという特徴を有し、EV PLUS でも実績のあるニッケル水素バッテリーを採用して、形状を角型から円筒形とすることで小型・軽量化した。このバッテリーパックは単一サイズのセル 6 個を直列に接続して 1 モジュールとし、このモジュールを格子状に 20 本並べて一体化した構造である。1.2V のセル 120 個を直列接続しており、バッテリーパックの総電圧は 144V である。

4. 2. 3. パワーコントロールユニット (PCU)

モータのアシスト/回生や 12 ボルト電源への供給を精

密にコントロールする PCU は、冷却機能を内蔵型とすることで軽量化と高効率化を図った。冷却システムを一体化し、効率の高い冷却フィンとマグネシウム製のヒートシンクケースを採用することで大幅に軽量化した。

PCU の中で最も重要なモータ駆動用のインバータについては、EV PLUS では三相交流を発生させるためのスイッチング素子が別体となっていたものを一つのモジュールにし、駆動回路を IC 化することで小型化した。この効果で大幅な軽量化と共に電力変換効率が向上し、さらに位相コントロールを行い常に効率よくモータを駆動することにより、発熱量を低減し、冷却システムを軽量でシンプルな空冷とすることができた。

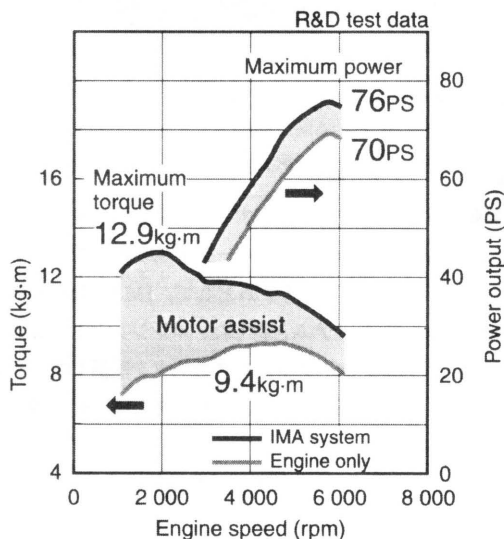
4. 3. 減速エネルギー回収

回生制動によるエネルギー回収量を増加させることにより、加速に使用できる電気エネルギーを増加することが可能となり、燃料消費量を削減できる。走行抵抗およびエンジンブレーキによる抵抗を削減することは回生エネルギーを増大させるのに有効で、特にエンジンの排気量を小さくすることは重要な要素である。さらに IMA システムではエンジンおよびトランスミッションの仕様を最適化することにより減速エネルギーの回収量増大を図った。

4. 4. エンジンの小排気量化

上で述べたようにエンジンの排気量を小さくすること

Fig. 4 Output performance of IMA system



はハイブリットシステムで燃費を向上する最も重要な要素であるが、車両としての動力性能を損なう要因にもなりうる。IMA システムでは、低回転域ではトルクが大きいことが特徴であるモータでアシストし、高回転域では VTEC エンジンの特徴をいかすシステムとすることで、Fig.4 に示すように十分な動力性能を確保し、1.0L という小排気量のエンジンの採用を可能とした。

4. 5. エンジンの希薄燃焼化

スロットル開度に対応したモータアシストでリニアなトルク特性とすることによりドライバビリティを向上させるとともに、エンジンにとって高負荷となる加速時にもモータアシストすることにより希薄燃焼領域を広げ、効果的に燃料消費量を削減することができた。

4. 6. アイドリング停止システム

車両停止時にエンジンを停止することは燃料の浪費を抑制する有効な手段である。モータでエンジンを 600rpm 以上にクランキングしてファイアリングを行なうことにより、始動時の燃料量を多くすることなく始動することが可能となり、燃料消費量を削減することができた。

ホンダマルチマチック (CVT) 車でのアイドリング停止を可能にするために、油圧応答性を高めたアクチュエータおよび油路の採用で再始動時の応答性を高め、電子制

御式発進クラッチを高精度に制御することにより、アイドリング停止・発進制御を可能にした。

またマニュアルトランスミッション車においても、ニュートラルスイッチおよびクラッチペダルスイッチを新設し、車両走行状態と運転操作状態とを合わせて総合判定することにより、アイドリング停止制御を可能にした。

5. エンジン

次の三点に主眼をおいてエンジン開発を行い、車両としての低燃費化を図った。

- ・燃焼の改良
- ・機械損失の低減
- ・小型・軽量化

また排気エミッションの目標値は

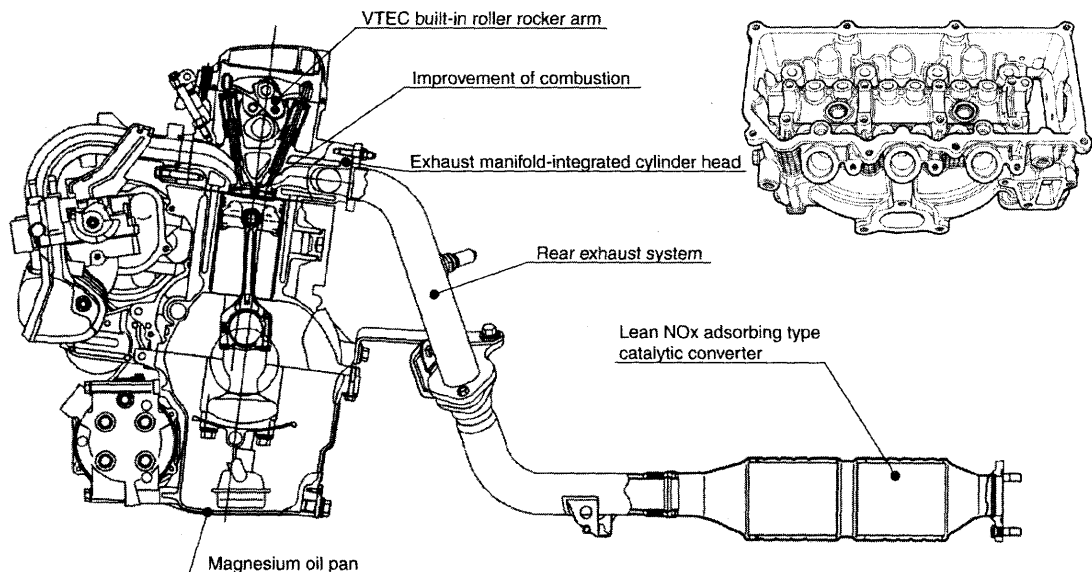
- ・平成 12 年国内排ガス規制値の 1/2 とした。

5. 1. エンジンの概要と主要諸元

エンジンの諸元を Table 1 に、主要技術を Fig.5 に示す。燃焼室の S/V 比と機械損失低減の観点から 3 気筒を選定した。

燃焼室のコンパクト化とピストンの機械損失のバランスからストローク/ボア比 1.13 のロングストローク仕様

Fig. 5 Main technologies of the engine



を選定した。広い運転域での低燃費と低排気エミッションを両立させるためにバルブ休止VTEC機構での吸気スワールによる希薄燃焼方式を選定し、かつ出力も確保した。

Table 1 Engine specification

Engine type	Water-cooled gasoline engine	
Cylinder layout	In-line 3-cylinder	
Bore × stroke (mm)	ø72 × 81.5	
Displacement (cm ³)	995	
Compression ratio	10.8	
Valve train	SOHC VTEC 4 valves per cylinder	
Cam shaft drive train	Chain drive	
Maximum power (kW/rpm)	51/5700	
Maximum torque (N·m/rpm)	92/4800	

5. 2. 燃焼の改良

本エンジンの特徴は希薄燃焼技術で燃焼を大幅に改良させたことである。シリンダ内の混合気乱れとスワールをより強化する新スワールポート、および図示熱効率を向上させるコンパクトな燃焼室と高圧縮比を採用した。その結果、従来の希薄燃焼に比べて大幅に燃焼時間が短くなり、より希薄な領域での燃焼が可能となって燃料消費率が大幅に低減した。

この燃焼室は従来のVTEC希薄燃焼技術をベースに進化させたものである。従来のVTEC-Eでは吸気バルブの一つをほとんど休止させることでスワールを発生させているが、本エンジンでは、さらに吸気バルブと吸気ポートをより垂直方向に立て、シリンダ内に流れ込む混合気に強い渦を発生させている。

従来のVTECでは、インレットロッカアーム、エキゾーストロッカアームそれぞれが1本ずつのロッカシャフトに支持された構成としていたが、本開発のVTEC機構では、1本のロッカシャフトに統合することで大幅な小型化を実現し、バルブの挟み角を46°から30°まで狭くすることで強いスワールを発生するポート形状とコンパクトな燃焼室を可能とした。

5. 3. 機械損失の低減

燃焼の改良とともに、機械損失の低減も燃費性能の向上には重要である。フリクション低減技術として、

- ・ローラ同軸VTEC

- ・ピストンのマイクロディンプル処理
 - ・オフセットシリンダ構造
 - ・低張力ピストンリング
 - ・浸炭コンロッド
- などを採用している。

ローラ同軸VTEC構造はS2000で採用された技術[2]をシングルカムのVTEC機構に応用したもので、ロッカアームのカムシャフトとのしゅう動部にニードルベアリングを採用し、カムシャフトの駆動損失を約70%低減した。またVTECの切替ピストンをローラベアリングのインナシャフトに内蔵することで小型・軽量化している。

ピストンのマイクロディンプル処理はピストンスカート部に表面処理を施して微小なくぼみを作り出すもので、これによりシリンダとの間の油膜保持性能を高めてフリクションを約30%低減できた。

これらの技術によりエンジン全体として従来の1.0Lクラスのエンジンと比較して10%以上のフリクション低減を得た。

5. 4. 軽量化

本エンジンではほとんどの部品について構造および材料から見直し、1.0Lクラスとして世界最軽量のエンジンとすることを目標とした。

浸炭コンロッドはS2000でも採用されており、浸炭処理による強度向上がエンジンの高回転化に大きく寄与している。本エンジンではその高強度技術をスリム化設計に応用することにより、従来のコンロッドに比べ約30%軽量化した。

オイルパンはこれまで鉄板やアルミニウム合金製がほとんどであった。マグネシウム材は、従来は120°C以上でクリープ強度が大きく低下して高温になるエンジンオイルに対する耐熱性が不十分であったが、クリープ強度を150°Cまで向上させてオイルパンへの使用を可能にした。電蝕対策としてはアルミニウム製ワッシャを挟んでスチールボルト締結とした。重量はアルミニウム製に比べ約35%低減し、ほぼ比重の比率で軽量化された。

樹脂部品の適用拡大としては、インテークマニホールド、シリンダヘッドカバー、ウォータポンププーリーや吸入系部品を弾性樹脂材料製とした。

エンジン単体の乾燥重量は60kg以下で、1.0Lクラスでは世界最軽量である。

5. 5. 排ガス性能

高い熱効率を得つつ NOx を低減させるために、希薄燃焼と触媒機能を両立させる技術を適用した。

排気系をエンジンの後方に配置する後方排気システムを採用するとともに、エキゾーストマニホールド一体シリンダヘッドおよびリーンバーン対応 NOx 吸着型触媒を新たに開発した。

5. 5. 1. エキゾーストマニホールド一体シリンダヘッド

従来のシリンダヘッドでは排気ポートがシリンダごとに独立しており、その排気ポートを1本に集合するエキゾーストマニホールドがヘッドに取り付けられているが、本開発のヘッドでは Fig.5 に示すように排気ポートをヘッド内で1本に集合させる構造とし、大幅な軽量化を実現するとともに、その放熱面積を小さくすることで排ガスの熱損失を低減し触媒の早期活性化を可能にした。

5. 5. 2. NOx 吸着反応型三元触媒[4]

この触媒の特徴は NOx を触媒表面に吸着する機能を有することで、高温の耐久性にも優れている。希薄燃焼運転時には NOx 排出量は減少するものの、排ガス中に酸素が多く含まれているので通常の三元触媒では NOx はほとんど還元されない。それに対し本触媒では、希薄燃焼運転時に NOx を吸着し、吸着された NOx は理論空燃比での運転時に還元されて N₂ として排出される。この吸着型触媒により、希薄燃焼運転中の NOx 排出量が従来の三元触媒に比べ 1/10 に低減された。

従来の三元触媒では NOx 排出量を減らそうとすると希薄燃焼運転領域が限定されて燃費の悪化を招くが、吸着型触媒の採用で NOx を低減しながら希薄燃焼を維持し、燃費の悪化を防ぐことが可能となった。

これにより CO, HC, NOx とともに平成 12 年排ガス規制値の 1/2 レベルとすることができた。また本エンジンは米国カリフォルニア州の ULEV 規制にも対応可能であり、全世界の排気エミッション規制に適合している。

6. ボデー

目標とする低燃費性能を実現するとともに車両としての基本要件を満たし、かつ実用的なコストに抑えるために、次に示す開発目標を設定した。

- ・大幅な軽量化：CIVIC 3 ドアに比較しボデー単体で 50%低減
- ・高いボデー剛性
- ・最高水準の衝突安全性能
- ・設備投資および部品点数の削減

1990 年に開発されたアルミニウムボデーの NSX では、鋼構造で通常使われるモノコック構造をほぼそのままにして、アルミニウム化により約 40%の軽量化を達成した。しかしながらアルミニウム板材のプレス成形性、溶接性の制約等から生産タクト、部品点数、溶接点数が増加し、また金型投資が大きいために少量生産ではコストが高くなるのが課題であった。

一方、近年使われ始めたアルミニウムスペースフレーム構造は、モノコック構造に比べアルミニウムの特質をより広く活用しうるアルミニウム押し出し成形材を用いて軽量・高剛性化を実現しようとするもので、ボデーのアルミニウム化に対する一つの回答である。しかしながら綿密な検討の結果、スペースフレーム構造では外板パネルや各種機能部品取り付けのための締結部品等が必要となり、結果として目標コストを達成できないことが分かった。

6. 1. アルミニウムハイブリッドボデー構造

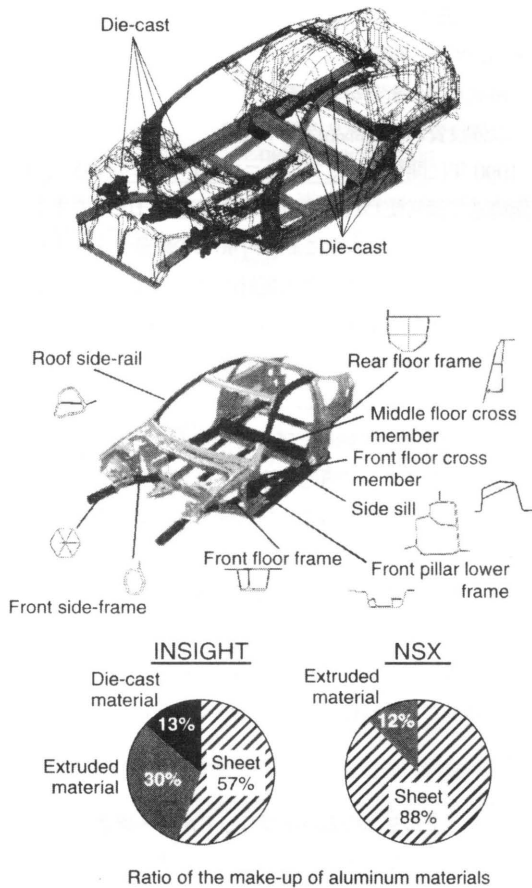
モノコック構造とスペースフレーム構造の両者の長所を組み合わせ、アルミニウムの特質を十分にいかし、プレス成形、押し出し成形、鋳造の三つの成形方法を最適に組み合わせて、剛性、衝突安全性能とともに低コストおよび生産性をも満足するアルミニウムハイブリッドボデー構造を開発した。その考え方は、

- ・複雑な断面形状の成形が可能な押し出し成形材の適用を拡大して、重量を低減しつつ十分な強度と剛性を確保し、
- ・鋳造部品を継手に採用して結合剛性の向上と部品取り付け等の機能を集約して、部品点数とコストを削減し、
- ・プレス部品の適用を減らして、製造コストを低減させる。

というものである。

アルミニウム材料の成形法別の適用部位と割合を Fig.6 に示す。同図のように骨格をストレートまたは曲率変化を極めて少なくスムーズに通し、機能集約した鋳造部材及び骨格同士の間接結合により高効率な結合とした。これによりサスペンションからの入力や衝突エネルギーを効率良く受け止め、荷重を骨格全体に分散させる構造としている。

Fig. 6 Aluminum hybrid body of INSIGHT



また押し出し材と鋳造部品の採用により、NSX のアルミニウムモノコックボデーに比べ部品点数で約 15%、溶接点数で約 24%を削減し、ホワイトボデー単体重量ではシビック 3 ドアに比較して約 47%軽量化した。

6. 2. ボデー剛性と衝突安全性能

6. 2. 1. ボデー剛性

アルミニウムは鋼に比べてヤング率が約 1/3 と低いため、押し出し成形材の断面を入力の大きい方向に厚く偏肉させて骨格部材の剛性を確保した。その押し出し材骨格を鋳造部品で十分な重ね代によって剛性高く結合し、軽量のアルミニウムボデーでも鋼構造ボデーと比べて剛性の高いボデーとすることができた。

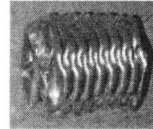
6. 2. 2. 衝突安全性能

サイドフレーム先端やリアフレームの衝突エネルギー

吸収部材としては、アルミニウム押し出し材の特性をいかした多角形リブ構造断面を採用した。く形板の平均応力と板厚幅比の関係[5]に基づいて、板厚幅比を約 5%にすることで Fig.7 に示すように安定的に圧縮崩壊させて衝突時のエネルギーを効率よく吸収できるよう断面を設定した。

Fig. 7 Effect of stiffening member

(a) Thin wall with stiffening member

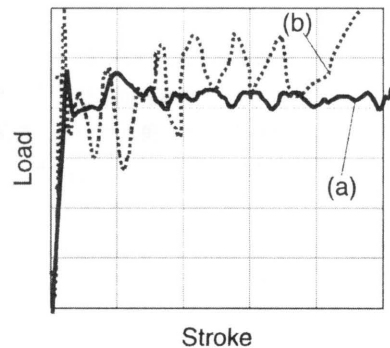


Thickness-width ratio 5%

(b) Thick wall without stiffening member



Thickness-width ratio 7%



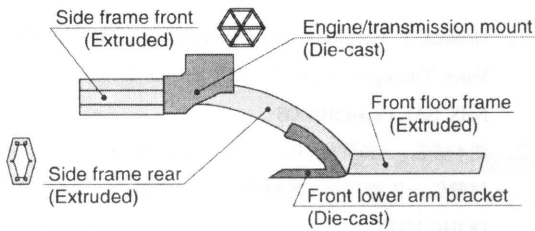
この方法により、サイドフレーム先端部の場合で鋼構造ボデーフレームに対し 50%のエネルギー吸収量増加と 37%の重量低減を得た。

前面衝突に対しては、サイドフレームを前後二分割として、先端部は安定的に圧縮崩壊し、後半部は屈曲して車体への侵入と衝撃を緩和するように、Fig.8 に示すように先端部と後半部の異なる押し出し材を鋳造部品で結合する構造とした。

後面衝突についても同様の考え方でフレーム断面を設定して、エネルギー吸収効率を高め大幅に軽量化した。

以上の構造により、前述の大幅な軽量化を実現しながら日、米、欧の法規速度を上回る 64km/h 前面オフセット衝突テストや 55km/h 前面フルラップ衝突テストをはじめとする高い社内基準を満足した。

Fig. 8 Construction of front side frame

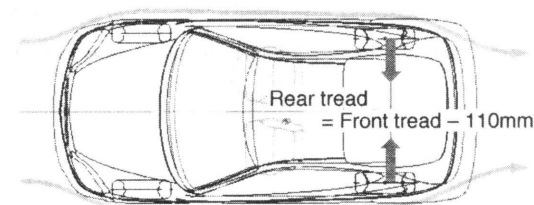


7. 空気抵抗低減技術

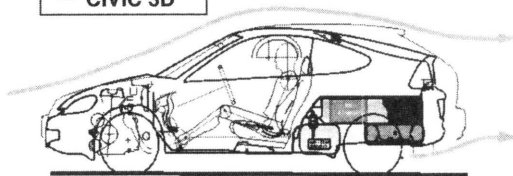
走行抵抗の低減を図るため、デザインにおいてはイメージスケッチの段階から空力特性を優先した理想的なフォルムをめざした。

空力性能は一般的に全長が大きい方が有利とされている。一方、コンパクトなボデーサイズで高い空力性能を

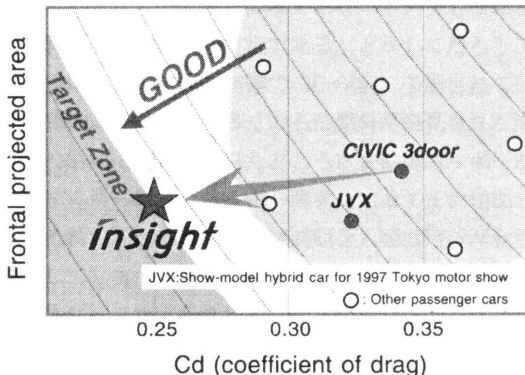
Fig. 9 Aerodynamic characteristics



— *Insight*
— CIVIC 3D



(R&D test data)



得るためには空気の流れをフロントからリヤおよびサイドへといかにスムーズに流すかが重要な課題となる。そこで Fig.9 に示すようにリヤトレッドをフロントよりも狭くしてリヤサイドを絞り込むとともに、車体上面の空気の流れに配慮したルーフ形状とした。さらに車室内のヘッドクリアランスを十分に確保した上で、前面投影面積をできる限り小さくして空気抵抗を低減させた。

またサイド部ではフロントフェンダの形状の最適化とリヤホイールスカートを採用によって、空気をボデーに沿わせて流すと同時にタイヤへの抵抗を抑制し、ボデーの下面全体を平たんにして整流効果を高めている。

その結果、同図に示すように Cd 値が 0.25 という量産車としては非常に高い空力性能を得た。

8. その他の技術

8. 1. タイヤおよびホイール

タイヤはコンパウンドを新規に開発することにより、ウェット性能を確保しつつ、転がり抵抗を従来の同サイズのものに比較して約 40%低減させた。これにより 10・15 モードにおける燃費で約 4%の低減効果を得ている。

ホイールは鋳造アルミニウム製とし、従来の同サイズのアルミニウムホイールに比較して約 40%軽量化するとともに、デザインもディッシュタイプとして空気抵抗を低減させている。

8. 2. シャシの軽量化

サスペンションはシンプルな構造に加え、ナックル部やロアアームにアルミニウム鋳造材を、ストラットダンパのダンパロッドに中空パイプを採用して軽量化を図っている。またブレーキペダル（およびマニュアルトランスミッション車ではクラッチペダル）のペダルアームをアルミニウム製とした。

燃料タンクは高密度ポリエチレン製とし、オートマチックトランスミッション車ではフットレストも樹脂製にするなどして、シャシ全体で CIVIC に比較して約 80kg 軽量化している。

8. 3. ステアリングにおける軽量化と燃費低減

小型で軽量のピニオン軸タイプとし、パワーステアリングにはパワーロスが少ない電動パワーステアリングを採用して燃費低減を図った。さらにステアリングホイール

には軽量なマグネシウム合金を採用している。

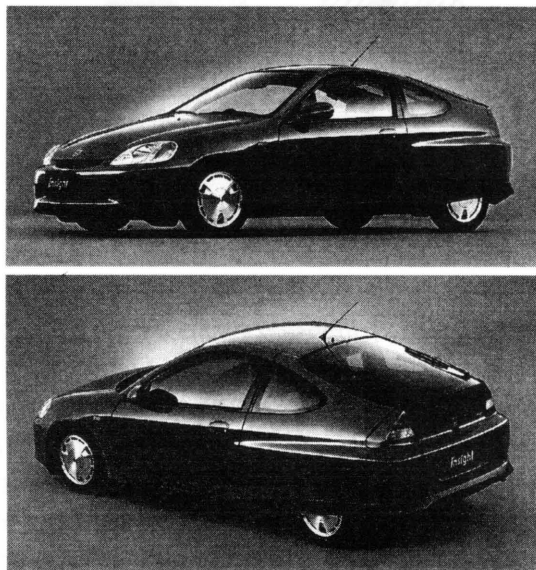
9. むすび

世界で最高の低燃費性能を実現するという目標のために、新しい概念のハイブリッドパワートレインを考案し、そのシステム要素、エンジン本体、ボデーおよびシャシ等についても高度な目標を設定して開発を進めた。

多くの新規技術開発の結果、1.0L エンジンながら 1.5L エンジンなみの動力性能と、低燃費化と相反する要素を持つ排気エミッションについても平成12年規制値の1/2 という低エミッション値を満たしつつ、目標とした35km/L という低燃費性能を達成した。

スタイリングは空力特性の追求の結果得られたフォルムをベースとして、Fig.10 に示すように未来感とダイナミックさにあふれるものとし、リサイクル性、衝突安全性能、および車両としての基本的特性である走りにも十分な配慮をした超低燃費ハイブリッドカーとすることができた。

Fig. 10 Appearance of the HONDA INSIGHT



本開発は社内外の多くの方々から多大のご協力をいただいで完成したものである。ここに記してあらためて感謝の意を表したい。

参考文献

1. Hosaka, T., Hamazaki, M.: Development of the Variable Valve Timing and Lift (VTEC) Engine for the Honda NSX, SAE Paper 910008
2. 明本禧珠, 上島英夫, 川口 仁, 天川 豊, 松本誠司, 中村健佐, 佐藤利行: S2000 用高出力低エミッション DOHC-VTEC エンジンの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.29-38 (1999)
3. 上野将樹, 赤崎修介, 安井裕司, 岩城喜久: 吸入空気量と点火時期の適応制御による始動後急速暖機システム, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.1, p.73-78 (1999)
4. 大野弘志, 鷹嘴年克, 高岡伸明, 坂主政浩, 杉浦賢司, NOx 吸着反応型三元触媒システムの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.45-50 (1999)
5. Satoh, T., Takada, K.: Collapse and Energy Absorption of Thin-Walled Frame with Polygonal Section, 96-S3-W-19, 15th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, p.518-524, Melbourne, Australia, 1996