

自動車エンジン用高速めっき装置

—ライナレスアルミシリンダブロックへの採用—

Rapid Plating System of Automobile Engine
-Application to Linerless Aluminum Cylinder Block-

磯部 正章* 池ヶ谷 裕彦*

Masaaki Isobe

Hirohiko Ikegaya

要旨

地球環境問題に関心が高まり、自動車メーカーの排ガス削減や燃費向上に向けたエンジンの軽量化の研究にしのぎを削っている。シリンダーブロックのアルミ化が進み、当社においてもライナレスシリンダへのニッケル複合めっきの高速化技術（めっき品質）の開発により、従来のめっき方法に比べ10倍以上の析出速度とアルミ素地上への強固で安定した密着性が得られるに至った。

一方、長年培われてきたヤマハ高速めっきシステム（YRPS：YAMAHA Rapid Plating System）は、インライン設備として多くの生産実績があり従来のめっきランニングコストを約50%削減可能な量産技術（システム）として確立している。

これらのYRPS技術・ノウハウは、めっきシリンダーブロックの普及に貢献できるものと考えられる。

1 はじめに

自動車エンジンのライナレスアルミシリンダーブロック化は、燃費低減要請に応えるエンジンの軽量化という観点で当面の終着点といえる。

鋳鉄ブロックから鋳鉄ライナ＋アルミシリンダーブロックにすることで50%，ライナレス化することでさらに25%の重量低減効果が得られる。

ライナレス化は、重量低減の面のみならず、アルミの放熱性を十分に活かす、あるいは鋳鉄ライナとアルミピストンの熱膨張率の差を配慮したピストンクリアランスの設定を小さくできる。さらにシリンダ軸間距離短縮によるレイアウトの自由度の拡大など、数々の優位点がある。

一方、課題として耐久信頼性（耐摩耗性、耐スカッフ性、耐焼付き性）の問題があるが、これを解消する技術として過共晶アルミシリコン合金A390、MMC（Metal Matrix Composite）及びコーティング（めっき、溶射など）が採用されている。

しかしながら、これらは高級スポーツカーなど特定モデルでの採用であり、いずれも量産普及モデルには採用されていない。その理由として耐久信頼性のレベル及びコストが挙げられる。

これらの普及阻害要因を解消し、ライナレスア

ルミシリンダーブロックの量産モデルの採用を也可能とする一つの解として、従来のめっきシステムの概念を変えるYRPSについて紹介する。

2 ライナレスアルミシリンダーブロックの現状

2.1 過共晶アルミシリコン合金A390

1960年代後半以降、欧州高級車（GM, Mercedes, Audi, Porche）に採用が見られる。しかしながら、鋳鉄ライナ並みの耐摩耗性確保のためのボア表面の品質管理あるいは切削性などによる生産性の面、及びコストに難があり、一般量産車に普及するに至っていない。

2.2 MMC (Metal Matrix Composite)

唯一ホンダプレリュード米国仕様のみに採用されている。耐摩耗性の点ではA390よりは優れ、鋳鉄ライナと同等との評価であるが、アルミナ繊維とカーボン繊維の複合材からなるプリフォームの製造コスト及び量産性(MMCブロック)に難がある。

2.3 コーティング

コーティングとしては陽極酸化皮膜、線爆溶射および静止浴ニッケル複合めっきがある。A390、

MMCも含めたこれらの中では、ニッケル複合めっきが最も多種のエンジンに採用されている(Corvette ZR1, Porche911のスポーツカー用エンジン, モータサイクル, チェンソーなど)。

しかしながら、静止浴ニッケル複合めっきにしても高度の量産型車用のエンジンでの採用はない。この理由は比較的高価である点と、量産速度の遅い点が挙げられている。

ライナレスアルミシリンダブロックの自動車用量産エンジンへの普及阻害要因として、耐久信頼性の確保、及びコストもさることながら、既成の量産システムに対する適合性が重要な要因として挙げられる。

3 YRPS

3.1 開発の考え方

工場の概念を図にすると模式的に図1となる。生産施設を介して素材にエネルギー、生産財を投入して製品に変換する。この際の変換効率の良いことが低コストにつながり、余剰物質、余剰エネルギーが環境汚染の元となる。

YRPSは、この“変換効率を大きくする”及び“余剰物をなくす”の2点を追求した結果、従来のめっきのプロセスを根底からくつがえした。

すなわち、“めっき層に対象物を持ち込むのではなく、対象物のめっき部にめっき液を持ち込む”という考え方、及びこれにより“1個流しの機械

加工工程の中にめっき処理を取り込んでしまい、一貫工程とする(インライン化)”の2点を実現している(図2)。

3.2 高速めっきの原理

従来は静止しためっき液の中に一度にたくさんのがめっき物を長時間保持するやり方であった(図3(a))。皮膜の析出速度は、流す電流の大小に依存する。高速めっきでのめっきは、負極となるめっき対象面と正極の間をめっき液を流動させる方式としている。このため、極間距離を短くし、まためっき液を高速で流動させ、めっき対象面周辺のイオン拡散層を薄くすることで、低電圧でありながら、大電流を流すことが可能となる。

これによりめっきの高速化に加え、かつ皮膜の高度な品質管理をも可能とした(図3(b))。

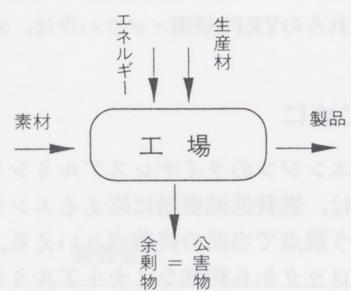


図1 工場の概念

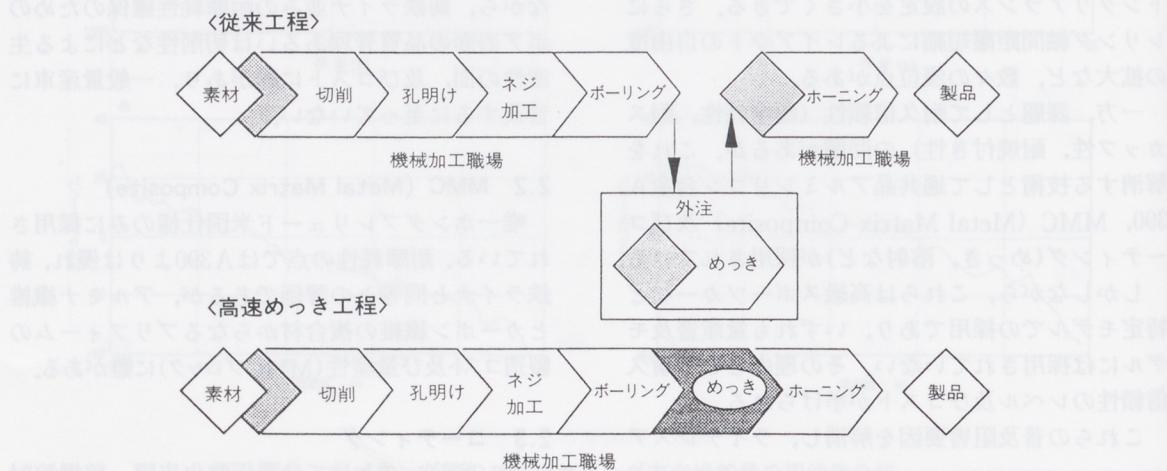
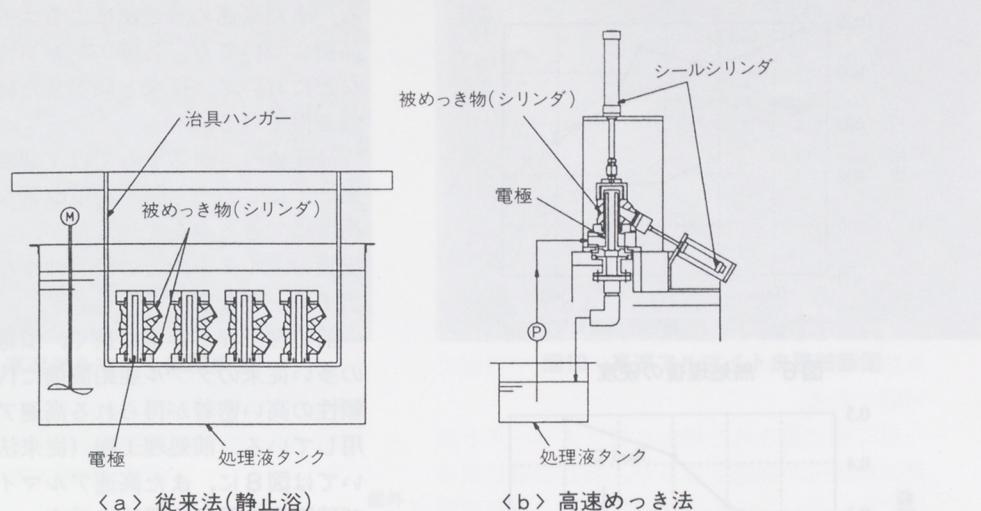


図2 YRPSによるインライン化



3.3 ニッケル複合めっきの高速化

従来のめっき方法としては、アルミシリンドラ及びライナの内側に硬質クロムめっき処理を施す技術が実用されてきた。しかしながらクロム皮膜は、耐スカッフ性などエンジン機能面で、また生産面においては、処理装置周辺の作業環境、廃水処理などの問題が多い。

ことに、最近の地球環境問題として、クロムめっきは将来的にきびしい状況下にある。一方、ニッケル複合めっき（静止浴法）は硬質クロム代替皮膜として（最近盛んに使われ、耐久信頼性及び環境面から、あるいはディーゼルエンジンのEGR対策としても）さらに用途拡大は必至であり、このたび当社が開発した、これら複合めっきの高速化技術は、他の量産システム（機械加工設備など）に適合させうる最も有効な手段の一つといえる。

(1)ニッケル複合めっき ニッケル金属またはニッケル系合金マトリックスの中に種々のセラミック系微粒子や繊維状物質を共析させ、金属マトリックスに複合機能を付与させうるめっき皮膜である。

自動車部品などへの耐摩耗性及び耐スカッフ性機能を有する皮膜としては、炭化ケイ素(SiC)を含有するニッケル複合めっきが代表的であり、その皮膜破断面を図4また、摺動特性及び諸特性を図5、図6、図7に示す。

(2)高速化レベル 要求されるSiCの共析量にもよるが実用可能な析出速度は、従来法に比し10～50倍速くなっている。

従来法（静止浴）	0.8～3.0 $\mu\text{m}/\text{min}$
高速法(YRPS)	10～40 $\mu\text{m}/\text{min}$

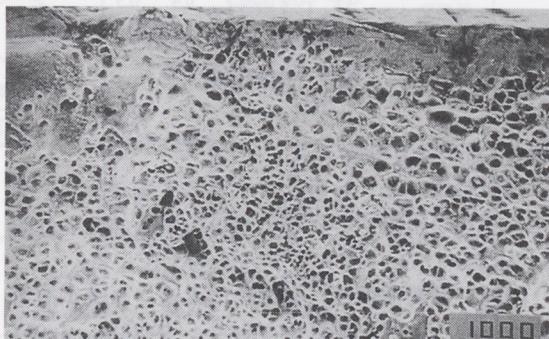
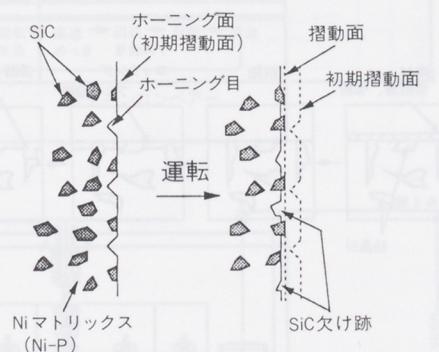


図4 YRPS皮膜断面図



摺動特性

ダイヤモンドホーニング目でオイルポケットを作る。そして、ピストン摺動により、硬いSiCは残り、マトリックスが摩耗し、そこに新たなオイルポケットが生まれる。こうして摺動部に、常にオイル潤滑面が形成される。

図5 摺動による表面プロフィール

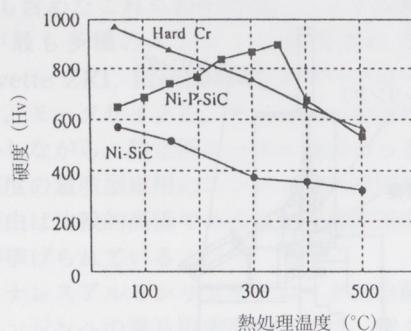


図6 热処理後の硬度

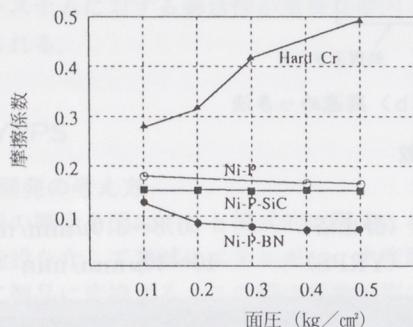


図7 摩擦係数

3.4 YRPSの特徴

量産車用エンジンのライナレスアルミシリンダ化の普及を阻害する先述の三つの要因の各々に対しYRPSは次のポテンシャルを有している。

(1)高い品質信頼性 従来法によるニッケル複合めっきのライナレスアルミシリンダはPorche911ほか、広範に事例がみられ、多くの採用実績があ

る。また高速めっき法によるニッケル複合めっき品質についても、各種エンジン性能及び台上試験などにおいて、従来と同等または、それ以上の評価を得ている。

高速めっきシステムでは1個流し方式とし、従来法に比しめっき膜厚精度改善などの品質管理が高度にできる点を先述したが、むしろ重要な点は皮膜のアルミ素地との密着性を左右する前処理がポイントとなる。

前処理工程が非常に長く、煩雑で液管理に問題の多い従来のダブル亜鉛置換に代えYRPSでは信頼性の高い密着が得られる高速アルマイト法を採用している。前処理工程（従来法との比較）については図8に、また高速アルマイト皮膜の表面及び破断面を図9、図10に示す。

(2)大幅なコストダウン 従来法との対比では50%以上のコストダウンが可能と考える。

大きな要因として

- ・完全自動化による人件費の削減。
- ・インライン化（一貫工程の中へのめっき処理工程の取り込み）によるハンドリング（物流）コストの大幅削減。
- ・膜厚の均一化によるホーニング時間の削減。
- ・クローズドシステムによる公害防止費用の節約。省エネ、省資源の観点でいえば次が挙げられる。
- ・電流効率：ニッケル複合めっきの場合は従来法に比し40~50%向上。
- ・部分処理による薬品使用量及び廃液量の軽減。
- ・水洗水の循環再利用。

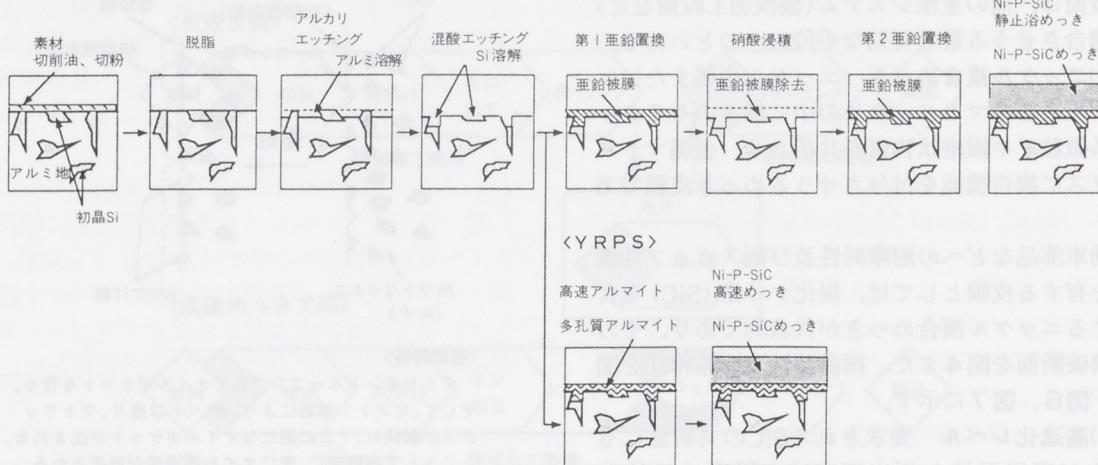


図8 アルミシリンダへの複合ニッケルめっきの前処理法

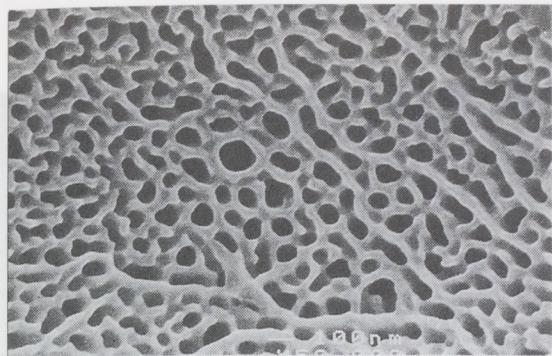


図9 高速アルマイト皮膜表面

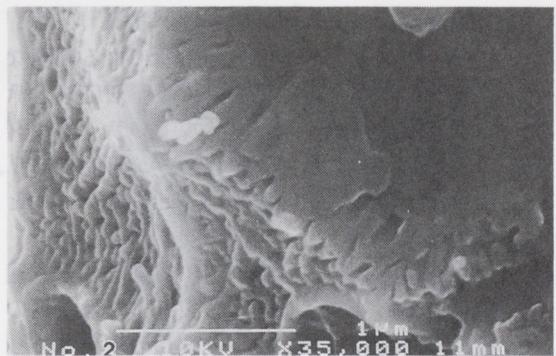


図10 高速アルマイト皮膜破断図

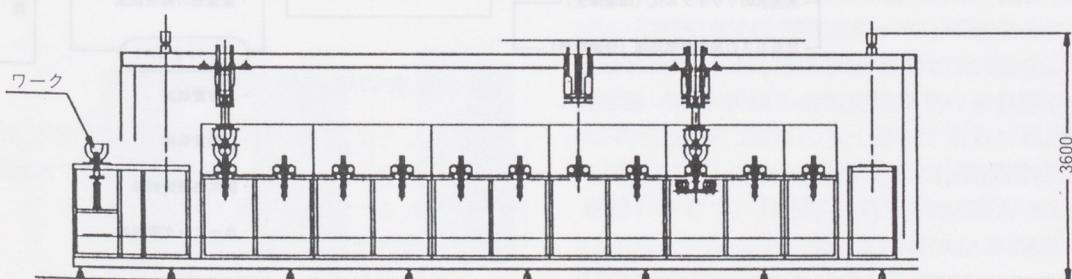
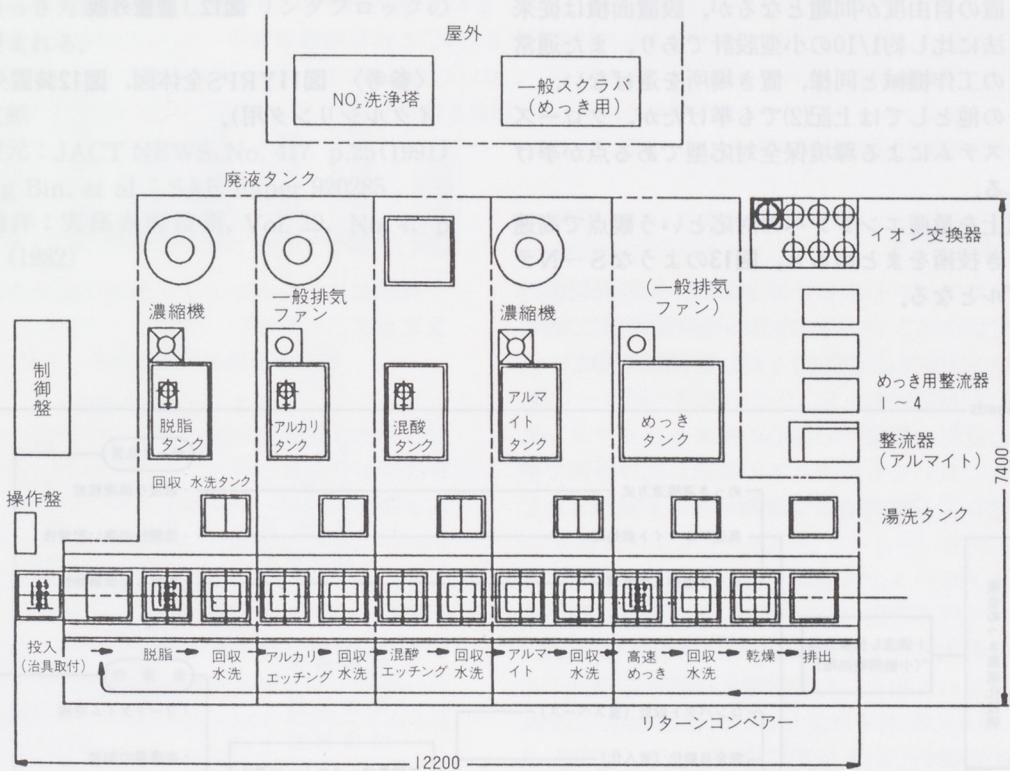


図11 YRPS全体図

(3)既成量産システムへの適合性が高い

- ・めっきの高速化、1個流し生産による高度な品質管理、完全自動化など、量産対応システムであり、直列4気筒モデルでのサイクルタイムはブロック当たり3~6分が可能であり、これは機械加工工程と同期させうるレベルと考える。
 - ・もちろん、直列、V型、水平対向それぞれ適用可能であり（各々固有の設備または治具の設計が必要）、また、めっき種類の変更はめっき液の変更と制御内容のアレンジにて自在に可能である。
 - ・一貫工程に組み込む場合には、スペースと設置の自由度が問題となるが、設置面積は従来法に比し約1/10の小型設計であり、また通常の工作機械と同様、置き場所を選ばない。
 - その他としては上記(2)でも挙げたが、クローズドシステムによる環境保全対応型である点が挙げられる。
- 以上を量産エンジンへの対応という観点で高速めっき技術をまとめると、図13のようなS-Nテーブルとなる。

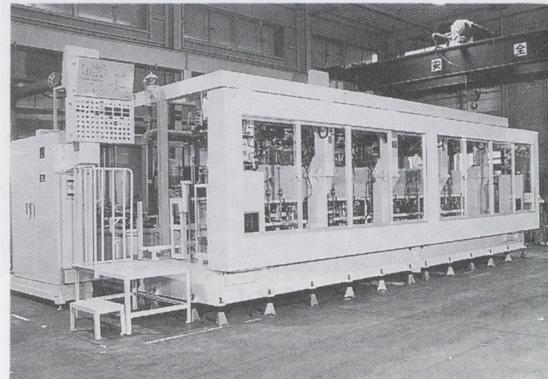


図12 装置外観

〈参考〉 図11YRPS全体図、図12装置外観（2サイクルシリング用）。

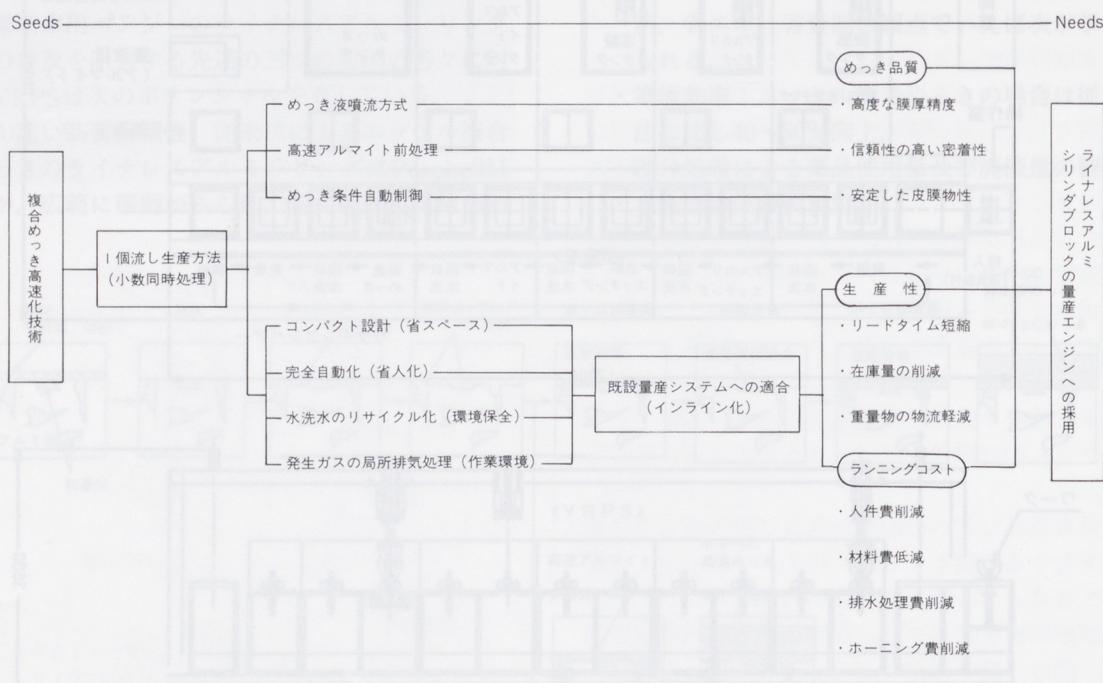


図13 YRPSのS-Nテーブル

4 おわりに

YRPSはすでにサスペンションのクッショニングロッド、エンジンバルブのステムなどの自動車部品や汎用エンジン用アルミシリンダへの機能めっきに使用され、機械加工の主要工程として高い評価を得ている。

本文のアルミシリンダブロックへのYRPSの開発は、一般量産車用高性能エンジンの普及に役立つものと確信する。

今後の課題としては、めっき品質の信頼性をさらに高めるための、非破壊式密着強度試験など、測定技術の開発及び鋳造技術の改善、また一方では高速めっき方式を考慮したシリンダブロックの設計が望まれる。

■参考文献

- (1) 市村元 : JACT NEWS, No. 417 p.25(1991)
- (2) Feng Bin, et al. : SAE Paper 920285
- (3) 塚越洋 : 実務表面技術, Vol. 29, No. 4, p. 177 (1982)

■著者



磯部 正章



池ヶ谷 裕彦