繊維強化アルミコンロッドの開発

林 直義* 伴 恵介* 桜井 久之**

1. はじめに

近年、自動車の低燃費、高機能化の要求の高まるなかで、エンジンの高効率化は、年々そのニーズが大きくなってきている。こうした中でエンジンの往復運動部分の軽量化は、その運動に伴う負荷を低減させ、波及的にエンジン全体の軽量化設計を可能とし、さらに、振動の低減が計られるといった車の商品性にも寄与する効果の大きな技術として各方面から注目され研究が進められている。

特に、エンジンの主運動部であるコンロッドは、従来から、鉄鋼材料の高強度化および最適設計により、軽量化が計られてきている。近年アルミ合金等の軽合金材料への置換検討も進められており、一部軽負荷エンジンとか、市販レースキット等にアルミ合金を使用している特殊な事例はあるが、一般自動車用エンジンでは、その使用温度、負荷条件が厳しいことおよび耐久信頼性についても高い性能を要求されるので、下記に述べるような理由から、広く使われる状況にない。

アルミ合金は、耐熱ジュラルミンでも、鉄鋼材料に比べ熱間強度、剛性に劣ることおよびエンジンの使用温度域での過時効現象により、強度低下が起る等の問題があり、自動車エンジンのコンロッド用材料として不適当である(図1)。当社では、このような現状に対して、コンロッドの部品機能の解析と、かねてから将来軽量化技術として基礎研究を進めてきたFRM(繊維強化金属)技術の応用により、これら課題に取り組みアルミコンロッド

の具現化を可能とした。以下に本開発におけるFRM材料技術およびコンロッドについてその特長と概要を紹介する。

2. FRM材料技術の現状と特長

FRM材料技術は、次世代技術の1つとして材料技術だけでなく将来の機能、設計技術をも大きく変革向上させる手段として大きな期待がよせられ、航空宇宙産業から一般産業に至るまで広く研究開発が進められている。しかし、一部航空宇宙産業分野にて実用化され始めてはいるものの、自動車等の一般産業分野では、なお実用化には多くの課題が残されている。それは、大きく分けると次の2つに集約される。(1)材料理論としては、確立されつつあるが、個々の部品機能と強化技術すなわち設計技術上の課題があること。(2)産業用部品として、安定した品質を保証できる量産製造手法の確立が十分でないこと。前者の課題は、主に部品機能、形状によるものが多く、航空宇宙分野では、比較的単純なパネル、ハリ、パイプ等の組み合わせが多いのに対し、一般産業分野では、コンロッドの例でも分かる様に、その形状が複雑で、機能的にも種々の方向、大きさの負荷を受ける部品が多く、そのため、強化方法も複雑となり、現状では、有効な技術、ノウハウの蓄積が少なくトライアンドエラーにならざるを得ない。また、後者では、製造プロセスそのものが確立途上にあり、前者の複雑な形状、強化方法に対応し、且つ量産性のあるプロセスがまだ確立されていないことが大きな要因となっている。これら2つの課題はFRM材料技術の実用化に対して、今後、克服してゆかなければならないものである。

3. 本開発FRM材料技術の特長

当社のFRM材料技術は、種々の材料特性を要求され、複雑な形状の部品に対し、広範な応用が可能であること、またその製造プロセスについても、従来素材技術と同等の生産性を有することを目標に開発されたものである。本FRM材料技術は、要求特性に合わせて選択された繊維を、予じめ所定の形状に成形したプリフォームとして取扱い、これを部品の補強したい任意部位に、局部加圧鋳造法により、素材鋳造時に複合する部分複合強化を特長としている。この結果、高価な繊維を目標特

図1 熱間強度経時劣化(a)と熱間強度特性(b)。

* 株式会社本田技術研究所主任研究員

** 株式会社本田エンジニアリング技師

Development of Fiber Reinforced Aluminum Connecting Rod; T. Hayashi*, K. Ban*, H. Sakurai**(*Honda R & D Co. Ltd., **Honda Engineering Co. Ltd.)

1986年1月31日受理

性に合わせて有効に、かつ確実に繊維強化できるとともに、繊維の取扱い、複合化も容易であり、後加工工程も従来と同等な、高い複合適合性と生産性の両立を得ている。また、本技術は、繊維のプリフォーム化により図2に示す様に各種の長繊維、短繊維、ウisker等を一方、ランダム等に成形し、組合せることにより、種々の機能を要求される部品に対して、広い応用性を持っている。

図2 FRM の代表的強化法と特長。

4. FRM アルミコンロッドの特長

(1) 基本構造

本コンロッドは、図3に示す様に耐熱アルミ鋳造合金を基材として、アルミ合金との複合適合性に優れ、靱性の高い集合伸線法によるステンレス金属繊維を強化繊維として採用し、部品機能上強度を最も要求される桿部の強化を行なっている。図4, 5に、FRM部の顕微鏡組織と走査型電子顕微鏡による破面を示すが、良好な複合状況が確認できる。

図3 (a) アルミ FRM コンロッドの基本構造。
(b) FRM アルミコンロッド。

(2) 製造プロセス

図6に、製造プロセスを示す。本プロセスは、前述したように、予じめ桿部要求特性に合せて、束ねられた一方向ステンレス繊維をプリフォーム体とし、これを金型

図4 FRM 部の顕微鏡組織。

図5 FRM 部の走査型電子顕微鏡による破面。

図6 FRM アルミ・コンロッドの製造プロセス。

にセットし、コンロッド鋳造時に複合強化させている。図7に、その複合メカニズムを鋳造加圧パターンと模式図によって示す。

(3) 複合適合性

本コンロッドでの複合適合性を図8に例として示す。

これは、複合強化した繊維が理論通り負荷を分担しているか検定するもので、複合材としての品質性能の基本となるものである。この検定結果から複合則は、100% を達成しており、優れた適合性が確認されている。

1	静水圧 プリフォーム	◎ キャビティー内に溶湯充填完了 ◎ プリフォームに周囲より静水圧が加わり、溶湯が浸入
2	浸入 繊維	◎ ファイバー表面を洗いながら、溶湯が浸入 ◎ ファイバーの成分が拡散
3	初晶析出	◎ ファイバー表面のチル効果により初晶 (Si) の析出 ◎ ファイバー間充填完了、溶湯加圧力増加
4	スクイズ プリフォーム内充填完了	◎ ファイバー間にスクイズ凝固 ◎ プリフォーム内充填完了
6	アルミ合金 FRM部	◎ キャビティー凝固完了

図7 プロセスと複合メカニズム。

公称断面 応力 (kg/mm ²) ($\sigma = P/A$)	マトリックス 実測 応力 (kg/mm ²) (σ_M)	マトリックス 応力低下率(%)		複合則達 成レベル (%)
		実測値 $\frac{\sigma - \sigma_M}{5}$	理論値 (※)	
10.6	7.94	25.1	25.1	100

$$(\text{※}) \alpha = \frac{K \cdot V_f}{K \cdot V_f + 1}$$

$$K = E_f / E_M - 1$$

$$E_f = 19,500 (\text{kg/mm}^2)$$

$$E_M = 7,300 (\text{kg/mm}^2)$$

$$V_f = 20\%$$

$$A = 188.6 (\text{mm}^2)$$

$$P = 2,000 (\text{kg})$$

図8 アルミ FRM コンロッドの繊維と適合性。

(4) 材料強度特性

図9に今回適用した FRM 材料の強度特性を示す。繊維強化により、熱間時の強度特性向上が大きく、200℃にて、疲労強度 47%、座屈強度 36% の向上が得られている。

5. 繊維強化アルミコンロッドの効果

当社小型乗用車シティに、繊維強化アルミコンロッドを採用した。これは、FRM 材料を強度部材として、世界で初めて量産実用化に成功したものである。このシティでは、従来の鋼製コンロッドに対して 27% の軽量化が計られた。軽量化による効果として、往復運動重量軽

図9 アルミ FRM コンロッドの強度特性。
(a) 疲労強度
(b) 座屈強度

減によるエンジンフリクションが 4.5~7.0% 低減し、車のシステム改良と合せて、燃料消費が、10 モード 22.5 km/l から 24.0 km/l に向上している。また、附随効果として、エンジン出力、レスポンスの向上および振動低減効果が得られている。

6. む す び

苛酷な使用条件にあり、かつ高い信頼性を要求されるエンジンの主要強度部品であるコンロッドに、FRM 材料を量産適用できたことが、FRM 材料のポテンシャルを立証し、今後の広い範囲へ応用してゆくための礎となるよう願っている。