

ハイブリッド繊維複合材の諸特性とエンジンプロックへの応用

The Properties of Hybrid Fiber Reinforced Metal and its
Application for Engine Block

林 直 義*	牛 尾 英 明**
Tadayoshi Hayashi	Hideaki Ushio
藤 沢 義 和**	畑 恒 久**
Yoshikazu Fujisawa	Tsunechisa Hata
柴 田 一 雄*	海老沢 賜寿雄***
Kazuo Shibata	Masuo Ebisawa

要 旨

自動車の開発において軽量化は重要な課題である。エンジンの軽量化のために、鑄鉄ライナ入りアルミブロック、過共晶アルミシリコン合金ブロックが開発されている。

これらに対し、さらに軽量で高機能なエンジンプロックとして、シリンダライナ面のみ短繊維部分強化した複合材料(MMC)エンジンプロックを開発し、同時にプリフォーム製法、複合化鑄造法、非破壊検査についての大量生産可能な生産技術を確立した。

本論文では、MMC エンジンプロックに最適な複合材料の特性と製造方法について概要を述べ、新しい軽量 MMC エンジンプロックと過共晶シリコンブロック、FC ライナ付アルミブロックとの比較を行った結果を述べる。

ABSTRACT

The weight saving for automobiles is important. In order to produce a lighter engine, an aluminum block with cast-iron liners and a hypereutectic aluminum-silicon alloy block has been developed.

We have developed a new aluminum engine block which has the cylinder bore surface structure reinforced with short ceramic fiber composite materials (MMC). We have also established technology suitable for mass-production including a fiber preform process and a non-destructive inspection method.

In this paper, the optimum properties and production technology of MMC engine blocks are introduced. A portion of the paper is dedicated to the results of a comparison study between a new light-weight aluminum engine block, a hypereutectic aluminum-silicon engine block and an aluminum engine block with cast-iron liners.

1. ま え が き

自動車エンジンの高出力化と軽量、コンパクト化へのニーズは高く、このニーズはエンジンの中で大きな重量を占め、主要部品であるエンジンプロックに対して特に高い。

軽量化に対しては、エンジンプロックを鑄鉄材よりアルミニウム合金への置換(例えば、鑄鉄ライナー入りエンジンプロック)により進められているが、さらに過共晶アルミシリコン合金 A390 を用いることにより、一体ブロックとすることができ一層の軽量化が達成できる。⁽¹⁾⁻⁽⁸⁾

また、コンパクト性は、ボア間の軸間長さにより決定されるが、軸間長さは鑄造上のアルミ有効肉厚と材料の熱伝導率によって決定される。アルミ合金一体のエンジンプロックとすることにより、熱伝導率の向上、軸間の有効肉厚の拡大による鑄造性向上が得られコンパクト化が実現できる。

ところが、過共晶アルミシリコン合金材料は初晶シリコン粒径の鑄造コントロールが難しく、機械加工性も一般アルミ合金に劣り、ボア表面処理が必要なため一般アルミ材エンジンプロックに対し生産性が劣り生産コストが増加する問題がある。

* 栃木研究所

** 和光研究所

*** ホンダエンジニアリング

以上のことから、シリンダライナ部のみ耐摩耗性を向上し、エンジンプロックをアルミ化することができれば軽くてコンパクトなエンジンプロックが実現でき、さらに一体で低歪であるためシリンダーボアとピストンリングの密着性・シール性が向上しオイル消費・ブローバイ特性の向上が期待できると考えられる。

2. エンジンプロック材料の考え方

エンジンプロック用材料としては、軽量性でアルミ合金材が铸铁材よりも優れている。エンジンプロックの強度・剛性及び振動・騒音はクローズドデッキ形式の採用、リブ補強等の手法によりアルミ合金でも十分成立する。しかし、エンジンプロックの重要な役割であるシリンダライナ部のピストンリングやピストンとの摺動特性については、従来使用されている亜共晶・共晶合金では満足できる特性は得られない。

一方、最近研究開発が盛んに行われている複合材料は強度・剛性・耐摩耗性を大幅に向上でき、製法を選ぶことで必要な部分にのみ適用が可能な部分強化ができること及び添加する繊維の量と種類をコントロールすることにより特性を自由にコントロール出来る特徴がある。

そこで、エンジンプロックのシリンダライナ部のみ複合強化する部分強化法を用いれば、従来使用されているアルミ材料とほぼ同一成分のアルミ合金を使用し、低価格で軽量・コンパクトな耐久性に優れたエンジンプロックが実現できると考えられる。

そこで、従来エンジンプロックで一般に使用されている ADC12 (JIS 規格) 材をベースとしたアルミ合金を基材とし、部分強化複合 (MMC) 材料について繊維の最適仕様を検討することにした。

3. MMC 材料の特性評価

3.1 供試材

テスト用素材は、テストピース用金型を用いて 200~300kgf/cm² の圧力下のもとで鑄造した素材より切出し、テストピースに加工したものを用いて評価を行った。

用いた材料を表 1、2 に示す。繊維は量産性を

表 1 アルミ母相材料

	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
ADC12 (Wt%)	1.5 ~3.5	9.6 ~12	< 0.3	< 1.0	< 1.3	< 0.5	< 0.5	< 0.3	Bal.

表 2 繊維材料

	Al ₂ O ₃ -SiO ₂ F	Al ₂ O ₃ F	CF (Pan)	CF (Pitch)
商 品 名	ISOLITE Kauwool	ICI Saffil(RG)	TORAY T300	KUREHA KCF106
真 密 度	2.6	3.4	1.8	1.6
繊 維 径 (μm)	2.8	3	7	10
強 度 (MPa)	1300	1000	2000 ~3000	1000
弾 性 率 (GPa)	120	300	200 ~300	40

考え、市場において比較的安価で入手しやすいものを選択した。

3.2 評価テスト方法

シリンダーライナー部分において、最も重要な特性である摺動特性を確認し材料選定を行った。そのテスト方法と条件を以下に示す。図 1 に示す様に摺動する 2 つの材料をチップとディスクのテストピースとし、チップオンディスクタイプのテスト装置 (図 2) にて、焼付き特性は摩擦抵抗係数 μ の立ち上がりより、摩耗特性はチップの摩耗量により評価した。

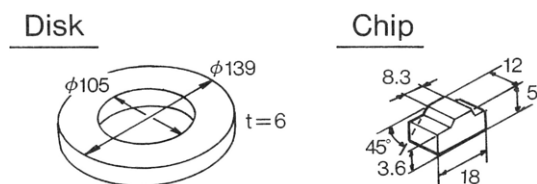


図 1 供試材形状

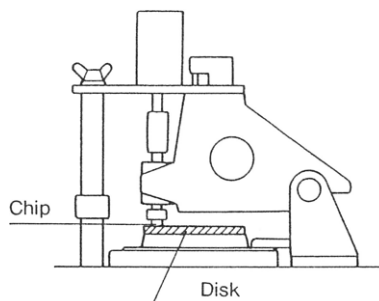
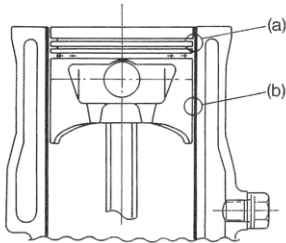


図 2 摺動テスト装置

表3 単体摺動テスト条件

条 件	E	A	B	P
面 圧 P (kg/cm ²)	20	65	40	30
速 度 (m/s)	2.5	2.5	20	12.5
油膜厚さ (μm)	—	0.2~ 0.5	≈2.0	0.2~ 0.5



(a) Bore-P/Ring • Non-lubricant condition (E)
• Boundary condition (A)
• Max. PV value condition (B)
(b) Bore-Piston • Boundary condition (P)

図3 実機での摺動条件

テストに当たり、図3に示す実際の現象を表3の如くグループ分けし、代表的なテスト条件下で評価を行った。

また、エンジン始動時での発生しうる最悪条件を考え、焼付き特性評価のみ無潤滑条件(表3のE)を付け加えるとした。

3.3 テスト結果

(1) 複合材料の一次選定

表2に示す繊維で複合材を作成し、表3の無潤

表4 複合材の材料特性

	体積率 Vf (%)	引 張 強 度 (MPa)	弾 性 率 (GPa)
Al ₂ O ₃ -SiO ₂ F	10	240	78
Al ₂ O ₃ F	10	250	80
Carbon F (Pan)	10	200	70
Al ₂ O ₃ F+ CF (Pitch)	10+5	230	75
Al ₂ O ₃ F+ CF (Pan)	10+5	230	80

滑(E)条件で面圧を図4の如くステップアップして、限界面圧を求めた。

また、材料の引張強度の評価も同時に実施した。その結果を図5及び表4に示す。

摺動特性の焼付き限界から判断すると、図5に示す様に単一繊維ではアルミナ繊維が最も優れている。しかし、アルミナ繊維に炭素繊維を加えハイブリッド化することにより、焼付き限界が一層向上できる。これは、ライナ内面にオイルの膜がない状態であっても、炭素繊維の自己潤滑性のため耐焼付限界が向上しているためと考えられる。

また、摺動テストにおいても、アルミナ繊維複合材では一度傷が発生すると大きな傷にすぐ結びつくのに対し、アルミナ繊維に炭素繊維を添加した複合材では、小さな傷が発生しても大きな傷には成長しにくい。炭素繊維はピッチ系低グレード品よりパン系炭素繊維の方がすぐれている。また、

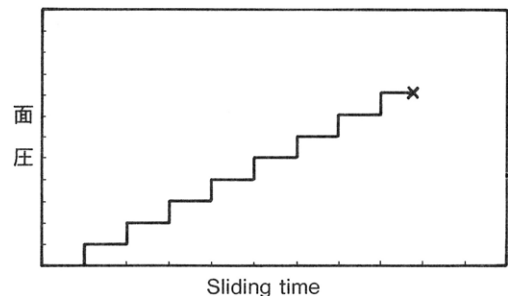


図4 無潤滑条件下での負荷面圧パターン

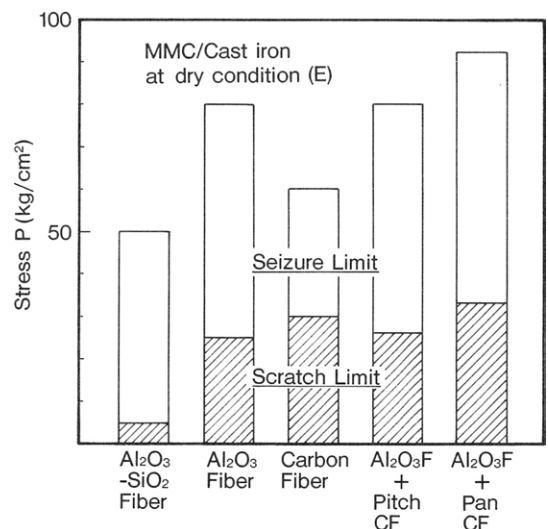


図5 複合材の摺動特性

炭素繊維のみでは強度が低下するが、アルミナ繊維に炭素繊維を添加したものでは強度低下も少なくすぐれた摺動特性の材料とする可能性があることが確認できた。

(2) 炭素繊維特性の複合材強度特性への影響

炭素繊維の結晶化度が与える複合材特性への影響を明確にするため、ヤング率の変化した炭素繊維を準備し、アルミナ繊維と混合させハイブリッド複合材を製作し、炭素繊維の種類による強度への影響を確認した。

また、同様に炭素繊維のアスペクト比を変化させ、強度に与える影響を確認した。

その結果を図 6, 7 に示す。

炭素繊維の結晶化が進み、ヤング率が高くなると複合材の強度は低下する。これは、結晶化度の増加による炭素繊維強度の低下と、炭素繊維とアルミ合金との界面強度低下によるものと考えられ、この結果よりヤング率 300 GPa 以下の炭素繊維の使用が望ましいと考えられる。

また、炭素繊維のアスペクト比については、短い繊維でアスペクト比が小さくなると強度は低下すると一般に言われている。本研究においても同様な結果が得られているが、一方で炭素繊維の種類によっては繊維長が大きい場合でもアスペクト比 15 をピークに強度が低下する傾向が発生している。この原因としては、二次元配向複合材で繊維方向が、引張荷重方向と垂直になった場合の切欠きが影響するためと考えられるが、これについては、さらに詳細解析を行う必要がある。

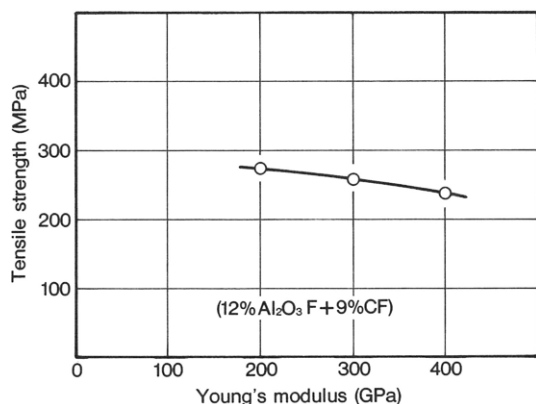


図 6 炭素繊維ヤング率と複合材強度

(3) アルミナ・炭素繊維ハイブリッド複合材の繊維体積率と材料特性

硬いセラミック繊維のため、添加量が増加するに伴い加工しにくくなり、また現状の価格も高いため、特性を満足する最少量で複合材の繊維体積率を設定する必要がある。

そこで主要特性である焼付限界、耐摩耗性、強度、剛性について繊維体積率による特性の変化を確認した。同時に部品としての形状仕様等の設定に不可欠な熱伝導についてもその変化を調べた。

(a) 摺動特性

焼付限界はボアスリーブとピストンリングの組合せを考え、ハイブリッド複合材と表面を窒化処理した AIS1420 材で実施し摺動面のキズ付限界と焼付限界の繊維体積率による変化を求めた。

その結果は図 8 に示す様に体積率の増加と共にキズ付限界 (Scratch limit), 焼付限界 (Seizure limit) 共向上する。

キズ付限界は、アルミナ繊維複合材と同様で、ハイブリッド複合材の炭素繊維の添加による効果は認められないが、焼付限界は、アルミナ繊維のみに対し炭素繊維の効果が大きいことがわかる。耐摩耗性については、同様な組合せでテストした結果、アルミナ繊維単一の複合材に対し炭素繊維の添加したハイブリッド複合材でもほぼ同一の摩耗量であることが確認された。(図 9)

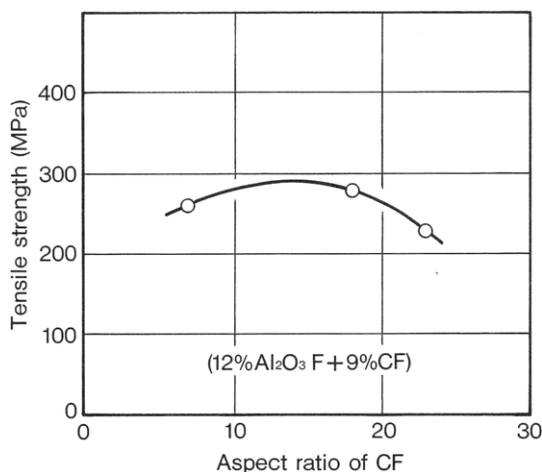


図 7 炭素繊維のアスペクト比と複合材強度

(b) 強度特性

強度特性については、図 10 の様にアルミナ繊維単一の複合材では添加量に対して、強度と 0.2% 耐力は、ほとんど変化しない。

炭素繊維を添加すると、炭素繊維体積率 9% までは体積率に比例して耐力は低下し、体積率が 9% を超えると耐力の低下は急激に大きくなる。

これは、炭素繊維の繊維径がアルミナ繊維に対して大きいこととアルミ合金との界面の強度が低いことによるものと考えられ、体積率が 9% 以上では炭素繊維間、又はアルミナ繊維と炭素繊維間の距離が短くなって材料強度の急激な低下を引き

起こしているものと考えられる。以上の結果より、炭素繊維の体積率は、急激な強度低下が起きない 9% 以下にすることが望ましい。

(c) 剛性

一般的に高弾性繊維により強化された複合材においては、繊維体積率が高くなるに従い複合材弾性率も高くなる。

図 11 は、アルミナ繊維及び炭素繊維の体積率と複合材弾性率の関係を示したものである。アルミナ繊維体積率の増加により複合材の弾性率が高くなる傾向にあるが、炭素繊維については、繊維体積率の増加に対し、複合材の弾性率は逆に若干低下する。

ハイブリッド複合材ではアルミナ繊維体積率 15% 以上とすることで過共晶シリコンアルミ合金とほぼ同等な弾性率とすることができる。

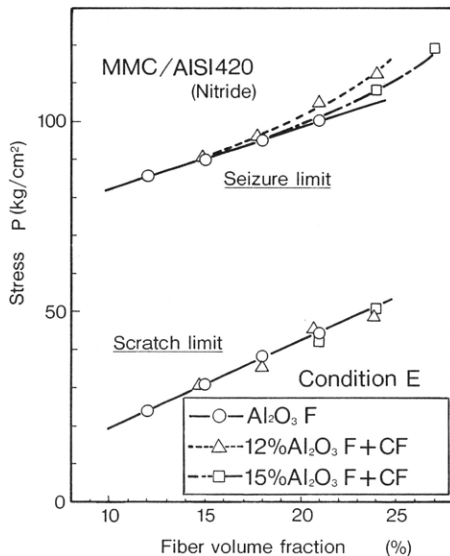


図 8 繊維体積率と複合材のキズ付・焼付限界

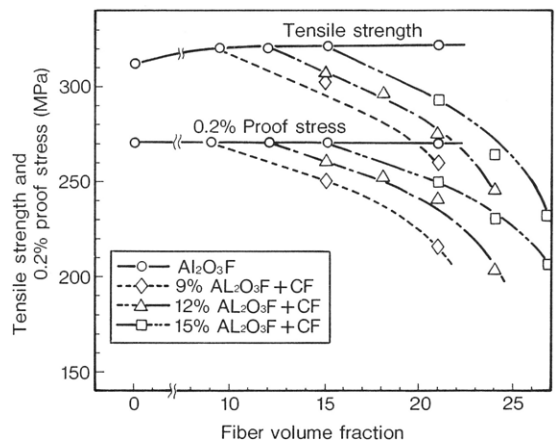


図 10 繊維体積率と複合材強度

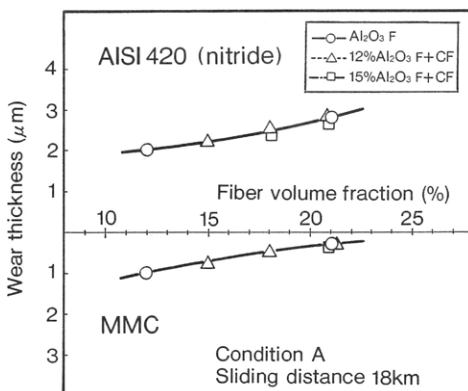


図 9 繊維体積率と摩耗量

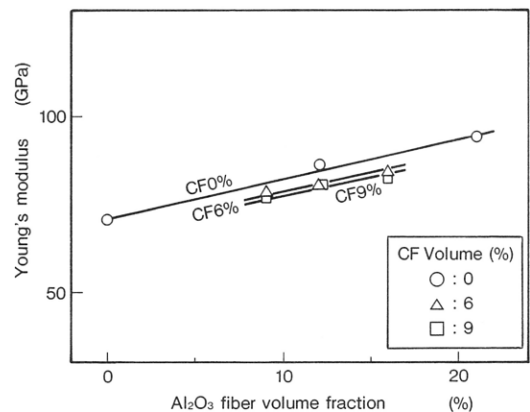


図 11 繊維体積率と複合材弾性率

(d) 熱伝導

セラミックス繊維は熱伝導率が低いため、セラミックス繊維複合材では、一般的に繊維体積率の増加に伴い複合材の熱伝導率は低下する。

図 12 に、アルミナ繊維及び炭素繊維の体積率と熱伝導率の関係を示す。アルミナ繊維では、体積率の増加に伴い熱伝導率は低下しているが、炭素繊維では体積率の変化による熱伝導率への影響は小さい。

ハイブリッド複合材の熱伝導率は過共晶アルミシリコン合金と鋳鉄材の中間に位置付けされる。

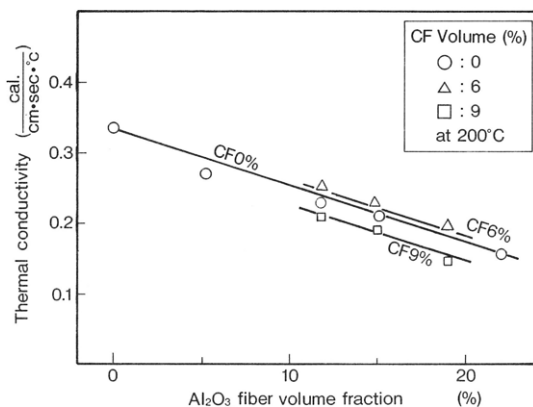


図 12 繊維体積率と複合材熱伝導率

(4) エンジンテスト

以上のテストピースによる評価によりハイブリッド複合材は、摺動特性と強度特性に優れていることが確認できた。

そこで、複合材のエンジブロックを製作してエンジンテストを行った。図 13 に使用した MMC エンジンブロック、図 14 に MMC のエンジンブロックの組織写真を示す。ピストンは過共晶アルミシリコン合金シリンダブロックで、一般に用いられている鉄メッキピストンを用いた。

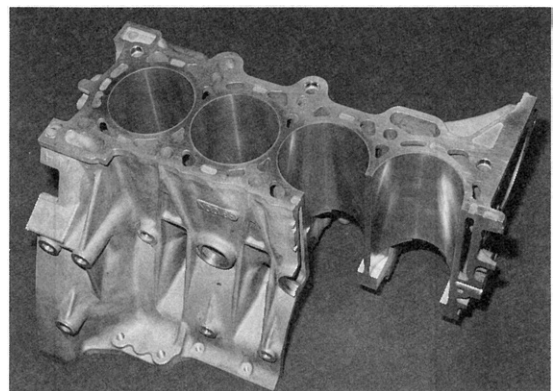


図 13 MMC エンジンブロック

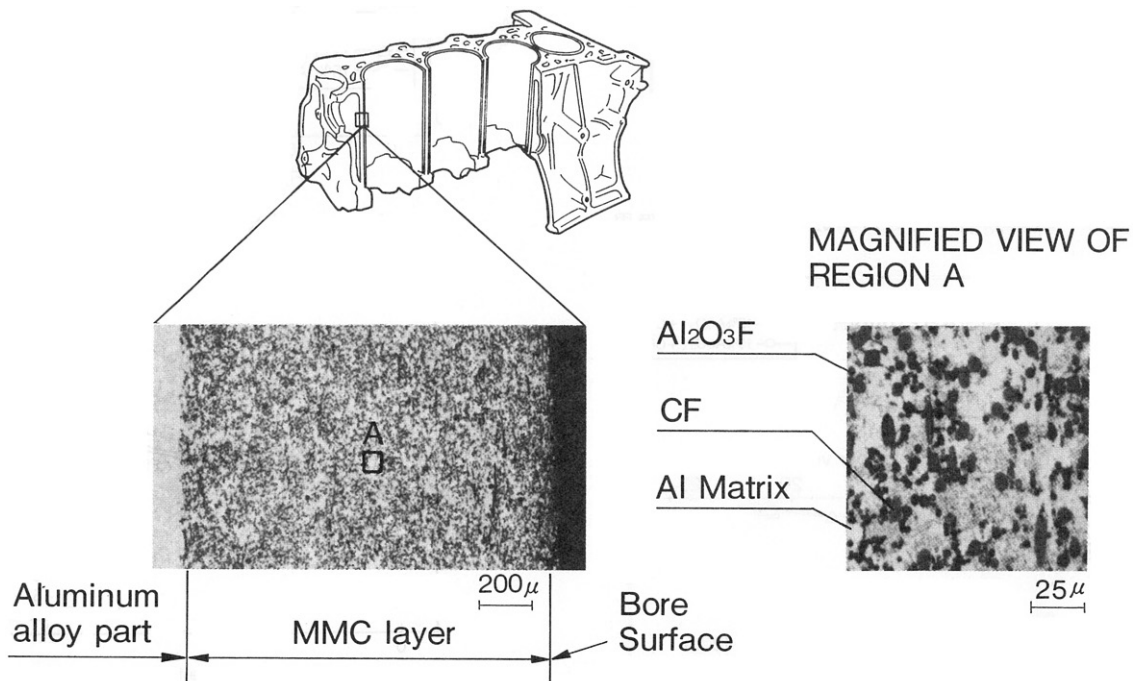


図 14 ブロック構造と組織

(a) 耐久性

ハイブリッド MMC エンジンブロックの耐久性としてシリンダライナ部の以下の項目について調べることとした。

- (1) シリンダボア及びピストンリングの摩耗
(特に T. D. C. 位置)
- (2) シリンダボアの変形

4 連 MMC シリンダブロックエンジンにて実走フリーテストを行った結果を図 15 に示す。

ハイブリッド MMC シリンダボアの摩耗は、過共晶アルミシリコン合金シリンダに比べ少なく鋳鉄シリンダと同等レベルである。ピストンリングの摩耗についても他のタイプの摩耗と同等である。実走テスト後のハイブリッド MMC シリンダのボア変形は、過共晶アルミシリコン合金シリンダと同等でボア変形は極めて小さい。

また、出力特性・オイル消費・ブローバイガス流量についてもテスト初期とほとんど変化がなかった。

以上より、ハイブリッド MMC エンジンブロックの耐久性は現在すでに量産されている各種タイプのエンジンブロックに対して何ら劣るところはなく、充分高いと考えられる。

(b) エンジンブロック温度

ハイブリッド複合材の熱伝導についてはすでに示したが、本材料を適用した 4 連 MMC シリンダブロックエンジンを使用し、ファイヤリングテストでの温度を測定した。

ブロック温度としては、最も温度が高いシリンダ連結部中央のシリンダヘッド合わせ面で測定した値を代表とした。

最高出力時のブロック温度は、鋳鉄ライナ入りエンジンブロックに対してハイブリッド MMC エンジンは約 10℃ 低下する。

また、過共晶アルミシリコン合金シリンダブロックに対しては、ほぼ同等な温度となっている。

鋳鉄スリーブ入りエンジンブロックからハイブリッド複合材エンジンブロックとすることにより同一出力ならばシリンダ連結部の長さ (= シリンダ間隔) を短くすることができエンジンブロックのコンパクト化が実現できることがわかった。

4. MMC エンジンブロックの製造技術

シリンダボア面のみを、ハイブリッド繊維により部分強化したエンジンブロックの主要な製造工程について、技術概要を次に示す。

	Cylinder bore wear (μm)	Piston-ring wear (μm)	Cylinder deformation (μm)
	0 10 20	0 10 20	0 10 20
MMC block engine			
Hypereutectic Al-Si block engine			
Cast-iron liner block engine			

* Fiber volume fraction of MMC cylinder bores is 12% $\text{Al}_2\text{O}_3\text{F}$ and 9% CF

図 15 エンジンテスト耐久性

4.1 プリフォーム工程

複合材製造のための繊維プリフォームとして以下の特性が要求される。

- (1) 均一で高い体積率
- (2) 高精度
- (3) 高強度
- (4) 高生産性

一般的なプリフォーム製造工程に対して、図 16 のようにラバープレス工程を追加することにより上記に示した特性を有するプリフォームの製造が可能になった。
この手法で製造したプリフォームの写真を図 17 に示す。

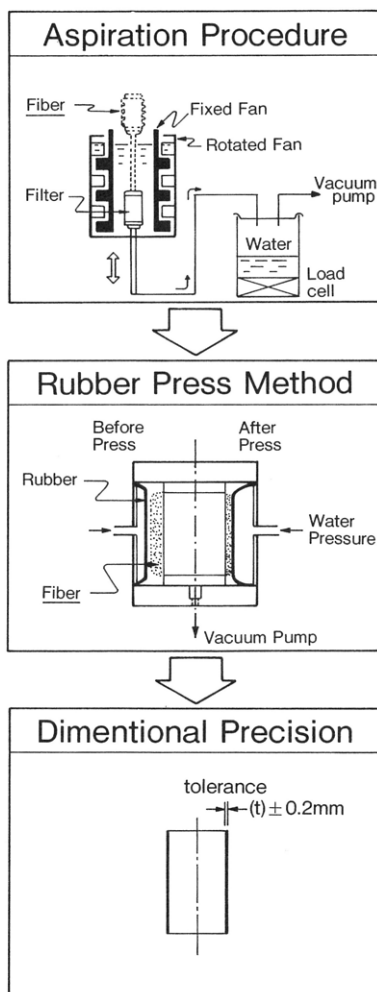
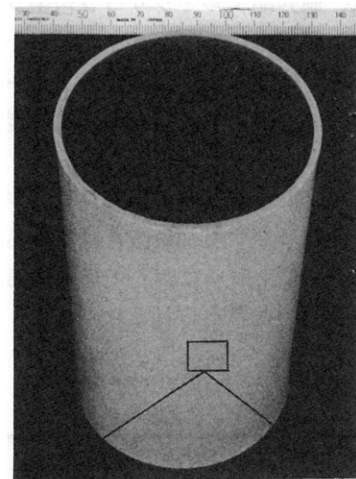


図 16 プリフォーム工程

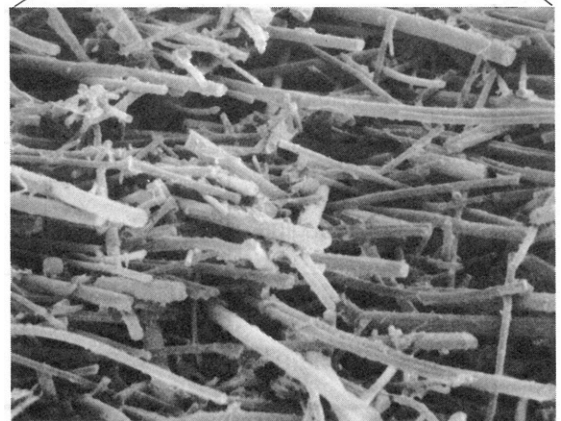
4.2 鋳造工程

鋳造法に要求される特性としては、下記の特性が必要である。

- (1) 鋳造初期において、プリフォーム空隙にアルミが溶浸し MMC 化できること。このため、
 - ① プリフォーム中に溶湯アルミが均等に浸透するための表面張力に打ち勝つ圧力を有すること。
 - ② プリフォームを変形させずに浸透できる低充填速度であること。
 - ③ アルミ充填過程での温度低下が抑制できる金型構造と温調機能を有すること。
 - ④ 充填過程で、溶浸するアルミが空気・



(a) プリフォーム外観



(b) プリフォーム表面状況

図 17 プリフォーム

表 5 製造法の比較

Process		Outline	Characteristics	Production Capability	Production Efficiency	Moldability
1	NDC New Die-Cast		Casting Pressure 50~300 kgf/cm ² Filling Speed 0.3~0.8 m/sec	Satisfied	Satisfied	Satisfied
2	SC Squeeze-Cast		Casting Pressure >1000 kgf/cm ²	Satisfied	Not satisfied	Not satisfied
3	DC Die-Cast		Casting Pressure 550~1000 Filling Speed 25~40 m/sec	Not satisfied	Satisfied	Satisfied
4	LPDC Low Pressure Die-Cast		Casting Pressure <0.3 kgf/cm ² Filling Speed 0.1~0.2 m/sec	Not satisfied	Not satisfied	Satisfied
5	GDC Gavity Die-Cast		Casting Pressure <0.3 kgf/cm ² Filling Speed 0.1~0.2 m/sec	Not satisfied	Not satisfied	Satisfied

ガス等の巻き込みを抑制できる鑄造方案を取れること。

(2) 高生産性を有すること。

そこで、一般的な各種鑄造方法について鑄造条件の比較を行った結果を図 18 に示す。

複合化の条件として、充填速度はプリフォームの破損、変形を防止する上で 1 m/sec 以下とする必要があり、鑄造圧力についてはアルミの溶浸性から 8 kgf/cm² 以上の圧力が必要である。

Filling Speed (m/s)	0.1~0.8 0.1~2.0	25~40	→ GDC/LPDC → NDC → DC
Casting Pressure (kgf/cm ²)	<0.3 50~300 550~1000		
Die Temperature (°C)	70~170 150~360 300~500		
Molten Metal Temperature (°C)	600~690 1680~750 700~780		

図 18 鑄造条件の比較

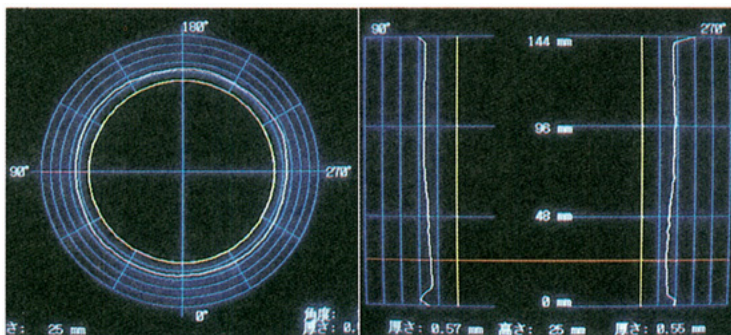


図 19a 複合部厚さ

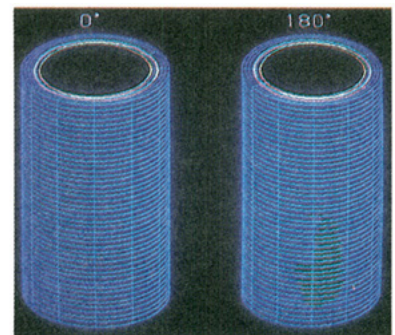


図 19b 複合部喪失欠陥例

図 19 渦流探傷検査例

種々の casting 方法について、さらにこれらの主な条件、装置構造、製法の特徴を比較してみると、表 5 のごとくなる。比較結果から MMC エンジンブロック casting 方法としては NDC(New Die Cast) 製法がもっとも適している。

NDC 装置は、低速充填、中圧 casting を特徴とする堅形構造の casting 装置で、金型温度を制御できることから高品質と高生産性を実現できるものである。

現在まで約 450,000 台の FC ライナ付エンジンプロックがこの方法により生産されている。

4.3 機械加工

MMC エンジンブロックでは、過共晶アルミニウム (A390) エンジンブロックに必要なライナエッチング処理工程等の特別な工程は必要なく、MMC ライナ表面の加工条件の改良を除き、従来の cast 鉄ライナ付きエンジンプロックと同様な機械加工工程で生産できることが確認できた。

4.4 非破壊検査

複合材料の製造工程は、従来材料と比較すると複雑であり、複合部品質により特性が左右されることから、実際に使用される多くの場合で非破壊検査が検討されている。

本研究に於いても非破壊検査手法の検討を行った。非破壊検査に要求される特性は

- (1) 複合材の品質欠陥 (ポロシティ等) の検出が出来ること。
- (2) MMC 層の厚さの評価ができること。
- (3) 製造工程内で使用できる能力が有ること。

である。

種々の検査方法を検討した結果、渦流探傷法が最適な手法であり、上記の検出評価が可能で、高効率であることがわかった。

ハイブリッド複合部の検査測定例を図 19 に示す。

5. MMC エンジンブロックと従来のエンジンプロックの比較

5.1 製造工程

MMC エンジンブロックの製造工程は、図 20 に示すように過共晶アルミニウムシリコンエンジンプロックの製造工程に比較して、casting 及び機械加工の効率が高く cast 鉄ライナ付ブロックの製造工程と工程数が同じである。

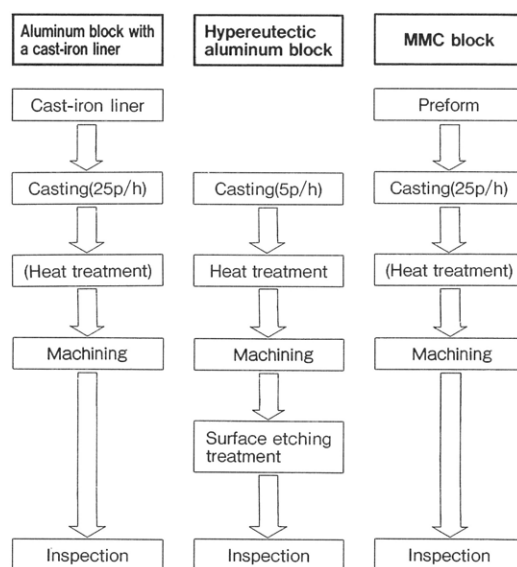


図 20 製造工程比較

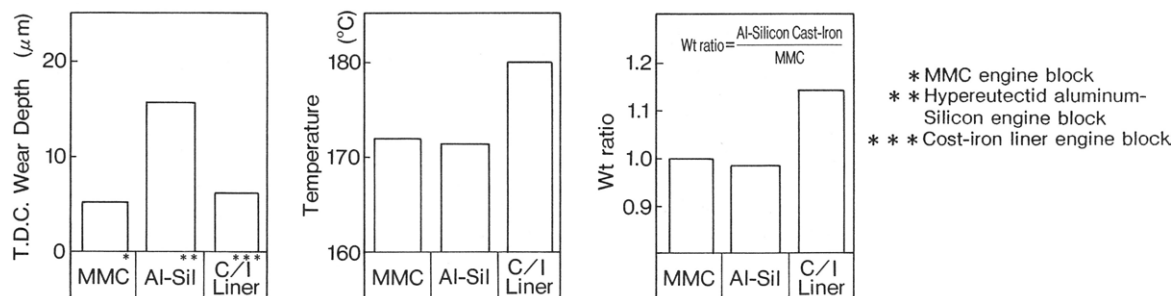


図 21 各種エンジンプロックの性能比較

更に MMC エンジンブロックでは過共晶アルミシリコンエンジンブロックに必要なライナ面のエッチング処理が不要である。

以上より MMC エンジンブロックは過共晶アルミシリコンブロックよりすぐれていると考えられる。

5.2 性 能

ボア内面の耐摩性・軸間の冷却性・重量について比較した結果を図 21 に示す。

軸間温度・重量は過共晶アルミシリコンエンジンブロックと同等でボア内面の耐摩性は铸铁ライナ付エンジンブロックと同等であり MMC エンジンブロックは最も優れたシリンダブロックであることがわかる。

6. ま と め

各種繊維を用いて短繊維複合材料特性を検討した結果、アルミナ繊維と炭素繊維からなるハイブリッド繊維強化複合材が優れた摺動特性を有することが確認できた。

この材料、技術を応用し、部分強化に必要なブリフォーム及び鑄造技術に関し大量生産可能な生産技術を開発することにより、優れた摺動特性を有する複合材料をエンジンブロックのシリンダライナ内面に生成させ、軽量・コンパクト・高機能なエンジンブロックが開発できた。

謝 辞

終わりに、本研究において、生産技術開発に携わって下さいましたホンダエンジニアリング(株) 原誉氏・樽野泰規氏、松本茂樹氏、佐久間剛氏、山岸繁氏及び開発に協力して頂いたホンダエンジニアリング所員の方々に深く感謝する。

参考文献

(1) J. L. Jorstad, The hypereutectic aluminum-silicon alloy used to cast the Vega engine block, Transactions, American Foundrymen's Society, Vol. 79, pp. 85-90 (1971).

(2) Gerhard Renninger, Dietrich Abendroth, and Martin Bolien, Mahle GmbH, Casting engine blocks in GK Al Si 17 Cu 4 Mg., SAE 830003.

(3) Wolfram Dahm and Rainer Georg Putter, Daimler-Benz Aktiengesellschaft. Light alloy engines-experience gained from research and development., SAE 830005.

(4) E. G. Jacobsen, Advance Product Engineering, General Motors Corp. General Motors 390 aluminum alloy 60° V6 engine., SAE 830006.

(5) Hans-Heinz Hofmann, Klaus Schellmann, and Erich Wacker, Karl Schmidt GmbH, Neckarsulm, W. Germany. Aluminum 390 alloy engine blocks: design and manufacturing., SAE 830007.

(6) John L. Jorstad, Reynolds Metals Co. Reynolds 390 engine technology., SAE 830010.

(7) J. Dinwoodie, E. Moore, C. Langman and W. R. Symes, Proc. ICCM 5 San Diego, California, 29-30 July, 1 August, 1985, Metallurgical Society of AIME, Warrendale, Pennsylvania, pp. 671-85.

(8) H. J. Rack, T. R. Baruch and J. L. Cook, Progress in science and engineering of composites, in Proc. ICCM 4, Tokyo (1982), Japanese Society for Composite Materials, Tokyo, Japan, pp 1465-72.

■著 者■



林 直 義



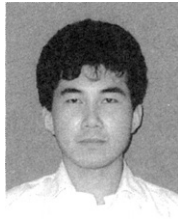
牛 尾 英 明



藤 沢 義 和



畑 恒 久



柴 田 一 雄



海老沢 賜寿雄