

アルミニウム中空ダイカスト 大型軽量サブフレーム

Large-sized and Lightweight Aluminum Hollow Diecast Subframe
Using High Pressure Diecasting

今 西 智 之*
Tomoyuki IMANISHI

朝 見 明 彦*
Akihiko ASAMI

実 吉 勇一郎*
Yuichiro SANEYOSHI

要 旨

大型化と高強度化を実現した、アルミニウム中空ダイカスト軽量サブフレームを開発した。閉断面構造化のキーとなる中子を内部まで焼成する技術と鋳造性を向上した材料とを、世界で初めてサブフレームに適用し、高圧鋳造でありながら薄肉化を実現した。さらに、シームレスによる閉断面構造によりパッケージ効率を高め、鋼板を溶接したサブフレームと変わらない剛性を確保したまま約46%の軽量化を図ることで、トップクラスの軽量のサブフレームを実現した。

このサブフレームをCLARITY FUEL CELLに搭載し、車両の軽量化を実現するとともに、燃料電池パワートレインのフロントフード下部への搭載性を向上させ、内燃機関を搭載した車両と変わらない高いパッケージ効率を実現した。

ABSTRACT

A large-sized, lightweight aluminum, hollow diecast subframe with increased strength was developed. Technology for baking the entire interior of the core, which is the key to realizing a closed section structure, and materials with enhanced castability were applied to the subframe for the first time known to date, and realized a thin wall structure even with high-pressure diecasting. In addition, the use of a seamless closed-section structure increased the package efficiency and achieved weight reduction of approximately 46% while securing the same stiffness as that of a welded steel plate subframe. These developments realized a top-class lightweight subframe.

The developed subframe was mounted in the CLARITY FUEL CELL, and both reduced the vehicle weight and facilitated fuel cell power train installation under the front hood, achieving high package efficiency equivalent to that of a vehicle with an internal combustion engine.

1. はじめに

近年、地球環境保護のための低炭素化や省エネルギー化および自動車運動性能の向上の観点から、自動車軽量化の必要性がますます高まってきている。燃費性能や運動性能をともに改善し、環境技術と商品性を両立する技術は今後ますます必要性が増してくる分野である。燃料電池自動車や電気自動車が普及し始めた近年では、シャシ部品を含む車体系でのさらなる軽量化技術の開発⁽¹⁾が求められるようになってきた。

シャシ系の部品の中でも、サスペンション部品やパワープラントを車体につなぐフロントサブフレーム (Fig. 1) は

* 四輪 R&D センター

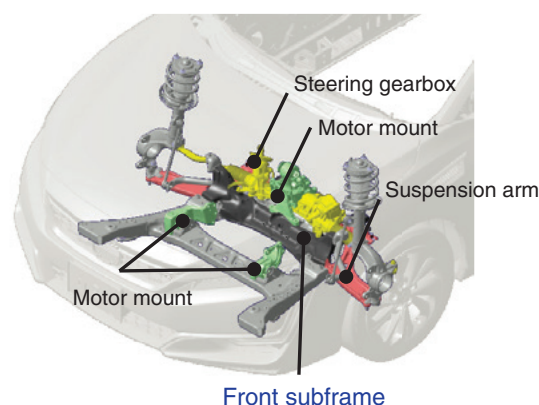


Fig. 1 Front subframe position in vehicle

Table 1 Overview of subframe manufacturing methods

	GDC	LPDC	HPDC	
Joint	None	None	FSW	None
Thickness	△	△	○	○
Weight	△	△	○	◎
Layout efficiency	○	○	△	○
Productivity	△	○	◎	◎

◎ : Excellent
○ : Good
△ : Acceptable

大型部品の一つであり、この構造を最適にすることによる軽量化は車体全体の軽量化へ大きく貢献する。

Honda はサブフレームを軽量化するために、アルミニウムへの材料置換をおこなってきた。例えば、四輪車では、アルミニウムの高圧鋳造法 (HPDC) やスクイズダイキャストを用いた開放断面構造の鋳造品に展伸材や鋼板を摩擦攪拌で接合した技術⁽²⁾を開発し、ACCORD HYBRID や FIT EV のサブフレームに採用している。しかし、接合により閉断面構造にする場合、継手部が必要になり、エンジンルームやモータールーム内の限られたレイアウトスペースでは効率の良い断面形状の確保が課題となっている。従来技術では、重力鋳造 (GDC) や低圧鋳造法 (LPDC) を用いてアルミニウムの中空の一体化構造を採用しているが、GDC や LPDC による成形では一定の厚さが必要になり、重量増が課題となる。軽量化のため、積層工法による中子を使用し LPDC による薄肉化を図った技術⁽³⁾があったが、量産性の確保が容易ではなかった。これらの製法違いによる閉断面構造の特徴を Table 1 に示す。

Honda では、アルミニウムの HPDC を用いた閉断面化技術を開発し、二輪車である CBR600RR のフレームに採用している。しかしながら閉断面構造の小型鋳造品と GDC を用いた開放断面構造の鋳造品を溶接しているため、中空の一体成型には至らず⁽⁴⁾、軽量化の余地が残されていた。

そこで、これらの課題を解決するために、既存設備を使用した上で、軽量化に優位な HPDC による大型部品の薄肉閉断面構造を実現する技術⁽⁵⁾を活用し、サブフレームを開発した。

2. 開発のねらい

本研究では、以下のようなねらいを定めて、新しいサブフレーム製造技術を開発した。

(1) HPDC による大型薄肉な閉断面構造の実現

汎用性のある HPDC 設備を使用し、高圧鋳造に適用可能な中子の製造条件を確立し、中子を高強度化することにより、製品の大型化と薄肉化を実現する

(2) 鋳造性と機械的特性を両立する材料含めた量産性の実現

熱伝導率が低いことで流動性が確保できる中子を使用した中空鋳造の利点を生かし、鋳造に適した材料で量産性を実現する。

(3) トップクラスの軽量なサブフレームの実現

薄肉化、シームレスによる疲労起点の低減、継手部の廃止によるレイアウト自由度の向上と、製品肉厚の安定化による軽量化をおこなう。

3. HPDC による大型薄肉な閉断面構造の実現

HPDC では、射出速度が速すぎると中子がずれたり、割れたりすることで、形状不良となる。鋳造圧力が高すぎると、中子が押しつぶされて収縮し、製品の肉厚が厚くなってしまう。そこで、鋳造条件は、一般的な HPDC 条件から、砂中子が鋳造時に壊れない射出速度と鋳造圧力領域まで、低速化、低圧化させた (Fig. 2)。

3.1. 中子の製造条件

鋳造工程の流れを Fig. 3 に示す。中子は大型のサブフレームに適用するため、従来より大きく厚くなっており、焼成工程には長い処理時間が必要となる。また湯流れ性と排砂性の向上を目的として、中子に表面コーティング材を塗付する手法を採用している。このようにして完成した中子は金型に固定してアルミニウム鋳造する。鋳造完了後、湯口部を打撃して製品を加振し中子を崩壊させて排出する。

3.2. 中子成形技術

中子の素材はフェノール系のレジンコーテッドサンド (RCS) を使用し、金型焼成により成形する。従来の焼成条

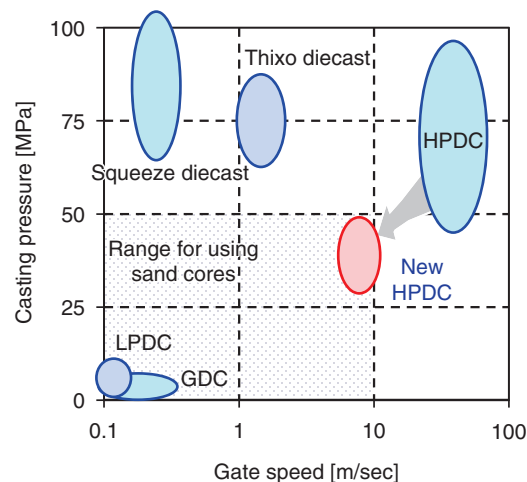


Fig. 2 Target casting pressure and gate speed target

件で焼成したときの中子の断面を Fig. 4 に示す。金型に触れている表面部分のみ焼成されているだけで、内部はほとんど加熱されていないため、中子の強度が低い。この状態では casting 時に割れてしまうか、もしくは潰れてしまうことで製品の肉厚が厚くなるため、内部まで焼成させる必要がある。RCS に使用されているフェノール樹脂は、160℃ 以上で硬化が始まり、400℃ 以上では急激に分解してしまうため、160℃ から 400℃ の範囲で焼成条件を設定しなければならない。

また、焼成の温度を上げると中子の厚肉部位の焼成は早くなるが、薄肉部位が過度に焼成するので、部位によって強度差異ができてしまう。さらに過度に焼成した部位は脆く崩れやすいため、全体を均一焼成するように最適な焼成条件を見出した (Fig. 5)。

3.3. 鋳造性と機械的特性を両立する材料と量産性の確立 シェン部品に適用されるアルミニウムダイカスト材料は

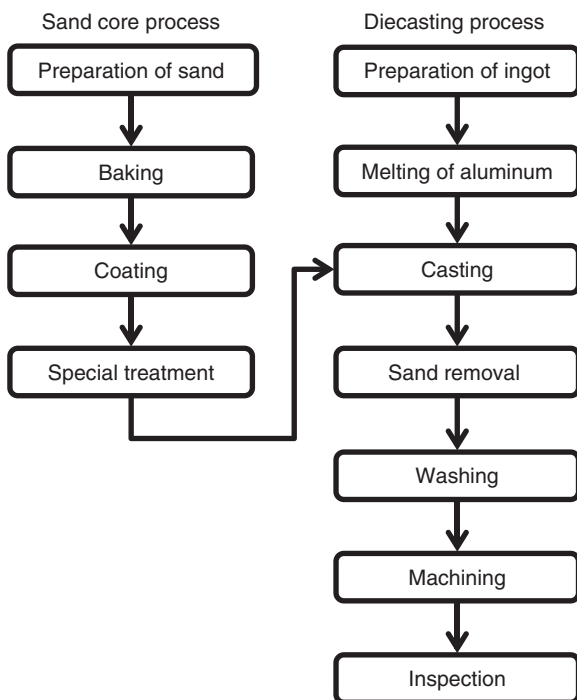


Fig. 3 Manufacturing process

Area that looks white is not baked.

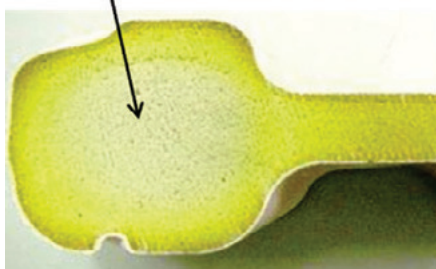


Fig. 4 Sand core cross section after baking

高強度、高韌性、耐食性が必要となる。そのため、耐食性に悪影響を及ぼす銅 (Cu) や鉄 (Fe) など添加量が少ないアルミニウム-シリコン (Al-Si) 系、アルミニウム-マグネシウム (Al-Mg) 系の材料が採用される。材料選定にあたり、鋳造条件の一つである射出速度が 10 m/s 前後のときに安定した強度となる Al-Mg 系を選択した (Fig. 6)。Al-Mg 系は、従来の Al-Si 系の材料を熱処理したものと比較して強度が低く、凝固時収縮により引き割れを起こしやすく鋳造性が劣るため、大物薄肉部品の鋳造材料に採用されることは少ない。本研究では、このような課題に対応するため、Al-5Mg 材に Si を添加することで、 Mg_2Si を析出させて機

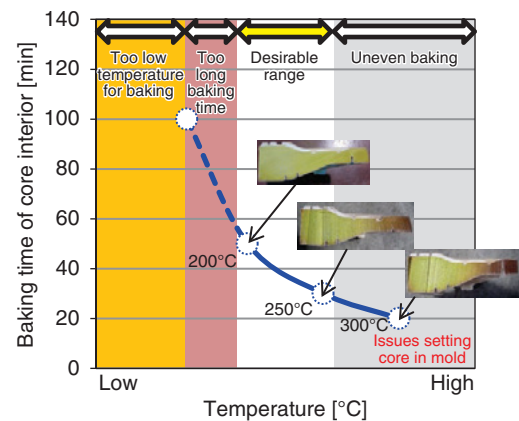
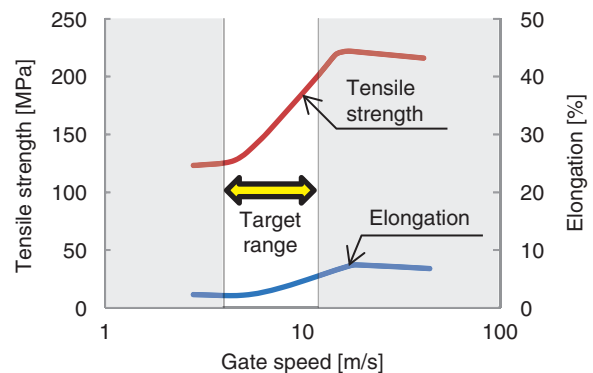
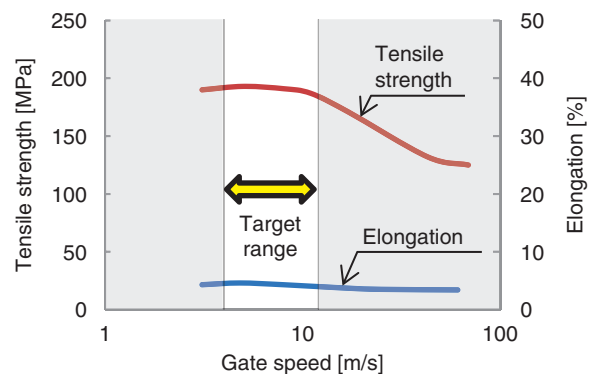


Fig. 5 Relationship between baking time and temperature



(a) Al-Si material



(b) Al-Mg material

Fig. 6 Relationship between gate speed and strength

機械的特性を向上させると同時に、また液相温度が低くなるため凝固直前まで圧力伝播が可能になり、溶湯補給性が向上することをねらった。

Siの添加量は、事前テストとして長さ300 mm×幅100 mm×厚さ6 mmの板状のテストピース金型を用いて鋳造テストをおこない、機械的特性を比較した。Fig. 7にSi添加量と引張強度(TS)、0.2%耐力(YS)、伸び(EL)の関係を示す。本研究ではSi添加量が2.0%前後での強度と伸びのバランスが材料として適正と判断した。

サブフレームに適用する材料は、車両の衝突性能を満足するために高延性であることと同時に、車両の軽量化のため、高強度であることが要求される。一般的に強度と伸びは背反性があるため、使用目的に応じて最適な材料を選択することが必要となる。そこで、部品金型を用いてSi添加量の1.8%から2.2%の範囲で、より細かく機械的特性の変化を確認した。引張試験片の採取位置をFig. 8に示す。

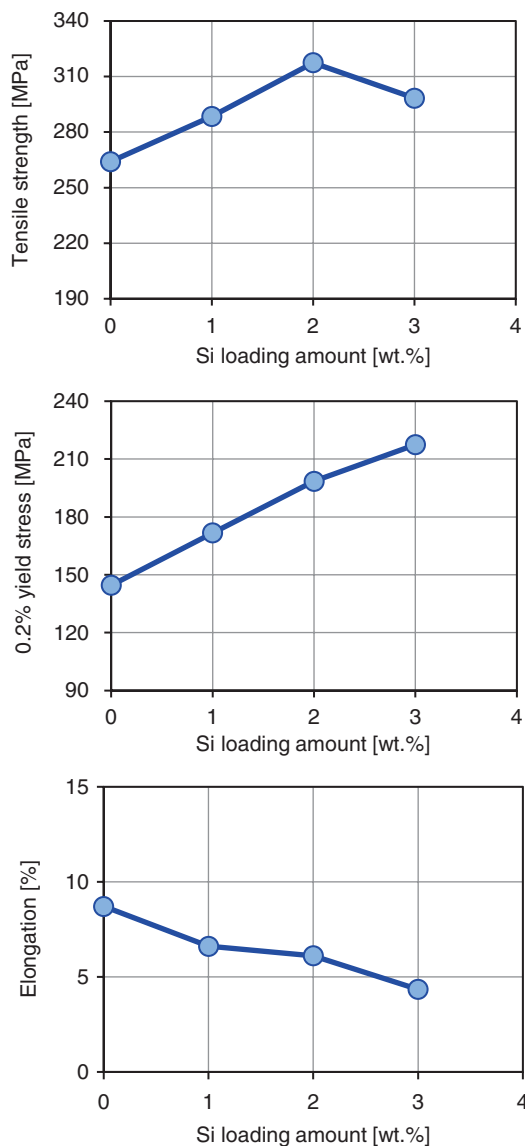


Fig. 7 Change in mechanical properties of test piece by Si loading amount to Al-5Mg material

事前テストと同様に2.0%で引張強度がピークとなっていたが、部品要求特性の靱性を考慮して、Si添加量は1.8%に設定した(Fig. 9)。

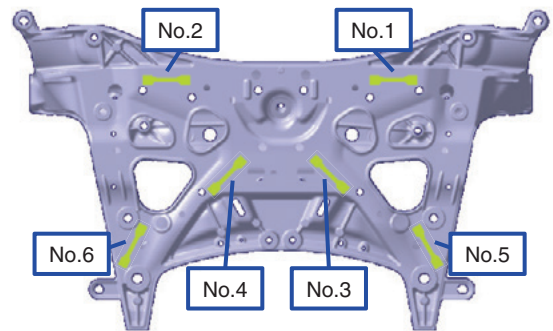


Fig. 8 Tensile test piece sampling positions

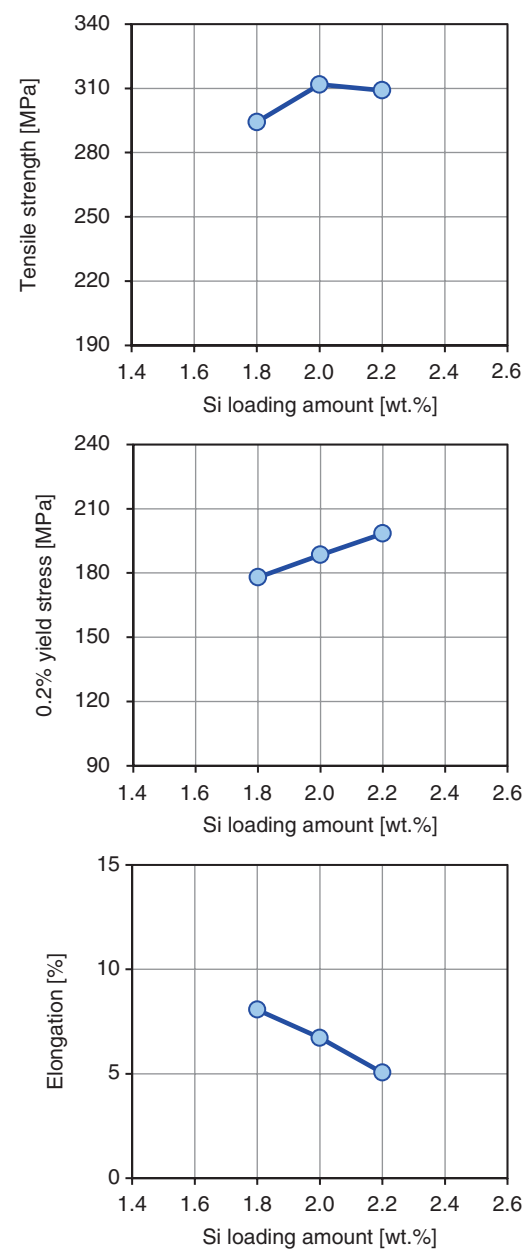


Fig. 9 Change in mechanical properties of subframe by Si loading amount to Al-5Mg material

4. トップクラスの軽量なサブフレームの実現

本サブフレームの開発では、アルミニウム中空ダイカスト技術を用いることで、閉断面構造を従来の接合構造からシームレス構造とした。しかし、サブフレームの形状によっては、鋳造する際に、金型に流入した溶融金属が鋳造時の圧力で中子を変形、破損させてしまうため、中子の変形、破損を防止する構造が必要となる。そこで、本研究では、鋳造時の中子の保持位置をサブフレームの上下相対する位置に設定することで、サブフレームを鋳造する際の中子の変形を抑え、製品肉厚の安定化をおこなった (Fig. 10)。また、アルミニウム充填時の鋳造圧力における中子の強度解析を実施し、中子に発生する応力の定量化をおこない、中子に応力集中が発生しない製品形状とした (Fig. 11)。さらに、鋳造性を良くするために均一に設定されることが多い鋳造肉厚を、鋳造解析と製品設計を同時に進めることで必要な部位に必要な材料を配置する可変肉厚にし、軽量でありながら高い剛性を有する構

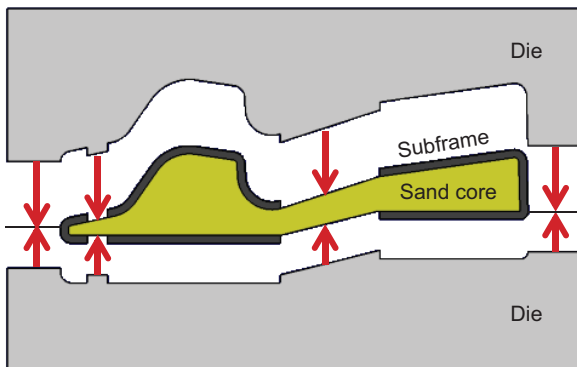


Fig. 10 Sand core holding positions

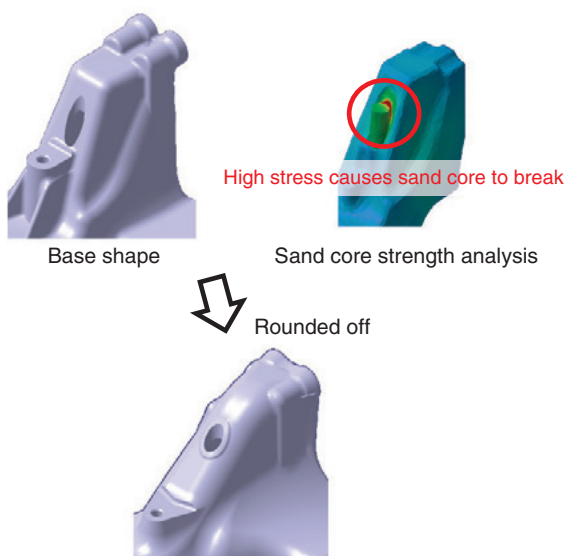


Fig. 11 Design using sand core strength analysis

造を実現した。具体的には、運動性能へ寄与が高いサスペンションのロアアームやステアリングギヤボックスの取り付け部は、支持剛性を確保するため肉厚 3.5 mm に、サスペンション取り付け部はボルト締結力を確保するために肉厚を 2.5 mm に、そして、下面部は衝突時に分断することなくエネルギーを吸収できる肉厚 3.0 mm に設定し、サブフレームに求められる最適な剛性分布と強度を高いレベルで両立することができた (Fig. 12)。

また、従来の溶接接合に対して、継手部が不要となり、かつ、シームレス成形が可能になったことで、省スペースでの高剛性確保が可能となった (Fig. 13)。その結果、CLARITY FUEL CELL の限られたモーターームの空間の制約の中でも、剛性に優れ、軽量、かつ衝突性能を確保したサブフレームを配置することができた。

機械的特性は製品からテストピースを切り出して引張強度、0.2% 耐力、伸びを測定し、適用部品の要求性能から判断し安定的に目標値以上の耐力と伸びを得られることが確認できた。また、実車入力要件で静破壊試験および耐久試験も確認した。

今回開発したアルミニウム中空ダイカストサブフレームは、従来品に対し鋼板からアルミニウムへの材料置換と継手部の廃止などの形状最適化によって約 46% の軽量化を達成し、トップクラスの軽量なサブフレームを実現した (Fig. 14)。

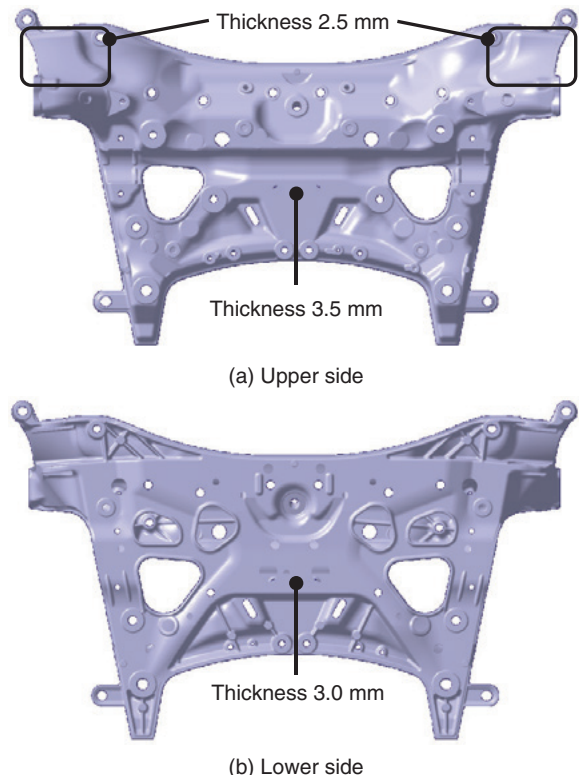
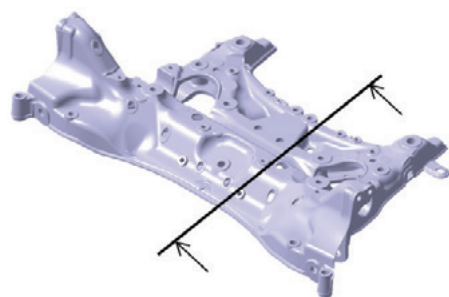
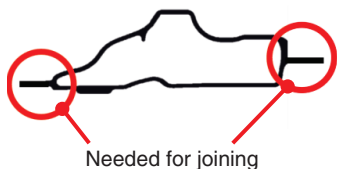


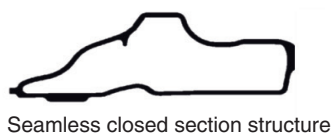
Fig. 12 Subframe thickness



(a) Section cut area



(b) Conventional subframe



(c) CLARITY FUEL CELL subframe

Fig. 13 Structure of closed section

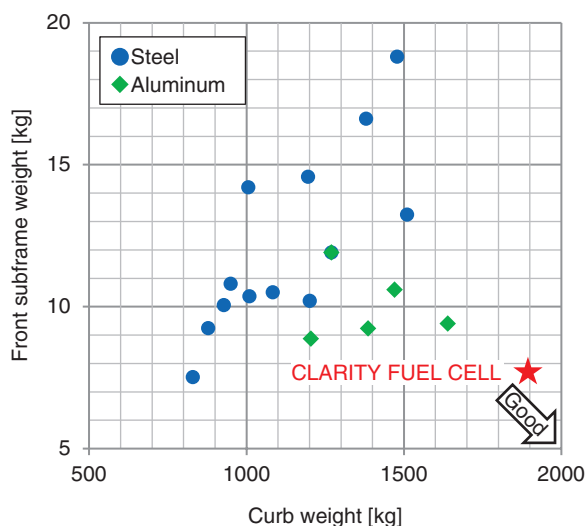


Fig. 14 Subframe weight

5. まとめ

本研究では、シャシ系部品の中でも大型の部品の一つでもあるフロントサブフレームを軽量化、かつ大量生産することが可能な HPDC 生産手法を構築した。

(1) HPDC に適用可能な中子成形技術を開発し、大型化し

た中子の内部まで均一に焼成する条件を構築できた。

(2) 非熱処理系の Al-5Mg 系材料に 1.8% Si を添加することで、鋳造性と機械的特性を満足する組成を確立できた。

(3) 開発したアルミニウム中空ダイカストサブフレームは、従来の鋼板をプレス加工し、溶接で成形したサブフレームよりも、約 46% の軽量化を達成し、トップクラスの軽量なサブフレームを実現した。

参考文献

- (1) 木村顕一郎, 河崎輝明, 大村孝之, 渥美淑弘, 清水潔: 新型燃料電池自動車 CLARITY FUEL CELL の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 28, No. 1, p. 1-7
- (2) 宮原哲也, 佐山満, 矢羽々隆憲, 大浜彰介, 畑恒久, 小林努: サブフレームへ適用可能な FSW を用いたスチールとアルミニウムの連続接合技術の開発, Honda R&D Technical Review, Vol. 25, No. 1, p. 71-77
- (3) 小岩井修二, 橋内透, 八下田健次, 神戸洋史, 岡根利光, 山縣裕, 吉田誠: 低圧鋳造法によるアルミニウム合金製大型・薄肉・中空車体鋳物の製造技術開発, 鋳造工学, Vol. 84, No. 8, p. 477-481, (2012)
- (4) Koya, E., Suzuki, T., Nakagawa, M., Fujimoto, G., Murakami, M., Murata, K.: Development of Hollow, Weld-able Die-Cast Parts for Aluminum Motorcycle Frames, SAE Technical Paper, 2003-32-0055, (2003)
- (5) Asami, A., Imanishi, T., Okazaki, Y., Ono, T., Tetsuka, K.: Development of Aluminium Hollow Subframe Using High-Pressure Die Casting, SAE Technical Paper, 2016-01-0406, (2016)

著者



今西 智之



朝見 明彦



実吉 勇一郎