

# 薄肉高靱性鑄鉄部材による自動車部品の軽量化

## Development of High-Toughness Ductile Cast Iron for Weight-Saving, Thin Walled Automobile Parts

酒 井 潤\* 夏 目 毅\* 具志堅 義 幸\*  
Jun Sakai Takeshi Natsume Yoshiyuki Gushiken

### 要 旨

鑄鉄での軽量化が困難なのは、その脆さに起因する。特に、薄肉化は、急速凝固により、炭素の黒鉛化が阻害されて脆い炭化鉄が増し、靱性のある鉄単味のフェライトが減少して更に脆くなる。このため、鑄鉄の形状自由度の高さが軽量化に繋がらない。もう一つの脆さの要因である鉄と珪素からなるシリコフェライトは、常温域だけでなく低温脆化を招く。ところが、珪素を減らすと、珪素の利点である黒鉛化効果も減少するので、従来、低珪素での薄肉鑄鉄化は、非常に困難なものであった。

今回、上記の金属学的矛盾を解決するアロイデザインを開発し、鋼板品に対し10%の軽量化を図り、鋼板並みのプレス、コイニング加工ができる高靱性鑄鉄部材を完成した。

### ABSTRACT

Cast iron offers a high degree of formability but becomes brittle particularly when designed to be thin-wall for weight reduction of parts when it is made to cool down rapidly during production, as graphitization, the essential condition for tough ferrite formation which offers the rigidity property, is obstructed.

Silico-ferrite, which is formed at the same time and another cause of brittleness even at below room temperature, must be regulated by reducing the silicon content, thus posing another challenge as it normally must be used as an exclusive additive to achieve graphitization.

As a solution, a new alloy design has been developed which supplements silicon, thereby completing high-toughness ductile cast iron suitable for parts of thin-wall design. Weight savings of 10% was thus achieved compared with the steel plate. Still it retains the degree of press- and coining-machinability equal to the steel plate.

## 1. まえがき

自動車にとって、軽量化は性能向上と燃費向上をもたらす重要な研究テーマのひとつである。

中でも、各種軽合金や樹脂材料で自動車部品の軽量化が、積極的に進められている。

しかし、これらの方法では軽量化に伴い、部品コストが上がるのが一般的である。

一方、鑄鉄材は価格が安く、形状自由度も高い利点があるが、材質が脆いため軽量化には不向きであった。

そこで、この鑄鉄の材料特性の脆さを解消する研究を行い、その成果で得られた部品の単体試験および実車試験を実施した。

本報告では、材料脆化の解消手法だけでなく、薄肉鑄物品にまつわる防食やボルトゆるみ止め手法についても触れ、更に本高靱性薄肉鑄鉄部材の部品単体と完成車での、軽量化および機能向上の効果を述べる。

## 2. アロイデザイン

### 2.1. 合金設計の考え方

鑄鉄材の靱性は、組織中のフェライト率が増すほど向上する。そのためには黒鉛化を促進する元素を添加すればよく、従来は主にSiによって黒鉛化を促進し、フェライト率を向上させてきた。しかし、Siを多量に添加するとフェライト基地が脆化したシリコフェライトを形成するため、靱性向上には限界があった。そこで低Si化によってフェライト自体の靱性を上げ、それだけでは黒鉛化効果が低下し、薄肉部の黒鉛粒数の低下およびチル化を招くため、黒鉛化効果を補う手法としてBi(ビスマス)を微量添加することにより、黒鉛核の形成を促進させ薄肉部のチル化を阻止する。さらに、これらを熱処理に頼らず鑄放しで具現化できるよう、各成分の含有量を決定した。

\* 栃木研究所

## 2.2. Bi の設定

Fig. 1 に、Bi の添加量と材料組織におよぼす影響を示す。Bi 量が少なすぎるとチルが発生し、多すぎると黒鉛の球化率が低下し靱性を損なう。Bi 量は、チルが発生しない領域と、黒鉛球化率が従来の FCD400 規格である 80% 以上を満足する領域をとって、0.002~0.007% とした。

Fig. 2、3 に Bi 添加の効果を示す。Fig. 2 には、黒鉛粒数の増加およびフェライトの増加とチルの抑制効果

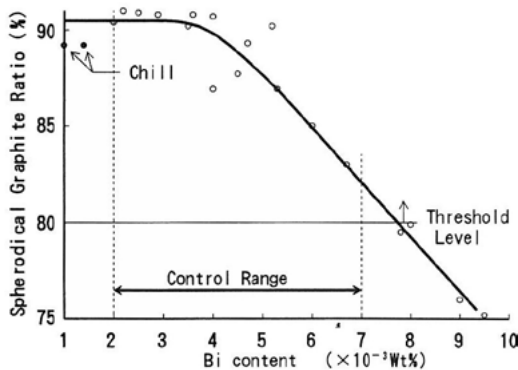


Fig. 1 Relationship between Bi Content and Spheroidal Graphite Ratio

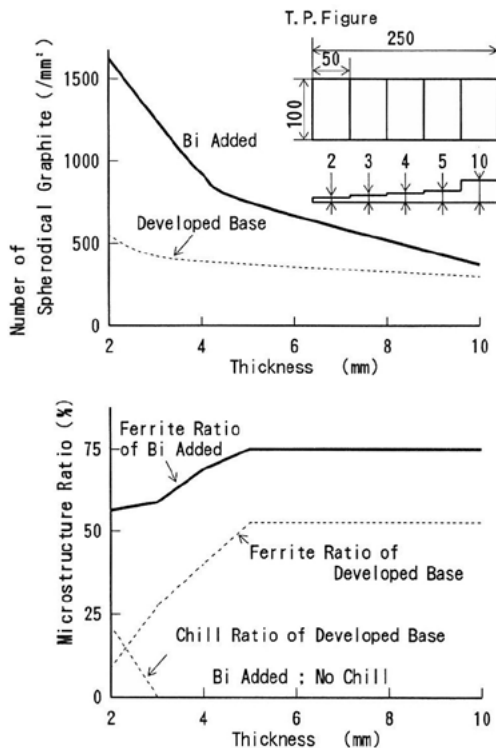


Fig. 2 Effect of Bi on Microstructure

を示す。Si の注湯流接種を行ったもので、肉厚が段階的に変化している階段状テストピース (以後階段 TP と略す) の組織は、開発ベース材では 2mm 部でチルが発生している。これに対し、開発ベース材に Bi を添加すると、黒鉛粒数が増加し、2mm 部でチルの発生が無くなり、フェライト率が増加する。Fig. 3 に組織の違いを示す。2mm 部の組織で、開発ベース材に見られるチルが、Bi 添加により消滅している。開発ベース材の写真で、白く棒状に見える組織がチルである。

## 2.3. C, Si の設定

Fig. 4 に C, Si の配合と、鋳造性および材料特性の限界との関係を示す。Si 量が少なくなるとチルが発生し易くなる。また多すぎてもドロス (金属酸化物がまきこまれた欠陥) が発生し易くなるため、いずれも靱性が低下する。C も同様に、少なくなるとチルが発生しやすくなり、多すぎるとドロスがが発生し易くなるので、靱性が低下する。

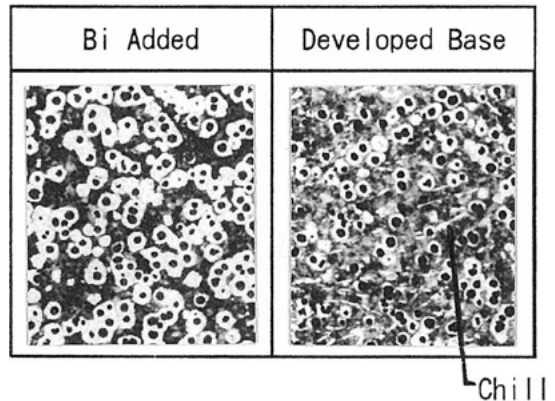


Fig. 3 Microstructure of 2 mm Part (x100)

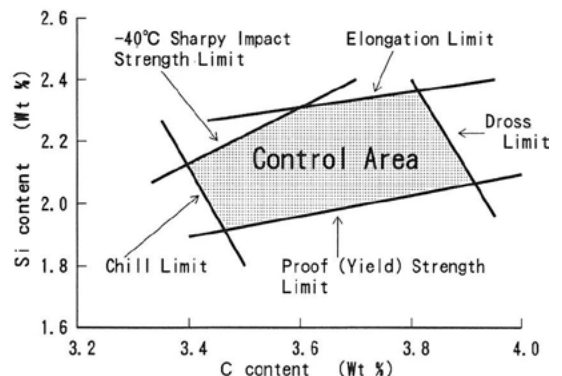


Fig. 4 Relationship between C, Si Content and Material Property

Table 1 Fixed Chemical Composition

| Item                    | Element       | Content(Wt%)        | Reason                                                                                                  |
|-------------------------|---------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chemical Composition    | T. C          | 3.50 ~3.80          | Increase:Strength Down,Dross Occurrence.<br>Decrease:Elongation, Impact Strength Down,Chill Occurrence. |
|                         | Si            | 2.00 ~2.30          | Increase:Elongation, Impact Strength Down,Chill Occurrence.<br>Decrease:Strength Down,Chill Occurrence. |
|                         | Mn            | ≤ 0.25              | Increase:Elongation, Impact Strength Down.                                                              |
|                         | P             | ≤ 0.03              | Increase:Elongation, Impact Strength Down.                                                              |
|                         | S             | < 0.01              | Increase:Graphite Spheroidizing is Negrected And Strength Down.                                         |
|                         | Cr            | < 0.05              | Increase:Elongation, Impact Strength Down.                                                              |
|                         | Cr, Sn, Cu, V | Total Volume < 0.15 | Increase:Elongation, Impact Strength Down.                                                              |
| Treatment Spheroidizing | Bi add        | 0.002 ~0.007 (add)  | Bi add Treatment Must Need for Thin Casting Because of Ferrite Volume Increase and Graphite Fining.     |

機械的性質の面から見ると、Siが少なくなると、強度(耐力)が低くなり、多くなると伸びが低下し靱性も低下する。Cは多くなると、強度、伸びいずれも減少する。

以上を総合して、C、Siの適正成分範囲をFig. 4の黒抜き部とし、製造時の管理幅を、C:3.5~3.8%、Si:2.0~2.3%と設定した。

#### 2.4. Pの設定

PはC、Siと同様、増加すると靱性が低下する。靱性の目標を、FCD450の常温での衝撃値 $\geq 17\text{J}/\text{cm}^2$ を $-40^\circ\text{C}$ で達成することに定め、P量を設定した。Fig. 5に示すように、先に鋳造性と材料特性とから決定されたSi最大2.3%で目標を達成するためには、Pは0.03%以下にする必要がある。

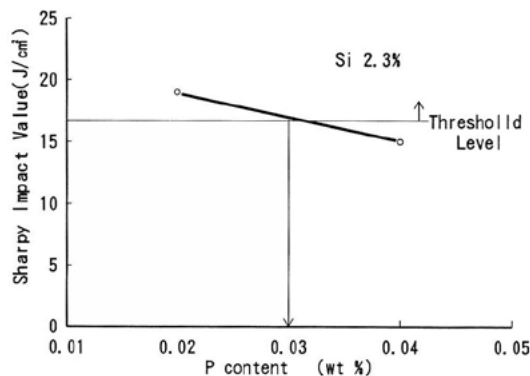


Fig. 5 Relationship between P Content and  $-40^\circ\text{C}$  Impact Strength

#### 2.5. その他の元素

その他、鋳鉄中に微量に混入している元素、Mn、S、Cr、Sn、Cu、Vは、いずれも増加すると靱性が低下

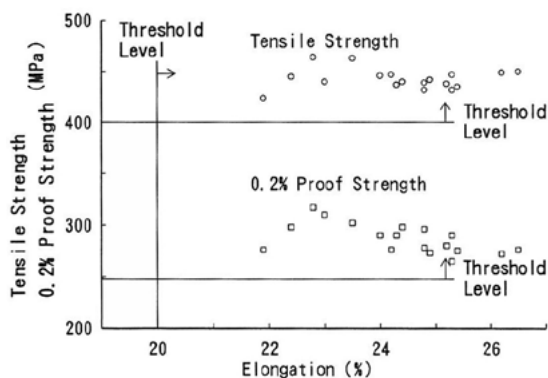


Fig. 6 Mechanical Property of Developed material

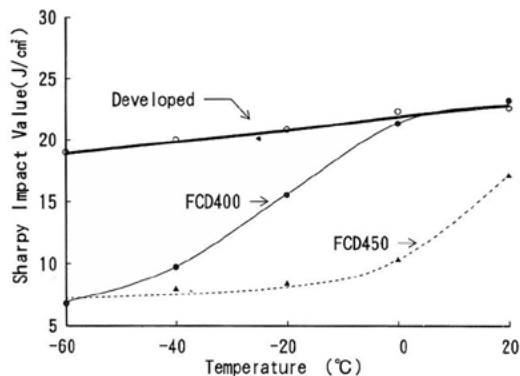


Fig. 7 Impact Strength of Developed Material

Table 2 Analysis Result of Step Test Piece

| Item                                                    |                              |                               | Thickness(mm) | 2     | 3    | 4    | 5    | 10 |
|---------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|-------|------|------|------|----|
| Developed Material                                      | Composition C : 3.50%<br>Min | Ferrite (%)                   | 55            | 60    | 70   | 75   | 75   |    |
|                                                         |                              | Graphite(No/mm <sup>2</sup> ) | 1633          | 1267  | 1267 | 1267 | 1267 |    |
|                                                         | Composition C : 3.84%<br>Max | Ferrite (%)                   | 60            | 60    | 65   | 75   | 70   |    |
|                                                         |                              | Graphite(No/mm <sup>2</sup> ) | 2198          | 1563  | 1239 | 1017 | 580  |    |
| FCD 400 C : 3.60%<br>(Conventional Material) Si : 2.58% |                              | Ferrite (%)                   | Chill         | Chill | 45   | 45   | 45   |    |

するので、それぞれ量産管理限界まで含有量を下げ、 $Mn \leq 0.25\%$ 、 $S < 0.01\%$ 、 $Cr < 0.05\%$  および  $Cr$ 、 $Sn$ 、 $Cu$ 、 $V$  の合計  $< 0.15\%$  とした。

以上各成分設定値と設定理由を Table 1 に示す。

## 2.6. 材料特性

成分が設定された材料の機械的性質は、Fig. 6 に示すように抗張力・耐力は、それぞれFCD400 の規格値  $\geq$

400N および  $\geq 250N$  を満足した上で、伸びが 20% 以上と極めて高く、優れた延性を示す。シャルピ衝撃値は、Fig. 7 に示すように特に低温域で著しく改善され、目標である  $-40^{\circ}C$ 、 $\geq 17J/cm^2$  を達成し、高い低温靱性が得られた。また遷移温度はFCD400 が  $-20^{\circ}C$  であったものが、開発材では  $-60^{\circ}C$  以下になった。

疲労強度は、Fig. 8 に示すように、小野式回転曲げ疲労強度が FCD400 と同等の、230MPa を達成した。

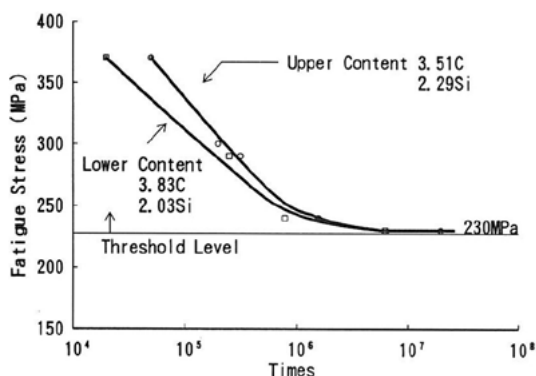


Fig. 8 Rotating Bending Fatigue Strength

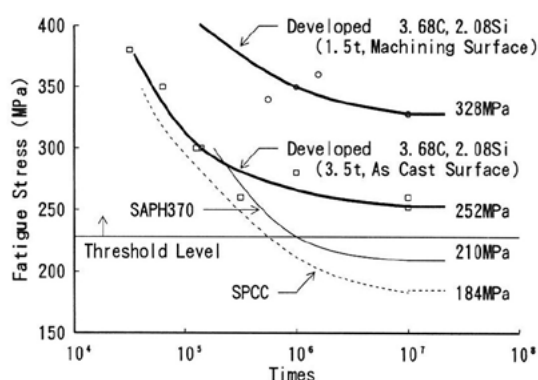


Fig. 9 Plate Bending Fatigue Strength

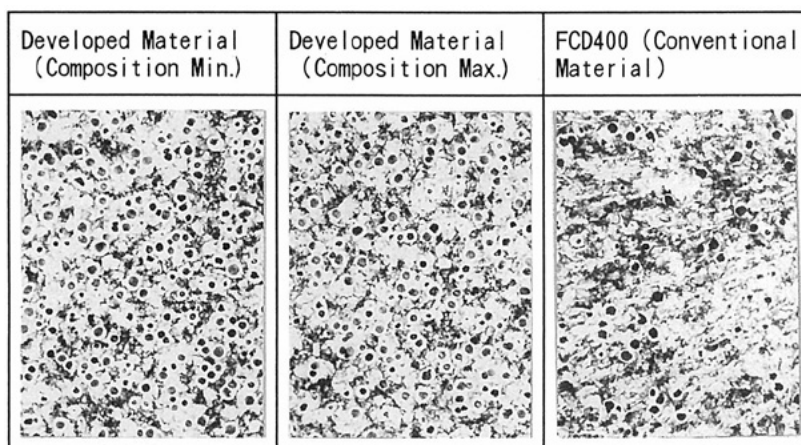


Fig. 10 Microstructure of Step Test Piece at 2 mm Part (x100)

Table 3 Analysis Result of Product

| Item               |                                            |                               | Point | A (2.5mm) | B (3.0mm) | C (3.5mm) |
|--------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Developed Material | Composition C : 3.65%<br>STD<br>Si : 2.29% | Ferrite (%)                   |       | 45        | 50        | 70        |
|                    |                                            | Graphite(No/mm <sup>2</sup> ) |       | 1793      | 1453      | 1448      |

Table 4 Strength, Rigidity and Weight of Product

| Item                | Conventional                                                                      | Developed                                                                         |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Product View        |  |  |
| Breaking Force      | 11950 N                                                                           | 19030 N                                                                           |
| Vertical Rigidity   | 2210 N/mm                                                                         | 5630 N/mm                                                                         |
| Horizontal Rigidity | 1110 N/mm                                                                         | 1670 N/mm                                                                         |
| Weight              | 454 g                                                                             | 394 g (-13%)                                                                      |

また Fig. 9 に示すように、薄肉部の板曲げ疲労強度は、鑄造肌 (黒皮) のままで同じ薄肉である SPCC や SAPH 370 よりも高く、目標を越える 252MPa の高強度を達成した。

### 3. 薄肉特性

薄肉部の材料組織は、肉厚違いの比較がしやすいよう、肉厚が段階的に変化している階段 TP に鑄造して確認した。また実際にエンジンマウントブラケットを鑄造し、

板厚が違う各部の材料組織を確認した。

Table 2 に階段 TP での結果を示す。FCD400 は、肉厚が 4mm を下回るとチル組織が発生してしまうが、開発材は C, Si 量上限材、下限材いずれも 2mm までチル組織は発生せず、フェライト率も高い。Fig. 10 に示す組織写真では、2mm 部で FCD400 には白い棒状のチルが見られるが、開発材には発生していない。したがって材料特性上の薄肉限界は 2mm であることがわかる。

Table 3、Fig. 11 にエンジンマウントブラケット鑄造品の結果を示す。TP と同様に、板厚 2.5~3.5mm 部のいずれの部位も、チル組織の発生はない。

### 4. 軽量化形状設定

開発材は複雑な形状でも一体で薄肉に鑄造できるので、これまで多数の板物プレス品を溶接して製造せざるをえなかった部品を、一体形状で鑄造し軽量化が可能である。そこで、実際にプレス 2 部品をスポット溶接して製造している、エンジンマウントブラケットを開発材で一体形状に鑄造し、単体強度、剛性、重量を比較した。

Table 4 に確認結果を示す。開発材で一体形状に鑄造したものは、従来品同等以上の高い垂直方向強度および垂直・水平方向剛性を維持しながら、13% もの軽量化を

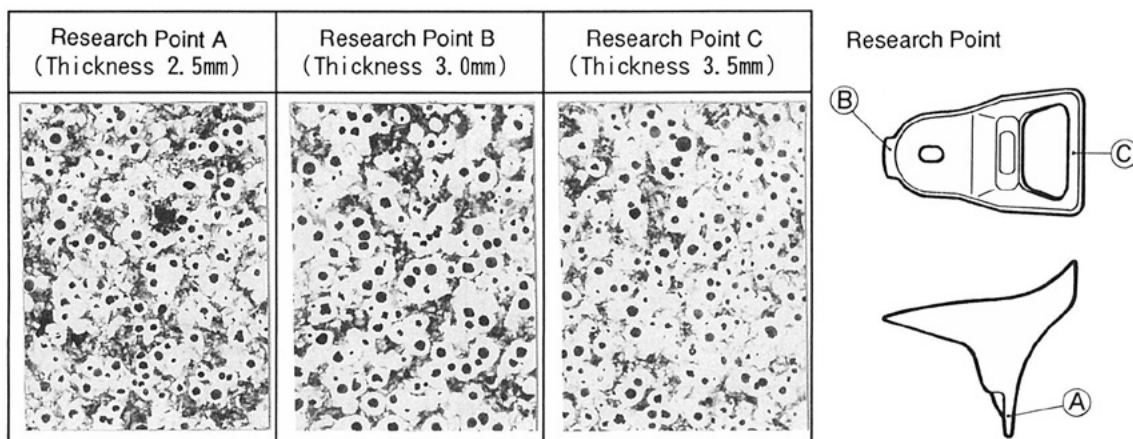
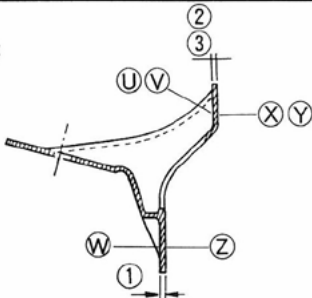
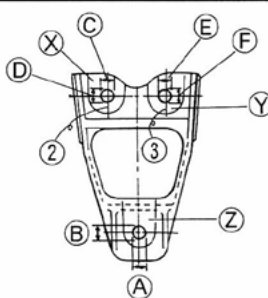


Fig. 11 Microstructure of Product (x100)

Table 5 Precision of Pierce and Coining

| <div><div>Measuring Point</div><div></div><div></div></div> |       |                  |       |       |       |       |       |              |       |       |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-----------|
| Item                                                                                                                                                                                                                           |       | Pierce           |       |       |       |       |       | Coining      |       |       |           |
|                                                                                                                                                                                                                                |       | Hole Diameter mm |       |       |       |       |       | Thickness mm |       |       | Roughness |
| Measuring Point                                                                                                                                                                                                                |       | A                | B     | C     | D     | E     | F     | 1            | 2     | 3     | U ~ Z     |
| Tolerance                                                                                                                                                                                                                      |       | ±0.30            | ±0.30 | ±0.30 | ±0.30 | ±0.30 | ±0.30 | ±0.40        | ±0.40 | ±0.40 | Max100 μm |
| Measured Value                                                                                                                                                                                                                 | Range | 0.35             | 0.30  | 0.30  | 0.25  | 0.30  | 0.35  | 0.40         | 0.50  | 0.45  | Max 48 μm |
|                                                                                                                                                                                                                                | 3 σ   | ±0.20            | ±0.24 | ±0.22 | ±0.20 | ±0.20 | ±0.24 | ±0.38        | ±0.35 | ±0.32 | Max 59 μm |

達成した。さらに単体の疲労強度を比較し Fig. 12 に示す。実機状態で、エンジンマウント側取り付け位置に振幅荷重を加え、疲労試験を行った。開発品は、材料本来の疲労強度の高さに加え、鋳造化による形状自由度を生かした軽量高強度設計により、従来品に比べ、 $10^6$  時間強度で約 1.8 倍の疲労強度を有している。

本開発材のポイントである、製品での衝撃特性の温度依存性を Fig. 13 に示す。SP 製品は低温になると急激に衝撃強度が低下するのに対し、開発品の強度低下は遥かに少ないことがわかる。

## 5. コイニング・打ち抜きプレス

開発材を用い検討を行ったエンジンマウントブラケットには、エンジンとエンジンマウントに取り付けるボルト穴および座面がある。従来材の FCD400 の場合にはボルト穴、座面いずれも、切削によって穴の形成および座面の面粗度の向上を行っている。開発材で製作したエンジンマウントブラケットは、板厚が 2.5~4.0mm と SP 並みに薄く、材料の延性も高いので、コストが高い切削ではなく、穴はプレスで打ち抜き加工し、座面はコイニングによって肉厚バラツキおよび面粗度を向上させる方法を検討した。

打ち抜き加工およびコイニングテスト結果を、Table 5 に示す。打ち抜き穴 A~F の精度は、プレス品の標準公

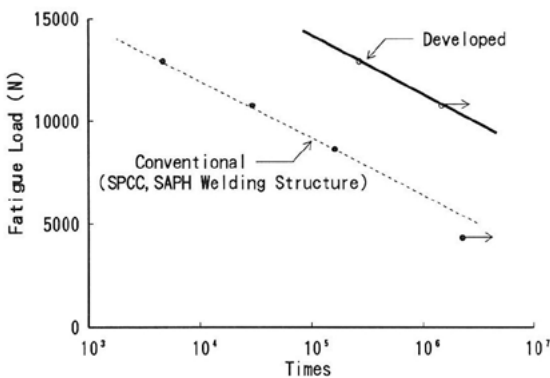


Fig. 12 Engine Mount Bracket Fatigue Strength

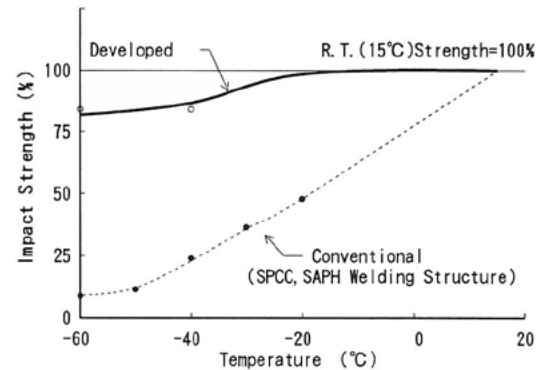


Fig. 13 Engine Mount Bracket Impact Strength

差±0.3mm に対し、 $3\sigma$ のバラツキ幅で最大 0.24mm であり基準値を満足し、SP 並みのプレス性を有することが確認できた。コイニング面 1～3 の肉厚は、鋳物の基準値±0.4mm に対し、 $3\sigma$ のバラツキ幅で最大 0.38mm であり、基準値を満足している。また U～Z の面粗度も、素材鋳込み肌が  $3\sigma$ のバラツキ幅で最大  $145\mu\text{m}$  であったものが  $59\mu\text{m}$  に向上し、締め付けに必要な座面を確保できた。

## 6. 薄肉鋳物防食塗装

本開発材で製作したエンジンマウントブラケットは、SP 並みの薄肉のため、SP 製品と同様の耐蝕性を持った塗装とする必要がある。なおかつ、開発材の一般面は鋳造肌であり、SP 製品よりも面粗度が悪いいため、同等の耐蝕性を得るためには、新しい塗装仕様を設定する必要がある。

開発材用塗料は、耐蝕性がよく、常温乾燥タイプで低コスト化が可能なエポキシ系塗料を使用した。仕様設定は、面粗度と塗装回数を変え、最小膜厚を変化させたテスト品を製作し、耐蝕性を比較して行った。

結果を Fig. 14 に示す。耐蝕性の評価は、テストパネルにて塩水噴霧テスト (SST) を行い、塗膜剥離の発生する時間で評価し、SP 製品のカチオン電着塗装の実力である 480 時間で塗膜剥離がないことを目標とした。各プロットに付した数字は、塗膜剥離時間を示す。

面粗度が向上するにつれて、最小膜厚が増加し、耐蝕性も向上する。1 コート (数字は塗装、乾燥を繰り返す回数を示す) では面粗度を向上させても、480 時間以内で塗膜が剥離する。2 コートでは、鋳造肌の最大面粗度の  $145\mu\text{m}$  でも 480 時間で塗膜剥離がなく、目標を満足

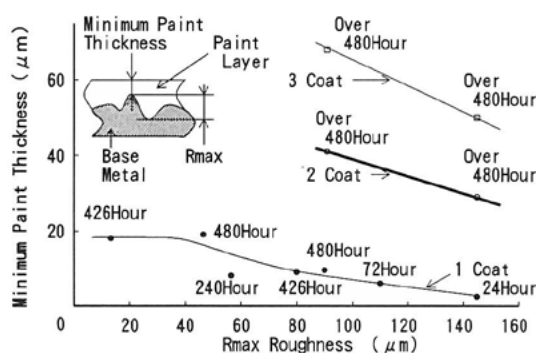


Fig. 14 Paint Film Property

Table 6 Result of Endurance Test

Measuring point

A line drawing of a mechanical component, possibly a bracket or a small housing, with three circular features labeled A, B, and C. Point A is at the top left, point B is at the top right, and point C is at the bottom center. Each point is indicated by a circle with a letter inside, connected to the feature by a thin line.

| Test Number | Measuring Point | Fastening Force N | Fastening Torque N·m |            | Torque Down |
|-------------|-----------------|-------------------|----------------------|------------|-------------|
|             |                 |                   | Initial              | After Test |             |
| 1           | A               | 17450             | 36                   | 26         | Occur       |
|             | B               | 17330             | 36                   | 26         | Occur       |
|             | C               | 18390             | 44                   | 44         | Not         |
| 2           | A               | 19760             | 48                   | 50         | Not         |
|             | B               | 19840             | 50                   | 50         | Not         |
|             | C               | 20660             | 52                   | 52         | Not         |

することができた。3 コートでも、鋳造肌最大面粗度の  $145\mu\text{m}$  で目標を満足するが、コスト高になることから、塗装仕様をエポキシ系 2 コートと設定した。

## 7. ボルト締め付け部仕様

先に述べたように、開発材の塗装膜厚は、面粗度の悪い鋳造肌の耐蝕性を向上させるために、厚く設定されている。そのため、2 コートの塗装膜厚のままボルトを締め付けると、車体振動とエンジンルーム内の高温のため塗膜がへたり、ボルトがゆるんでしまう。そこで、製造時に座面の塗膜を加熱プレス (以下ホットプレスと称す) し、耐蝕性を損なうことなくボルトのゆるみを防止

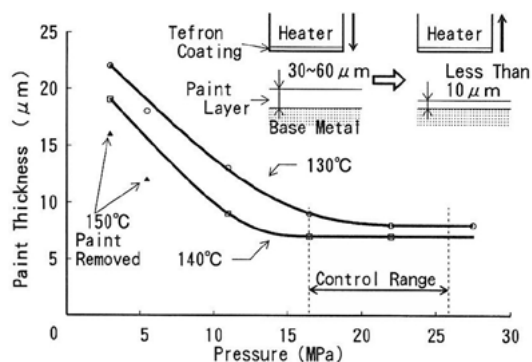


Fig. 15 Relationship between Load Pressure, Temperature and Paint Thickness

する方法を検討した。Fig. 15 に、ホットプレスの工程および加圧力・温度を変えた時の塗装膜厚の変化を示す。ヒーターの付いたプレス棒で塗膜を加熱圧縮することにより、初期の厚みが  $30\sim 60\mu\text{m}$  ある塗膜を一定に薄膜化する。ヒーター側プレス面には、塗膜の粘着防止のため、テフロン系のコーティングを施した。この手法で、 $135\pm 5^\circ\text{C}$ 、加圧力  $21\pm 5\text{MPa}$  に設定し、座面のボルトゆるみが発生しないホットプレス仕様の設定を行った。

Table 6 は、ボルト締め付け軸力を変えて実車最大負荷入力の耐久走行を行い、ボルトゆるみが発生しない締め付け軸力を調べた結果である。ボルト軸力を  $20\text{kN}$  以上に上げると、A、B、C 部のボルト 3 本共、締め付けトルクの低下による、ボルトゆるみは発生していない。このテスト結果と、ボルト締め付け時のトルク係数バラツキ、ボルト許容軸力から Fig. 16 に示すようにボルト締

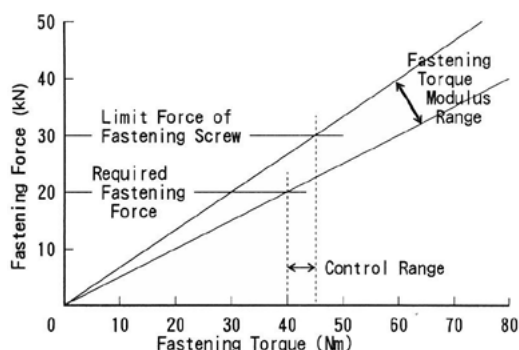


Fig. 16 Fastening Force Table

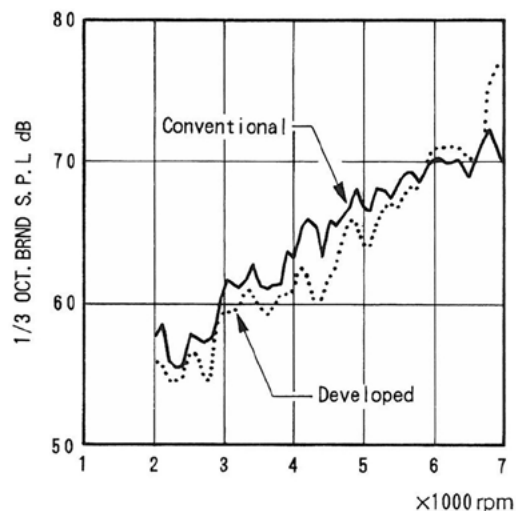


Fig. 17 Engine Noise (315~500Hz) at Slow Acceleration

め付け仕様を設定した。トルク係数最大の時、必要軸力  $20\text{kN}$  を確保するためには、締め付けトルクは  $40\text{N}\cdot\text{m}$  必要である。またトルク係数最小の時、ボルト許容軸力  $30\text{kN}$  を越えないようにするためには、締め付けトルクは  $45\text{N}\cdot\text{m}$  を越えてはならない。したがって、締め付け

| Item                | Conventional        | Developed      |
|---------------------|---------------------|----------------|
| Product View        | Horizontal Rigidity |                |
|                     | Vertical Rigidity   |                |
| Vertical Rigidity   | 4 9 1 7 0 N/mm      | 4 3 9 9 0 N/mm |
| Horizontal Rigidity | 5 1 3 0 N/mm        | 8 4 9 0 N/mm   |
| Weight              | 1 0 3 6 g           | 8 7 0 g (-16%) |

Fig. 18 Product View of Front Engine Mount Bracket

| Item                | Conventional        | Developed        |
|---------------------|---------------------|------------------|
| Product View        | Horizontal Rigidity |                  |
|                     | Vertical Rigidity   |                  |
| Vertical Rigidity   | 2 7 1 0 N/mm        | 3 9 4 0 N/mm     |
| Horizontal Rigidity | 1 3 5 0 N/mm        | 2 0 5 0 N/mm     |
| Weight              | 1 1 4 0 g           | 1 0 0 0 g (-12%) |

Fig. 19 Product View of Rear Engine Mount Bracket

| Item                | Conventional        | Developed    |
|---------------------|---------------------|--------------|
| Product View        | Horizontal Rigidity |              |
|                     | Vertical Rigidity   |              |
| Vertical Rigidity   | 5 6 3 0 N/mm        | 6 3 5 0 N/mm |
| Horizontal Rigidity | 9 2 0 N/mm          | 3 0 6 0 N/mm |
| Weight              | 5 4 0 g             | 5 4 0 g      |

Fig. 20 Product View of Side Engine Mount Bracket

トルク管理を  $40\sim 45\text{N}\cdot\text{m}$  の範囲内で行えばよく、 $5\text{Nm}$  の範囲は、量産管理が可能であり、この範囲に仕様設定をした。

## 9. 実車性能

開発材で製作したエンジンマウントブラケットは、軽量化を達成し、かつ、高い剛性が得られている。加速時の音振動特性の向上には、高剛性化によるエンジン振動の共振防止が有効なので、フロント、リアおよびサイドの3つのエンジンマウントブラケットを開発材を用いて製作し、背振動特性の比較を行った。

結果を Fig. 17 に示す。水平方向の剛性を重点的に向上させたことにより、開発材品は、急加速時のドライバ右耳音圧で、中高周波音が最大  $4\text{dB}$  低減し、聴感上も澄んだ音色となり、音振動特性の向上が図れた。

開発材品の仕様を Fig. 18~20 に示す。各エンジンマウントブラケットは水平方向の高剛性化を図り、軽量化を行った。その結果、フロント、リアおよびサイドエンジンマウントブラケット合計で  $11\%$  の軽量化を達成した。

実走行耐久性については、開発品仕様にて市場を想定した耐久走行テストを行い、十分な耐久性を有することが確認できた。

## 10. まとめ

本開発材の靱性は、従来材の中では靱性が高い FCD 400 を凌ぐものが得られた。

- (1) 本開発材は、常温伸び  $20\%$  (従来材  $12\%$ )、低温  $-40^{\circ}\text{C}$  シャルピー衝撃値  $17\text{J}/\text{cm}^2$  (従来材  $7\text{J}/\text{cm}^2$ )、遷移温度  $-60^{\circ}\text{C}$  以下 (従来材  $-20^{\circ}\text{C}$ ) である。また、材料特性における (製品全て均一肉厚での) 限界肉厚は  $2\text{mm}$  (従来材  $4\text{mm}$ ) である。
- (2) 鋼板ブラケットを本開発材に材料置換し、形状自由度の高い薄肉形状を駆使することにより等強度、等剛性で  $10\%$  軽量化できる。
- (3) 鋼板と同様に打ち抜き、コイニングプレスにより切削加工が省略でき、コスト低減が可能となった。
- (4) 本開発材で薄肉形状を駆使することにより、重量効率良く音振動特性に効く部品剛性の向上が図れる。

エンジンマウントとして、音振動特性向上と軽量化を考慮した本材料による設計例では、 $11\%$  の軽量化と音振動低減  $-4\text{dB}$  の実車効果を得た。

## 謝 辞

本開発遂行にあたり、御協力を頂いた目立金属㈱の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

## ■著 者■



酒 井 潤



夏 目 毅



具 志 堅 義 幸