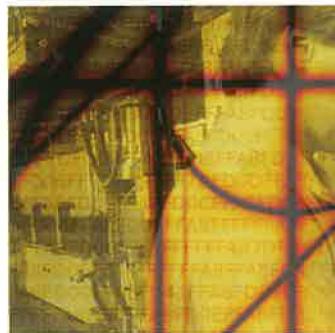
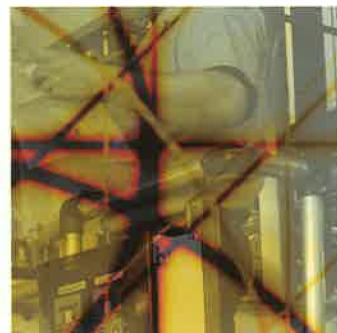




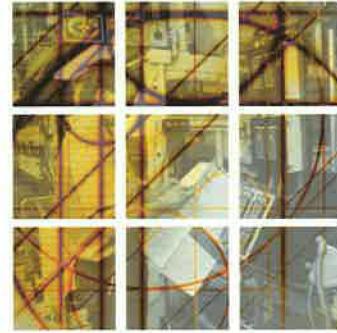
YAMAHA

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報



**2002-3
No.33**



特集：品質



2002-3

No.33

▶ 品質特集

- | | |
|----|---|
| 1 | 開発品質の向上提言
Defining Development Quality Improvement
飯尾 俊光 |
| 5 | <ロバスト設計>のすすめ
The Case for Robust Design
宝泉 誠 |
| 10 | MC 事業本部の品質向上の取り組みについて
Motorcycle Operations' Quality Improvement Measures
早田 修 |
| 14 | 特機事業部開発品質向上への取り組みについて
Power Products Operations' Measures for Improving Development Quality
入手 和秀 |
| 18 | 三信工業における品質への取り組み
Sanshin Industries' Quality Measures
上野 肇 |
| 21 | AM 事業部の品質への取り組みについて
AM Operations' Product Quality Measures
矢野 文夫 |
| 25 | PAS 事業部の品質への取り組み
PAS Operations' Product Quality Measures
武智 裕章 |

▶ 製品紹介

- | | |
|----|---|
| 28 | XV1700PC ウォーリア
XV1700PC Warrior
久保 裕 / 山崎 茂人 / 田中 裕 / 河崎 伸一 / 隆谷 文緒 / 海野 仁 / 尾鍋 文光 |
| 35 | YZF-R1
YZF-R1
小池 美和 / 西村 慎一郎 / 阿部 健児 / 仲秋 一 / 萩野 光弘 / 野澤 久幸 / 谷崎 渡 |
| 39 | ヤマハスポーツ TDM900
Yamaha Sports TDM900
松木 開央 / 望月 卓也 / 田中 豊二 / 小栗 幹夫 / 栗田 浩明 / 谷垣内 慶朗 / 中村 伊久雄 |
| 45 | クロスカントリー スノーモビル SXV70 「SXViper」
Cross-country Snowmobile SXV70 "SXViper"
斎藤 真康 / 山本 正信 / 井野口 欣孝 / 徳竹 浩志 |
| 51 | 4ストロークエンジン搭載 PWC FX140
4-stroke engine PWC FX140
杉山 恵一 / 高橋 康雄 / 服部 敏幸 / 平澤 武 |
| 56 | フィッシングボート UF-21CC
Fishing Boat UF-21CC
福山 美洋 / 門田 律 |

- 62 バスボート用船外機 VMAX250
Outboard Motor VMAX250 for Bass Boats
 平岡 徳由 / 入尾野 靖
- 65 アメリカ AUVSI シンポジウムとフライトイットショーに参加して
Participating in the AUVSI Symposium and Fly In Show in the USA
 鈴木 弘人
- 72 水夢 21
Swim 21
 今里 藤勝 / 佐々木 成彦 / 森田 隆司 / 片山 隆康

▶ 技術紹介

- 78 自動車シャシー技術の開発 X-REAS/ パフォーマンスダンパー
A New Automotive Chassis Components: X-REAS, PERFORMANCE DAMPER
 沢井 誠二 / 坂井 浩二
- 83 製品成熟度とプロセス改革
Product's maturity and Process innovation
 齊木 英夫 / 戸口 孝則 / 土手 啓二郎 / 大上 智之

▶ 技術論文

- 89 薄肉パイプ曲げ工法の開発と実用化(ハイドロベンド)
Bending Method and Production System for Thin-walled Pipe (Hydro-Bending)
 田代 康司 / 菅野 民雄
- 99 超音波振動を応用した圧入機の開発
Forced Insertion Device Utilizing Ultrasonic Vibration
 深津 英治
- 106 2輪車計測支援ロボット用磁歪式荷重センサの開発
Development of Magnetostrictive Load Sensor for Motorcycle-Measurement Robot
 水野 裕 / 久保田 剛
- 112 高性能鍛造ピストン用アルミニウム合金の機械的性質
Mechanical Properties of Aluminum Alloys for High-performance Forging Pistons
 小池 俊勝
- 122 唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか
Is Saliva an Index for Stress Level?
 水野 康文 / 山口 昌樹 / 吉田 博
- 128 競泳用プールの水浄化に関する数値解析
Numerical Analysis of the Scavenging Flow in Swimming Pool Filtration
 田中 廣



品質特集

開発品質の向上提言



飯尾 俊光
Toshimitsu Iio

●取締役
技術戦略グループ担当

The quality of products and service demanded by customers in recent years has risen to new levels and, along with this rise, the amount of cost loss the manufacturers incur due to things like customer claims has come to have a big effect on profitability. Several major incidents involving product quality have gravely affected companies in recent years, such as food poisoning from products of a food maker and product defects in the automobile industry in Japan and a major product recall by a manufacturer of automobile tires in the U.S. These incidents have shown us how a product-quality problem can cause the overnight collapse of a famous brand, or how a Product Liability problem can determine the fate of a corporation. In times like these, manufacturers are constantly being reminded of the importance of the quality of their products and service.

1 はじめに

近年、お客様の製品・サービスの品質に対する要求レベルは一段と高まり、企業にとっては、クレーム費等のロスコストが収益に大きく影響を及ぼす状況になってきております。

最近起きた品質に関する大きな出来事として、国内での食品会社中毒事件や自動車メーカー不祥事、そして、アメリカでの自動車用タイヤリコール問題等々がありました。これらの出来事は、品質問題に起因して、一夜にして有名ブランドが崩壊してしまうこと、又、大きなPL問題に発展した場合には、企業の死活問題となってしまうこともあり得ることを教えてくれました。製造業にとって、提供する製品・サービスの品質がいかに重要であるかを改めて認識させられる毎日であります。

2 品質ロスコストとは何か

さて、開発品質の在り方について述べる前に、品質ロスコストとは何かについて考えてみたいと思います。

品質ロスコストにはクレーム費、設変補償費、設変管理費、工程内仕損費等々のかかったコストが直接数字（金額）として出てくる顕在部分と、問題対策や緊急対応の為に二度手間開発になって発生する費用、営業、サービスでの費用等々、数字として出てこない潜在部分があります（図1）。

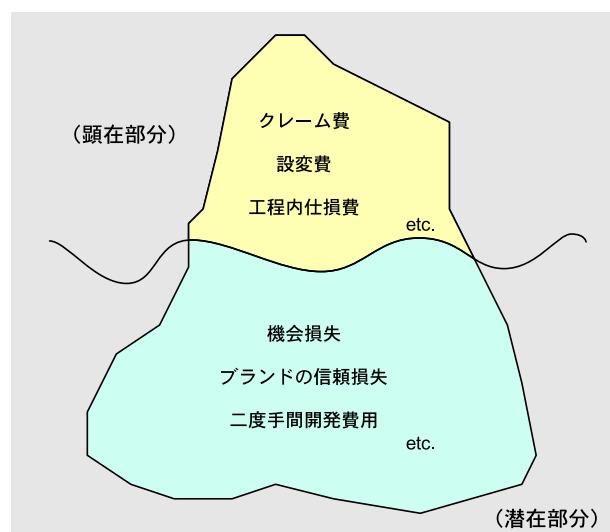


図1 品質ロスコスト

さらに怖いのは時間ロスであり、開発のやり直しをしている間に他社はさらに前に出る開発をしていると言う事です。金額換算はしにくいのですが、機会損失の負の連鎖が始まると競争に大きく遅れると言う危険な状況を生む事を肝に命じなければなりません。

このような数字として出てこない潜在部分は、機会損失やブランドの信頼損失等を含めると顕在部分の金額換算で2～3倍はあると一般的には言われています。

製造業の売上高経常利益率水準とこの売上高クレーム费率（顕在部分）から全体の損失（顕在部分と潜在部分の合計）を推定すると、いかに品質ロスコストが大きなウェイトを占めているかがわかると同時に、言い換えれば、品質向上は利益の増加ということにほかなりません。

3 開発品質について

社内で、物作りの場面において議論する時に出てくる○○品質という言葉だけでも、各プロセスにおいて、企画品質、要求品質、設計品質、実験品質、開発品質、試作品質、受入品質、製造品質、出荷品質、市場品質、サービス品質、あたり前品質、外観品質、魅力品質、耐久品質等、まだまだあると思いますが、これらの中で、品質向上をして利益が増加する筆頭は一番上流工程にある企画、開発品質の向上だと思います。なぜ開発品質の向上がトッププライオリティかといいますと、IBMのロチェスター工場で生産していたAS400というコンピュータの品質ロスコストに関して分析した結果、

- 設計開発段階でミスを発見し、工場での組立に入る前に修正した場合のロスコストを1とすると、
- 工場で組立てた後の出荷検査でミスを発見し、市場に出る前に修正した場合のロスコストは13
- 市場に製品が出荷されてしまった後で、市場で修正をした場合のロスコストは92

であった、とのことでした¹⁾。その他の事例も含め、一般的にはこれらは「1：10：100のルール」と呼ばれ、いかに上流の開発段階でくい止めることがクレーム費低減に大きく寄与するかが、そして開発品質の向上がいかに重要であるかが理解できると思います。

開発品質の向上は当社にとっても、最重要課題であるのは当然ですが、開発部門の皆さんには、「誰もが開発品質を向上させようといつも思っているし、そんなことはもう耳にタコが出来るほど聞かされているよ。課題は山ほど有り、性能は？機能は？品質は？コストは？…と手一杯の状態です。」と言うことと思います。

確かに、開発部門をとりまく現在の状況は、

- (1) 品質とコストを同時に達成しないと生き残れない。
 - (2) コストダウンをする為には、部品の共通化・共有化・標準化をもっともっとやらなければならない。
- しかし、その為に商品魅力が落ちて売れない商品を作ってしまってはならない。

等々、場合によっては相反する課題にチャレンジして競争力を出していかなければならない状態と思います。しかし、世の中はすごいスピードで変化している訳で、時代が変われば、我々も考え方の切り口を変えなくては大競争時代には生き残れない訳です。

これまで「コストを下げるためには公差をゆるくしたい。バラツキの大きな安価な材料や部品を使用せざるを得ないので品質が低下してしまう。」と品質とコストを相反するものと考えがちでした。そうではなく「高品質=高価格」、「低品質=低価格」と言う既成概念を捨てて、品質と言う言葉の意味、技術的な本質をもう一度明確に再確認しておく必要があります。なぜならば、今話題の中国の低価格商品がその低価格のままで高い品質を武器に世界の市場に溢れ出してくる日はそう遠くないと思われるからです。

まず高品質とは、計画された（又は約束された）物やサービスがいかに計画や予定に対してバラツキ無く提供できるかと言う事です。計画値は商品企画や設計目標値であって、顧客の要求を正確に反映し不足でも過剰でもない事、すなわち無駄の無い事なのです。これを正確に行う事が第一歩で、変化する市場においては過去の我々の常識や基準をも再度見直し、顧客の要求値を正確に掴む必要があります。これが企画、設計品質なのであります。

そのように考えて現状を見ますと、開発日程や計画された商品機能が目標どおりに図面に織り込まれ次工程や最終顧客に対してアウトプット出来ているか、それを開発品質と見て我々は高品質な開発活動が出来ているのかを考える必要があります。

量産過程においては外乱やノイズが入りバラツキが生じ、そのバラツキをいかにコントロールするかが品質管理の世界ですが、ノイズに対して如何に影響を受けにくい構造に設計するか、これが設計の腕、技術力と言う事になります。

「高品質とは無駄が極小である事」という原則を忘れないで、開発プロセスの中で高品質・ローコストを実現する為に品質工学やロバストの概念に基づいた設計手法や、各種のシミュレーションを利用して皆で知恵を出し合いながら、高い目標を掲げて開発品質の向上にチャレンジして行かなければ生き残りをかけた競争に勝てません。

4 開発品質の向上提言

高い目標を掲げて開発品質の向上にチャレンジするということは、品質・コスト・商品魅力を同時に作り込むことであり、私が日頃感じている事を提言させていただきますと、

- (1) その商品が使われる地域特性やその使われ方をよく理解した上で、使われ方に合った品質を追求する。
- (2) 市場に足を運び、商品がどのように使われているか、現物を直接見て、お客様の声を直接聞くことに心がける。
- (3) 品質工学やロバスト設計等を活用して、開発品質向上とコストの両立という高い目標にチャレンジ。
- (4) 部品の共通化・共有化・標準化を更に徹底的に推進することによって品質の向上とコストダウンをはかる。
- (5) 先行技術やニューコンセプト等を積極的に取り入れた商品開発に努め、魅力品質の向上をはかる。

5 おわりに

品質向上は事業プロセスの上流で達成することが大変重要であります（1:10:100のルールより）。上流とは開発部門における品質向上であり、つまり開発（設計・実験）品質をいかに上げるかが、企業収益を左右することになる訳で、開発部門のメンバー全員の現状認識と意識改革、そして高い目標に向かってのチャレンジと同時に開発プロセス改革を推進して、開発品質の向上を何としても達成して、CCS・感動創造につなげていきたいと思います。

■ 参考文献

青木保彦他：シックスシグマ—品質立国ニッポン復活の経営手法，ダイヤモンド社（1998）



品質特集 連載：開発工学（その1）

＜ロバスト設計＞のすすめ

～コストをかけずに品質を確保する方法～



宝泉 誠

Makoto Housen

● CCS センター
製品保証推進室

Someone once said to me, “In the old days engineers used to design things so well. ” He was referring to days after the World War II when engineers were forced to work with poor materials and parts for which there were unreliable quality standards. What he meant was that they had to design products well within those limitations in order to achieve the functions necessary.

Today, if you have the money, you can always get high quality materials and parts, but that results in products with production costs that can be simply too high. When we speak here of “unreliable quality standards,” we mean that there is a wide range of quality inconsistency, and “good design” means design that doesn’t rely on high-cost materials and parts but still produces products that give stable (robust) function that is not highly vulnerable to the effects of quality inconsistency. Thus we call it “robust design.”

Also, “quality inconsistency” as we use it here doesn’t refer only to inconsistency in the quality of things (materials and parts) but a larger meaning of inconsistency that includes factors like changes in conditions of product use and environment and such things as deterioration. If robust design is used at the development stage, with regard to the various types of inconsistencies encountered in the way the products are used in the different markets as well as inconsistencies at the manufacturing stage, it is possible to make a big contribution to reducing cost as well as reducing quality-related cost loss. This kind of robust design is especially essential in development of products that are subject to stiff price competition.

1 はじめに

以前にある方から「昔の人は、よい設計ができた。」と言うお話を聞きました。それは、戦後のことでの品質が安定しない粗悪材、粗悪品しか手に入らない中で、いかにより設計をして機能を発揮させるか、必要に迫られてそうするしかなかったとのことです（図1）。

今の時代、お金さえかけば、良質材、高級品に困ることはありませんが、それではコストが成り立ちません。ここでの品質が安定しないとは、ばらつきの大きいことを指し、よい設計とは、お金をかけずに、

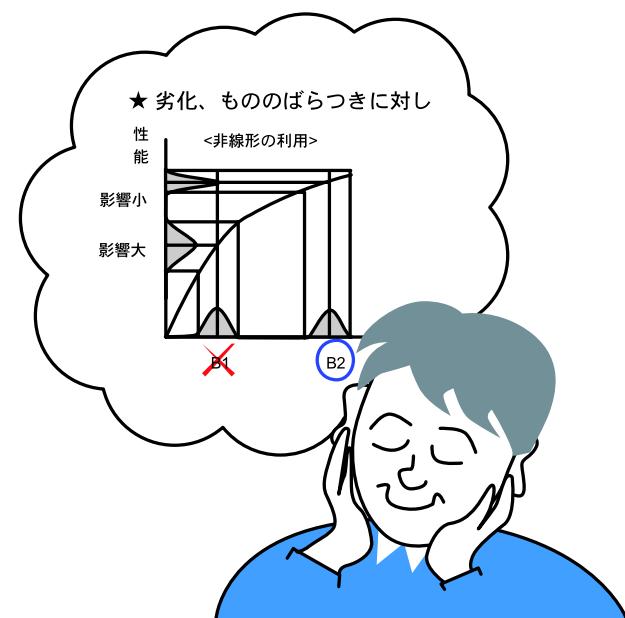


図1 粗悪材、粗悪品を使ってよい設計？？

ばらつきがあっても影響を受けにくい、安定した(=ロバストな)機能を発揮する設計、つまりロバスト設計を指しています。

ばらつきは、単にもののばらつきに限らず、もっと大きな使用、環境条件の変化、劣化も含めてばらつきと言っています。これらの市場での使われ方、製造のさまざまなばらつきに対して、開発時にロバスト設計されていれば、コストダウン、品質ロスコスト低減に大きく貢献できるでしょう。特に価格競争の激しい商品開発においては、ロバスト設計は欠かせません。

2 技術は、ばらつきとの戦い？(だけど、ばらつきと仲良くするとおもしろい。)

これは、よく言われていることです。商品を開発、製造している私たちは、日々ばらつきに悩まされています。ばらつきと言ってもさまざまです(図2)。まずは、ばらつきの認識からしてかかりましょう。

2.1 ばらつきとは

ばらつきには影響の大きさ順に、『使用、環境条件の変化』>『劣化』>『もののばらつき』があります。

(1) 使用、環境条件の変化

お客様の使用、環境条件はさまざまです。当社のエンジン製品においては、圧倒的に温度の影響が大きいものです。

(2) 劣化

ものは当然、いずれ劣化(変質、変形、摩耗)します。

(3) もののばらつき

ものは当然、最初からばらついています。どれ一つとして同じものはありません。

2.2 ばらつきは、どうも…？

市場の使われ方、製造のさまざまなばらつきに対してロバスト設計をと言わっても、何をどうすればよいか？ わからない。そして、何かあれば、その時点で考えよう。事が起こった後では、現象がはっきりしているので考えやすい。と言うふうになりがちです。

しかし、これがモグラ叩き(発生対応)の始まりになりますし、事の後では大変なばかりでなく、回りの設計が固まっているだけに、なかなか対応しにくいものです。

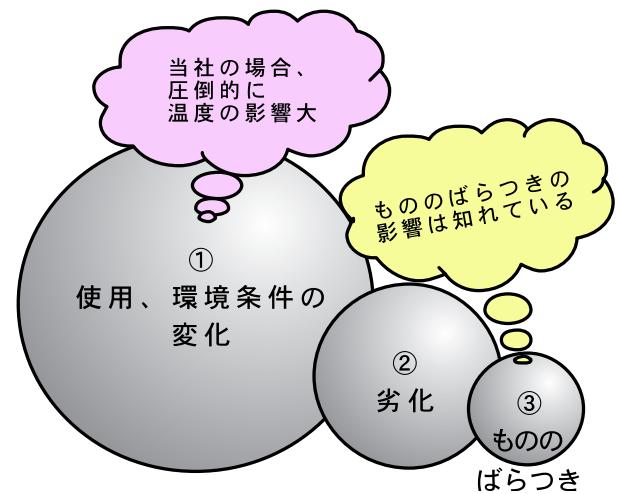


図2 ばらつきとは

2.3 安易な対処は、お金がかかる。

ばらつきの対処法として、とかくしがちな安易な対処の仕方(図3)は以下の通りです。

(1) 公差、管理をきびしくする。

公差=コスト、管理=コストで徹底が困難なものです。

(2) 良質材、高級品を使う。

ばらつきは良くなりますが、コストが課題にあがるのはつらい話です。

(3) 工程を追加する(加工、整形)。

(4) 最初から底上げしておく。

もののばらつき、劣化に対して手を施すことなく、ばらつきを見込んで最初から性能などを上げておくことを指します。

(5) 補正装置を追加する。

その分、コストがかかり、また信頼性面に余計な神経を使うことになります。

以上、すべてコストがかかり、エンジニアリングとはほど遠いばらつきの対処法です。冒頭に、粗悪材、粗悪品を使って、よい設計をするしかなかった人のお話をしましたが、それではどうやってよい設計をしたのでしょうか?

2.4 コストのかからない方法がある。

さまざまなばらつきに対して、影響を受けにくい設計をコストをかけずにしようとすれば、それには図4、図5に示すような方法で仕様(設計値)を決めることができます。それをどのように評価して探し求めるかは品質工学によるとして、図4は使用、環境条件の変化に対して鈍感な仕様を選定し、図5は劣化、もののばらつきに対して特性曲線のゆるやかな箇所に仕様を決めることでロバストを図ります。

このようなロバスト設計の例は、身近にたくさんあります。わかりやすい例をあげれば、

(1) エンジン部品の締付けに塑性域締付けがあります。これは図6に示すボルトの軸力-伸び特性で降伏点後のゆるやかな箇所(塑性域)で締付けるもので、締付

- ① 公差、管理をきびしくする。
- ② 良質材、高級品を使う。
- ③ 工程を追加する。
(加工、整形)
- ④ 最初から底上げしておく。
- ⑤ 補正装置を追加する。

図3 安易な対処は、お金がかかる。

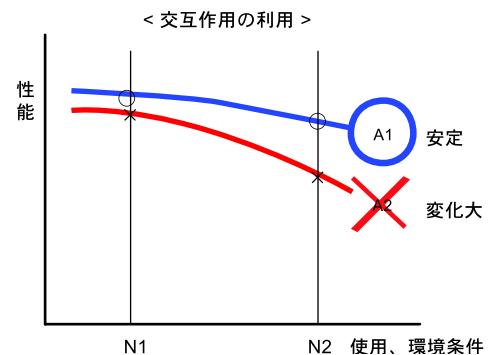


図4 使用、環境条件の変化に対して

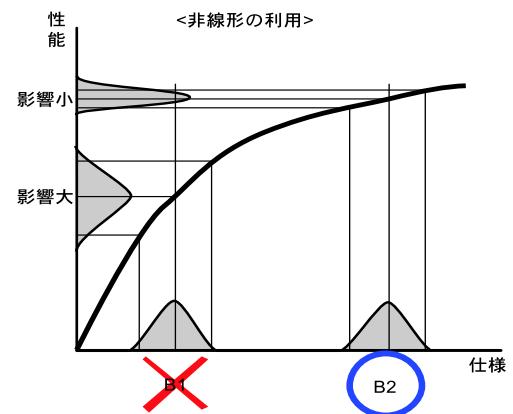


図5 劣化、もののばらつきに対して

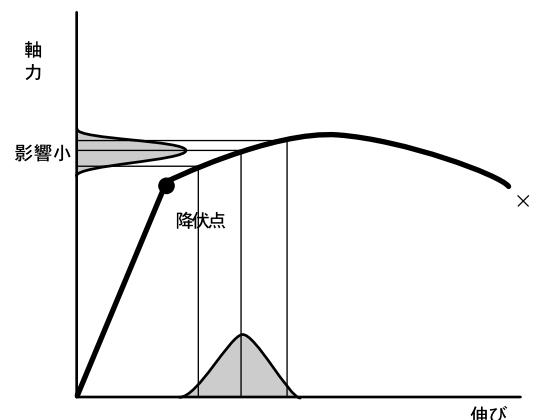


図6 ボルトの塑性域締付け

けトルクや締付け角のばらつきに対して影響を受けにくい、安定した軸力が得られます。

- (2) 車体部品のウェザーストリップのようなシール部品は、もののばらつき、組み立てのばらつきが大きく、劣化しやすい使われ方をする中で、安定したシール機能が保たれるような形状に設計されています。長年に渡って改良を重ねてきた製品は結果的(?)にロバストな設計に仕上がっていますし、素性のよい設計と呼ばれているものもロバストな設計になっています。

3 るべき設計手順は

品質工学の2段階設計(=ロバスト設計)によれば、

- (1) 先ずは、さまざまなばらつきに対し、機能を安定させる(素性のよい設計をする)。

前述の方法(図4、図5)でロバストを図ります。さまざまなばらつきと言っても、その及ぼす影響を考えれば、いくつかのばらつきに代表できます。

- (2) 次に目標値に合わせる。

ばらつきの影響がどこも同じ(特性が直線的)要因で目標値に合わせます。

図7は、わかりやすい例で示しています。実際は、いくつもの要因効果を調べる中で、相対的にこのようにします。

2段階設計の順序は、①→②がロバスト設計になります。逆の②→①は不可でモグラ叩きになります。いきなり目標合せ(セッティング業務)をしてしまうと、事ある毎に対応に追われ、その業務からなかなか抜け出せなくなります。

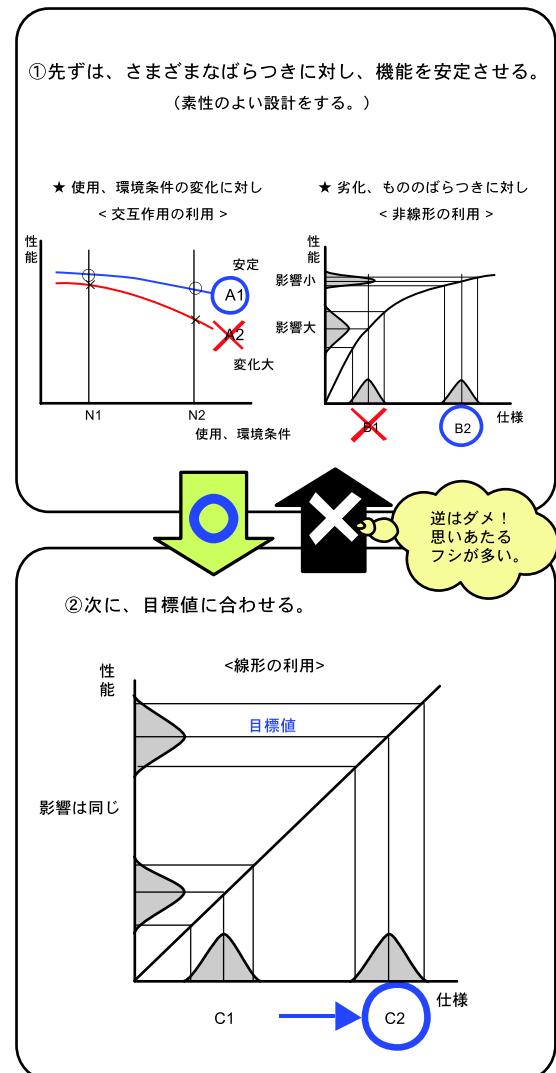


図7 品質工学の2段階設計

4 開発プロセスにおけるロバスト設計

コスト開発もロバスト設計も基本的に技術開発になります(図8)。製品開発では開発日程に沿って多くの部門が一斉に動き出しますので、技術開発がしっかりなされていないと、やり直し業務の開発ロスコストが発生します。

これを防ぐには、図8に示すように初期の技術開発の仕事の中でロバスト設計がなされるしくみとそのマネジメントが必要になります。

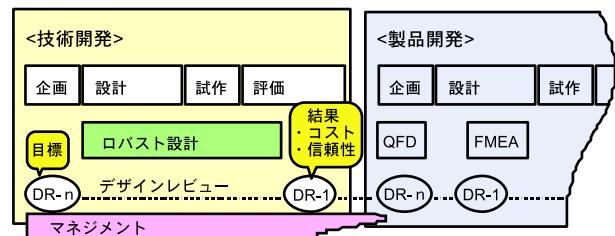


図8 技術開発と製品開発

5 おわりに

開発におけるフロントローディング(図9)の大切さは、よく言われることです。図9に示すように開発の早い段階に負荷をかけてコストと品質の造り込みを行い、その結果、総負荷を低減すると共に開発期間も短縮することを指しています。

ロバスト設計は、まさに設計行為のフロントローディングです。開発の早い段階から関連部門とのスルーハンドオーバー活動の中で、市場での使われ方、製造のさまざまなばらつきに対してロバスト設計をすれば、コストをかけずに品質が確保でき、開発期間の短縮も図れます。

よって、<ロバスト設計>をおすすめします。

ご意見・ご要望がありましたら、製品保証推進室まで、お気軽に、お寄せください。

次回の開発工学(その2)のテーマは、<問題予測と評価>を予定しています。ご期待下さい。

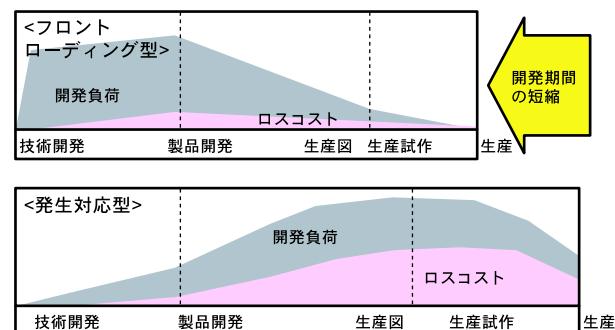


図9 開発におけるフロントローディング



品質特集

MC 事業本部の品質向上の取り組みについて



早田 修

Osamu Hayata

● MC 事業本部
品質保証統括部

It can surely be said that sound quality control is one of the pillars on which Japanese manufacturing has developed. Yamaha Motor is of course no exception. However, with the advent of globalization of markets in recent years and social trends that place increasing importance on issues of product safety, the demands regarding product quality are changing rapidly. At Yamaha we are working urgently to review our quality standards for our motorcycles and establish the capability to respond quickly to the changing market and social environment.

This trend in recent years toward more stringent demands from society for manufacturers to achieve and maintain new levels of safety and reliability in products in the food, automotive and other industries is not something that is limited to Japan alone. It is a worldwide trend of the times and corporations that do not respond to it will be left behind in today's competitive markets.

One of the prime indicators of the trend toward new levels of demand for product safety in the motorcycle and automobile industries in Japan is the big increase in cases of product recalls (Fig. 1). This increase should not be interpreted as evidence of an increase in incidents of trouble resulting from declining quality controls standards. Rather, it is the result of efforts by the manufacturers to ensure customer safety by seeking to prevent trouble before it begins in the case of problems that might involve their safety.

At Yamaha, as well, we have acted swiftly with the cooperation of our dealers to take measures to improve products that may reach the market with significant problems in order to help ensure customer safety. Thanks to efforts like these, there is a gradual shift in consciousness in Japan today similar to that which has occurred in Europe and North America. In short, people are coming to see that recalls are not entirely negative. Rather, they can be seen as positive manifestations of responsible corporate action to improve product quality.

In this report we look at the progress in quality improvement efforts by Yamaha's Motorcycle Operations in recent years in light of these trends and the directions we intend to pursue in the future.

1 はじめに

日本の製造業は、その歴史の中で品質を軸に成長して來たと言われます。もちろん当社もその例外ではありません。しかし最近のグローバル化や社会からの製品安全性を含む品質要求の高まりの中で、今一度ヤマハモーターサイクルの品質の在り方を再構築し、この環境変化にすばやく対応する事が急務となっています。

数年前から話題になっている食品や自動車等の安全性、信頼性確保に対する社会からのさらなる要求は、日本だけではなく全世界的な傾向であり、これに責任をもって応えられない企業は即座に淘汰される時代になりました。

製品安全性確保の代表的な傾向を示す例として、国内における2、4輪車のリコール件数の大幅増加が挙げられます（図1）。この件数増加の背景を製品の品質が低下してトラブルが増加したというように見るのではなく、各企業が安全性に関わる問題発生を未然に防止する活動を、積極的に行っていと認識すべきでしょう。

当社においても、市場に流出した可能性のある重要な問題に対しては速やかに対策を打ち、販売店の皆様に協力をお願いしながら製品の改善を行いお客様の安全を確保して來ました。このような各企業の動きに対しては、欧米社会がそうであるように、日本の社会においても以前のようにリコールを単に悪い問題として見るのでなく、メーカーの製品改善対応をむしろ責任ある正しい行為と認識するように徐々に変化し始めています。

これらの変化を踏まえて、MC事業本部で近年推進してきた品質向上活動と改善への取り組みの経緯と今後の方向性を紹介致します。

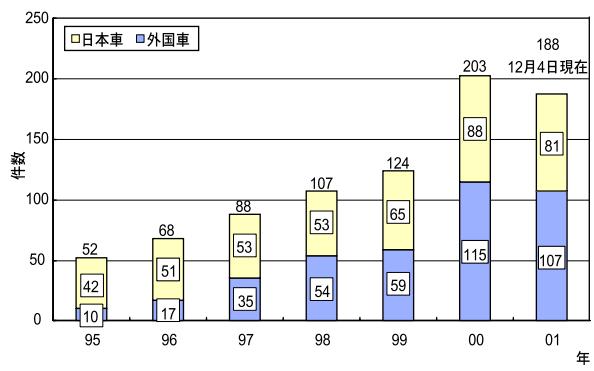


図1 国内における2、4輪車のリコール件数(改善対策含む)
データ出所:国土交通省ホームページ

2 クレーム 1/2 活動の継続

リコール費用を含めた当社製品のクレーム費用は、保証期間の延長や顧客の保証要求の高まりもあって増加傾向を示しています。これらの損失は当社の取り組むべき課題のひとつとなっています。MC事業本部ではその対策として1999年度よりクレーム 1/2 活動を実施しており、そのなかで各機種の開発担当プロジェクトリーダー主導による顕在問題の解決と未然防止を全機種に渡って詳細に計画し展開して來ました。

企画段階から過去の類似機種で経験した問題点を含めて再発予防項目をリストアップし、それぞれ開発仕様上や製造上の対策目標値を機種、項目ごとに詳細に計画してその効果確認までのフォローが出来るようにしました。特に改善点としては、対策の計画と市場導入後の結果を定期的にトレースして比較する事によって仕事の仕方を評価し、次のアクションにつなげています。

途中で人が変わってもシステムとして回るように仕組んでおり、この地道な活動の継続が全体の体力アップには不可欠であると思います。モデルチェンジサイクルの早さ、多品種少量生産の中での継続機種を含む全機種への展開には全組織をあげての努力が必要でした。

これと並行して各機種に共通な難問持病問題、特に開発と製造両方に絡む問題をあらかじめ登録された組織横断的なチーム（以下、スルーチームという）の活動によって推進し、その経過や結果を定期的に開催される発表会を通じて多くの技術者と共有化してきました。通常の機種開発の中では時間や資源が限られて解決しにくい十数テーマが、約二年間に渡って各スルーチームにより解明され対策が横展開されています。この難問スルー対策活動においては、要素技術の重要さや面白さについての価値観が再認識出来たという副産物も得られましたし、開発部門と製造部門のコミュニケーションと信頼感も活動の中で深まりました。さらに新しいテーマを設定しチャレンジしながら、得られた成果を技術知識として蓄積、伝承する事で将来の武器にして行きたいと考えます。

これらの活動の成果として、近年の各年度モデルの通常クレーム指標（特別な市場キャンペーン等の費用を除く）にその効果が見え始めてきました。図2に示すように2000、2001年モデルの販売開始後12ヶ月時点でのクレーム費対売上高の比率は、継続的な減少傾向が見られてきました。各年度モデル全体平均のクレーム指標は、一部の機種の改善や短期的な活動ではなかなか動きにくい性質がありますが、この指標が改善の方向に動き始めたという事は、開発製造全体の活動の総合的な成果を見る事が出来ます。

しかし当初目標である半減には未だに到達しておらず、今後は購入部品の品質向上を含めて粘り強く活動の強化継続をして行く必要があります。必ず近い将来には累積的に大きな効果を発揮して来るはずです。

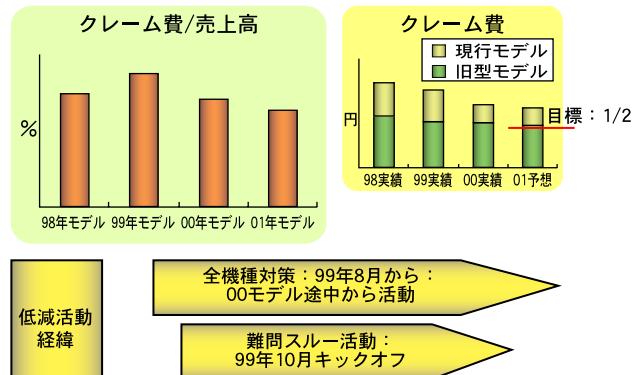


図2 販売開始後12ヶ月時点でのクレーム費対売上高の比率

3 品質と事業ロスコストへの対応

製品品質に関わる事業全体の損失を考える時、クレーム費は総損失の氷山の一角でしかないと一般に言われますが、内部で発生する顕在化しにくい品質ロスには特に注目する必要があります。

このようなロスを出来る限り数値化、顕在化してマネジメントに組み入れることが事業ロスコストを低減するための有効な手段と考えました。

これら全てのロスコストが何処からでも良く見えるようになれば、問題の共有化が出来る風通しの良い活動が可能になる訳ですし、結果的には製品コスト競争力向上につながるはずです。

実際に近年のデータをもとに、開発のやり直しや加工工程におけるミス等の仕掛け損、修正費、生産

に近くなってからの設計変更、型修正費のような品質に関わる損失を社内の範囲だけで推測しラフに合計してみました。その結果、クレーム費にほぼ匹敵する規模の損失が製品を市場に出す前に、毎年内部ロスとして発生している可能性が見えてきました。

これに加えて、数値として集計出来ない機会損失、例えば対策や対応に走り回る労力や時間、さらに市場での信頼の維持回復のための努力なども金額換算出来たとすると、明らかに大きな規模の改善余地が想像されます。

言い換えれば、我々の物作りの中に宝の山を持っていると言っても過言ではない訳です。この考え方沿って 2002 年度より、**クレーム 1/2 活動**を更に発展させ、クレーム費以外の内部品質ロスを含めたロスコスト全体を見る様にし、それを 1/2 にする事を目標に事業全体で推進して参ります（図 3）。

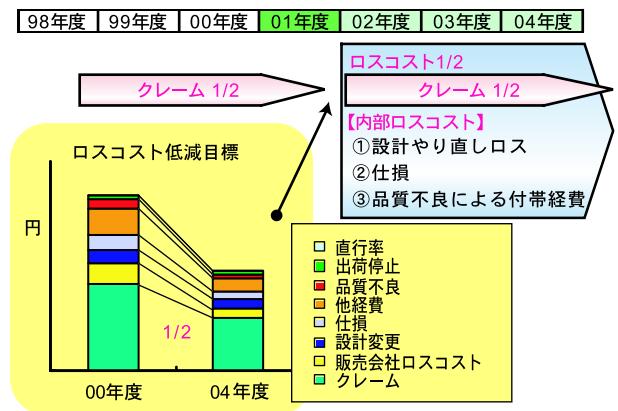


図 3 MC 事業本部 中期品質方針

4 再発防止システムの工夫

一般的には品質向上の基本をなす再発防止活動の中で、ツールやルール作り等の手段系が前面に出て来ますが、同時にシステムやツールを使う人の仕事の仕方、感性、集中力や責任感、プロ意識、価値観、教育やマネジメントの在り方まで掘り込んだ議論が必要な時代になっています。

今までも大きな問題が発生する都度、再発防止の対策は実施してきたはずなのですが、比較的狭い範囲での物理的な対策で終っていたために似たような問題が繰り返されたり、同じ問題が他部門や関連する会社で起こったりする傾向が見られました。特に大きな問題や繰り返す問題の本質的な対策のためには、人の意識や組織の価値観等を含めた原因分析の深堀りが必要であると感じられます。

MC 事業本部内では、再発防止活動の広範囲な有効性を狙って、再発防止システムを改善、刷新する事にしました。具体的な方法としては、まずは責任を明確にした仕組みを作り、個人個人の当事者意識を高めて行く。それでも問題が発生したら、なぜ意識が不足したのか、なぜ仕組みが有効に機能しないのかと言う観点から見た「なぜなぜ分析」を繰り返して問題の本質に迫り、実質的に効果があり、持続できる再発防止手段が取れるようにする事です。

問題の現象からいきなり再発防止の手法に行くのではなく、原因分析編と対策・再発防止編の検討の場を別々に設けて議論するようにしました。一件ずつの原因要素を深掘りして、本質的な対策を広く横展開していくことが効率の良い再発防止活動になるという考え方です。

このような方法で問題の本質、仕事の仕方やマネジメントの在り方までに踏み込み、それを ISO9001 (2000 版) のシステムに組み込んで組織全体に渡っての品質スパイラルアップと人の意識改革をサポートして行きます。



品質特集

特機事業部開発品質向上への取り組みについて



入手 和秀
Kazuhide Irite

●特機事業部品質保証 Gr.

At the Power Products Operations of Yamaha Motor, we develop a wide range of products including electromagnetic guidance system golf cars, generators, snow throwers, multipurpose engines and racing karts. With the exception of a few products, most of these are manufactured for us by our group company Soqi Inc. We also supply engines for 2-passenger Yamaha golf cars and electric motor controllers to the group's U.S. manufacturing base YMMC (Yamaha Motor Manufacturing Corporation of America). Here we introduce various measures we have adopted for improving quality in our product development.

1 はじめに

当事業部では、電磁誘導ゴルフカー、発電機、除雪機、汎用エンジン、カートなど多種類の商品を開発しています。生産は、一部の商品を除いて、創輝(株)に委託しています。YMMC(米国製造子会社)には、2人乗りゴルフカー用のエンジンとモータ制御用コントローラを供給しています。ここで、各商品の開発品質向上に向けて取り組んでいる点について紹介します。

2 経緯

特機事業部は過去、ゴルフカーと芝刈り機にてクレームを出した経験があります。お客様への対応が不十分であったためでした。開発部門としては市場調査をした上で開発であり、問題など出る訳がないと思っていました。どこに問題が有ったのか反省した結果、市場使用条件の解析と企画段階での要求品質への織り込み、評価基準への落とし込みが不十分であった事が原因でした。開発重点項目をクリアにし、且つ抜けの無いものにする手法としての QFD(品質機能展開)が、必要と判断し導入することに決め、ゴルフカーのニューモデルを中心に展開していきました。この様に開発中心に進めてきましたが、製、販、技一体となった品質向上の為のシステム構築が必要と判断し、TQAS(特機品質保証システム)を導入することに決め、現在で 10 年の経過に至っています。

3 活動事例紹介

TQAS は、企画、設計から製造、営業、サービスに至るまでの業務フローにて、製品の品質に関わる各部門がそれぞれの役割を果たし、又、協力しあって組織的に品質の保証を図っていく為に行うシステムで品証部門が推進しています。TQAS の流れを図 1 に示します。この中で各ステップ毎にレビューの場を設け、開発、製造担当者からの検討結果の妥当性評価を全部門責任者で行います。ここで承認が得られない場合は次のステップへ進めないルールにしてあり、これが重要な関所となっています。

- ① 企画概要、目標値レビュー
- ② 品質保証計画レビュー
- ③ 設計織り込み要望事項のレビュー
- ④ 重点保証項目展開計画レビュー
- ⑤ 安全性、PL 問題の対応織り込み計画レビュー
- ⑥ 設計レビュー
- ⑦ 織り込み要望事項の織り込み状況レビュー
- ⑧ 開発品質の確認
- ⑨ 生産試作移行品質の確認
- ⑩ 生産移行品質の確認
- ⑪ 出荷品質の確認
- ⑫ 初期市場品質情報まとめ
- ⑬ 開発品質総まとめ

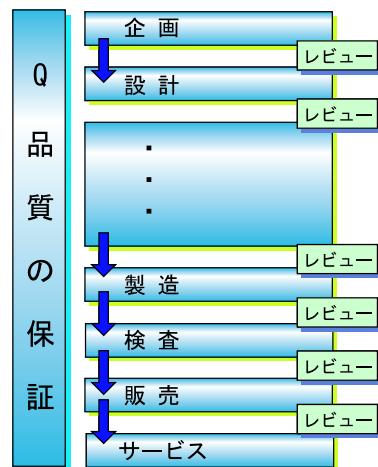


図 1 TQAS の流れ

TQAS 導入後、10 年が経過しましたがプロジェクトによっては、形式的な TQAS 実施であった為、後でクレームを発生させ、悔やんだケースもありました。

では、TQAS 推進上でのポイントは何かと言うと、

- 事業部長をはじめ、製、販、技の責任者が TQAS に深い理解を示す
- 推進役の品証部門は十分検討されたレビューになるように導く

の、2 点に尽きると思います。また、その結果として、

- クレームが減る
- 企画段階から品質保証活動が開始される
- 開発、製造、営業部門との情報交換と相互協力が進む
- 若い技術者への OJT、技術力アップ、気づきの場となる

の、4 点が挙げられると思います。

TQAS は、製、販、技のみならず外注購入品の品質確保にも活用しています。最近、生産開始した電磁エレキ車用のコントローラ開発においては、メーカーに対し当方よりソフト設計条件、信頼性評価条件、定点制御条件を提示し、共同で設計 FMEA（故障モード影響解析）を実施しながら設計仕様を固め、更に重点となる項目に対し工程 FMEA に落とし込み、完成検査にて品質保証をしています。重要な事は、

取引先とのコミュニケーションで、テストコースでの相互確認評価もお互いに納得がいくまで行いました。完成検査にて特に配慮した事は、市場に出ての初期トラブルを無くす為、ラインに設置された実機を使用してのソフト / ハードのチェック及びハンダ付け不良の検出でした。図 2 は、電磁エレキ車用のコントローラに対し実施した設計 FMEA と完成検査の実施状況を示します。



図 2 電磁エレキ車用コントローラの設計 FMEA と完成検査状況

4 現状分析と今後の対応について

4.1 現状分析

先期のクレーム分析より、技術面での課題及びプロセス、システム面での課題を抽出したものを表 1 に示します。表 1 の中で、今後、重点化して取り込む課題は電気 / 電子制御技術力の強化であり、次にその対応計画を述べたいと思います。

表 1 技術面での課題及びプロセス、システム面での課題

技術課題	プロセス / システム課題
<ul style="list-style-type: none"> ・電気 / 電子制御技術力の強化 ・パラメータ設計 / FMEA の精度アップ ・使用実態により合致させた評価方法、基準の整備、使用条件を確実に再現できる台上化 ・外注設計時、要求品質伝達の精度アップ 	<ul style="list-style-type: none"> ・TQAS の完全実施と精度アップ ・ISO9001 の 2000 年版対応 ・市場へ出す前の事前検証の徹底 ・すばやい対応と徹底対策

4.2 今後の対応

次の 3 項目を重点にレベルアップを図っていきます。

(1) 開発効率向上

設計ツールでは、回路設計 CAD、3D ハーネス CAD、制御システムアナライザの充実化を図る。

(2) 開発検証のシステム台上化

制御システム全体、ソフトシステムチェック、電池マネジメント開発、駆動モータ及び発電体ベンチ等を台上化して、使用実態により合致させた評価とする。

(3) 環境、ばらつき要因対応強化

部品ばらつき、ノイズ、電波、環境経年変化等の検証精度アップの為に実走行シミュレーション化（シャーシ、恒温槽等）を図る。

以上、技術側面での対応に加え、製品開発、製造、販売の総合力発揮が重要であり、創輝株、ササキコーポレーション、YMMC と密なコミュニケーションを図り更なるコンカレント活動を進めて行きます。

5 おわりに

特機事業部は今後もお客様に感動を与え、喜んで使って頂ける商品開発に邁進します。そのためには、あたりまえ品質を確実に押さえ、魅力品質を光り輝かせる事が出来る様に、TQAS を継続して展開していきます。人にやさしく、地球を守る環境への取り組みのひとつとして、電気ゴルフカーの開発、商品化を進めてきていますが、更に進化したものにする為に、電気 / 電子制御技術面での飛躍を目指します。



品質特集

三信工業における品質への取り組み



上野 肇

Hajime Ueno

●三信工業(株)
常務取締役

There is a tendency to think that there is not much difference between an outboard motor engine and a motorcycle engine besides the fact that one is mounted horizontally and the other vertically. In fact, however, there are many differences between the two. What people demand from an outboard engine is that it be lightweight, that it doesn't break down and that it doesn't rust. These are different from the things people expect from motorcycles, automobiles and other vehicles. These factors mean that engines are made in a different way. Top-of-the-line outboard motors mount all-aluminum 3,000cc V6, 2-stroke engines rated at 250 horsepower.

Another thing today's outboard motor industry faces is the implementation of regulations on exhaust emissions in markets like the U.S. This is prompting a major shift in product lineups from a predominance of 2-stroke models to ones centered primarily around 4-strokes. All the top makers are now working frantically to develop new models to keep in pace with these market trends. At Sanshin as well, we have undertaken the development of a range of new 4-stroke models and 2-stroke models adopting direct injection (DI) systems that inject fuel directly into the cylinder.

1 はじめに

船外機のエンジンとモーターサイクルのエンジンは、縦置きか横置きかという違いがあるだけで、それ以外には、さほど違いがないと思われがちである。しかし、実際には、両者の間には大きな違いがある。お客様が船外機に求められるものは、軽量である事、故障しない事、錆びない事である。モーターサイクルや自動車などに求められるものとは異なっている。自ずとエンジンの作り方も違ってくる。船外機トップモデルには、オールアルミニウムで2サイクルV型6気筒の3,000cm³で183.9kW(250ps)を発揮するエンジンが搭載されている。

また、船外機業界にもUSAを中心とした排気ガス規制の波が押し寄せてきている。これにより、商品構成は2ストロークから4ストロークエンジンへと大きく変化しようとしている。各社とも新しい商品作りに必死で対応している。三信工業(株)も、ここ数年間で新しい4ストロークエンジンやシリンダ内へのDI(直接噴霧)方式の2ストロークエンジンを数多く開発してきた。

2 品質への取り組みの経緯

過去5年間は、三信工業の品質方針を“お客様満足度No.1”に置き、これを合い言葉として取り組みを進めてきた。その結果は、業界の比較で満足度No.1を確認した品質作りができたと思っていた。しかし、No.1という数値にこだわり競争に走り、真のお客様個人の満足ではない事を感じていた。それは、満足度評価で不満足と答えた人も多くいたのも事実であったからである。今の三信工業の品質方針の“クレーム低減”は、正にお客様個人の満足を高める為に苦情を素直に受け止め、真の品質を追求したものである。具体的な活動の柱は、4ストロークを中心とした「新モデルの品質を確実にレベルアップする事」と「不良品を流さない活動」に重点化して展開してきた。

2.1 新モデルの品質を確実にレベルアップする事

4ストロークエンジンに的を絞り、今流のコンカレントを合い言葉に、技術・製造・資材・品証等多くの部門が協力し合い、設計図面の前段階より作り易さに噛み込んだ。展開にあたっては、以下の様な品質作り込み施策を活用した。

- (1) 重点化はQFD（品質機能展開）で行う。
- (2) コンセプト決定会議までに未知技術の既知化（先行開発、設計FMEA（故障モード影響解析））を行う。
- (3) 作り易さは図面発行前（試作機の評価、図面発行前のコンカレント活動）を行う。
- (4) バラツキ低減（パラメータ設計）をする。
- (5) DR（デザインレビュー）の強化（構想DR、クレームDR、実験・評価のDR、出図前DR）をする。
- (6) 過去問題100%潰し込み（PPC（プリプロダクトチェック）活動、未解決問題対応）をする。
- (7) 試作評価の充実（試作機で型物評価、安全性）をする。
- (8) 社内の工程不良（工程FMEA、QA（品質保証）ネット、TPM品質保全）の低減。
- (9) 100%本型、本工程品で生産試作（工程能力確保、仕入先FMEA）をする。

また、ステップ毎に全体の進捗確認を成熟度指標にて詳細に実施、更に出荷時点では市場モニターの確認と合わせ、初期消化活動・防火活動なども新たに生まれた。その結果、5年前に開発された4ストロークのA商品をベンチマークとして見ると、現在の4ストロークモデルのB～F商品は80～90%のクレーム低減が図られた（図1）。

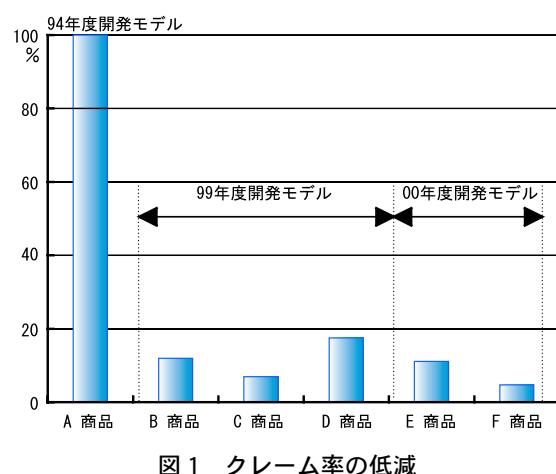


図1 クレーム率の低減

2.2 不良品を流さない活動

本質的には、不良を作らない事と同時にお客様に迷惑をかけない事であるが、全社員が活動し成果を求めていくには、まずは流出防止に焦点をおいた。その為には不良を発見できる仕組み、技術を磨いていかなければならない。不良を流さない活動は、工場で見つけた不良は部品単価の損失であるが、市場に流れれば工場段階の約 100 倍の損失となる為、まずは不良発見技術を磨き、不良を見つけ、不良を流出させない活動を展開した。発見場所を広げる為に、CKD 検査の再開、最終完成機検査後製品を分解しての精密検査導入、出荷梱包された製品を開梱しての梱包検査等々新しい検査を追加した。またインラインでの検査の充実として組み立て工程の配線全数検査、歯車の噛み合いの自動全数計測、多くの個所に漏れの検査器を導入してきた。お取引先にも流出防止の重要性を訴え、終品管理の徹底、一部インライン計測での配線等の全数検査装置の導入等を実施してきた。

3 その結果

新モデルの取り組みは上記の通り、従来モデル比較で 80 ~ 90 % のクレーム低減が図られ成果が出ており、また不良を流さない活動も活発に展開してきた。しかしながら、一部のモデルでは、市場での成果が出るのがこれからであり、注視していく必要がある。

4 おわりに

今後の展開としては、以下 4 点を重点に考えている。

- (1) 残された一部のモデルの最後仕上げ活動に更なる資源投入を行い実施していく。その為には、さらに多様化するお客様の要求を満足する商品を追求する行動と、また不良は絶対流さない活動の継続強化と工程能力の改善。
- (2) 発生したクレームを早期に解決する組織・仕組みを事業スルーの視点で見直し改善する。
- (3) 更なる開発工学を取り入れ、上流での効率的かつスピーディーな開発を進める。
- (4) 取引先の品質向上活動への積極的参画と支援を進める。



品質特集

AM 事業部の品質への取り組みについて



矢野文夫
Fumio Yano

● AM 事業部品質技術室

Rather than the types of dry technical reports of things like “examples of product quality improvement based on reliability engineering,” that our readers are used to seeing in Yamaha’s Technical Report series, we have prepared the following discussion of the product-quality measures we are pursuing at AM Operations in a style that we hope can be read in a more relaxed manner.

1 はじめに

開発論文を読みなれた技報読者の期待に応えるような“信頼性工学を活用した品質改善事例”のような固い話ではなく、今回はリラックスして読んでもらえればよい話を以下に書かせて頂いた。

2 AM 事業部のこれまでの品質の作りこみについて

ヤマハ発動機(株) AM 事業部(以下 AM と呼ぶ)では 30 数年前から自動車エンジンを筆頭に、最近では独自開発サスペンションシステムも加え自動車関連製品の開発、生産を行っており、数ある事業部の中でも OEM ビジネスを長年継続している特殊かつ貴重な事業部と自負している。

AM の小さな事業体にとっては、少量多機種の開発・生産において如何に人、物、金を掛けずに大企業並み(顧客自動車会社の内製エンジン並み)の品質を確保するかが、従来そして今後の命題であり、この点で日々悪戦苦闘をしている。

以下に従来の主な品質活動を述べる。

2.1 “中小企業”の強み

小さな組織故の小回り、機動力を活かし顧客の開発、製造部門では真似のできない短期間での開発、生産準備を行っている。品質においても 10 年以上前から AM オリジナルのコンカレント活動(CSR; CROSS SECTION REVIEW)を品質技術 / 設計 / 実験 / 製造技術 / 生産部門と地道に継続してきた。

2.2 転ばぬ先の杖

一昔前に比べ製品バリエーションも増え、徐々に業務が複雑になりつつあるもののマンパワーはそれに比例して投入できないこともあり、数年前から各プロジェクトの開発、生産準備の成熟度を目に見える形でモニターし、致命傷にいたるのを防ぐことを始めた。いわゆるリスク管理の類で、AM 業務室と品質技術室にて独自の新規プロジェクトのリスクマネジメントツールを開発した。留意したのはプロジェクトの重要度に応じた成熟度管理であり、絨毯爆撃による会議、ペーパーワークの増加を回避している点である。

2.3 井の中の蛙にならぬよう

AMの顧客自動車会社は世界に冠たる品質第一主義であり、顧客から“ここまでやらないと品質は保証できない”とアドバイスを受け“目からうろこが落ちる”ことを多々経験している。

これはセミナーとか、専門書で得られるものではなく、自身の弱みを痛感できうる環境にAMは位置しており、他事業部に比べある意味で強みかもしれない。

以下に例をあげる。

- (1) 仕入先の品質監査とは、重要な品質プロセスに絞りISO監査項目よりさらに一步突っ込んだ観点で仕入先の弱点に迫ること。例えば“異常の定義と対処方法が明確で、新人、応援者にも教育されているか？”“作業遅れ時の応援方法は明確か？”等。
- (2) ポカヨケは導入するだけではだめで、ポカヨケの故障による不良流出を予防するシステムまで考えないと意味が無い。ポカヨケの定期点検、解除方法のルール化等にて。

ただしそれをそのまま中小企業サイズのAMに展開するのは無理がある場合、AMに適したように工夫して展開している。

3 今後目指したい品質活動

今後も顧客から“さすがヤマハ発動機のやることはウチでは真似できない”といって頂ける製品を提供すべく、以下の点に努力し品質保証体制の体質改善、強化を行う必要性を感じている。

- (1) 不具合を再発させないためのノウハウ(ベテラン社員のスキル、勘、コツ)を如何に次世代に伝承していくか。
- (2) 設計、実験、品質技術、製造技術の人材ローテーションにて製品設計、工程設計段階で如何に品質を考慮できる人材を確保するか。
- (3) 設計主導型の生産設備計画もコスト競争上限界にきており、今後は投資ミニマム(既存設備で新規エンジンを生産)の中で品質を確保すべく、如何に工程能力を維持するか(設備信頼性への取り組み)。また、より公差幅を広げても同等の要求品質を確保できるロバストな設計にできるか。
- (4) 今後増加が予想される、より安価な海外調達部品(とくにアジア)の品質を如何に確保するか。国内仕入先とは阿吽の呼吸(図面、検査法に明示されてなくともこちらの品質要求が業界の常識として通じる)でできた部分を如何にカバーするか。

4 ノウハウの伝承

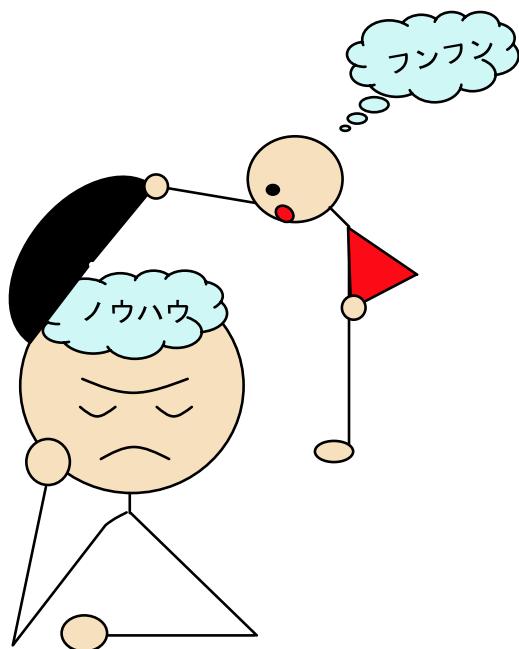
以下に、上記 3.(1) について詳細を述べたい。

当 AM 品質技術室も平均年齢が年々上昇し高齢化職場になりつつある。年々 AM の草創期からいたベテラン先輩社員が定年で職場を去る状況になりつつあり、日本社会の縮図がここにもある。

品質 ISO で仕事の基本的な手順はかなり標準化されたものの、過去の教訓、勘、コツの世界は未だ個々人について回っているのが現状である。

NHK の”プロジェクト X”に登場する“仕事でできる人がプロジェクトを成功に導く”世界が我々の職場にもある。あの番組をみていて“あの頃のあの人はガツツがあって素晴らしいが、今彼の次世代の後輩達はどうなのだろう?”と思うのは私 1 人であろうか? この点をなんとかしないと、過去痛い目に遭った品質問題を性懲りもなく再発させてしまう可能性が今後増えてしまう。

そこで今以下のような取り組みを考えている。



4.1 不具合教訓データベースの構築

もちろん今までこの種のものがなかったわけではないが、ある人は紙に不具合図解入りで教訓を書きつらね、ある人は EXCEL に文字情報で教訓をまとめ、又ある人は現品サンプルを保管し教訓に活かそう等々、自主的に各自バラバラに作ったものがあるのみで、その活用、運用方法も明確でなかった。

そこでそれら教訓を作っているメンバーを一堂に集め、そろそろベクトル合わせをして共有できるものを作ろうとタスクチームを組んで、この 1 年検討をすすめている。

最終的に目指す姿は、インターネットにおける検索エンジンシステムのようなものである。教訓情報を決まった書式に加工するのは大変だし、検索用のキーワードを上手くつけないと使いづらい、という過去の経験から、最新の IT 技術を使い、知識情報管理（ナレッジマネジメントと呼ぶそうです）ソフトを使い、欲しい人が欲しい情報を欲しい形で入手できるようなシステムを研究している。

このデータベースには品質不良連絡書、メーカー調査報告書、対策会議議事録等、書式をとわずインプットし“オイルポンプからの異音”“溶接不良クレーム”“応力腐食割れの原因と対策”等の過去の情報を自由に情報検索できるシステムであり、クレーム対策時の参考データ、新製品開発時のチェック項目等、活用メリットは大きい。

このデータベースが単に AM のみならず、全社で、船外機エンジン / 汎用エンジン / モーターサイクル用エンジンの品質情報が共有できれば更にそのメリットが出るのではと考えている。

4.2 勘、コツを後輩に伝承させる

4.1 のデータベースは知識共有の世界だが、もっとむずかしく、また大事なのがこのテーマだ。あたかも老練な切れ者刑事の捜査スキルを新米刑事が如何に習得するかの世界かと思う。

この点については、近道はなく以下のよう泥臭い、師匠 / 弟子の世界が 21 世紀の今も必要かと思う。

- (1) クレーム現品調査会を行う際、ベテランだけに任すのではなく伝承させたい社員も参加させ、ベテランの謎解きの手法（ベテランが不具合品の現物を観察し、原因およびリスクの大小を推定し、的を射た調査、検証を行い、それをもとに最適な解決策を提案する、その一連の仕事の進め方を、如何に後輩が受け継いでいくか？）等を OJT で盗ませる。
 - (2) またコンカレント活動の場でベテランが図面を睨んで潜在不具合を指摘する際の考察を、伝承させたい社員にも同席させ盗ませる。
- この点、簡単なようで実行が難しいわけだが、トップダウンでやるしかないと考える。

5 おわりに

日々目の前品質問題に奔走する中、今までの仕事を振り返り、今後の方向性をあらためて考える機会を与えていただいたことに感謝する。



品質特集

PAS 事業部の品質への取り組み



武智 裕章
Hiroaki Takechi

● PAS 事業部開発室

Yamaha Motor Company's PAS Operations develops electric power-assist bicycles and wheelchairs. Nine years have already passed since the development of the Yamaha PAS as the world's first electro-hybrid bicycle, and total production has exceeded the 500,000-unit mark. And, since the nationwide release of our electric wheelchairs in 1996, the number of people who use and love these products has grown to nearly 20,000. Today, sales of these Yamaha wheelchairs have spread beyond Japan to Europe and other markets, and with constant improvements in functions and product maturity they have continued to win high levels of customer satisfaction, as shown by the many letters and words of appreciation we have received.

These Yamaha PAS electro-hybrid bicycles and electric wheelchairs have now become a part of people's daily lives, and they depend on them as important means of transportation. For this reason, we at Yamaha's PAS Operations believe that we must build products that are not only sound and reliable but also easy for anyone to use and never bothersome.

However, when looked at from the perspective of the history of bicycle development and the scale of the bicycle market, we realize that there is still room for improvement in these products. We need to continue to make improvements so that they will remain products that are user-friendly and a source of fulfillment and satisfaction for our customers.

In this report we look at the efforts we have made so far in the area of product quality and, based on re-examination of their success, we lay down measures and goals we intend to pursue in the future.

1 はじめに

PAS 事業部では、電動アシスト自転車と電動車椅子の開発をしています。1993 年に世界初の電動アシスト自転車としてヤマハ PAS を世に送り出して、はや9年目を迎え、その間の累計生産数は 50 万台を突破しました。また、電動車椅子は、1996 年に全国販売を開始し、すでに2万人近くの方々に御愛用いただいている。販売地域は国内のみならず広く欧州まで拡大し、機能向上と商品熟成を図りつつ常に高いお客様満足度を維持し続け、数多くの方々から感謝のお言葉を頂いています。今やお客様の日常の友としてご使用いただける存在となっています。

当事業部としては、電動アシスト自転車や電動車椅子は、お客様にとって生活に欠かせない乗り物として、安全性、信頼性はもとより、どなたにでも簡単に扱え、手間のかからない商品でなければならないと考えています。しかしながら、自転車の発展の歴史やその規模に照らしてみれば、これらの商品はまだ

まだ改善の余地があります。お客様に優しさと感動を与え続ける商品として満足して御使用いただけるよう、継続して改善に取り組む必要があります。そこで、今までの品質への取り組みと、その結果から反省を踏まえて今後の取り組みについて以下に述べます。

2 今までの取り組みと反省

新規事業の品質造り込み活動として、特に下記4項目を重点的に取り組んできました。

- (1) 開発管理・運用として、独自の開発プロセスを制定し、抜け落ちのない活動
- (2) 開発と品質保証部門を中心に、製造部門と一体となった活動
- (3) 開発時に発生した問題点対策の徹底と横展開・再発防止のために、社内ネットワークやEメールを使った情報提供・実施の確認、共有サーバによる情報の管理・共有化
- (4) 生産初期のトラブル発見と早期対応のために、開発を含めた各部門合同の初期問題解決活動

などの活動を展開してきたましたが、振り返って反省してみると、大きくは次の2点があげられます。

- (1) お客様の使われ方の把握、その対応が不十分
- (2) 過去の類似問題が繰返し発生

3 今後の取り組み

上記の反省を踏まえて、今後の品質への取り組みを以下に述べます。

上流での質を高めることに最大目標を置き、各プロセス毎の成熟度を高めるために、

- (1) 品質機能展開の充実

企画に於ける QFD（品質機能展開）を更に充実させ、よりお客様側に立った商品づくりをする。

そのためには、より市場に近い立場でのユーザーニーズ・使用実態の把握を行い、要求品質レベルを明確にする。

- ① お客様相談室に寄せられるお客様の声をもとに真の要求品質を抽出する。
- ② 市場やサービス拠点訪問を充実させ、お客様と常に接している人たちの知識・情報を有効活用する。

また、今後更に幅広いお客様にご利用いただくために、

- ③ まだ顕在化していない声、誰も気が付いていない機能や付加価値、今使用されていない

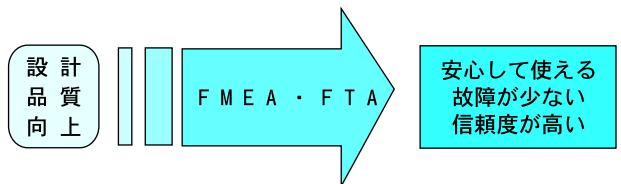
方々の潜在要望なども要求品質として掘り起こす。これこそが電動自転車や電動車椅子の発想の原点である。



(2) 設計段階での問題予測と評価の充実

今まで新規および重要部品に関しては FMEA (故障モード影響分析)・FTA (故障の木解析) を施してきたが、更に以下の点を充実させる。

- ① FMEA や FTA の参加対象範囲を、開発部門中心から品証、サービス部門はもとより、社内外の別なく階層や事業を超えた経験者、取引先まで拡大し、問題予測の範囲とその質向上を図る。
- ② 問題予測をしやすくするために、機能と作用力(熱)、使われ方などの外乱を対応させ、今までよりも一步踏み込んだ問題予測をする。
- ③ 問題予測を実験評価と結びつけ、評価条件や判断基準に落とし込む。



(3) 再発防止の徹底

前述の予知予防と共に、問題が発生した場合には素早い対応と再発防止を徹底する。それには、

- ① 同じ問題を起こさないために「なぜなぜ分析」で問題分析を行い、真因への対策を図る。
- ② 事例やノウハウの伝承のために設計基準及び評価基準に解説、事例を明記する。

以上の内容を確実に実施するためにも、現在、当事業部で進めている 2002 年末に ISO9001 の取得に向けた活動を通して、事業部内全員に共有化、定着させ、しきみに落とし込んで行きます。

4 おわりに

われわれの目的は、地球環境に配慮し、社会との調和を目指し、魅力的で多くのお客様にご満足いただける商品やサービスを、長く安定して提供することにあります。また、企業活動を通じて地域社会へ貢献すると同時に、ヤマハ発動機製品を支持していただいている方々にもお応えする責任があります。

共に喜びを分かちえるよう、またヤマハ発動機を選んでよかったと喜んでいただけるように、今後も更なる品質の向上とお客様満足度向上に努めます。

XV1700PC ウォーリア

XV1700PC WARRIOR

久保 裕 Yutaka Kubo 山崎 茂人 Shigeto Yamasaki 田中 裕 Hiroshi Tanaka
河崎 伸一 Shinichi Kawasaki 隆谷 文緒 Fumio Takatani 海野 仁 Hitoshi Unno
尾鍋 文光 Ayamitsu Onabe
● MC 第1PM室 / EG SyS 開発室 / MC コンポ開発調達室



図1 XV1700PC Road Star Warrior

In 1998, Yamaha released the XV1600 Road Star in the three leading big-bike markets of North America, Europe and Japan. The time it was the production motorcycle with the world's largest displacement V2 engine, it won high acclaim in these markets for its exciting combination of a torque-y, strong-pulsing engine feeling and running performance characterized by straightforward handling and excellent stability, as well as the pure beauty of its exterior styling. Also, lead by strong popularity especially in the North American market, it sold over 34,000 units in three years.

The XV1700PC Road Star Warrior expanded on the authentic big-bike world created by the Warrior XV1600 Road Star. Here we present a summary of the development process that made the Warrior a machine that offered "full enjoyment of exciting riding on the "open-road" like no other cruiser before it.

1 はじめに

1998年に世界主要3地域(北米、欧州、日本)向けXV1600 Road Starを発売した。このモデルは当時、量産世界最大排気量のV2エンジンを搭載し、たっぷりとしたトルクやパルスを味わえるエンジンフィールを実現すると共に、素直で安定性に優れた走行性能を高い次元で両立させ、美しい外観と合わせて大変高い評価を市場からいただいている。そして北米を中心として3年間に34,000台を超える販売を記録した。

『XV1700PC Road Star Warrior』(図1)はこのXV1600 Road Starが具現化した本格派ビッグクルーザーの世界観を広げ、従来のクルーザーではなし得なかった『オープンロードでエキサイティングな感覚を存分に味わえる楽しみ』を創造すべく開発を行った。

2 コンセプト

『Vツイン・パフォーマンス・クルーザー』をコンセプトに、
 (1) 従来のクルーザーで実現出来なかったエキサイトメントの達成
 (2) オープンロードでの高次元の走行性能
 (3) 誇れる外観
 (4) タフでスリークな外観の実現
 を主題とした。

3 開発の狙い

コンセプトを受け、技術開発では以下の様に狙いを設定した。

- (1) “エキサイトメントを感じる走り”を達成するため、
 1) 力強い加速力、2) 中速での鋭いレスポンスと
 高速での伸びのあるエンジン特性、3) 繋がりよいミッショナリ、4) 操作性のよいブレーキ。
- (2) “オープンロードでの余裕ある走り”を実現するため、1) ソリッドなハンドリング、2) 剛性感のあるサスペンション、3) 次の加速に集中できるコーナリング性能。
- (3) “走りの威張り感”を実現するため、1) スポーティかつ大きなライディングポジション、2) フルサイズの車体、3) ダイレクト感の演出。
- (4) “走りを強調する外観品質”を達成するため、
 1) 力強さの表現、2) クリーンで躍動感ある外観。

XV1700PC の仕様諸元を表 1 に、フィーチャーマップを図 2 に示す。

前述の開発の狙いを受け、『オープンロードでエキサイトングな感覚を存分に味わえる楽しみ』を実現させる為に以下に述べる仕様を採用した。

表 1 XV1700PC 仕様諸元

項目	諸元値	
全長	2,385mm	
全幅	955mm	
全高	1,120mm	
シート高	725mm	
軸間距離	1,665mm	
最低地上高	155mm	
乾燥重量	278kg	
装備重量	295kg	
最小回転半径	3.4m	
総排気量	1,670.1cm ³	
ボア	97mm	
ストローク	113mm	
圧縮比	8.3	
気筒数・配列	V型2気筒 OHV	
バルブ数	4バルブ	
冷却方式	空冷	
潤滑方式	ドライサンプ	
キャブレタ方式	電子制御燃料噴射	
エキパイ・マフラー形式	2-1	
エンジンオイル量	5,000cm ³	
1次減速比	1.532	
1速減速比	2.375	
2速減速比	1.579	
3速減速比	1.160	
4速減速比	0.923	
5速減速比	0.750	
トランスファ減速比	1.094	
2次減速比	2.188	
オイル(タンク)容量	5(3.5)L	
燃料タンク容量	15L	
フレーム形式	ダブルクレードル	
キャスター	29° 15'	
トレール	130mm	
タイヤサイズ	F	120/70ZR18M/C(59W)
	R	200/50ZR17M/C(75W)
ホイールサイズ	F	MT3.50X18
	R	MT6.00X17
ブレーキ形式	F	対向ピストン
	R	ピンスライド
ブレーキサイズ	F	Φ298 ダブル
	R	Φ282
懸架方式	F	倒立 Φ41
	R	リンク式
ホイールトラベル	F	135
	R	110

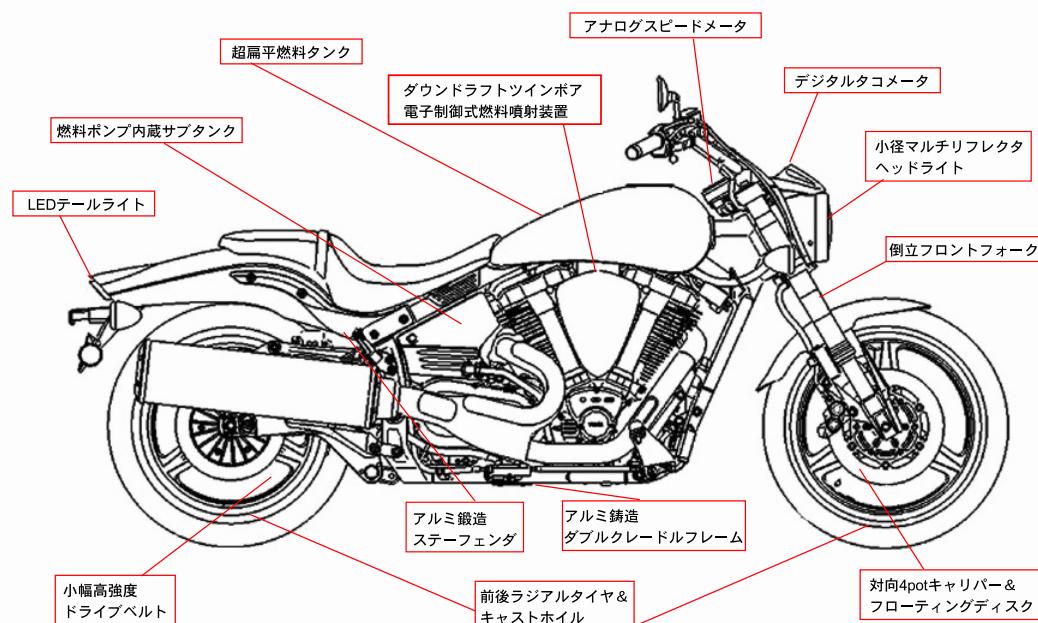


図2 フィーチャーマップ

4 エンジン概要

4.1 XV1600 Road Star ベースのエンジン

現在US市場にて美しい外観と豊かなトルク感で、多くのカスタマーから支持を得ているXV1600 Road Starのエンジンを基本として設計した。これにより、他のクルーザーを上回る加速性能を達成すると共に、美しくかつパワー感のあふれる外観をもつエンジンとすることことができた。

4.2 電子制御式燃料噴射装置の採用 (燃料通路別体式ツインボアスロットルボディ)

よりエキサイティングな出力特性を実現することと、環境対応のために電子制御式燃料噴射装置を採用した。きめ細かい制御を行なう為に、各気筒に独立インジェクタを配置するツインインジェクタとした。48°狭角V2の限られたスペースの中に、各気筒ごとに独立した吸気通路を確保し、燃料通路を別体としたツインボアスロットルボディを採用した。ヘッドシリンダを新作し、ストレート吸気ポートを採用したため、通気抵抗の低減が可能となり、大幅な性能向上にも貢献できた。図3に電子制御式燃料噴射装置のレイアウトを示す。

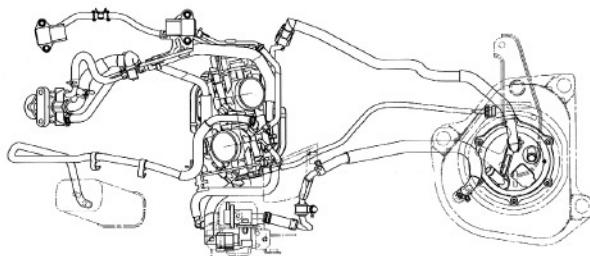


図3 電子制御式燃料噴射装置レイアウト

4.3 動弁系の一新

OHVのレイアウトを踏襲しながら、ヘッド剛性、ロッカーアーム比を含めすべての動弁系構成要素の再設計をおこなった。これにより、大幅な回転数向上が可能になった。

4.4 AI(Air induction) システム

ヘッドシリンダ内に通路を形成する事により2次空気のエンジンへの投入口をVバンク内側へ導き、リードバルブ一体式エアカットバルブなど必要な部品を集中してレイアウトを行った(図4)。これにより部品点数を削減し、クリーンな外観とすることができた。

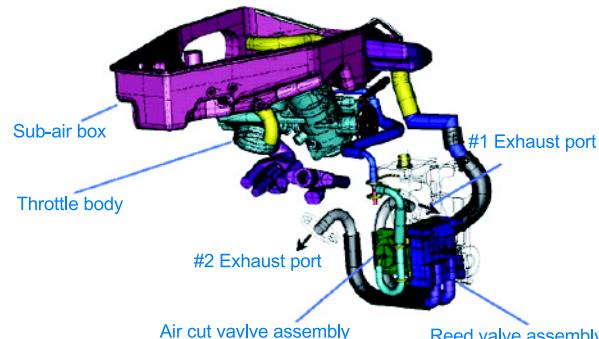


図4 AI(Air induction) システム

4.5 大容量マフラー

一回の爆発で生じる排ガス量の多いエンジンであり、高回転・高出力化にはマフラーの大容量化が必要なため、φ160 大径マフラーを採用した(図5)。また、歯切れの良い排気音を得るために作りこみを行った。外観向上にも取り組み、溶接後塗装を廃止した。

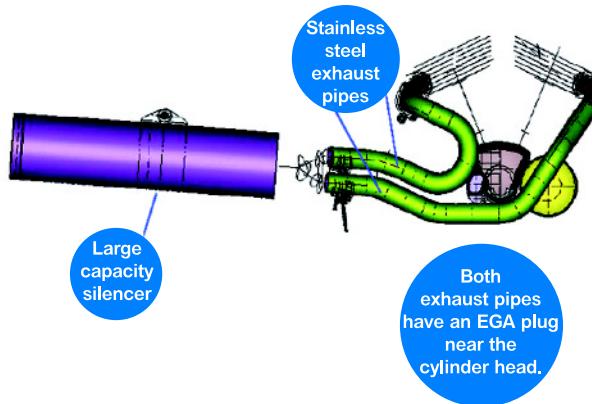


図5 大容量マフラー

4.6 希土類スタータ

現行のフェライト系スタータに対して、希土類とすることで小型・高出力化が可能となった。それに伴いバッテリの小型化が可能になった。

4.7 希土類 ACM

希土類 ACM を採用することにより重量 1kg 減とし、また慣性マスの低減も図り加速フィーリングを向上させた。

5 車体概要

5.1 ディメンション

ホイールベースは、XV1600 Road Star とほぼ同じの 1,665mm (「Road Star」比較で△ 20mm) とし、ロングホイールベースを活かしたフロントアライメントを選択。キャスターは 29 度 15 分 (「Road Star」は 32 度) に設定、重量マスの集中化及び前後重量配分の最適化により、高次元な走行性を引き出している。また、アルミ製フレーム、キャストホイール、倒立式フロントフォーク採用など各部の軽量化により、乾燥重量 278kg を達成した。

5.2 量産クルーザー初のアルミ製フレーム

軽量かつ低重心による優れた操縦安定性を実現するため、量産クルーザーとしては世界初となるアルミ製ダブルクレードルフレームを採用した。フレーム単体重量は僅か 17.6kg で、捩じり剛性は XV1600 Road Star 比 1.4 倍を確保した (XV1600 Road Star はフレーム単体で 28.3kg)。またダイレクトな走行

フィーリングとパルス感を体感し易いよう、エンジン懸架はリジッドマウントとした。

フレーム形態は、ヘッドパイプ部の三角補強プレートがなく、2本のパイプがヘッドパイプの上と下を支えるシンプルな構造が特徴となっており、クレードル前側2本、及び下側2本に軽量パイプ材を採用。それ以外の7つのパートは鋳造材を採用し最適化を図った。表面仕上げはマットブラック塗装を施し、走りのパフォーマンスをアピールした(図6)。

5.3 軽量アルミ製リヤアーム

高次元の操縦安定性を引き出すために、高剛性アルミ製リヤアームを採用した。またリヤアームそれぞれのパートに求められる強度剛性確保のため、最適アルミ素材をそれぞれに投入し、特にショックアブソーバの保持部は成形性のよい鋳造材を採用した。

5.4 倒立フロントフォーク採用及びリアサスペンションの減衰力最適化

フロント回りの優れた剛性バランスとクッショニ性を両立させる倒立式フロントフォークを採用し、パフォーマンス・クルーザーに相応しい外観とサスペンション性能を実現した。また、リアサスペンションは、減衰特性の最適化を図り、剛性感ある走行フィーリングを実現した。

5.5 前後ラジアルタイヤの採用

ころがり抵抗が少なく燃費性に優れ、またグリップ感覚に優れるラジアルタイヤを前後に採用した。特にリアは200/50 ZR 17M/Cの極太タイプで、本モデルのパフォーマンスを主張。また、新設計のキャストホイールはよりバネ下重量の低減に寄与し、バンク角、重量マス集中との相乗効果で、余裕のコーナーリング性能を達成した。

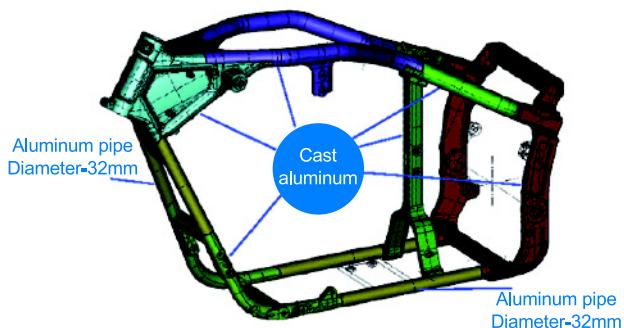


図6 フレーム

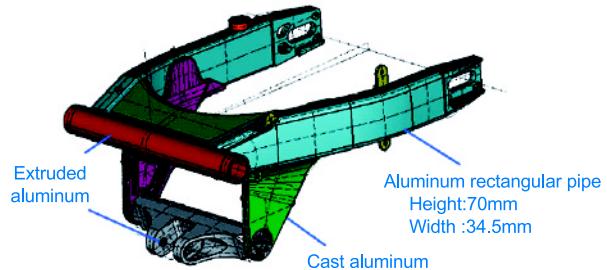


図7 リヤアーム

5.6 低重心で整備性にも優れるサブ燃料タンク

11.5Lのメイン燃料タンクはその内側をエアクリーナーとして活用するとともに、これとは別に3.5L容量サブ燃料タンクをシート下部へ設け、低重心化とスリーク感ある外観を両立させた。また、燃料供給はサブタンク経由の供給とし、メイン燃料タンク単体での脱着の容易化を図り、良好な整備性を実現した(図8)。

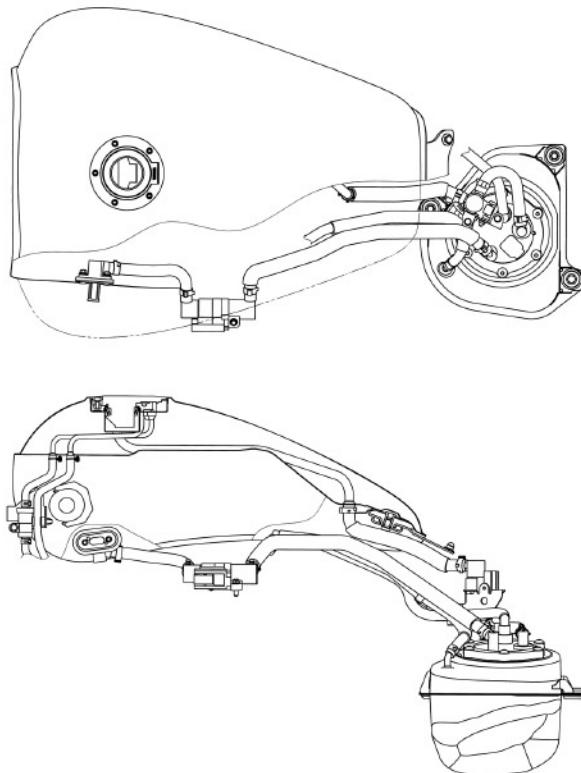


図8 燃料タンク

5.7 前後ブレーキシステム

フロントブレーキにはYZF-R1タイプの一体型を採用。リアについてはFJR1300のブレーキシステムと同型を採用し、優れた制動力・ダイレクト感・操作フィーリングなどを実現した。

5.8 “タフ&スリーク”をコンセプトとした新スタイル

ボディデザインは、「タフ」と「スリーク」の要素の具現化をコンセプトに、“パワー感表現と、動きを感じさせるフローライン”を実現するデザインを行なった。

パワー感表現としては、①パワーが伝達されるダイナミズム、②パワープラントの強調、③駆動する大径タイヤの主張、などを主眼にデザインを行なった。一方、動きを感じさせるフローラインとしては、①ボディフローダイナミズム、②パワーの流れによる美と存在感の主張、③軽量ボディの視覚化、を主眼にデザインした。こうした意図によるデザイン作業が、マシン全体で前から後に流れる“フローライン”を主張する個性的な外観を誕生させた。

5.9 フルサイズの車体、窮屈さのない前傾ライディングポジション

本格クルーザーのフルサイズ車体を具現化すると同時に、アティチュードとアグレッシブを調和させたライディングポジションを設定した。ハンドル形状・絞り形状・たれ角とフートレスト位置のコンビネーションの最適化で、優れたフィット感とホールド性を実現した。

5.10 外装電装部品類

回転上昇に伴うパワー増大をビジュアルに容易に認識できるよう、バーコード表示の液晶薄型タコメータをヘッドライト上に配し、合わせてアルミダイキャストのカバーと小型マルチリフレクタ採用のヘッドライトにより、フローラインを実現した。また、これと別体設計で、オーセンティックな世界を表現するアナログ式スピードメータを燃料タンク上に配置し、個性化を図った。なお、テールライトについては、量産クルーザー初のLED式を採用する事とした。

6 品質への取り組み

本モデルは開発期間短縮と共に、品質への取り組みとして以下の4点を重点的に行った。

(1) CE活動の早期着手

具体的には開発初期からの製造要件の織り込みを行う為に、社内外のゲストエンジニアにデザイン段階から参画して頂き作りこみを行った。フレーム、タンク、ホイル、灯火器類、シート、フェンダー、サイドカバー、リヤアームと多義に渡り従来以上の早期作り込みが出来た。

(2) スタイリング CAD導入による、設計精度向上の早期化

デザインスケッチからクレーに移行する間に、画面上にて3Dデータによるデザインの詰めを行った。この手法により、データによる設計者とデザイナーとの会話が出来るようになり、レイアウト精度の向上と製造要件の早期検討が可能となった。薄型タンクの実現も成形性シミュレーションによる製造要件をスタイリング CADに織込み、デザイン検証を実施する工程を繰り返した結果である。

(3) 型物での次元試作

昨今、型物試作次元を設けるようにプロセス変更を行っているが、本モデルの型物試作においてはエンジンセクションで6割以上、車体セクションにおいては9割以上を本型にて作成し、開発の最終確認を行うとともに、製造サイドでの早期作り込みに着手できた。

(4) ユニット化による部品保証

ユニット化を行うことで、部品個々での保証ではなく、アッセンブリーとしてのメーカー殿での保証にもトライした。具体例としてはテールライト・リヤフラッシャー・ライセンスライト・ライセンスプラケットをテールライト回りとして、エアクリーナー・サイレンサー・ボックス・ジョイント・ファンネルをエアクリーナー回りとしてユニット化したことが上げられる。

7 おわりに

モデル発表から今日まで市場の評価は高く、予定を上回る受注を頂き、『お客様の期待を超える商品』を具現化できたと実感している。

また本モデルは開発開始後より、初の SCM (Supply Chain Management) モデルとして当初の開発期間を4ヶ月前倒して立ち上げることができた。これはひとえに全社一丸となって新しいことにチャレンジした結果である。今までと同じやり方、考え方をしていたら達成はできなかつたと考えている。この紙面をお借りして社内外の関係各位に感謝し、お礼を申し上げます。しかしながら我々はこれに満足することは無く、もっと高い目標に向かって次期モデル開発に挑んでいきたいと考えている。

●著者



YZF-R1

YZF-R1

小池 美和 Yoshikazu Koike 西村 慎一郎 Shinichirou Nishimura 阿部 健児 Kenji Abe

仲秋 一 Hajime Nakaaki 萩野 光弘 Mitsuhiro Ogino 野澤 久幸 Hisayuki Nozawa

谷崎 渡 Wataru Tanizaki

● GEM センタープロダクト統括部第 1PM 室 / GEM センター商品企画室 / GSS 統括部エンジン SS
/ コンポーネント開発調達室



図 1 YZF-R1 2002 年モデル

About 30% of the demand in the European sport-bike market (excluding scooters) is in the supersport category. Also, with competitive models being offered by all the major makers, this is a category that has a big influence on the world motorcycle market.

Ever since its debut at the 1997 Milan Show as a “super cornering machine,” the YZF-R1 won a large and devoted following among sport-bike fans as an awesome fusion of 1,000cc power and a 600cc class chassis.

The 2002 YZF-R1 is a model that builds on the superlative cornering world of the YZF-R1 to realize the next-generation supersport flagship that answers the calls from the market for a machine with even greater handling performance in the higher speed range, even more linear throttle response and the capability to attack the curves even more aggressively.

1 はじめに

欧洲スポーツバイク市場（スクーターを除く）の中で、スーパースポーツカテゴリーは約 30% であるが、各社から競合モデルが投入されており、世界の 2 輪市場に大きな影響力を持つ分野として注目されている。

1997 年秋に“スーパーコーナーリングマシン”としてミラノショーでデビューした YZF-R1 は、1,000cm³ のパワーと 600cm³ クラスの車体の融合と言うテーマを高次元で具現化し、多くのユーザーやファンの指示を受けてきた。その YZF-R1 の卓越したコーナーリングワールドを踏襲しつつも、“もっと高速域での旋回性能”を、“さらにスロットルにリニアに反応するパワー感”を、“もっと積極的にコーナーを攻めてみたい”等の市場ニーズを反映させ、次世代のスーパースポーツとして開発したのが YZF-R1 2002 年モデル（図 1）である。

2 開発の狙い

従来のYZF-R1がもつ卓越したハンドリング性能、太いトルクとビッグパワーを活かしたワインディング路でのコーナーリング性能をベースに、これを継承発展させつつ以下に示す4つの重点開発項目を設定した。

- (1) よりハイレベルなコーナーリング性能の具現化
- (2) 高回転域のパワー特性の向上
- (3) スーパースポーツ新世紀を主張する車体デザインの具現化
- (4) 環境への配慮 (EU-2 レベルの規制値を満足する排出ガス値)

3 仕様概要

1,000cm³のパワーをコーナーで楽しむという前提は現行モデルと同じだが、よりハイレベルなコーナーリング性能と高回転域のパワー特性の向上を図るために、車体では新設計フレームや新ディメンションの採用とブレーキ性能の向上、及び軽量化パーツの投入等を行った。エンジンでは量産2輪車初となるフリーピストン併用フューエルインジェクションの採用など吸排気系の大幅変更や信頼性の向上、及びシフトフィーリングなど操作性の向上を行った。以下にその詳細を記す。

3.1 エンジン関係

現行のDOHC 並列4気筒5バルブ 998cm³エンジンの燃焼室形状やカムプロフィールなどの優れたスペックをそのままに、吸排気系等の変更により新世代スーパースポーツに相応しいパワー特性を実現した。図2にエンジンの外観を示す。

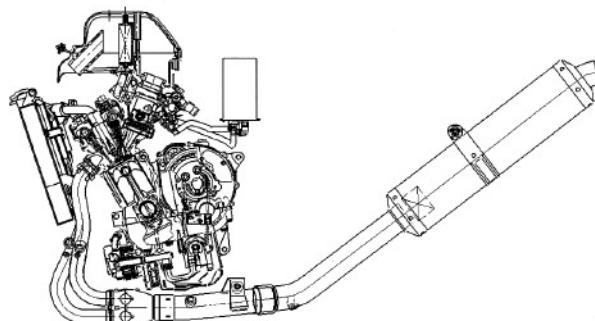


図2 エンジン外観

- (1) フリーピストン付きフューエルインジェクション

低速から最適な吸入空気量制御をフリーピストンの作動を利用して行い、それに合わせ各センサからの情報をマイコン制御でコントロールしている。これでキャブレタの滑らかさを残しながら、電子制御によるリニアな応答性と信頼性を両立。ダイレクトなスロットルレスポンスを実現した。

- (2) ハイシリコン材を投入したシリンダスリーブ

シリコン含有量の多いアルミ材を採用して、熱膨張時のシリンダ変形を低減させることにより、オイル消費の低減を実現した。

- (3) 塑性締めボルト採用の新浸炭コンロッド

浸炭コンロッドの大端締め付けボルトは、塑性締めボルトを採用し、軸力の安定化を図るとともに、軸力自体も10%上げて高回転化に伴う信頼性を向上させた。

- (4) 新作エアクリーナボックス

前側に新気取り入れダクトを設けたエアクリーナボックスを採用し、エンジン熱の吸入空気温への影響を最小限に抑え中速域での特性向上を図った。ジョイント部のファンネルも、ショートファンネルを

採用し優れた流量特性を確保しトルク特性を向上させた。

(5) チタンエキパイと新作マフラー

排気形態を従来の 4 into 1 方式から 4-2-1 方式へ変更してコントロール性向上を実現した。エキパイ部にはチタン材を採用し、約 1 kg の軽量化を実施。マフラー集合部とサイレンサ間のパイプはストレート化し、排気抵抗の低減と精悍な外観イメージを確保した。

(6) 軽量設計の 2 軸式 EXUP (Exhaust Ultimate Power Valve) バルブ駆動

現行の 4 気筒分 1 軸式から、2 軸化を行い約 650g の軽量化とバタフライタイプのバルブ等の採用により、ドライバビリティを向上させた。

(7) シフトフィーリング向上

チェンジペダルの新作でストロークを見直し操作荷重を低減した。さらにスプリング設定の最適化により操作フィーリングと正確さが向上した。

(8) ハニカム式触媒とエアインダクションシステムを採用

エミッションを低減、EU-2 排ガス規制値をクリアした。

(9) その他エンジン関係

火炎伝播効率の高いイリジウムプラグや、希土類 ACM の採用、ピックアップコイルのクランク検出間隔の変更やエンジンコントロールユニットの容量変更等によりドライバビリティを向上した。

3.2 車体関係

ハンドリング性能の向上、ブレーキ性能の向上、軽量化、ニューデザインの具現化を主眼に開発を行った。図 3 に車体の外観を示す。

(1) 新設計デルタボックスIIIフレーム

現行に対し 30% の車体剛性アップと剛性バランスの最適化、及びエンジン搭載位置の変更等によるマスの集中化により、操作に対してダイレクトでリニアなハンドリング応答性を引き出した。

(2) アルミ鍛造ハンドル

一体肉抜き加工を施したアルミ鍛造ハンドルの採用により、軽量化と高入力時のリニアな応答性の向上を両立。

(3) フロントフォークオフセット変更

従来の 35mm から 25mm へとショート化しハンドル廻りの慣性モーメントの最適化を実施。操舵フィーリングと旋回時の応答性を向上させながら安定性も向上させた。

(4) 大径フロントフォークの採用

インナーチューブを従来の 41mm から 43mm の大径タイプに変更した。同時にチューブの肉厚の薄肉化も実施し、軽量化と剛性バランスの最適化を実施した結果、良好なサスペンション特性とクイックなハンドリング応答性を両立させた。ストロークの縮小とバネレートの最適化により車体前後挙動時のロス減少を図った結果、より積極的なコーナリング走行に呼応できるキャラクタを設定できた。

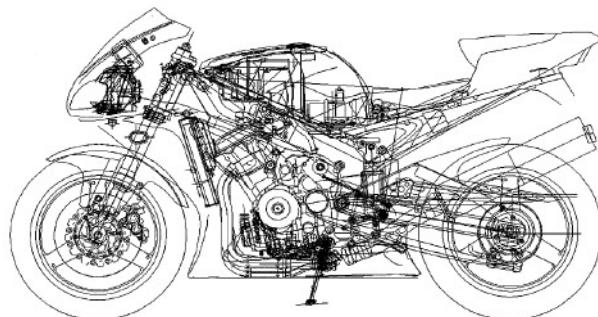


図 3 車体外観

(5) 左右非対称アルミ製リヤアーム

左側はデルタ形状、右側をアーチ形状とする左右非対称リヤアームの採用により、各パーツの最適配置を犠牲にすることなくロングリヤアームの特性をさらに引き出した。

(6) フロントブレーキキャリパのアルミピストン採用

軽量アルミピストンとブレーキホース配管の変更、及び焼結パッドの材質変更の相乗効果により、優れた制動力、操作性、操作フィーリングなどのベストバランスを生み出した。リヤブレーキは、ディスク径を小径化し前後バランスの最適化と軽量化を両立した。キャリパは軽量かつ放熱性に優れるピンスライド型に変更した。

(7) その他車体関係

コンパクト感を強調するライディングポジションや、シフトインジケータ採用の大型タコメータ、及び細部の軽量化を実施した。

3.3 デザイン関係

スタイリングは、ピボットからエンジンとフロントタイヤを乗り越えて、前方へ勢い良く飛び出していく躍動的ラインが特徴で、新世代のヤマハスタイル “The top of the Super sports” を具現化した。

4 品質への取り組み

スーパースポーツカテゴリーは、競合車が毎年でこ入れされモデル競争力をアップしていくという厳しい環境下にある。この様な状況下で開発品質の確保、向上を図るために特に以下3点を考慮した。

(1) 組織の壁を乗り越えること

開発品質の確保の阻害要因は組織の壁のはざまで起こることが多いため、開発当初から常にこの壁を取り除く事を意識し、場合によってはお互いが相手の領域に踏み込んだ開発を行った。

(2) 試作車の完成度向上

次元試作において、生産型、生産工程による型物最終品を評価確認することを前提に、初期段階から技術、製造、購買が一体となってフロントローディング開発を進めた。

(3) 本質の徹底追求

短期間の開発の中、ともすれば表層的な課題解決になりがちであるが、表層的な解決では後工程で再発する事が多いため、問題に対しては徹底した原因追求を行うことを意識した開発を行った。

5 おわりに

“スーパーコーナーリングマシン”として、1,000cm³ スーパースポーツの新基準を確立した現行モデルに対して、この2002年モデルではさらに期待を超えた高次元の走りを実現する車両を作り込めたと確信している。また世界のお客様に新たな感動を提供できたと考える。

スーパースポーツカテゴリーは、現状に甘んじた時にお客様の信頼を失う世界である。今後も更なる可能性の追求を継続していく所存である。

最後に、取引先の方々に多大な御協力を頂いたことに御礼申し上げます。

ヤマハスポーツ TDM900

YAMAHA Sports TDM900

松木 閑央 Etsuo Matsuki 望月 卓也 Takuya Mochizuki 田中 豊二 Toyoji Tanaka

小栗 幹夫 Mikio Oguri 栗田 浩明 Hiroaki Kurita 谷垣内 慶朗 Yoshiro Tanigaito

中村 伊久雄 Ikuo Nakamura

● MC 第1PM室 / MC 商品企画室 / EGSS 開発室 / MC コンポ開発調達室



図1 TDM900

Released in 1991 with a model concept of "King of the Mountain Roads," the 1st-generation "TDM850" immediately became a popular model in Europe for its spirited, sporty riding performance that could handle a wide range of road conditions from winding mountain roads to cobblestone streets, its high line of vision, easy riding position and individualistic styling.

This "TDM850" then evolved to its 2nd-generation version in 1996 with the change in the engine crank interval from 360 to 270 degrees. The rich feeling of pulse deriving from its irregular-interval combustion, dynamic running performance and wide torque band of this new engine, together with the bike's neutral handling stability and unique styling, won this model many fans and established a strong presence for it as one of the standard models of the sports category that truly answered the description of a sports "all-rounder."

Until now, these two generation models of the "TDM850" have sold a total of some 62,000 units in the European market through the year 2000.

While fully inheriting the original basic concept of the 1991 1st-generation "TDM850," the new "TDM900" has been designed and developed with the latest Yamaha technologies to achieve the aim of realizing an entirely new TDM world. With the main development concept of **using primarily weight-reduction technologies to achieve an quality of handling that touches the soul**, new technologies and know-how have been adopted in all areas, from the engine to all the detail components of the chassis, while at the same time re-designing the exterior styling for a complete image renewal.

In specific terms, while maintaining the existing elements of multi-purpose riding potential, easy riding position and unique styling, the spirited TDM riding performance has been further refined by (1) increasing engine displacement, (2) adopting fuel injection, (3) adopting an aluminum frame and (4) reducing overall weight, to achieve dynamic performance that puts the rider in full control to ride as his heart desires. In this way, the TDM900 is truly all new and fully worthy of defining the “3rd Generation TDM.”

The power unit is a new 897cc engine that adopts numerous technologies shared by the YZF-R1, like forged aluminum pistons, plated cylinders and carbonized connecting rods to ensure outstanding performance. What's more, the new power unit also adopts fuel injection, a 3-way catalyzer and Yamaha's air induction system that combine to achieve outstanding drivability and clean exhaust that clears EU-2 emissions standards by big margins.

The new-design aluminum frame is a diamond type. The adoption of the latest weight-reduction measures and technologies in the wheels and all areas of the chassis have enabled a big reduction in overall weight. The total product of these improvements is a level of running performance on mountain roads that approaches that of the 1,000cc class supersport models.

1 はじめに

“キング・オブ・ザ・マウンテンロード”を提唱して1991年デビューした初代「TDM850」は、山岳ワインディングから市街の石畳路まで路面を選ばない軽快でスポーティな走破性、高い視線と楽なポジション、個性的外観などが市場で評価され、一躍人気モデルとなり欧州市場をリードした。

この「TDM850」はその後1996年、搭載エンジンを360度クランクから270度クランクへ変更した2代目「TDM850」に進化。不等間隔爆発によるパルス感溢れるフィーリングと優れた駆動力、幅広いトルク特性、ニュートラルな操縦安定性、そして個性的スタイルがファンの支持を得て、「オールラウンダー」の名を欲しいままにし、スポーツ市場の基準モデルのひとつとして強く存在感をアピールしてきた。なお、これまで初代と2代目を合わせると約62,000台の販売数(全欧2000年末迄)を記録した。

このほど新開発の「TDM900」(図1)は、1991年初代の「TDM850」の基本コンセプトを継承しながら、最新技術の投入により新しい「TDM」ワールドの具現化を狙いに設計開発にあたったモデルである。開発においては“軽量化を軸に胸のすくような扱い易さの具現化”を主題に、エンジンから車体細部まで各部に新技術やノウハウを投入し、デザインにおいても、外観部品を全面刷新しリニューアルを果たした。

具体的には、従来からの多機能性、楽なポジション、独特的スタイル、などの特徴はそのまま継承しつつ、1) 排気量アップ、2) フューエルインジェクション採



図2 マウンテンロードでのタンデム走行

用、3) アルミフレーム採用、4) 軽量化、などを通じて軽快な走破性を洗練させ、緩急自在な走りを実現。文字通り、オールニューと呼ぶに相応しい“第3世代TDM”を具現化したモデルとなっている。

エンジンは新897cm³エンジンを搭載したほか、アルミ鍛造ピストン、メッキシリンダ、浸炭コンロッドなど最新のYZFシリーズ同等の技術を投入して優れた性能を確保。さらに、フューエルインジェクション、三元触媒・エアインダクションの併用により、優れたドライバビリティと、EU-2暫定規制値を大幅にクリアするクリーンな排ガス特性を実現した。

フレームは、新開発アルミ製ダイヤモンド型フレームを採用。ホイールや車体各部に最新の軽量化技術を投入して大幅な軽量化を達成。1リットルスリーパースポーツモデルに肉薄するマウンテンロードでの走行性を実現した(図2)。表1に本モデルの主要諸元を示す。

表1 TDM900 主要諸元

項目	諸元値
全長×全幅×全高	2,180×800×1,290mm
シート高	825mm
軸間距離	1,485mm
乾燥重量	190kg
原動機種類	水冷、4サイクル DOHC、5バルブ
総排気量	897cm ³
内径×行程	92×67.5mm
圧縮比	10.4:1
最高出力	63.4kW / 7,500r / min
最大トルク	88.8Nm / 6,000r / min
潤滑方式	強制圧送ドライサンプ
エンジンオイル量	4.7L
燃料タンク容量	20L
バッテリ容量	12V、10AH
1次/2次減速比	1.718 / 2.625
変速比	1速:2.750 2速:1.947 3速:1.545 3速:1.240 5速:1.040 6速:0.923
キャスター/トレール	25.5° / 114mm
ブレーキ形式	前:油圧ダブルディスク 後:油圧シングルディスク
ヘッドライト	ハロゲンバルブ 12V55W×2

2 開発のポイント

設計・開発では、従来の「TDM850」がもつ①多機能性、②アップライトポジション、③独特的のスタイル、といった特色はそのまま踏襲し、1) ルートを選ばず何処でも行けるキャラクター、2) マウンテンロードではYZF-R1をも凌駕する走行性、3) リッターマシンとのツーリングを先導できるポテンシャル、4) 市街地最速の機動性など、これら走りの各要素を高次元でバランスさせることを主眼とした。

3 エンジン概要

3.1 アルミ鍛造ピストン他採用の新 897cm³ エンジン

「TDM850」に搭載の水冷 4 ストローク・5 バルブ・2 軸バランサ採用並列 2 気筒を母体に、ボア 89.5mm から 92mm へ拡大。897cm³ へと排気量アップを図るとともに、アルミ鍛造ピストン、メッキシリンダ、浸炭コンロッドを採用した他、吸排気カムの最適化を行い優れた特性を実現。またクランク慣性マスを 9% アップ (クランク / ACM 合算) し最適化を施した (図 3、図 4)。

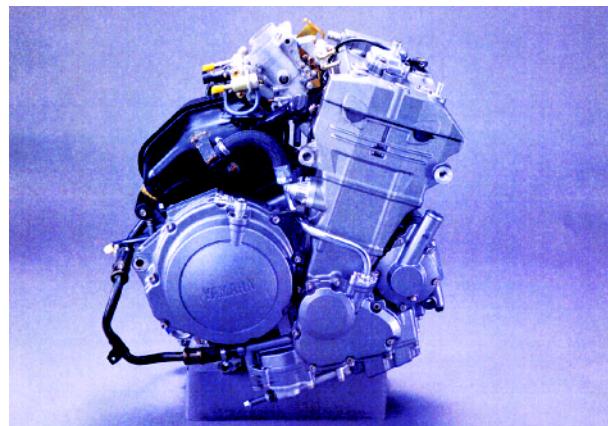


図 3 TDM900 エンジン

3.2 フューエルインジェクションの採用

優れたエンジン特性と排ガス浄化の両立を図るために、燃料供給はフューエルインジェクションを採用。38mm スロットルボディ本体に 4 ホール 2 ジェットのインジェクタを設置し、良好な噴霧粒径を実現。5 バルブ燃焼室とのコンビネーションで優れたドライバビリティと良好な燃費性能を引き出している。



図 4 エンジン構成パーツ

3.3 可変吸気ダクト

新作大容量エアクリーナーボックス (7.5L) と共にヤマハ初の吸気ダクト可変方式を採用した。回転数に応じてダクト面積を変更するシステムで、4,000 回転超では全開、それ以下ではダクト面積を約 3 分の 1 に絞り、最適な吸入空気量を確保する。スロットル急開時に生じる通路面積急変による特性変動を最小限に抑え、優れた特性確保に繋がっている (図 5)。

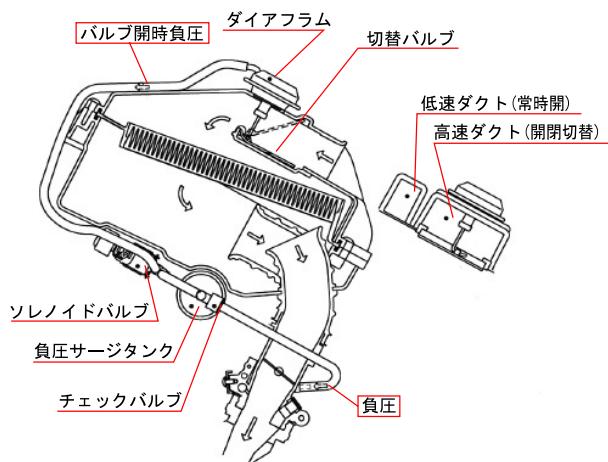


図 5 可変吸気ダクト構造

3.4 その他のエンジン関連の特徴

この他①リングファン採用小型ラジエタ、②新設計 6 速トランスミッション、③スチール製エンジンマウント軽量オイルタンク、④排出ガス浄化を図るエアインダクションシステムおよび三元触媒などを採用した (図 6)。

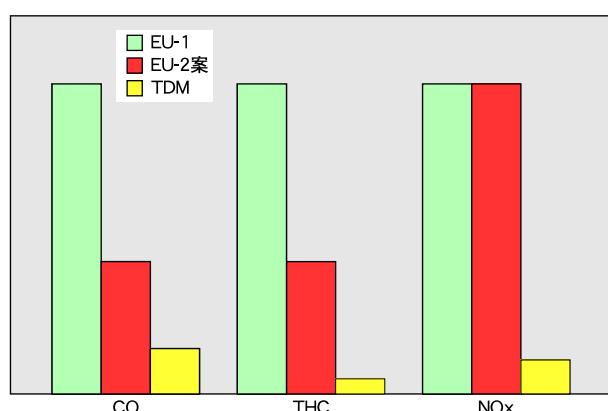


図 6 排出ガス浄化レベル

4 車体概要

4.1 TDM スタイリングのリニューアル

カウリング回りの構成は現行と同じで、2灯式ヘッドライトはマルチリフレクタ式を採用して先代の顔付きを残しながら違った表情を出し、且つ明るく走り易くした（図7）。フレームのタンクレールからリヤフレームにかけての「Y シェーブ」を残す様に鋳物分割アルミフレームで表現した（図8）。

4.2 軽量化

フレームはヘッドパイプ部とプラケット、リヤアーム部を一体鋳造化して溶接部印籠による重量増を押さえ、板厚の最適化を行なった。リヤアームは目の字断面押出し材にてアームの剛性を上げた（図9、図10）。捩じり剛性値を約4割アップしながらもフレーム、リヤアーム回りで現行車より6kgの軽量化を行なう事ができた。

また、ヤマハでは初めて樹脂カウルステーを採用、多機能形状としてコストと重量低減化を図った。



図7 カウリング回り



図8 Y シェーブ フレームデザイン

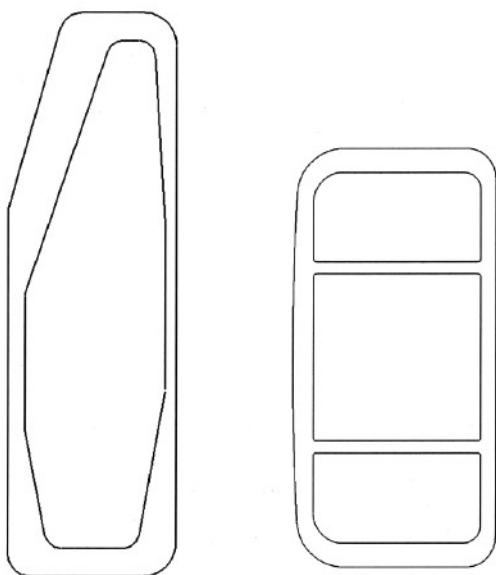


図9 タンクレール、リヤアーム断面



図10 軽量高剛性アルミフレーム

4.3 操縦性

エンジン性能アップによる高速時安定性向上のためフレームの剛性をアップさせた。一方、操縦性は現行モデルを踏襲してスーパースポーツの様な「ガッチャリ」ではなく、ON・OFF的な路面変化に対して柔軟性を持たせた設定とした。サスペンションはストロークを大きく取り、リヤサスペンションは新規にリンク式を採用し伸び圧減衰調整付にした。

4.4 車両電装

インナーパネル回りでは図11に示すようにメータは見易さと軽量化の為速度はデジタル表示、ガソリン残量は液晶バーグラフ、回転数と水温はステップモータ式アナログ表示とした。なお時計は常時表示を採用し、バッテリーの負担を低減するため、48時間後自動消灯するシステムとなっている。

ヘッドライトは小型、軽量を狙いロービーム片側H7(55W)1灯、ハイビームはロービーム+片側H7(55W)1灯とした。なおロービームは広がりを重視した配光とし、1灯でも充分な明るさを確保できた。

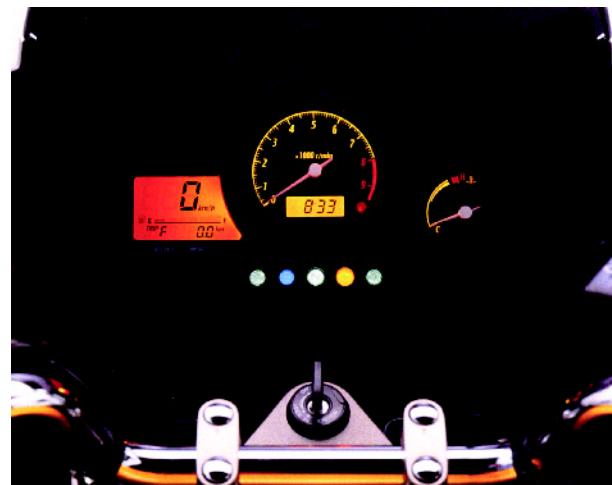


図11 インナーパネル回り

5 品質への取り組み

本モデルの品質への取り組みとしては、

- (1) スタイリング CAD の活用により早期に精度の良い型製作を実施でき、CE活動の早期取り組みを含め、合わせ品質、外観品質の作り込みを十分に行うことができた。
 - (2) 前モデルのウィークポイントであったシフト時のショックとノイズの部分について、今回関連部品の全面見直しと当社のMCとしては初となるフレーム内へのウレタン注入等によりこのシフト時のショックとノイズを大幅に改善することができた。
 - (3) 排気系をステンレス化して、塩害の厳しい欧州市場での耐触性を確保した。
- その他にも、燃費、オイル消費の改善、メカニカルノイズ低減など、種々の改良も施している。

6 おわりに

2001年11月にスペインのカナリー諸島 フェルトヴェンチュラにて行われたプレス発表会においても本モデルの狙いは十分に受け入れられプレス各誌の高い評価を頂くことができた。

今後は次の10年間を売り続けられるよう更なる熟成を図っていきたい。

クロスカントリー スノーモビル SXV70 「SXViper」

Cross-country Snowmobile SXV70 "SXViper"

斎藤 真康 Masayasu Saitou 山本 正信 Masanobu Yamamoto

井野口 欣孝 Yoshitaka Inoguchi 徳竹 浩志 Hiroshi Tokutake

● MC 商品企画室 /EGSyS 開発室技術第1Gr/MC コンポ開発調達室電装Gr/ 第5PM室



図1 SXV70

Even as we begin to see the effects of global warming and the overall snowmobile market cools down, the sport snowmobile category continues to show strong demand in North America. In this sport-model market the main battleground for the makers is the dominant cross-country category, and it is here that they enter machines with the highest levels of performance and features in order to establish their presence in the market.

Since its appearance in 2001, the SXViper has blown away the competition and won the hearts of the users with its superior performance and features but also its revolutionary styling. Thanks in part to the effectiveness of the product launch strategy, sales of this hit model have far outstripped initial orders, leading to a major increase in production.

表1 SXV70 主要諸元表

1 はじめに

地球温暖化現象が継続し、スノーモビル全体需要が縮小する中、北米市場において、スポーツカテゴリー需要は堅調に推移している。この領域における主戦場となるクロスカントリーカテゴリーに、機能と性能で最高のマシンを投入することにより、スノーモビル市場での存在感を再構築する。

ここに紹介する SXV70 SXViper (図1) は、2001年より市場にて販売され、他社競合モデルに対する、性能機能の優位性、かつ斬新なデザインが、顧客の心を捉えた。商品導入戦略も功を奏し、予約当初より販売数量を伸ばし、大幅増産をするまでのヒット商品となっている。

項目		諸元値
全長		2,780mm
全幅		1,200mm
全高		1,233mm
乾燥重量		222kg
原動機	種類	水冷、2ストローク
	気筒数・配列	3気筒、並列
	排気量	696cm ³
	内径×行程	69mm×62mm
	最高出力	88.2kW/8,500rpm
	最大トルク	102Nm/8,000rpm
	点火方式	DC-CDI
	潤滑方式	オートループ式分離
変速機		Vベルト
フレーム形式		モノコック
ブレーキ形式		油圧ベンチレーテッドディスク
懸架方式	前	リーディングアーム式
	後	スライドレール式

2 開発の狙い

お客様の期待を超える、スノーモビルの開発を目指した。その為には、デザイン・エンジン性能・重量・機能面全てにおいて競合車に対し優位にたつ必要性があり、以下のポイントを主眼に開発を行った。

- (1) ラフ路走破性において業界 No.1
- (2) 加速・プルフィーリングにおいてクラス No.1
- (3) クロスカントリーの王者に相応しい、挑戦的なスタイリング
- (4) 業界 No.1 の夜間走行機能(ヘッドライトの明るさ)
- (5) 低騒音 No.1

毎年のように改良が加えられ、しのぎを削るこのクラスにおいて、確実に優位に立ったモデルである(図 2)。



図 2 走行中の SXV70

3 エンジン

図 3 に SXV70 のエンジン全体概要を示す。SXV70 のエンジンはフラッグシップモデルである SRX700 を基本としながら、トレール走行性能を高めるための性能開発及び軽量化のために、3 気筒集合による 1 本マフラーを採用するなど各部に改良をはかり、全く別の特性を持ったエンジンに仕上げられた。

ヘッドシリンダは 3 気筒一体として軽量化をはかるとともに、3 気筒集合による 1 本マフラーによる気筒間での燃焼状態のばらつきを防ぐため、各気筒毎に最適な燃焼室形状及び圧縮比を選定した。

シリンダは SRX700 と同様にフラットバルブタイプの YPVS (Yamaha Power Valve System の略) を採用した。ただし、YPVS を含めて各ポート形状及びタイミングは、3 気筒集合による 1 本マフラーに合わせすべて変更・見直しを行った。

クランクに対してもバランス率は変えずにウエブ形状を変更することで、SRX700 に対して 750g の軽量化が得られた。

ピストンはパウダー鍛造ピストンを採用しているが、シリコン含有量の見直しを行い加工性と耐焼付性を向上させた。

オイルポンプは混合比を見直し、油費の改善をはかった。

キャブレタは SRX700 同様に TPS (スロットルポジションセンサ) 付き TM33×3 連装を使用してい

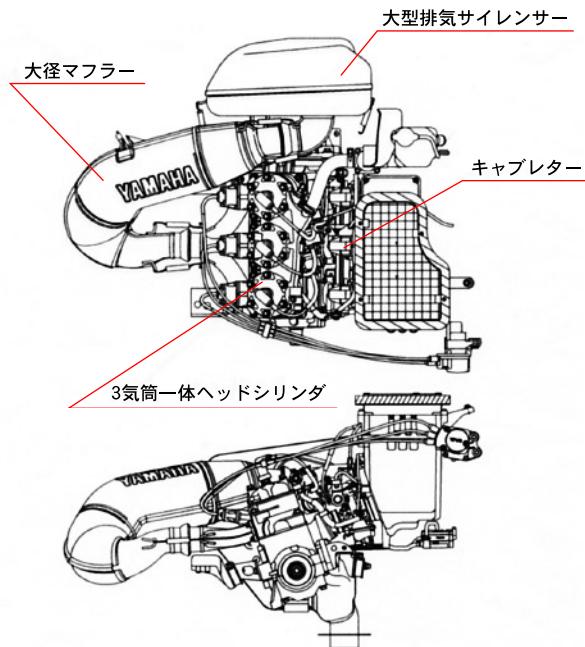


図 3 SXV70 エンジン

るが、車両のラム加給に合わせてセミ動圧を採用した。また、フロート系の改良によりギャップ走破性もさらに高めた。

排気系は3気筒集合による1本マフラーを採用、内径φ142の大径マフラーにて全域トルクアップをはかった。また排気サイレンサは17Lの大容積を確保し、テール音を下げるとともに排気系全体をアルミカバーでおおって透過音も下げており、競合他社に対して騒音値は約-5dBAを得ることができた。

スタータは大径リコイルスタータを採用し、低温時の引力低減を行った。

マウント系に関しては、それまでのスノーモビルはVベルトのテンションによりエンジンが動いてライマリークラッチとセカンダリークラッチとの軸間が狭まり、走行性能が低下することを防ぐためにエンジンとフレームとの間にコンプレッションロッドを設けていた。SXV70では車載状態で軸間が広がる方向に事前にエンジンの角度を付けておくことで、コンプレッションロッド無しにて同等の性能を得ることができた。

ACMのロータはネオジウム磁石を採用し、高出力と軽量化を両立させている。またYPVSとTPSによる3次元点火時期制御を採用し、低速から高速まで高い性能と低燃費を実現した。

4 車体

図4にフィーチャーマップを示す。

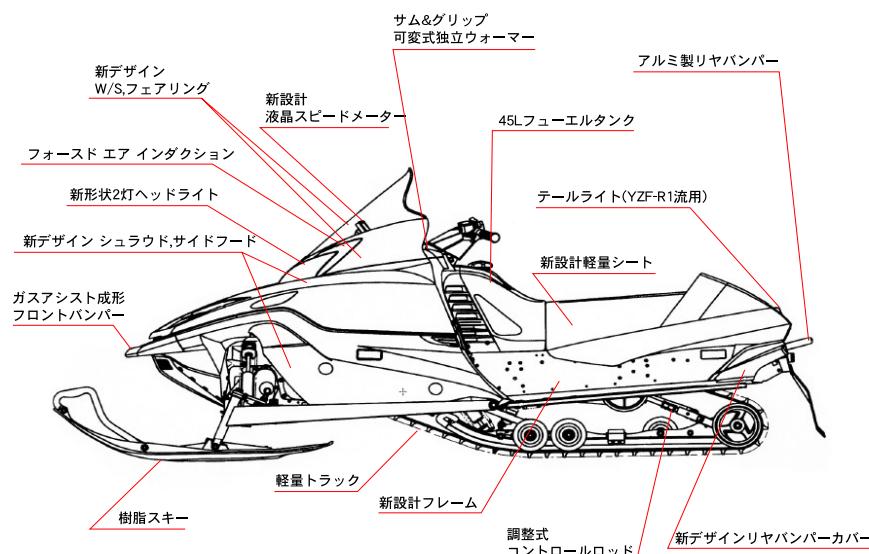


図4 車体フィーチャーマップ

4.1 フレーム

基本レイアウトは、従来モデルを踏襲し、軽量化を最大の狙いとして開発を行った。具体的な手法は、①各部位の板厚の最適化、②部品の一体化などである。結果として、座屈荷重、ねじり剛性といった性能面では、従来モデル同等を確保しつつ、約2.6kgの軽量化を達成した(図5)。

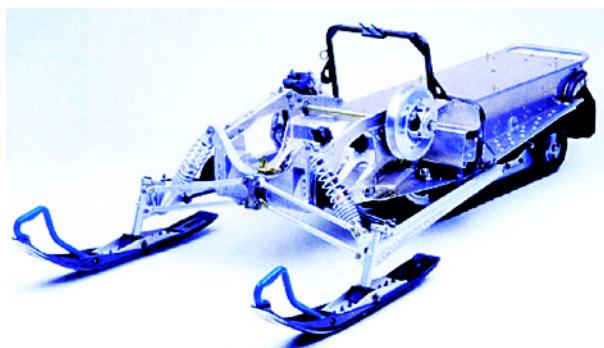


図5 軽量フレーム

4.2 サスペンション

フロントサスペンションは、ギャップ路での走破性向上のため、ショックアブソーバの圧減衰力とバネ定数の見直しを行った。

リヤサスペンションは、フロントサスペンションと同様にショックアブソーバのセッティングを見直すと共に、車体のピッティングをユーザーの好みに応じて変えられるように、コントロールロッドに揺動量を調整できる機構を設けた(図6)。また、ガイドホイールは、樹脂にペアリングを圧入したものから、樹脂とペアリングを一体成形することにより強度アップを図った。

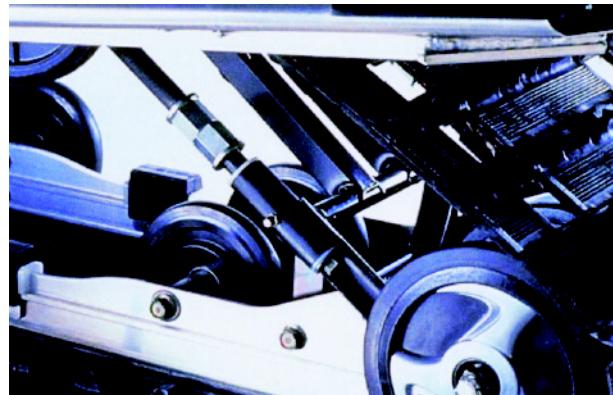


図6 コントロールロッド

4.3 外装部品

YZF-R1のイメージを継承したヘッドライトを基本に、フロントサスペンションのロングストローク感を強調させるために大きくえぐられたサイドフード、シート後部の絞り込みと2灯テールライトなど、クロスカントリーカテゴリーに相応しいアグレッシブなデザインが本モデルにおける特徴となっている。

ラム加給は、車両の使用環境特性上、雪に対する考慮をする必要がある。走行風を直接吸気サイレンサへ導くと、降雪時等の場合、雪も一緒に吸気サイレンサへ入ってしまい、目詰まりを起こす。このため、取り入れ口をヘッドライトの横に配置するとともに、走行風を直接吸気サイレンサに導くのではなく、走行風を一旦シュラウド内に入れることで、空気と雪を分別させるとともに、吸気サイレンサ付近の圧力を上げることで加給を行う構造を採用した。この構造は、フォースド・エア・インダクションと名づけた(図7)。

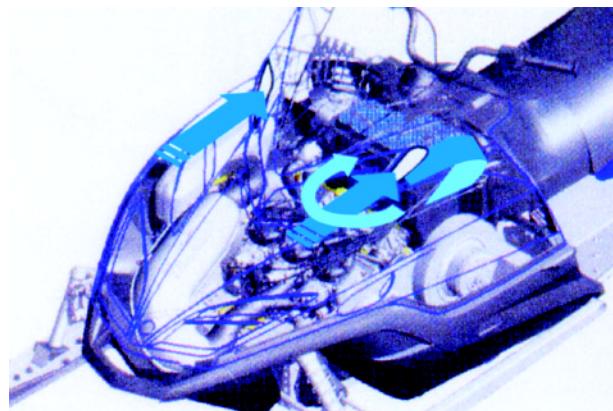


図7 フォースド・エア・インダクション

4.4 シート

新デザインの採用と軽量化を狙い新作した。スノーモビルのシートにおいて、乗り心地と重量面で大きな比重を占めているのがウレタンである。このウレタンの使用量を抑えることが軽量化につながるため、本モデルのシートでは、乗り心地を損なわない必要最低限の部分にウレタンを使用し、その他の部位は、PP45倍発泡品に置き換えることで、約1.3kgの軽量化を実現した。



図8 シート外観

ラゲッジボックス内は、テールライト下のデッドスペースにツールボックスを配置し、実用容量を確保するとともに、テールライトのソケットバルブからの光をラゲッジボックス内の照明に利用する構造とした(図8、9)。

4.5 ヘッドライト

YZF-R1のイメージを継承したデザインを採用し、かつ、業界No.1の明るさとスノーモビルの特性に合わせ、遠方&ワイドに照射する配光とした。図10にヘッドライト外観、図11に他社モデルとSXV70の照射比較を示す。

低温環境下でのレンズ内面の曇りを低減する為、ヘッドライトの容積を極力少なくすることと、エアブリーザ部に高気密フィルタを採用した。

4.6 LCD スピードメータ

軽量化、新規性、視認性向上を目的に、LCDスピードメータを採用した(図12)。

車速の検出を、従来モデルではギヤユニットとケーブルで行っていたが、ピックアップセンサにすることで、LCDスピードメータ化と合わせて、約1kgの軽量化ができた。

スノーモビルでは、モーターサイクル用のLCDを-20°Cの環境で使用した場合、LCDの応答性が低下し、スピードの変化に対し表示の追従遅れが発生する。

低温環境下での応答性能向上を本モデルでは、
(1) セルギヤップ縮小
(2) LCD駆動方式を変更
等を行うことにより、モーターサイクル用LCDの常温並の応答速度を実現した。

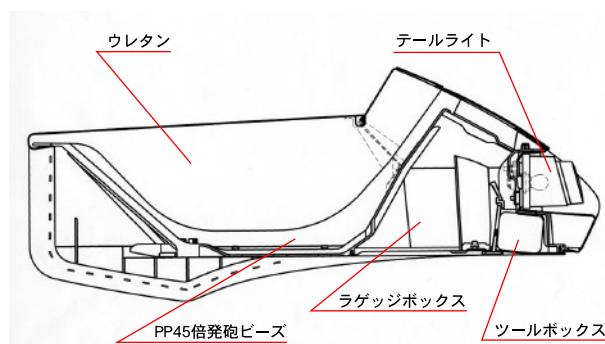


図9 シート断面図



図10 ヘッドライト外観



図11 照射比較(右側がSXV70)

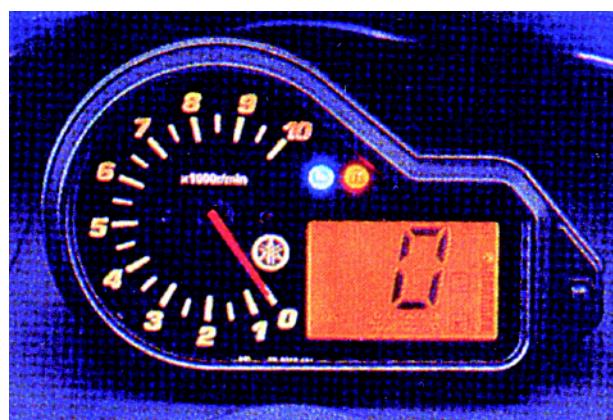


図12 LCD スピードメータ

5 品質への取り組み

本モデルの開発では、品質の確保ならびに向上を図るため、下記を主な点として取り組みを行ってきた。

- (1) 過去の市場問題や開発問題点を整理し、再発防止の徹底を図った。
- (2) 機能信頼性評価の台上化推進
- (3) コンカレントエンジニアリングの積極推進

部品メーカーへの新規部品の発注に際しては、仕様以外に市場情報や開発時の問題点及びスノーモビル特有の条件等を提示し、設計 FMEA の実施や評価内容のすり合わせ等を行い、開発における洩れ抜け防止の徹底を図った。

6 おわりに

以上の様に SXV70 は、戦闘力のある性能と、斬新的なデザインを実現化するために、従来モデルから大幅なモデルチェンジが施された。また、クレーム低減活動およびコンカレント活動にも積極的に取り組みを行ってきた。結果として、初年度計画台数に対し大幅な増産をすることができた。今後も魅力的な商品作りを行っていきたいと考える。

最後に、当モデルに限らずスノーモビルの開発に当たって絶大なご協力を頂いている現地拠点、N.A.S.H. Testing の諸氏を始め、関係各位の多大なるご支援・ご協力をいただきましたことを、紙面を借りて感謝・御礼申し上げます。

●著者



斎藤 真康



山本 正信



井野口 欣孝



徳竹 浩志

4ストロークエンジン搭載 PWC FX140

4-Stroke engine PWC FX140

杉山 恵一 Keiichi Sugiyama 高橋 康雄 Yasuo Takahashi
服部 敏幸 Toshiyuki Hattori 平澤 武 Takeshi Hirasawa
● WV 技術統括室 /WV 商品企画 G/WV 製品開発 G/ 三信工業（株） 第1技術部



図1 FX140

The 21st century is already being called the century of the environment. As of 1999, emissions regulations have been enacted for personal watercraft in the USA and Yamaha responded that year by introducing the XL1200LTD featuring a 3-way catalyzer.

Now, moving forward in anticipation of even stricter regulations to come, Yamaha has introduced the FX140 as the world's first PWC powered by a 4-stroke engine. Here is the story behind its development.

1 はじめに

21世紀は環境の時代と言われている。1999年よりパーソナルウォータークラフト（以下PWCと）においても米国にて排気ガス規制が始まり、当社は同年、3元触媒付きのXL1200LTDを市場導入し対応してきた。

今回、今後展開されるさらに厳しい規制に対応するため世界で初めての4ストロークエンジンを搭載したPWCであるFX14（図1）を開発したのでここに紹介する。

2 開発の狙い

現在のPWCに求められる機能的な要素は、排ガスや騒音と言った各種の規制に対応することはもちろん、運転者や同乗者の感覚的な静粛性や、不安なく操縦を楽しめる安定性といった総合的な快適性の向上と、従来から求められている“ファン性”すなわち加速やスピードというパフォーマンス項目との、高い次元でのバランスである。

FX140は2002年度のフラッグシップモデルとして、この様な市場の要求に応えるべく開発された。

開発上の主なポイントは以下の3点である。

- ・ファン性と快適性の高バランス
- ・フラッグシップモデルに相応しいつくり
- ・PWCとしての4ストロークエンジンの機能確保

3 主要諸元

表1に主要諸元を示す。

4 艇体

開発の狙いを実現させるため、艇体は次のような特徴を有する(図2)。

4.1 ファン性能と快適性能ハル

従来艇に対し約20cm全長を延長し、船底形状や航走関係部品の全てを一から見直した。その結果、軽快かつ快適な運動性能を達成することができた。

4.2 斬新なスタイリングと外観品質

バウリッドは商品の顔にあたる外観部分であり、かつその下にある物入れは重要な快適機能のひとつでもある。

バウリッドは裏表二重構造による高い剛性と、ラッチは手元の操作し易いカバー部にインテグレートされ、開閉をサポートするガススプリングがヒンジ部に装備されている。

また、船内側に大容量収納スペースを設けることにより、高品質高機能を成立させている。

バウバンパーは内側を硬く、外側を軟らかくする従来に無い大型二層成型品を採用することにより、機能と外観の向上の両立という、他に無い大きな特徴を与えていている。

表1 FX140 主要諸元

項目	諸元値
艇体(エンジン)型式	F1B(60E)
全長×全幅×全高	3.34m×1.23m×1.16m
乾燥重量	362kg
エンジン形式	水冷4サイクル 直列4気筒 DOHC 5バルブ
最大出力	95.6kW(130PS)/10,000rpm
総排気量	998cm ³
ボア×ストローク	74mm×58mm
圧縮比	11.4:1
潤滑形式	ドライサンプ
燃料供給形式	電子制御燃料噴射
燃料タンク容量	70L
艇体材質	SMC
完成艇工場	YMMC(米国製造子会社)

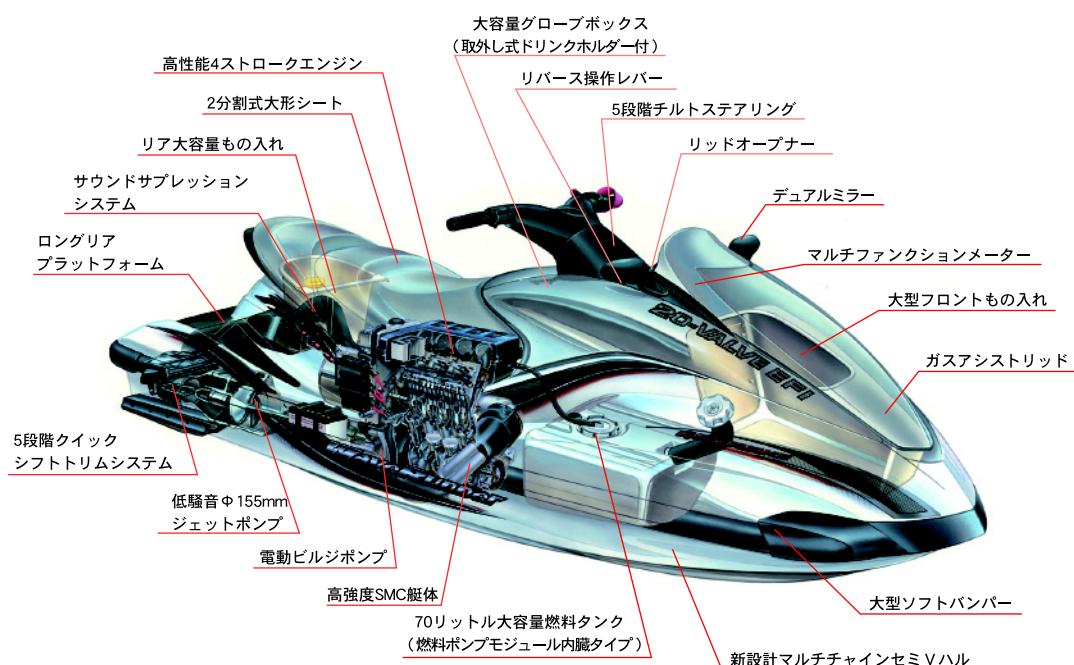


図2 FX140 フィーチャーマップ

非常に使い勝手の良いシート前のグローブボックスは、10Lの大容量に加え、カップホルダーを装備し使い勝手を向上させている。

その他、部品の構成やつながりを、デザイン初期段階から生産性も含め追求した結果、建て付けの良い優れた外観品質とすることことができた。

4.3 船体構造

船体の構成は、熱硬化性不飽和ポリエステル樹脂性の SMC 工法による高品質高強度のハル / デッキ構成をベースに、ライナーをハルとデッキの中間層として追加し、ハル / デッキ各部と接着結合する立体結合の船体構造となっている（図 3）。

ハルとライナーでつくられる空間には強度アップや振動騒音の低減、船体の不沈性確保の為に発泡材が充てんされており船内スペースの有効活用が図られている。

この構造は YAMAHA 製 PWC の大きな特徴である。

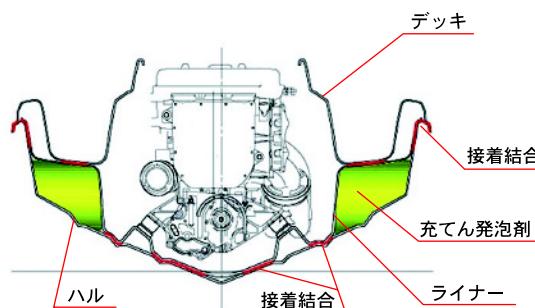


図 3 船体構造図

4.4 騒音への取組み

本モデルでは 4 ストロークならではの商品性を一段と引立たせる為に、騒音低減にも最大限の努力を払った。

エンジン吸気、排気音の他、ジェットポンプからの音、船内からの透過音、漏れ音、艇体を振動させる放射音、その他波切り音等を徹底的な音解析により全世界の騒音規制値をクリアーするとともに、乗船者の耳元にも優しい艇に仕上げることができた。

以上のような種々のチャレンジにより FX140 は総合的なバランスに優れた性能、商品性を持つ艇となつた。

5 エンジン

開発の狙いを実現させるため、このエンジン（図 4）は次のような特徴を有する。

5.1 高性能・軽量・コンパクト

PWC エンジンに求められる高性能・軽量・コンパクトを実現させるため、モーターサイクルの諸元・Know-how を最大限に活用した。その結果、バルブ回り、ピストン、クランク、コンロッドと言ったムービングパーツのディメンションは YZF-R1 と同一とし、コンロッド、バルブまわり部品の共通使用化を図ることができた。

性能を確保するため大型のインテークカバーを採用、エキゾーストマニホールドは 4 本独立構造を採用した。

PWC のエキゾーストマニホールドは、まわりを水で冷却する 2 重構造をとっているため、2 重構造をとりながら排気通路を 4 気筒独立にすることは製造上大きな困難を伴ったが、開発初期からのメーカーとのコンカレント活動を実施し、構造を実現させた。

また、マリンの排気ガス規制対応のため電子制御式燃料噴射を採用した。

5.2 エンジン内水入り対応

PWC 特有の使用環境は水上で使用されることである。4 ストロークエンジンの開発にあたり、2 ストロークエンジンと比較したときその構造の複雑さからエンジン内に浸入する水をいかに防ぐかが大きなポイントであると考えてきた。

その結果、エンジン内の水入りを防止する機構を吸・排気系に取り入れた。具体的には燃料噴射装置をエアインテークケースの中に配置し、空気取り入れ口を 180° 艇が回転しても水の浸入のない位置に配置、さらにエアの入口には水に強い撥水性フィルターを採用した。

排気系には、ウォーターロックと呼ばれる水の逆流を防ぐ水留めの大容量のものを系路の途中に設けた。また、積極的に艇内の水を排出するために、電動ビルジ装置を採用した。

5.3 PWC の運動性に対する対応

PWC の激しいドライビング、波間でのジャンプ、転倒などの動きに対応するために、潤滑系はドライサンプ方式を採用。オイルポンプはフィードとスカベンジポンプを 2 段構造で配置した。

また、航走中のクランクケース内のオイルを効率よく回収するため、オイルパン形状に工夫をした。

最大の難点は 180° 転倒である。180° 転倒した場合は、オイルタンク内のオイルはブローバイ通路から流出する恐れがあるため、それを防ぐために部品構成を工夫して 3 重構造のトラップ構造として対応をとり、確実に流出を止めている。

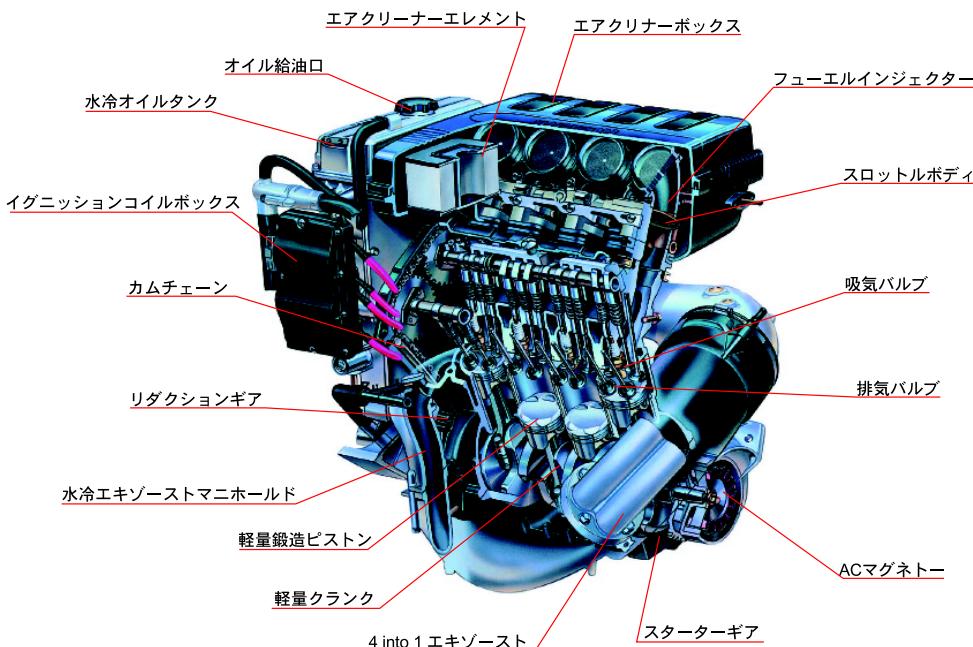


図 4 エンジン主要構造

6 品質への取り組み

開発の初期より取り組み計画を作り、『クレーム低減対象モデル』に設定し展開した。「仕事のやり方改革」、「プロジェクトの個別テーマ」の両ポイントに的を絞り具体化し、エンジン、艇体それぞれの開発担当部門が中心になり、関係部門、関連会社を巻き込んで進めることができた。

数多く取り組んだ項目のうち、「コンカレント開発の推進」は問題、課題の早期発見に大きく寄与、またはじめての4ストロークエンジン開発にはモーターサイクル、船外機における多くの事例の活用、評価方法の流用等を行なうと同時に2ストロークエンジン開発でのKnow-How、市場での品質情報をフィードバック、融合し、従来に比べステップアップした取り組みができた。

7 おわりに

数年前に初めて4ストロークエンジン搭載のプロトタイプPWCを航走させて以来、多くの関係者の努力のもとに新商品FX140を市場に提供する事ができた。その商品性は4ストロークエンジンの持つ高性能とPWCの本質であるファン性をあわせ持ち、お客様にその楽しさを十分満喫していただける商品に仕上げる事ができたと確信している。

近年、PWCを取り巻く社会環境は排気ガスのみならず益々厳しくなりつつあるが、これを機会にさらにお客様に感動していただける商品作りを今後とも目指していきたい。最後に、FX140の開発にご協力を戴いた社内外の関係各位に対し紙面を借りてお礼申し上げます。

●著者



左から、服部 敏幸、高橋 康雄、平澤 武、杉山 恵一

フィッシングボート UF-21CC

Fishing Boat UF-21CC

福山 美洋 Yoshihiro Fukuyama 門田 律 Ritsu Kadota
●舟艇事業部 製品開発室



図1 UF-21CC

With demand for new boats decreasing year by year, we in the boat development business face hard times. Still, the demand for used boats remains strong, which means to us that if we can provide attractive products that answer the needs of this user category at a reasonable price, we can still develop new-boat demand. In particular, there is an estimated demand of about 2,000 boats annually in the one to two million yen price range, and Yamaha has now begun developing fishing boats in this volume category aimed at stopping any further drop in sales and share due a lack of product value.

1 はじめに

プレジャーボートの新艇需要は年々下降線をたどり、われわれボート開発者にとって頭の痛い状況となっているが、この時期においても中古艇の国内需要は堅調であり、対象層の要求に見合った価格と商品自体の魅力が釣り合えば、新艇需要を活性化させることができると考えた。特に100～200万円の価格帯のレジャーボート販売需要は約2,000隻と推定され、このボリュームゾーンの自社製品の商品力低下による販売減少とシェア低下を食い止め、増売を達成すべく新たなフィッシングボートUF-21CC（図1）の開発をスタートさせた。

2 開発の狙い

前項で述べた「100～200万円の価格帯」のヤマハボートラインナップでは、「UF-21 カディ」（図2）「SRV-20」（図3）の2モデルが主力であったが、釣り嗜好者をターゲットとした「UF-21 カディ」は、利益改善や搭載船外機の変更などによる値上げから200万円を越え、販売ボリュームゾーンから外れることになった。また、「SRV-20」はマルチパーパス的なイメージが強く、純粹な「釣り嗜好者」には受け入れられ難い商品である。

上記の背景も踏まえ、UF-21CC では主に以下の項目を開発目標として掲げた。

- (1) 商品購入時に発生する諸経費、保管料など諸費用を含めても 200 万円付近に収まる価格
- (2) 既存には無い、新しいデッキアレンジメントによる斬新性と新しい釣りスタイルの提案
- (3) フィッシング機能を優先しながら、「ファミリーユース」としても充分耐え得る居住性・安全性を有する

価格訴求だけでは中古艇には勝てない。新規購入層を拡大する為にも (2)、(3) の項目達成は必須といった。



図 2 UF-21 カディ



図 3 SRV-20

3 主要諸元と商品の特徴

表 1 に、UF-21CC の主要諸元を示す。

本艇には 2 つのバリエーションが存在するが、搭載船外機が 2 ストロークか 4 ストロークか、ということと、外観小物部品に若干の仕様差が有る程度で基本の艇体構造 / 機能 / レイアウトは同一のものと考えて差し支えない。なお、本文の中に「現行艇」という表現がたびたび出てくるが、比較便宜上「UF-21 カディ」(図 2) を差すものと考えていただきたい。

表 1 UF-21CC 主要諸元

項目	開発型式 E1G
全長	6.45m
全幅	2.27m
全深さ	1.10m
全高さ	2.10m
艇体重量	706kg
最大保証馬力	51.5kW(70ps)
搭載船外機	36.8kW(50ps)
定員	6 名
航行区域	限定沿海
燃料タンク容量	24Lx3

4 航走性能の概要

本艇は新規購入層が主なターゲットであり、ボート初心者の比率が高いことが想定されるため、船型開発の基本コンセプトとして「乗り易さ」を重視し以下項目を挙げた。

- (1) 乗り心地向上
乗員の感じる上下、前後、左右 G の低減
- (2) 静止時の安定性向上
傾きにくい
- (3) 航走時の不安定挙動の低減
姿勢変化の少ない加速、横 G の少ない旋回

(4) 低馬力エンジンとのマッチング

加速性能の向上

ベース船型は小型ボートに順次採用されている新船型「MV-R : MIDDLE V with RIDGE」をベースとして以下のモディファイを行った(図4)。

- (a) 船首デッドライズの適正化(乗り心地)
- (b) チャイン幅の拡大(安定性)
- (c) 新スタンチャイン形状(姿勢変化抑制)
- (d) スケゲの廃止(加速性能)

加速性能の達成と(a)および(b)は、一般的に相反する要素であり、これまで両立させるために

リ評価等の多くの労力を必要としてきた。今回の開発では運動シミュレーション等の活用で設計スパイラルを短期間でまわすことが可能になり、各目標値を高次元でバランスさせることができた。結果、目標としていた乗り心地や安定性などの「乗り易さ」といった指標で現行艇に対し2~3割程度の性能向上を測ることが出来た(図5)。

速力については平水面で現行艇と同レベルであるが、波のある中で走りやすく格段にスピードの差が出るとの市場評価をいただいている。

また、安定性については現行艇でのコンプレインを解消し、人が3人片舷に寄っても水入りのない(傾きにくい)安定性を実現している。

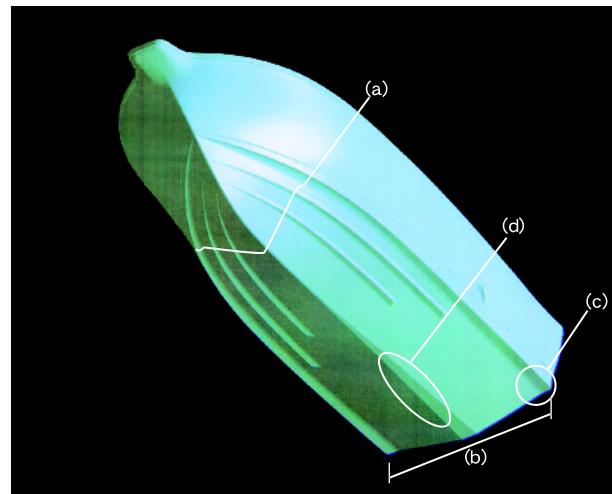


図4 船底形状

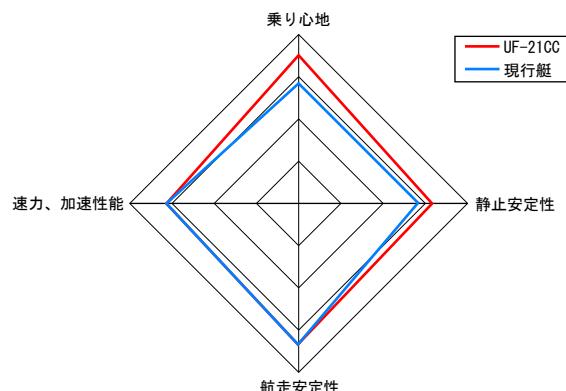


図5 航走性能の比較

5 構造仕様の概要

構造設計では強度確保はもちろんのこと、製造側での作り易さを実現するために構造解析を活用した。従来であれば設計計画の構造が十分な強度を有しているかを確認するために構造解析にて検証してきたが、今回は製造側の提案構造を数種類解析、比較することで、強度、作り易さのバランスの取れた構造仕様とすることことができ、加工時間では従来艇にくらべて20%の短縮を達成している(図6)。

また、上記取り組みの他に以下の要素を折り込んでいる。

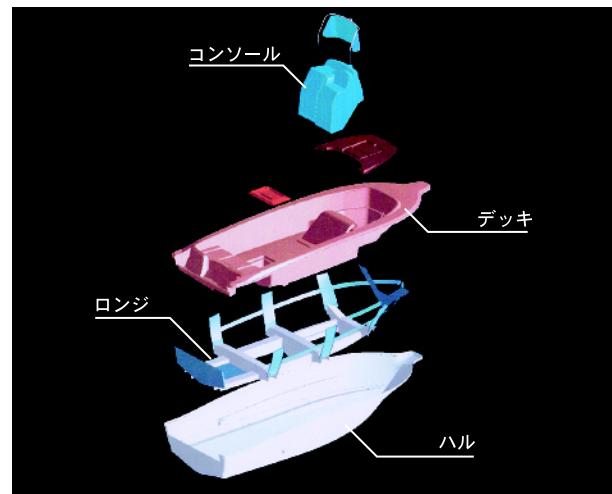


図6 構造分解図

(1) 発泡ウレタンの品質確保

発泡型形状の簡略化、及び共通化

(2) 組み付け管理項目の削減

ロンジセット高さ管理範囲の低減

(3) 現地艤装性向上

艤装品取り付けスペースの拡大

本艇では上記項目を実現するためにロンジ形状を簡素化し、新しい構造仕様としている。そのため、従来の構造解析手法だけでは判断できない部分があることが試験を繰り返す中で判明してきた。そこで、以下の考えを取り入れた解析を行った。

(a) パネル変位バランス

(b) 構造体の取り付けクリアランスのモデル化

これらの解析結果は実験検証により高い精度での一致が見られ、結果的に短期間で問題を潰し込むことができた。これらの解析手法により、今後の耐久評価の事前解析精度が上がる事が期待できる。

また、オプション装備としてTバーラーフ(図7)を設定している。従来は評価により強度、振動問題が発生することが多かったが、今回は事前の構造解析の活用により強度、振動問題は全く発生しなかった。



図7 Tバーラーフ外観

6 レイアウト概要

本艇ではコンソールを現行艇よりも600mm前方に移動させて、スタン(船尾)デッキスペースを格段に広くとっている。一般的に船の前側にいくほど、航走時に乗員が受ける衝撃は大きくなるが、前出の新船型の採用により乗員の感じる衝撃が少なくなったことで、無理なく今回のレイアウトを成立させることができた。また、コンソールが前方に移動したことでバウ(船首)デッキのスペースが小さくなるが、これに対しては、スタンデッキよりも一段上げたレイズドバウデッキとすることで、使い勝手のよいフラットなスペースを確保している。このスペースは、釣りの際に体を保持しやすいようにブルワーク立ち面を垂直に近く立ち上げてありキャスティングにも対応している。さらに、ブルワークトップの幅を広く設定できるので、乗り降りの際の安全確保や釣り艤装のしやすさといった点でも有効である。図8にバウデッキの断面を示す。

スタン回りについては現行艇でのコンプレインである後進時の水入り対策としてXトランサムの船外機設定、及びスタンシート後部に凸部を設けることで水入りの防止とともに簡易背もたれの機能を持たせ、安全性の向上にも寄与させている。

コンソール内スペースはミニマムスペースとしながらも、家族ユースを考慮してオプションでマリントイレを設定している。原寸大での木型モックによるブリ評価を実施したことで、外形寸法を抑えながらト

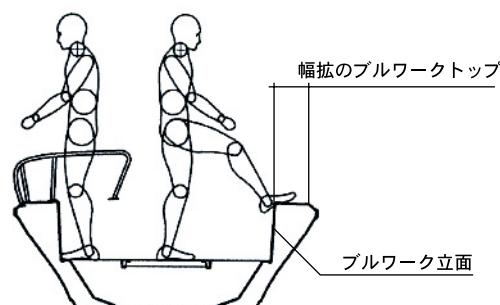


図8 バウデッキ断面

イレが使用できるスペースを確保できた。

さらにイケスハッチ内部には小物トレイを設けている。法規上の制約を逆手にとて採用したものであるが、細やかな気配りとして市場評価は上々である。

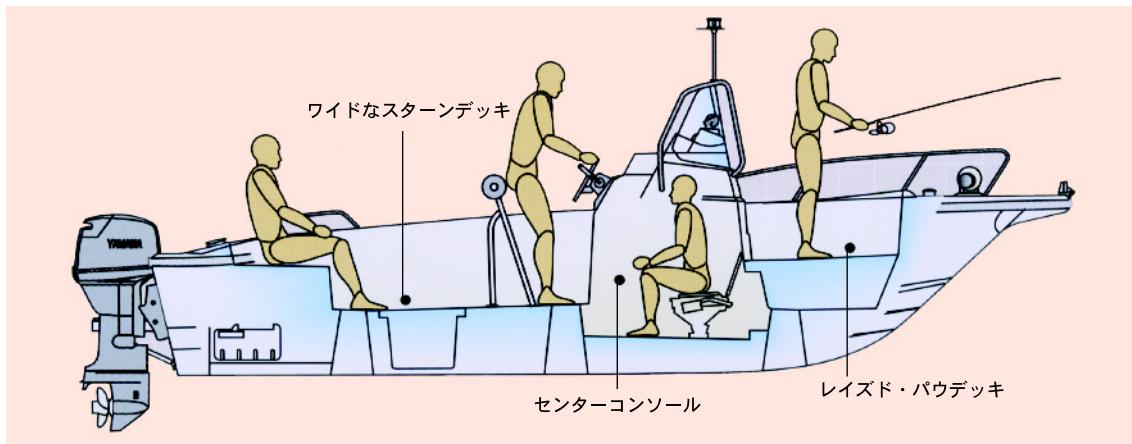


図 9 レイアウト概略図

7 品質への取り組み

現在小型ボートの製造は、主に熊本県のヤマハ天草製造(株)にて行われており、われわれは開発当初から同工場に駐在していたので、開発の早い段階から工場スタッフを巻き込んでの仕事が出来た。

手作業によるFRP成形や部品の組立が殆どであるボートの生産は、どうしても人為的ミスによる不良の発生や、納期を守らんとするために品質に関するおざなりになる傾向がある。以下に品質向上・安定のために実施したいくつかの施策を示す。

(1) 不良の出にくい外観形状

外装色となるゲルコートの吹き付けや、部品の艇体への組み付けなどで無理な角度、体勢で作業をさせない形状を心がける。

(2) 固着釘類の統一化

部品の組み付けビス、タッピンの径、長さなどを極力統一し、一工程の作業で何種類も固着釘を使用せずに済むよう配慮した。

(3) 位置出し治具の機能を持った部品の設計

人の目に触れない内部構造部材は、どれも同じような形状をしており、部品配置を間違えやすい。

そこで構造部材同志の接触面にマジックでマーキングを施し、天地、左右はもとより、一箇所位置決めが固定できれば、それを基準に残りの部材を配置できるようにした(図10)。なお、ポカミス軽減と同時に位置決め治具の削減にも寄与している。

施策は他にも存在するが、ともかく一番問題なのは、作業者が工作図面や作業要領を確認せずに経験と勘で作ろうとしてしまう習慣である。歯止めとして、重大クレームにつながる最重要管理ポイントを一工程当たり5項目挙げ、作業前に確認させる癖をつけさせるべく品質技術課にて活動中である。

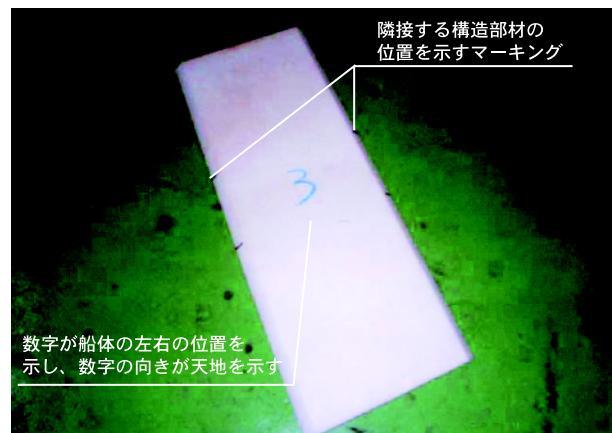


図 10 船側補強材の一例

8 おわりに

本艇のような 6m クラスの商品の開発期間は、通例生産立ち上がりまで最低 13 ヶ月はかかる。今回は約 10 ヶ月で生産に至った。解析手法のレベルアップ、スピードアップや共有化設計の知恵など開発組織として評価に値する面はあるが、最後の決め手はやはり良い商品を造ろうという情熱であり、レジャーボートファンにこの船を乗って欲しいと願う気持ちに他ならない。本開発において異例とも言える開発支援を多方面より頂き、品質はもとより、開発日程の短縮をも達成した皆様のパワーには脱帽然りである。

●著者



福山 美洋



門田 律

バスボート用船外機 VMAX250

Outboard Motor VMAX250 for Bass Boat

平岡 徳由 Noriyoshi Hiraoka 入尾野 靖 Yasushi Iriono
●三信工業（株）第1技術部

The large-horsepower models of the VMAX series were developed primarily for the bass fishing market of the USA. Japan is recently experiencing a boom in bass fishing, but in the USA it has long been the most popular form of fishing, with twice the market scale of saltwater fishing.

Here we introduce the VMAX250, Yamaha's largest horsepower model developed for this big market and released in May of 2001.

Fig. 1 shows an exterior view of the VMAX250 and table. 1 its main specifications.

1 はじめに

VMAXシリーズ大型船外機は、主に米国のBASS（魚名）フィッシング市場用に開発されたモデルである。近年、日本においてもBASS釣りがブームとなっているが、米国ではBASSは最もポピュラーな釣りであり、船外機の市場規模としてソルトウォーター（海釣り）に対して二倍の大きさがある。

この大きな市場に対して、ヤマハ発動機（株）としては最大出力モデルとなるVMAX250の開発を行い、2001年5月より市場導入したので紹介する。

図1にVMAX250の外観を示す。表1に主要諸元を示す。

表1 VMAX 250主要諸元

エンジン形式	2ストローク電子制御燃料噴射 V型6気筒
排 気 量	3,130cm ³
ボア×ストローク	90.0mm×82.0mm
プロペラ軸出力	181kW (246ps) @ 6,000rpm
全 高	1,685mm
全 幅	562mm
全 長	846mm
乾燥重量	236kg



図1 VMAX 250外観

2 開発の狙い

メインターゲットとなる米国のバスフィッシング市場においては、水上を 100km/h 以上のスピードで走る V6 クラス船外機+大型バスボートの組合せ（図 2）が人気で、ユーザーはよりスムーズにより早く走ることを求めており、市場の傾向としてはボートの大型化と船外機の高出力化の方向にある。

こうした市場の要望に応える形で、開発の狙いとしては従来のバス船外機に対して動力性能を向上させるとともに、十分な耐久性、信頼性を確保することを目標とした。



図2 VMAX250 & BassBoat

3 仕様諸元

3.1 エンジン概要（図3）

ベースエンジンである VMAX225 に対して排気タイミングの見直し、圧縮比アップ、カウリングの吸入抵抗の低減を織り込む事により、最大出力は VMAX225 の 181kW (246ps) @ 6,000rpm から VMAX250 では 195.6kW (266ps) @ 6,000rpm に向上し、後述する新規開発高速プロペラとの組合せにより最高速度が VMAX225 比較 5.6km/h 向上し、商品性を満足する十分な最高速度性能を得る事ができた（図4）。

また、耐久性、信頼性確保のためにボディーシリンダに対してコルクプラトーホーニング、T6 強制空冷熱処理を採用し、大端ベアリング、コンロッドボルトについても強度アップを図った。

3.2 ロアーオーバー概要

ロアーオーバー（プロペラに動力伝達する水没部）は既存仕様をベースに、スラスト向上にともなう能力アップ及びギヤ比の最適化を行い、信頼性の向上と効率アップを図った。

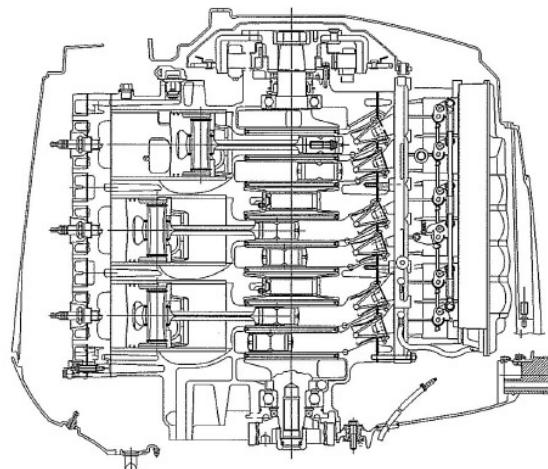


図3 エンジン断面図



図4 最高速度比較

3.3 高速プロペラ開発

トップスピードの向上と操縦安定性能の向上を狙って、新規高速プロペラの開発を行った(図5)。

時速130km/hにもなる領域で要求されるのは安定した操縦性能であり、これはプロペラの設定により大きく左右される。

一般的に操縦安定性能を確保する側にプロペラの形状を設定するとスピードは逆に低下してしまい、操縦安定性とスピード性能を両立させる事は困難である。今回開発した高速プロペラは従来品に対してレーキ角(翼全体が外筒側に倒れた角度)と翼輪郭の最適化を図る事により、トップスピードと操縦安定性を両立させることができた。



図5 高速プロペラ

4 品質への取り組み

本モデルの開発においては、三信工業(株)会社的なクレーム低減活動とリンクし、品証、製造、技術部一体となった動きの中で、過去の市場問題、製造問題の分析とその対策の織込みを実施するとともに、生産地モデルへの対策の横展開を図った。

また、プロペラ開発においては、開発の効率化を狙って、先行開発段階より品質工学手法を取り入れ、使用環境に、左右されにくい、S-N比の高い安定した性能が、確保できる翼形状をもったプロペラを開発することができた。

5 おわりに

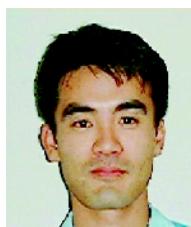
VMAX250は当社船外機の最大出力モデルとなり、ユーザーに十分満足頂ける動力性能を持った商品に仕上がったと考える。

最後に今回の開発、製造にあたり多くの協力を頂いた社内外の関係各位に深く感謝致します。

●著者



平岡 徳由



入尾野 靖



アメリカ AUVSI シンポジウムと フライトショーに参加して

Participating in the AUVSI Symposium and Flight Show in the USA

鈴木 弘人 Hiroto Suzuki ●スカイ事業部

Yamaha Motor recently had the opportunity to participate in a symposium organized by the Association for Unmanned Vehicle Systems International with the autonomous flight version of our RMAX unmanned helicopter that has been under development for some time. Also, in conjunction with this symposium, the Autonomous Flight RMAX also participated in a flight show organized jointly by AUVSI and the U.S. Navy.

Although there was initial restraint in our Sky Operations technical staff about whether or not to enter such an event in the world's foremost aviation market, the decision was finally made that participation would be meaningful.

Introduced here is a report about the demonstration flight conducted on July 30, 2001, at the U.S. Navy's Webster field outside Baltimore, Maryland, and our participation in the symposium held in Baltimore from August 1 to 3.

The speaker for the symposium was Akira Sato of our Sky Operations, while the helicopter display and demo flight were conducted by the Sky Operations staff.

1 はじめに

スカイ事業部がかねてより開発を進めて来た自律航行型 RMAX を、アメリカ合衆国で行われた AUVSI (Association for Unmanned Vehicle Systems International 世界無人機協会) 主催のシンポジウム及び AUVSI と米海軍共催のフライトショーに参加させることになった。

我々スカイ事業部技術スタッフは、現状の技術レベルを持って航空大国アメリカへ乗り込むべきであるか否か迷ったが、意を決してその催しへの参加を決めた。

今回紹介するのは、2001 年 7 月 30 日に行われたボルティモア近郊の海軍飛行場 Webstar Field 飛行場でのデモフライト、および 8 月 1 日から 3 日にボルティモア市で行われたシンポジウムへの参加記録である。

シンポジウムにはスカイ事業部の佐藤彰が講演者として、機体展示、デモフライトへは同じく技術開発スタッフが参加した。

2 AUVSI (無人機協会) について

今回の主催者である AUVSI は、世界で無人機開発に携わっている政府機関、会社、大学等への情報提供を目的とした非営利団体である。無人機というくりの中での話なので、空を飛ぶものだけではなく地上で使うものまですべてが対象であるが、今回参加した限りにおいて、いかにも米国らしく、航空機に関連したものが多かったのが印象的である。さらには軍事目的で開発されたものが大半を占めていて、当社の非軍事目的の無人ヘリはこの中において非常に稀な存在であった。

3 デモフライトとその参加機

イベントは2001年7月30日。フライトショーで始まった。場所はアメリカ合衆国メリーランド州にある海軍基地 Webstar Field。チェサピーク湾に面したトウモロコシ畑の中に位置し、2,500m級の滑走路3本を有する広大な飛行場である(図1)。

ここに、YAMAHA RMAXを含めた8機の機体が集結し、デモフライトが行われた。内訳は固定翼機が6機、ヘリコプターが2機であった。

参加機の中から、目立った機体を紹介する。

まず、その筆頭は、General Atomics Aeronautical System社(米国)の「PREDATOR」である(図2、3、4)。

本機は、最近のニュースでも話題になったアフガニスタンでの偵察活動を行っていたそれである。翼長約15m、異様に見える逆V尾翼が特徴的である。ROTAX製のレシプロエンジンはとても静かで、フライトショーが始まる前の朝9時に会場の滑走路を飛び立った。そしてなんと、閉会する午後4時までの6時間、一度も飛行場へ姿を見せず、遠い空から会場を監視?し続けた。そのさりげなさ。航空大国アメリカのUAV(無人航空機 最近ではこう呼ぶ)を象徴する1フライトであった。なお、この飛行機の運航はもちろん自律航行システムを用いていて、我々にとっても大変参考になるものであった。



図1 ショー会場



図2 PRADETOK(ボルティモア展示会場)



図3 空中離陸する PRADETOK
(ウェブスター フィールド飛行場にて)



図4 PRADETOKの操縦システム

フライトの様子をもう少し詳しく説明する。

エンジンノイズを抑えた感じは、とても静かな印象を与える。まるで人が操縦しているがごとく誘導路を転がってきて、くるりと滑走路へ入り、約 200m ほどの滑走で離陸。ゆるい上昇角度をとつてゆったりと空の彼方へ消え去った。その後は会場の周辺半径約 10km を周回し、遠く彼方から会場を監視していた。たとえば、他の参加者のフライトを、搭載カメラ画像の真ん中に捉えて見続けていて、その様子は会場に設置された大型モニターに写し出されていた。見えない者から監視されている不気味さがそこにあった。

飛行速度は、140km/h ほどで、けっして速くない。そこらへんを飛んでいるセスナ程度だ。しかし、これがグライダー的な滑空性能を持っていて、空力効率の良さから、40 時間以上の航続時間もっている。偵察機にして足が遅くても良いのはやはり無人だからである。人が乗っていないので逃げ足を速くする必要はないのである。

次に挙げるのは、Aero Vironment 社(米国)の「Pointer」である。この会社はかつてドーバー海峡(36km)を渡った人力飛行機の開発者であるポール・マクレディー博士が会長を務める会社であり、そのスタッフの多くは当時からこの会社で働いている。

この飛行機は、湾岸戦争当時から実戦で使用されている「偵察機」である。形態は簡単な CCD カメラを搭載した電動ラジコングライダーといったイメージの機体であり、地上には映像と同時に、GPS で計測した位置データが伝送されて来る。そして、すべての機材を専用ケースに詰めて、現場で即座に組み立てて飛行させるというシステム全体が売りである。操縦そのものはシンプルな姿勢制御の入ったレベルのもので、機上からの映像を見ながら操縦する方式をとっている(図5)。

デモフライトでは、電動飛行機らしく、手で投げられた後静かに上昇し、約 20 分半径約 2km 内の会場を飛び回った。ちなみに、実際の行動半径は約 8km とのことである。

その次に挙げるのが Schiebel Technology 社(オーストリア)の無人ヘリ「CAMCOPTER」である。本機は、今回フライトした中では、ヤマハ発動機以外唯一の回転翼機であった(図6、7)。

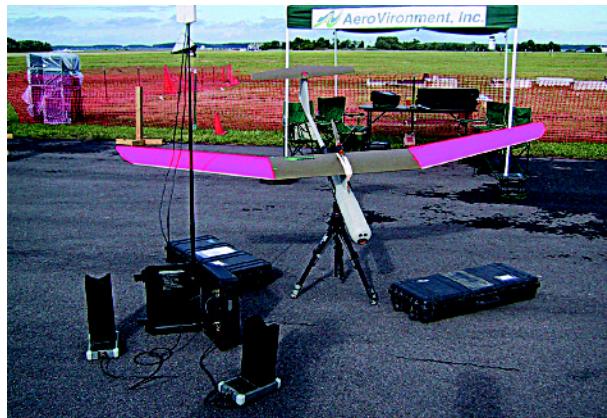


図 5 POINTER (Aero Vironment 社)



図 6 CAMCOPTER



図 7 飛行する CAMCOPTER
地上に待機しているのが RMAX

メインローター直径約3m、最大離陸重量68kg、約20hpの2ストロークガソリンエンジンを搭載する機体で、寸法概寸はRMAXとほぼ同じである。自律航行はGPS情報を用いた位置、速度制御であり、地上で、機上から伝送された画像を見ながらコントロールする方法をとっている。ペイロードの用途はやはりRMAXと同じくカメラ装置に割り当てられている。制御を含めた全体システムはRMAXとほぼ同じであり、現在、世界市場において、当社YAMAHA RMAXと比較される対象として存在している。さしあたってライバル機である。

フライトは、やはり順調に行われた。会場の半径約2kmの中をホバリング、水平飛行の組み合わせで何の不安もなく飛び回っていた。送られてくる画像の質もそれなりに良かった。

その他機体4機については簡単に紹介する。

最初の2機は、すでに10年以上も前から実際に配備されていて、軍事的ミッションに参加している機体である。いずれも機体外観は酷似していて、一見同じ機体のように見えるほどである。

そのうち1機は、Pioneer UAV社(米国)の「PIONEER(RQ-2A)」(図8)で、1985年ごろから実戦配備されているものである。旧式とあって、PREDATORよりも騒音が大きく、航続時間は6時間と短い。とはいえ、PREDATORと同様に離陸後空の雲の彼方へ消え去り、そつなく飛行してもどつてきた。もう1機は、Aeronautics UAV Systems社(イスラエル)の「AEROSTAR」(図9)であり、当国でPIONEERと同様な用途に使われているようである。このフライトもまた同様にそつなく行われた。

残り2機はマニュアル操縦(制御無し)の固定翼偵察機である。1機は米国海軍研究所の研究機である電動プレーン(今回はマニュアルフライト。将来的には自律飛行予定)(図10)、もう1機はBAI Aerosystems社(米国)「JAVELIN」(マニュアル操縦)(図11)である。後者は日本製のラジコンエンジンメーカー製のエンジンを使用していた。現在売り込み中の機体である。



図8 PIONEER(米国)



図9 AEROSTAR(イスラエル)



図10 DRAGON EYE(Naval Research Center)



図11 JAVELIN(BAI Aerosystems)(米国)

4 YAMAHA RMAX のデモ飛行

自律航行型 RMAX のデモ状況を紹介する。天候は晴れ。気温 26°C、風速 3m/sec 程度の微風の中スタートした。

当社の RMAX には、約 30 分のフライト時間が割り当てられた。もともと国内仕様のため、電波出力の関係で行動半径約 1.5km での飛行となった。この広大な飛行場の中においては非常に狭い範囲でのフライトとなったが、Go To Point と我々が呼んでいる、あらかじめ通過点を決めて、それを周回飛行するフライトモードから始めて、最終的にはマニュアル飛行では不可能な難易度の高いフライトパターンを描くまでを無事にこなした。アメリカにおける、我社自律飛行の最初のデモは終わった。この実力がアメリカの航空専門家達にはどう写ったか？その結果

で今後の自律機運用ビジネスの将来が決まる可能性は高い（図 12、13）。なお、当日は米海軍、空軍高官をはじめ、約 2,000 人の観衆が見学していた。RMAX のフライトは、会場に設置された大型モニターに写され、フライト状況は YMUS の Bruce Enderle 氏がマイクで説明した。



図 12 空港前の RMAX



図 13 飛行場内を周回飛行する RMAX

5 ボルティモアにおける機体展示とシンポジウム

ライトショーが終わり、月が変わった 2001 年 8 月 1 日、会場をボルティモアのコンベンションセンターへ移しての機体展示、シンポジウムとなった。

ここにおいては、当社は YAMAHA ブースを構えデモで使用した機体そのものを展示、技術説明を行った（図 14、15）。

ここで、驚くことに、UAV 関係、主にアメリカ国内からであるが、約 90 社がブースを持って参加していた。そのうち 90% は軍事関係の企業ならびに政府機関であり、純民需レベルの展示業者は皆無に等しかったと言える。もともと、このショー、シンポジウムの目的は、その方面の情報提供が大きく、我社の参加は稀なものに見える。しかし、現在の UAV の注目度から考えて、今後は民需関係の企業参加も増えてくるのではなかろうかと予測する。



図 14 YAMAHA ブース



図 15 展示会場 約 90 社（軍研究機関も含む）が参加した。

6 展示会場で見たアメリカの技術

せっかくであるから、ここにおいて展示品の中から我々技術者の目に止まったものをふたつ紹介する。

まず、これも、アフガニスタンにおける軍事行動の報道の中でも見られたものであるが、ノースロップ・グラマン社の「RQ-4A Global Hawk」を紹介する。本機の位置付けを一言で言うと、キング・オブ・ザ・UAV である。もちろん、軍事機密の高いこの飛行機はデモフライトも、実物機体そのものの展示も無かったが、テスト段階の最終時期を迎えているようである。昨年アメリカ国内の空軍基地を離陸して、オーストラリアの空軍基地まで、20 時間以上の飛行を行ったという実績がある。この飛行機の設計思想は、UAV による偵察活動の考え方そのものの提案と言える。つまり、危険な軍事上の偵察活動を無人でやろうということにある。無人であるため、パイロットの肉体的負担が少ない。よって長時間の飛行は何ら問題無く、飛行速度が遅く、逃げ足が遅くても良い。このふたつの条件は飛行機の設計そのものに、今までに見たことのない大胆な形状変化をもたせている。まるでグライダーのように細長い翼にジェットエンジンが1基、もちろん操縦席は無いので、のっぴらぼうな顔を持つ。操縦は基本的に全自動で、使うのはパソコンで使うマウスなのだろう。

通信に関しては、GPS を用いた自律航行をはじめ、衛星通信をはじめとする何種類かの地上基地との通信手段ももっている。

つぎに、これとは正反対に、とても小さな UAV を紹介する。

これは、先のデモフライトを行った Aero Vironment 社の「Black Widow」である（図 18、19）。手のひらサイズの UAV であり、自社でマイクロ UAV と呼んでいる。これもれっきとした軍事目的の偵察機で、行動半径約 1.6km をもつ。機体は小さな箱に入っていて、そこからバネの力で空中に放出されて飛行に移る。機体には現在位置を知らせる GPS と



図 16 Global Hawk 1/5 モデル



図 17 人と比較すると大きさがわかる



図 18 Black widow スケルトンモデル 手のひらサイズの UAV



図 19 動力はモーターでプロペラをダイレクト駆動

ロール(横)方向の安定制御のためのレートジャイロ、そして機上からの映像を撮る CCD カメラとデータ伝送通信機が搭載されている。

現在開発中の本機は、DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency、国防高等研究計画局) がバックで支援している。この DARPA は、その他にも多くの研究機関への支援も行っており、米国の UAV 技術開発の底辺を支えている。

この2機を見て、さらに航空大国アメリカの長くて深い飛行機の歴史と卓越した技術力を痛感し、何と言っても柔軟な発想から出てくるアイデアのすばらしさに感動したのである。この点に関しては見習うべきことも多いのである。

7 シンポジウム

シンポジウムにおける技術発表では、スカイ事業部の佐藤彰が「自律航行型 RMAX について」講演した。これについては、またの機会に報告する。

このセクションにおいての特徴は、主に軍関係者発表の UAV の今後の計画に関連した内容に人気があったようである。アメリカにおいては、今後軍事兵器の無人化が進むと言われていて、各航空機メーカーもその方向性についてたえず情報のアンテナを張り巡らせているという印象を受けた。

8 おわりに

アメリカの専門家達の前で飛行機を飛ばすという今まであり得なかったことへのチャレンジとなつた。どうにかデモフライトも無事終え、展示でもそれなりの反応を得、情報も収集することが出来た。

何度も繰り返すが、航空大国アメリカにおいては、飛行機を飛ばすこと、飛ぶことはごく当たり前のことである。どんな飛行機でも、人前で飛ぶときには、そつなく、さりげなく当たり前に飛ぶのである。社会の要求は、それを完成させた上で、何を、どんな仕事をさせるのか?それがその次の課題なのである。幸いにも我々の持ち込んだ自律航行型 RMAX は、その、そつないフライトを見せるることは出来た。ヘリを飛ばすという技術は認められたと判断する。よって、これを用いて多方面の用途へ向けて次の段階へ開発を進めて行きたいと思っている。もちろんヘリコプターを飛ばす技術においてもいっそう深く性能、信頼性の向上を狙っていくつもりである。

水夢 21

Swim 21

今里 藤勝 Fujikatsu Imasato 佐々木 成彦 Shigehiko Sasaki
森田 隆司 Takashi Morita 片山 隆康 Takayasu Katayama
●プール事業部製造室研究開発 GR

From July 16 to 29, 2001, the 9th FINA World Swimming Championships were held in Fukuoka, Japan. Participating in the event were some 2,500 athletes, officials and coaching staff from 134 countries. The meet was a huge success, producing eight new world records, 48 event records and 20 Japanese national records, while drawing a total of 150,000 spectators to the event arenas.

In this event, a 50m international regulation pool designed and built by Yamaha Motor of FRP in modules for installation as a temporary facility was used for the first time ever in the World Championships. What's more, this revolutionary pool won high acclaimed. Here we introduce the story behind the development of this pool, named the "Swim 21," including the various demands placed on the pool construction and performance by the FINA and the measures Yamaha came up with to meet these strict demands.

1 はじめに

2001年7月16日～29日 福岡市において第9回世界水泳選手権大会が開催された。大会には世界134ヶ国から役員、選手を含めて2,500人が参加。世界記録8、大会新記録48、日本新記録20と15万人を超える観客動員数を達成し、成功裏に幕を閉じた。

この世界大会で、史上初の試みとしてヤマハ発動機(株)のFRP製プール「水夢 21」が国際公認50m特設プールとして採用されただけでなく、大きな評価を受けた。「水夢 21」開発に当って国際水泳連盟から要求された課題と対策を含めて紹介する。

2 プール本体設計の課題と対策

2.1 水深3mの水圧に耐える特設プール

水深3mのプールの側壁には幅1m当たり、4.5tの力が掛かる。短期施工の必要性もあって今回初めて上下2分割方式の側壁に取り組むこととなった。

強度だけでなく、FRP特有のタワミにも配慮して概略の構造を計画した後、構造解析により応力やタワミの詳細値を確認しながら上下のユニット毎に適切な構造と支持方式を決定した。その後、実際のユニットを使って8m×7m×3mの実証試験プールを組み立て(図1)、水を入れて応力とタワミの計測を行い(図2)、解析データとの比較検証をして7月の大会に備えた。



図1 実証試験用プール

2.2 既存施設を痛めないプール支持構造

通常の方法では建物や布基礎にプール支持材をアンカー固定するが今回はそれが許されないため、布基礎の代わりに $3\text{m} \times 2.8\text{m} \times 0.25\text{m}$ 、重量 5t のプレハブ RC 製の床盤 56 個をプールの外周に並べて対応した。その床盤の上に山留め材の H 鋼を立て、プール支持金物を組み付ける構造である（図 3）。RC 床盤の下にはメッセ床の保護と床盤のすべり止めを兼ねてゴムシートを敷いた。



図 2 歪測定装置

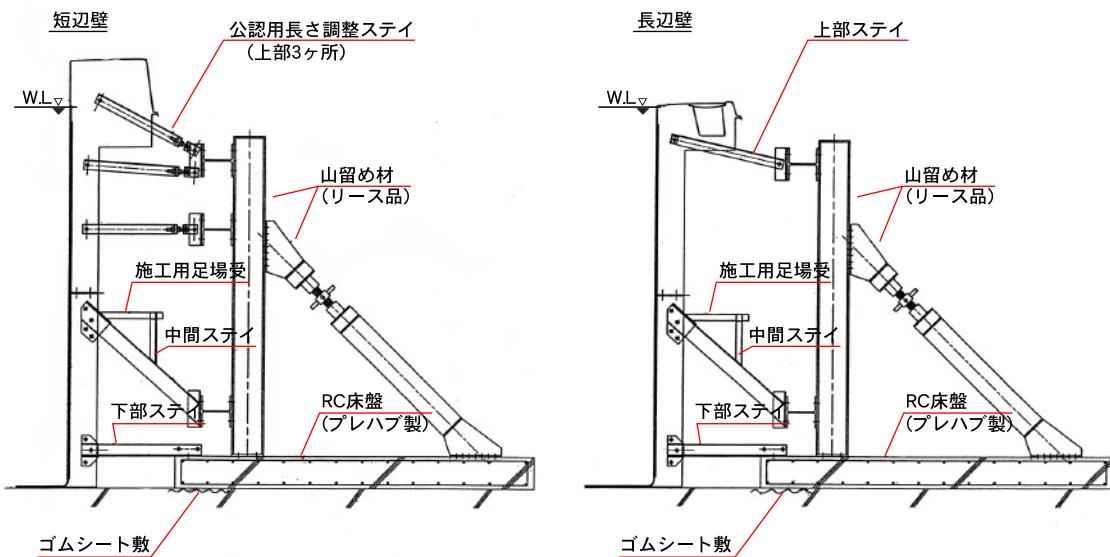


図 3 プール支持構造

2.3 公認プール精度の確保

50m 公認プールはコース両端に厚さ 1cm のタッチ板を取り付けるため、要求寸法は 50.02m 、要求精度は $-0, +10\text{ mm}$ であるが、さらに、各コース中心線上の上下 5 ケ所の計測点での精度がコース平均長さの $\pm 2.5\text{ mm}$ 以内という条件がある。この条件を満たすため、プール短辺上部のユニットはネジを使って長さの微調節が可能な機構として、公認計測をクリヤした。表 1 に諸元を示す。

表 1 プール諸元

サイズ		50mx25mx3m	
ユニット数	サイド	58 ケ	
	フロア	104 ケ	
ユニットサイズ と重量 (max)	サイド	6mx1.5mx0.68m	300kg
	フロア	6.9mx2mx0.03m	168kg
プール本体重量 (FRP 部のみ)	31.3t		

2.4 記録の出やすいプールを目指して

メインプールは競泳とシンクロ競技の共用ということで水深 3m に決定したが、これが浅水影響によるスイマーの抵抗増加を防ぐ効果をもたらすことを期待した。

オーバーフローの形状は波消し効果の高いフィンランド方式とし、返し波を減らすために溝の断面積も大きくした。コースロープは実験で消波効果の高いことが実証された最新式の製品を選択した。

2.5 環境への配慮（リユース）

特設プールとはいえ、この大会で目的を果たしたから廃棄するというのは、資源有効活用の時代に不適切である。今回のプールは大会終了後もリユースするという方針が決まっていたので、各ユニットを痛めずに解体と再組立がしやすい接合方式を選択した。あらかじめ実証実験で確認しており本番でも予定通りの解体作業ができた。解体されたプールは倉庫に一時保管され、次の出番を待っている状態である。

3 水質管理

世界水泳選手権で当社が水質を管理したプールは、メインプールの水夢と屋外のウォームアップ・男子水球の 3 プールであるが、水夢について報告する。

一般的にプールの水質管理は、使用者（競技者）が快適で衛生的に泳げることを目的としている。水夢の場合はこれに加え、世界中へのテレビ放映（水中映像）があるため、透明度（濁度）の維持管理が最重要課題であった。また、競泳においては選手各人が自己ベスト記録を出すことのできる水質維持管理も必要であった。

3.1 管理項目

プールの水質管理項目は、厚生労働省の遊泳用プールの衛生基準にて、濁度・遊離残留塩素濃度・pH・過マンガン酸カリウム消費量（有機物等）・大腸菌群数が指定されており、それに国際水泳連盟より指定された水温を加えた（表 2）。

この他、水底・水表面に溜まったごみ（髪飾り、纖維の固まり、虫等）の除去作業・水位管理も行う必要があった。

表 2 水質管理項目

濁度	濁度 3 以下	厚生労働省遊泳プール水質基準
遊離残留塩素濃度	0.4mg/L 以上、1.0mg/L 以下が望ましい	↑
pH	5.8 ~ 8.6	↑
過マンガン酸カリウム消費量	12mg/L 以下	↑
大腸菌群	100mL 中の最確数が 5 を越えないこと	↑
水温	25°C 以上 28°C 以下	国際水泳連盟基準

※遊泳プール水質基準は平成 13 年 7 月 24 日改正された

3.2 設備

水質管理の設備を表3に示す。砂ろ過機は、1時間当たり処理能力が全プール水容量の1/4(937.5m³)以上を有するように、現在販売している砂ろ過機から選定し容量・台数を設定した。

活性炭ろ過機は、砂ろ過機とは別の塩素剤注入系の配管経路(常時運転)にいれる必要があり、除去率の高い複合活性炭とした。

温水ボイラーは、水道水温度がこの時期23°C前後また、室内空調温度湿度より昇温装置が必要と分かり設置した。

塩素剤注入ポンプは、残留塩素消費量を算出し設定した。凝集剤ポンプは予算の関係上、ろ過機2台当たりに1台として6台とした。

表3 水質管理設備の仕様

	仕様	主な対応水質管理項目	備考
ろ過機	砂ろ過機 80 m ³ /h × 12台	濁度・過マンガン酸カリウム消費量	競技本番時停止(凝集剤注入系)
	活性炭ろ過機 80 m ³ /h × 1台	濁度・過マンガン酸カリウム消費量	常時運転(塩素注入系)
塩素注入ポンプ	485mL/min × 2台	遊離残留塩素濃度	-
凝集剤注入ポンプ	87mL/min × 6台	濁度・過マンガン酸カリウム消費量	-
温水ボイラー	400000kcal/h × 1台	水温	-
(プール大きさ)	50m × 25m × 3m (水深)	-	-
(水容量)	3750 m ³	-	-

3.3 測定・管理

国際大会での水質管理ははじめてであったので、大会開始2週間前より早朝から深夜まで1時間毎に水質測定を行い、データを集め大会本番に備えた。測定は2交替制とした。

(1) 濁度(透視度)管理

前にも記したが、テレビ(水中映像)放映があるため、50m先の透視度確保に努めた。このための主要設備はろ過機であり、その性能を高めるものが凝集剤であったが、競技(シンクロナイズドスイミング、競泳)本番中は、競技に影響を与えないよう砂ろ過機12台は停止しなければならないので注意を要した。活性炭ろ過機は運転できたが、プール水全体の2.1%をろ過する容量(時間当たり)に過ぎなかった。従って、練習中の測定管理に重点を置いて、濁度が0.1度以下に管理できた(図4)。競泳競技初日から翌日(7月22、23日)の濁度変化を図5に示す。

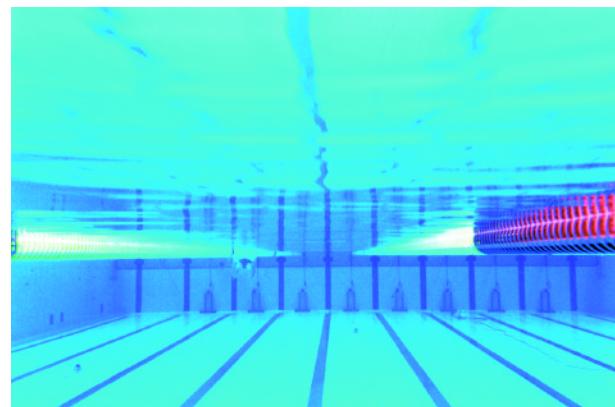


図4 水中内透視度(50m先まで見通せます)

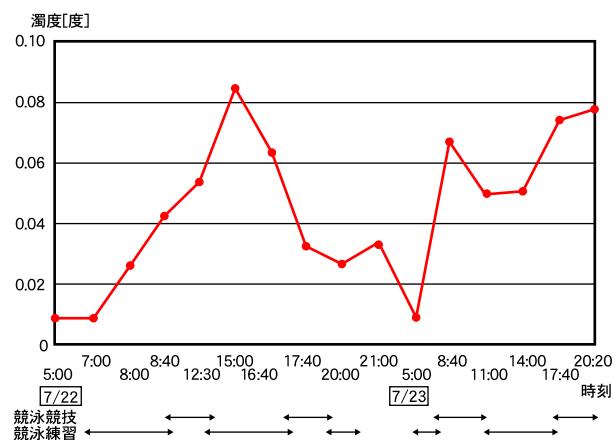


図5 濁度変化

(2) 遊離残留塩素濃度

屋内での設置であり、多くの観衆が予想されたので、プール特有の塩素臭の発生防止に努めた。塩素臭の原因である結合残留塩素ジクロラミンを発生させないように、残留塩素濃度を遊離残留塩素濃度管理とし、0.4～1.0mg/Lの範囲にて維持管理できた。

(3) pH

泳ぎやすい水質を目指し、pH調整薬剤の投入により水質感触の悪化（まとわりつく・重たい・切れが悪い等）を避けるため、（管理範囲を広くして）極力調整剤は使用しないことにし、泳ぎやすいという評価を得た。

(4) 水温

水質管理上（濁度・過マンガン酸カリウム消費量を抑えるため）および、良い競泳記録ができるよう低水温に設定したいところであったが、大会組織委員会より水温指定がありその指定温度+0.1から-0.3℃に管理できた。

(5) その他

過マンガン酸カリウム消費量、大腸菌群数は濁度、遊離残留塩素濃度により管理した。

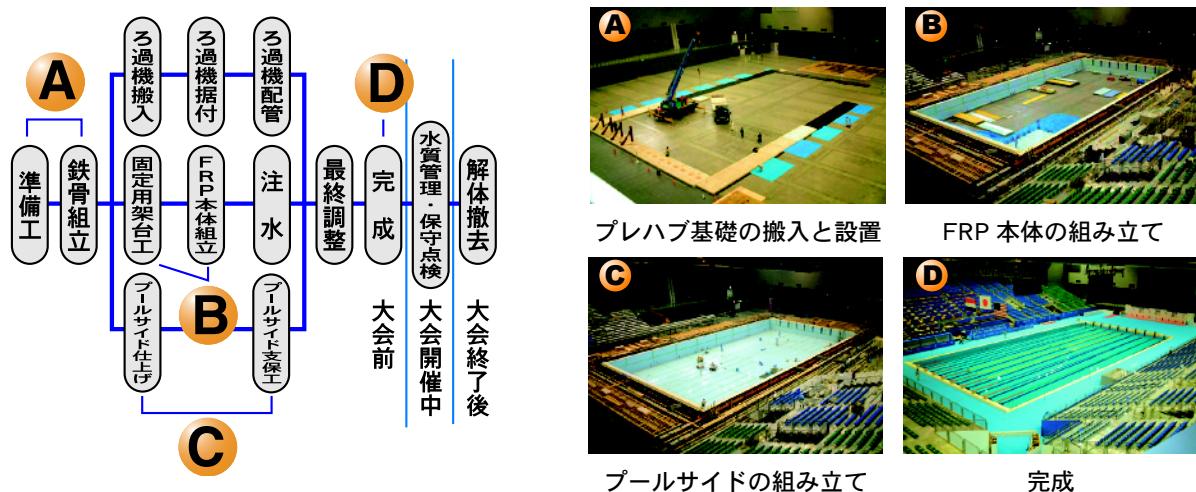
4 短期施工（通常工法70日を14日に短縮）

水夢 21 は、小学校用プール（25 m×13 m×1 m）11 個相当の大型プールである。通常、今大会と同仕様で完成させるには約 10 週間を要する。

しかし、マリンメッセ福岡はイベント等で稼動率が高い事と賃料（500 万／日）の制約から、工期 2 週間と提示された。

そこで関係部署による課題解決委員会を発足させ、問題点の抽出と対策を検討した。その結果、構造、組立、運搬、解体、リユースを考慮したプレハブ化を計った。

例えば、基礎は重さ 5t、3m 角の鉄筋コンクリートブロックとし、プール壁水圧を支えるステー支持部はリースの山留め鋼材、プールサイドデッキ受は工事現場の足場用仮設材、ろ過機は当社開発のプールサイドインを使って配管工事の削減をした。



プール本体はプール壁を上下分割とし、ユニット数の減少だけでなく公認長さ調整の容易化、ユニット組立用ボルト孔明けや循環金具取付け等は工場内加工、中間ステイに足場受材を設けてプール組立用足場を不要とした。

更に観覧席工事業者の協力を得て、特設プール、プールサイド、浄化設備を2週間で組立、1週間で解体するネットワーク工程表を作成して短期施工が実現した(図6、図7)。

■通常工程

工種と日数	1週	2週	3週	4週	5週	6週	7週	8週	9週	10週
基礎工事										25日
プール本体組立							14日			
配管工事								40日		
プールサイド工事									30日	

■福岡工程

工種と日数	1週	2週
基礎工事	2日	
プール本体組立	7日	
配管工事	14日	
プールサイド工事	14日	

図7 工程表

5 おわりに

水夢21プロジェクトはプール事業部だけでなく、研究開発センター、舟艇品質保証グループ等を含めたトータルヤマハの力で成功させることができたと思っています。また、水中音響解析では、ヤマハ(株)アドバンスシステム開発室のご協力に感謝したい。今後の展望として国際水泳連盟や日本水泳連盟に高く評価されたことより、世界市場への道が開けつつあることを報告しておく。

●著者



左から、森田 隆司、今里 藤勝、佐々木 成彦、片山 隆康



技術紹介

自動車シャシー技術の開発 X-REAS / パフォーマンスダンパー

A New Automotive Chassis Components:
X-REAS/PERFORMANCE DAMPER

沢井 誠二 Seiji Sawai 坂井 浩二 Kouji Sakai ●AM事業部 AM第2技術室

In the field of automotive products, Yamaha Motor has been involved primarily in the development and manufacture of high-performance automobile engines, mainly for Toyota Motor Corporation. However, with the change in tastes in the market in recent years and the overall rise in technological standards in automobile engines, it is becoming increasingly difficult to boost the product value of a car and differentiate it from the competition simply on the appeal of its engine alone. Given this situation, Yamaha's Automotive Operations began development of new chassis component technologies as a way to promote our automotive business. Here we report on how these efforts led to the development of two new chassis component products, the "X-REAS" and the "Performance Damper." Note that both X-REAS and Performance Damper are registered trademarks of Yamaha Motor Co., Ltd.

1 はじめに

ヤマハ発動機(株) (以下、当社という) では、自動車関連の製品としてトヨタ自動車(株)向けを中心に高性能エンジンの開発、生産を行なってきたが、近年市場での嗜好の変化や自動車エンジン全体の高性能化などに伴いエンジン単体の魅力だけでは車両の差別化、商品性向上が困難になりつつある。そこで自動車事業推進の一環としてシャシ技術の開発に取り組み、“X-REAS (エックス-リニアス)”と“パフォーマンスダンパー”というコンポーネントを製品化するに至ったので概要を紹介する。なお、“X-REAS”、“パフォーマンスダンパー”ともに当社の商標 (出願中) である (以下、一般名詞として扱う)。

2 開発の狙い

これらのコンポーネント開発にあたって最大の狙いとしたのは、操縦安定性や乗り心地を質的に向上させ人間の感性に適合させることであった。

自動車の車体と車輪が懸架装置で連結され、車体の剛性が有限である以上、車体は必ず外力によって動搖し、変形する。結果として優れた操縦安定性や乗り心地を得る上での障害となることもあるものの、直接的にそれら自体が悪という訳ではなく、またそれらの絶対値の大小のみが単純に優劣の基準ともならない。本来はそれらがもたらす現象が人間にとて心地良く感じられるかどうかという点で論じられるべき性質のもののはずである。

そういう観点に立って自動車のシャシについて改めて取り組むべきところはないか検討し、車体姿勢と車輪接地荷重の動的変化を最適化する X-REAS と、車体の変形エネルギーを吸収するパフォーマンスダンパーというコンポーネント技術を発案するに至った。

3 X-REAS

3.1 構造と作動原理

X-REAS の構成は、すでに製品化されている相互連携ショックアブソーバシステム：“REAS”と基本的に同一で、懸架装置に配置されるショックアブソーバー対が配管を介して中間ユニットに接続される。従来の REAS との相違は前輪、後輪それぞれで左右のショックアブソーバを対としていたものが、X-REAS では右前輪と左後輪及び左前輪と右後輪の組合せで接続される点にある。

中間ユニットに設けられたバルブには、接続されたショックアブソーバのストローク速度差に応じた量の作動油が流れ、その通過抵抗が付加減衰力としてショックアブソーバ本体のバルブによって発生する減衰力に上乗せされる。

従来型の REAS ではほぼ必然的に中間ユニットの付加減衰特性を流れの方向によらず同一としていたが、X-REAS ではそれぞれの流れの方向で別々の特性に設定する場合もある。

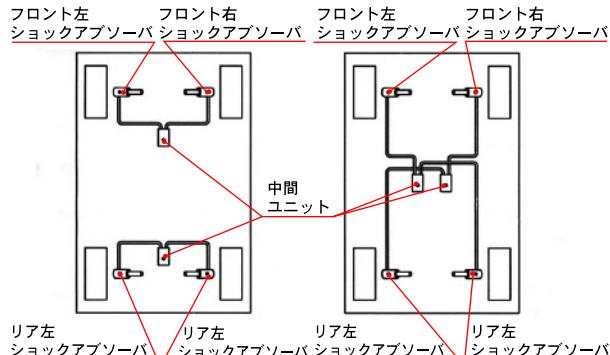


図1 REAS / X-REAS 接続イメージ図

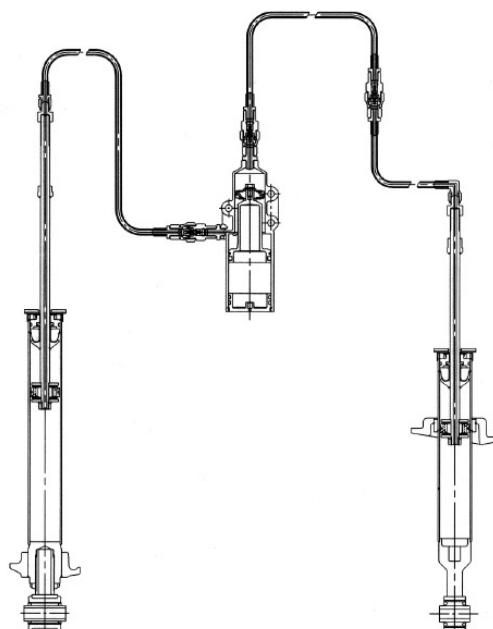


図2 X-REAS アセンブリ図 (1系統)

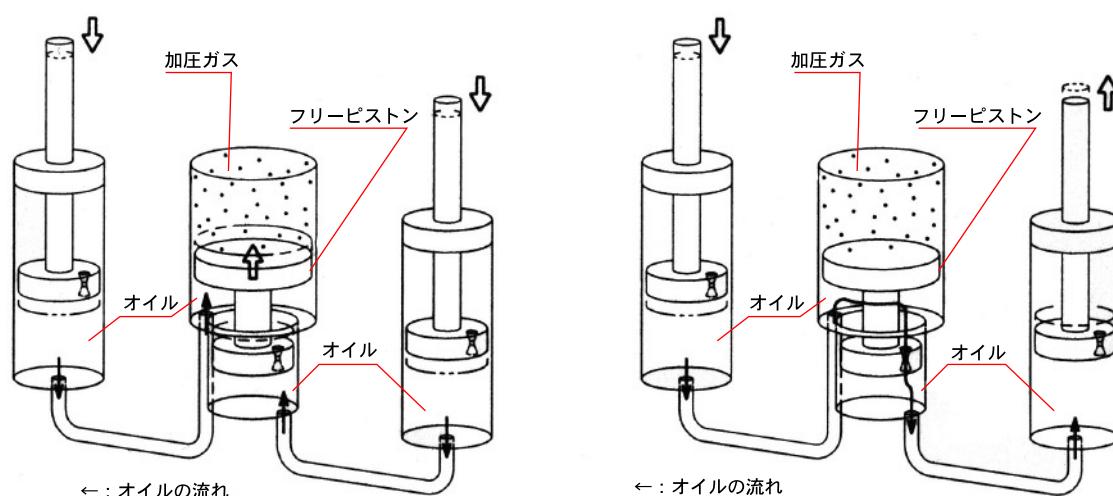


図3 X-REAS 作動原理図

3.2 機能

従来の REAS はローリング(横揺れ) モードの入力に対してのみ付加減衰力を発生していたが、X-REAS ではローリングモードに加えてピッキング(縦揺れ) モードの入力についても付加減衰力を発生する。

四輪車の車体振動は一般的に上下動のバウンシングとローリング、ピッキングのモードに分けて考えられるが、実際の走行ではこれらが連成して生じている状況が多い。X-REAS はローリングとピッキングの速度を同時に抑える効果がある為、卓越した操縦安定性を得ることが可能である。特に旋回制動時や旋回加速時にはその利点を大いに享受出来る。

しかも路面不整などによる入力に対しては、そのパターンに応じて適度な減衰力を発生し、激しい突き上げを抑えながら不快な揺り残しも減じることが可能で、乗り心地確保という面でも優れる。

またこれは従来型の REAS も同様であるが、X-REAS の特徴の一つとして二つのショックアブソーバを機械的に連結することにより運動エネルギーの伝達が可能である点があげられる。すなわち、一方のショックアブソーバが押し縮められた時、そのエネルギーによって連結されたもう一方のショックアブソーバを引き縮めることができる。これにより低く安定した車両姿勢を保つことを可能としているが、もしされを例えば電子制御式のショックアブソーバを用いるいわゆるセミアクティブサスペンションで擬似的に付加減衰力相当分だけ減衰力を高める制御により再現しようとしても、単体でのショックアブソーバの減衰力はそれがストロークして初めて発生し、しかも常時ストロークの動きと逆向きの力となるので、同等の機能を得ることは物理的に不可能である。

以上の通り、X-REAS を装着し適正なセッティングを施すことで様々な状況下において操縦安定性と乗り心地を同時に向上させることが可能となり、さらに接地状態の改善によるタイヤ偏磨耗抑制という副次効果も得られる。

4 パフォーマンスダンパー

4.1 構造

パフォーマンスダンパーは、車体の剛性向上を目的とする一般にタワーバーやパフォーマンスロッドなどと呼称される補強プレース部材と同様の箇所に装着される。通常の補強プレースがその目的から長手方向への剛性が高いものとなっているのに対し、パフォーマンスダンパーでは剛性部材を付与する代わりに減衰要素が加えられる。

図4が今回製品化された左右クッションユニット上側取付け部の間に装着するタイプのパフォーマンスダンパー装着状態外観写真で、図5はそのアセンブリ図である。減衰力を発生するハイドロリックダンパーを介して左右の車体取付けブラケットが結合されている。ダンパユニットは正確な減衰力が得られ、

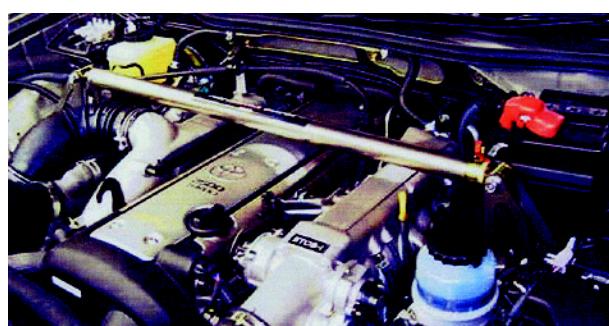


図4 パフォーマンスダンパー装着例

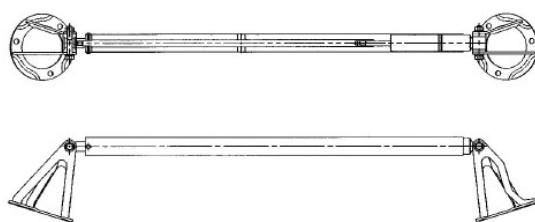


図5 パフォーマンスダンパーアセンブリ図

搭載方向を選ばない単筒ガス封入式で、基本的には車両の懸架装置に用いられるものと同様の構造であるが、使用条件上極小なストローク速度域でも必要な減衰力を発生させなければならない為、特に微低速特性を重視したものとされている。なお、今回特に意匠性及び断熱性などを考慮して、曲げモーメントを受ける為のカバーに軽量で堅牢なチタン製パイプを採用した。

4.2 効果

車両により程度の差はあるが自動車の車体は走行に伴って意外に大きく変形している。例えば一般的なモノコックボディの車両において、左右クッションユニット上側取付け部のスパンは、通常走行時ですら絶えず数mmほども変動している。この間を補強プレースで結合すると車体の剛性感が向上することもあるが、代わりに反発感を生じたり、応力集中によるボディ破損を招いたりする危険性を伴う。そもそも弾性体である金属製の車体は変形に対する減衰能が低い為、外力による変形のエネルギーはほぼそのまま蓄積・放出され、固有振動数で変形を繰り返そうとする。車体剛性の向上は同一入力に対する最大変形量の低減や、固有振動数及び振動モードの変化をもたらすが、弾性体である限り変形エネルギーが減衰されないという点では根本的に違いを生じない。

従来車体剛性という観点にのみとらわれがちのところを、パフォーマンスダンパーでは発想を転換して局所的な剛性向上を狙わず、減衰要素の付加により変形に対し常時適度に抵抗する力を発生させ、エネルギーを吸収・発散させるようにしている。これにより車体の過大な変形速度とオーバーシュートが抑制されて、比較的大きな車体変形を伴うスポーツ走行時や緊急危険回避時においても高い安定性を確保することができ、しかもしなやかさとしつかり感の両立という単純な剛性のチューニングだけでは達成困難な課題の解決を可能にする。

特に X-REAS 装着により高まった運動性能はそれを支える車体の変形エネルギーを増大させることになり新たな不安定要因を生み出すこともあるが、そこにパフォーマンスダンパーを組み合わせることによりそういった問題を回避し、さらに大きな相乗効果を引き出せるということが明確になりつつある。

なお、剛性向上を目的とした補強部材では必然的に単体強度も高くなる為、近年とみに注目されている衝突時の車体エネルギー吸収特性に影響を与えてしまう危険性を有するが、パフォーマンスダンパーでは衝突時の車体変形速度での抵抗を無視出来る程度に設定するか、過大な変形量では破断する設計によりそれを回避することが可能である。

5

おわりに

X-REAS とパフォーマンスダンパはカスタマイズドカー“クラウン アスリート VX”に市販車として世界初となる搭載がなされた。本車両はトヨタ自動車(株)の“クラウン アスリート V”をベースとして当社にてシャシ及びエンジンの変更開発を行い、(株)トヨタモーテリストインターナショナルを通じて台数限定にて販売されたものである。両者の相乗効果もあり、ベース車両の高出力エンジンからさらに向上されたエンジン性能に十分見合うだけの極めて優れた操縦安定性を達成し、なおかつ良好な乗り心地をも両立することに成功し、市場並びにジャーナリズムより好評価を得た。

今後も人間の感性との適合という視点のもと、顧客に当社らしさを感じてもらえるようなコンポーネントの開発に取り組んで行きたいと考えている。



図6 クラウンアスリート VX

製品成熟度とプロセス改革

Product's maturity and Process innovation

齊木 英夫 Hideo Saiki 戸口 孝則 Takanori Toguchi
 土手 啓二郎 Keijiro Dote 大上 智之 Tomoyuki Ooue
 ● IT センター技術電算グループ

技術紹介

To strengthen the competitive power of a product, there have always been tasks, such as defining the quality and the cost of the product in its early stage of development and realizing the short-term development capability. The earlier completion of the product's maturity is one of these issues. Process innovation is a method to achieve this. This report is made to explain and consider the contents and the relations of these two subjects.

1 はじめに

製品競争力の強化のために、開発期間の短縮は常に課題とされている。開発期間の短縮のためには製品開発の早い段階において製品品質、製品コスト、製造要件などを作り込むという製品成熟度の早期立ち上げが有効である。またそれを実現するための大きな手段としてプロセス改革がある。本報ではそれらの内容、関係などを解説、考察する(図1)。

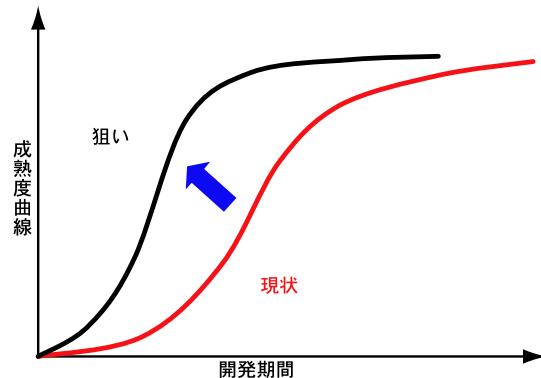


図1 成熟度曲線

2 課題解決グラフ

東京大学の藤本は成熟度曲線を問題解決カーブと称し、その前方シフトにより製品開発リードタイム短縮競争について解説している¹⁾²⁾。藤本の資料をアレンジして課題解決グラフとして図2に示す。

このグラフは製品開発における課題解決の状態をシンボリックに表したもので、横軸は開発タイミング、縦軸は課題の数である。その中に「課題発見曲線」、「対策案曲線」、「成熟度曲線」の3つの曲線が描かれている。横軸のフルスケールは開発期間、縦軸のフルスケールはその開発期間において顕在的、潜在的の全ての解決すべき課題の総数を表している。

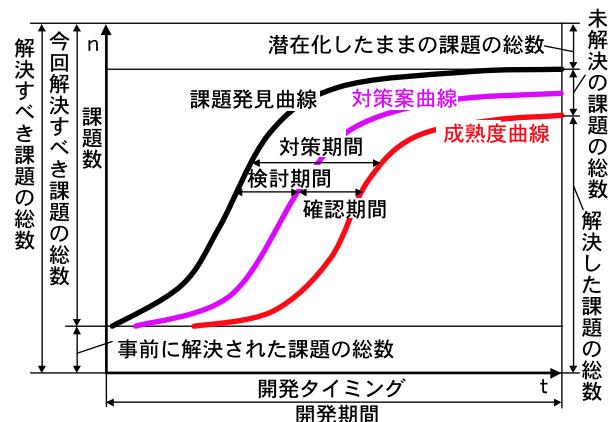


図2 課題解決グラフ

2.1 課題発見曲線

「課題発見曲線」はある開発タイミングにおいて顕在化された課題の数を表す曲線である。開発期間の終了時にその値は最大となるが、解決すべき課題の総数の差として「潜在化したままの課題」が残ってしまうことになる。この潜在課題は製品のリリース後に問題として発生することになり、製品品質の面ではこの「潜在化したままの課題の総数」の最小化が大きな課題となる。また、成熟度向上のためには早期にこの「課題発見曲線」を立ち上げることが必要である。

2.2 対策案曲線

「対策案曲線」はある開発タイミングにおいて発見された課題に対して、それを解決するための対策の方法が明確になった課題の数を表す曲線である。ある課題数における「課題発見曲線」と「対策案曲線」の差は、その課題数の対策案の検討をするのに要した期間である。「対策案曲線」は「問題発見曲線」に限りなく近づくことが理想である。

2.3 成熟度曲線

「成熟度曲線」はある開発タイミングにおいて課題対策が実施され、保証された課題の数を表す曲線である。ある課題数における「課題発見曲線」と「成熟度曲線」の差はその課題数の対策を実施するのに要した期間であり、「対策案曲線」との差は対策を実施して確認を確認をできた期間である。もちろん、「成熟度曲線」も「問題対策曲線」、「問題発見曲線」に限りなく近づくことが望ましい。「成熟度曲線」は「対策案曲線」を「対策案曲線」は「課題発見曲線」を上回ることはない。成熟度を論じる場合は「成熟度曲線」だけでなく「課題発見曲線」、「対策案曲線」を無視することはできない。「成熟度曲線」だけに焦点を絞ると目的を見失った対策、評価に陥る可能性があり、「問題発見曲線」すなわち対策、評価の目的を明確にした対策が必要である。

2.4 積み残しの課題

開発終了時における「課題発見曲線」と「成熟度曲線」の差は、課題が顕在化されたにもかかわらず何らの理由で対策が実施されなかった課題、すなわち「未解決の課題の総数」である。これは「潜在化したままの課題の総数」と同様に、製品のリリース後に問題として発生する可能性のある課題の総数である。もちろん、この課題数は最小化されなくてはならない。また、同様に「課題発見曲線」と「対策案曲線」の差は、問題が発見されたのにもかかわらず、その対策案が見出されなかった課題の数である。

2.5 事前に解決された課題

開発の初期において、三種類の曲線とも初期値として既に幾つかの課題数を持っている。これは開発着手時に「事前に解決された課題の総数」を表している。この数が多ければ多い程、開発期間内で解決すべき課題の数は小さくなり、効率良く、早期の成熟度向上、開発期間の短縮を実現することができる。

3 成熟度向上のための課題

前述の様に、成熟度を論じる場合、「成熟度曲線」だけでなく三種類の曲線について論じる必要がある。それらの課題について図3の様に整理し、「製品品質向上」、「開発期間短縮」、「開発効率向上」の観点から整理する。

3.1 製品品質の向上

製品品質の観点からは製品のリリース後の問題発生を無くすことであり、そのためには開発終了時点での解決された課題の総数の最大化を図ることである。それは「問題発見曲線」の最大値をより大きくし、「潜在化されたままの課題の総数」を最小化することであり、「成熟度曲線」の最大値をより大きくし、「未解決の課題の総数」を最小化することである。そのためには課題をできるだけ顕在化させ、顕在化された課題を解決する技術力を持つことである。

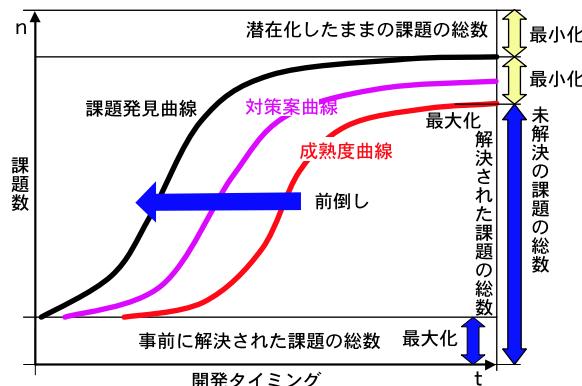


図3 成熟度向上の課題

3.2 開発期間の短縮

開発期間短縮の観点では「問題発見曲線」の前倒し、すなわち立ち上がりの傾きを鋭くし、早期化することである。「対策案曲線」、「成熟度曲線」についても同様であり、「問題発見曲線」との差ができるだけ小さくすることである。課題の発見から対策のタイミングを早期化すること、課題発見から対策までの時間を短くすることである。

3.3 開発効率の向上

開発効率向上の観点では「事前に解決された問題の総数」の最大化を図り、開発において解決すべき課題の総数を最小化することで、課題解決の業務量を減らし開発効率の向上を図ることができる。そのためには出来るだけ多くの課題を何らかの形で事前に解決しておくことである。

4 課題の整理と施策

以上の課題を次のように整理し、それぞれの施策について考察を行う。

- ・課題の顕在化
- ・課題対策の早期化
- ・課題対策の期間短縮
- ・課題対策力の向上
- ・技術蓄積

4.1 課題の顕在化

大阪大学の藤田らは品質機能展開 (QFD: Quality Function Deployment) におけるユーザニーズ・技術項目・製品モジュール間の相関関係の評価を基盤として、製品の設計目標を各製造モジュール毎の設計目標として展開するための方法論を提案している³⁾。

これを参考にして、図4の様に整理した。「課題発見曲線」の立ち上がりの早期化、最大化のためにQFDを活用した課題の顕在化をし、そこで設定される「信頼性目標」、「機能性能目標」、「コスト目標」を成熟度の評価対象とすることを提案する。

問題をできるだけ顕在化して対策が行えるようにする。
・QFDの活用

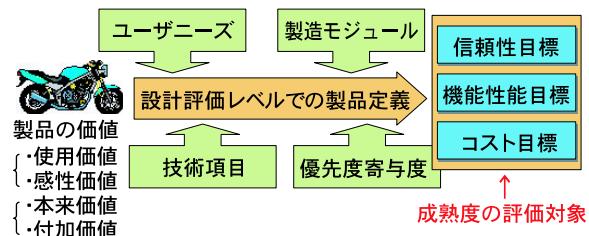


図4 課題の顕在化

4.2 課題対策の早期化

本課題が命題として与えられている成熟度向上の課題である。もちろん、他の課題も同時に解決しなければならず、特に「課題発見曲線」、「対策案曲線」の立ち上がりの早期化はこの課題の前提となる。主な施策としては「プロセス改革」であり、その手法は図5に示す「独立化」、「同時並行」、「前倒し」の3つであると言われている。

図の様に直列につながった4つのプロセスを例に各手法について説明する。

「独立化」はあるプロセスを完全に他のプロセスと独立させて、他のプロセス同時並行で進めることである。規格化、標準化により他との関係を切り離すことで実現できる。また、コンポーネント化、モジュール化によりプロセスを独立させることもできる。システムサプライヤーの考え方方はこれに基づいているとも言える。「独立化」については個別最適ではなく、全体最適となるように注意を払う必要があると考える。また、IT活用よりはむしろ製品モジュールの見直し、設計モジュールの見直し、それに対応する組織見直し等によって実施される。

「同時並行」は「独立化」と似てはいるが、平行で行われるプロセス間での密な連携をとるところが大きく異なる。コンカレント・エンジニアリング、サイマルテニアス・エンジニアリングと呼ばれるものがこの範疇である。部品表やCAD情報の共有化、メール等のコミュニケーションツール等のITツールの活用が効果を発揮する。

「前倒し」は前のプロセス内で、後で行われるはずのプロセス内の仕事を行うことであり、フロント・ローディングと言われているものである。ある意味では「同時並行」の究極的な姿であると言える。

「同時並行」、「前倒し」は従来の後のプロセスで決定していたことを早い時期に決定することである。しかし、早い時期では情報は抽象的なままであり、その精度も高くない。また、詳細な図面や試作車など

成熟度を早い時期から立ち上げる
・プロセス改革

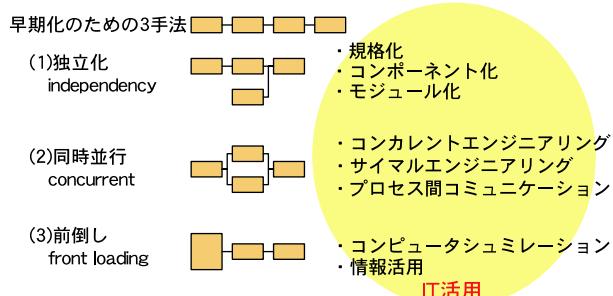


図5 課題対策の早期化



の物理モデルも存在しない場合が多く、情報の共有化、課題の共通人認識や試験による問題共有なども行い難い。その対策としては、デジタルデータによる情報共有やコンピュータ画面へのビジュアルな表示、コンピュータシミュレーションの活用等が効果を発揮する。

早期化を進めていくと、概念設計段階での高い成熟度を要求することになる。その段階では課題そのものも曖昧であり、それを解決するための要件、条件も具体化されていない場合も多く、その状況下で課題解決として決定してしまうことへのリスクも高く、後々変更となってしまうこともある。反面、早い時期に高い確度で課題解決ができればその価値はかなり大きくなる。

製品開発全体に対し「課題対策の早期化」を実現する事は、企業競争力の向上に大きく貢献すると確信する。その大きな施策は「プロセス改革」であり、ITがその有益な手段であると考える。

また、先の大坂大学の藤田は概念設計の意義や意味について考察しているので参考にされたい⁴⁾。

4.3 課題対策の期間短縮

発見された課題に対して、その対策案を素早く検討、対策する期間を短くすることである。前出の「プロセス改革」がその大きな施策の一つである。また、各プロセス内でも個別の施策をとることができる。実験プロセスを例にとると、走行実験で確認していたことを台上実験に替えること、また、特定な部品による代替実験により全体の評価を行うこと、特別に過酷な環境内で耐久試験の替わりを行う様にすること、あるいはコンピュータシミュレーションに置き換えててしまうこと等である。もちろん、そのための技術開発、対策案を容易に導き出すための技術開発、技術蓄積も必要である。CADやCAE、コミュニケーションツール等のITの活用は効果を発揮する。

4.4 課題対策力の向上

課題対策の期間短縮が「成熟度曲線」を前方シフトすることであれば、これは「成熟度曲線」を上方へシフトし、まさしく、未解決の課題を最小にすることである。IT活用もさることながら製品技術、製造技術の研究開発、技術開発が威力を示す。設計解析、実験解析、加工解析、鋳造解析等の解析力を向上し製品開発にフィードバックすることが重要である。まさしく、「プロセス改革」を支える技術力、底力ということになる。

4.5 技術蓄積

これは「成熟度曲線」等の開発着手時の初期値であり、「事前に解決された課題の総数」である。もちろん、できるだけ多くの課題を事前に解決しておくことは望ましいことであり、それにより開発期間中の課題対策のための行為を少なくすることができる。具体的には規定化、標準化により新たに開発期間中に検討をする必要が無いようにしておくこと、先行開発による情報を活用することである。先行開発としては、以前に開発されたプロジェクト、機能やコンポーネント単位の先行技術開発、長年の開発経験の中で培われたものなどがある。また、それらの情報、ノウハウを蓄積してうまく活用するような仕組みも必要である。

5 おわりに

従来から言われてきている「コンカレントエンジニアリング」、「フロントローディング」、「プロセス改革」、「成熟度向上」等について鳥瞰的に眺め、整理をしてみた。「成熟度曲線」の前には「対策案曲線」、「課題発見曲線」があり、「課題発見曲線」で抽出されたものの解決が成熟の目標となる。結果としての成熟度に目を奪われ、目標を掴みきれていなかったのではないかと反省をさせられた。

また、実際の開発行為の中でこの三つの曲線を上手に表現する手法が確立できれば、開発中の成熟度管理が容易にできる。

今回は開発期間中についての考察であったが、製品リリース後に潜在化したままの課題の発見が開発チーム内の活動、市場活動から行われ、また、未解決の課題の対策も実施できるようになる。それにより、よりお客様に満足して頂ける製品に成熟し、新たな製品へと進化を続けていくことになる。製品リリース後の成熟度についての考察も今後行ってみたいと思っている。

■参考文献

- 1) 藤本隆宏 「21世の日本の製造業と情報技術の役割：カギを握る組織能力」
日本機械輸出組合 JMC journal 2001年1月号
- 2) 藤本隆宏 「わが国機械産業の国際競争力強化策－製品アーキテクチャーと能力構築競争－」
日本機械輸出組合 JMC journal 2001年9月号
- 3) 藤田喜久雄 「製品の高付加価値化とその品質機能展開による設計評価法」
日本機械学会論文集 67巻 656号
- 4) 藤田喜久雄 「概念設計を考える」
日本機械学会[No.99-27]第9回設計工学・システム部門講演会

薄肉パイプ曲げ工法の開発と実用化 (ハイドロベンド)

Bending Method and Production System for
Thin-walled Pipe (Hydro-Bending)

田代 康司 Youji Tashiro 菅野 民雄 Tamio Yoshino

● MC 事業部 生産技術開発室 GSS 基礎技術 Gr / MC 事業部 エギゾースト SS 技術 Gr 早出

Abstract

Pipe bending is a manufacturing technology that contributes to the lightening of products and increases adaptability to low-volume, high-variety type manufacturing schedules. Due to today's needs for resource conservation and compactness in products, there is a demand for thin-walled pipe bending technology that enables tight bending radii and produces high-quality bending with minimum cross-section distortion or scarring of the pipe. In the bending of thin-walled pipe, wrinkles occur easily and it is difficult to maintain precision of shape.

There have been a number of methods introduced for bending thin-walled pipe, but all of them have involved an increased number of steps and were therefore considered not suitable for mass production. At Yamaha we focused on a hydro-bending method in which both ends of the pipe are tightly sealed with reusable pressure-resistant caps and filled with a water at high pressure. During the development of this method, special attention was given to safety measures, which resulted in major reduction of the amount of air injected to pressurize the water and measures to deal with the occurrence of water leaks. In order to increase manufacturing efficiency, the capping and water injection process and the de-capping and emptying process were made separate steps so that production cycle time could be set around the actual bending process. The result is a high-quality bending method capable of producing quality products in one process with the thin-walled pipes (external diameter 38.1mm, wall thickness 0.85mm, bend radius 60mm) that had been considered difficult to mass-produce in the past. Furthermore, we were able to maintain a cycle time (one minute) that is the same as existing bending methods for thicker-walled pipes.

要旨

パイプ曲げ加工は機器の軽量化や多品種少量生産に対応した生産技術である。最近の省資源、コンパクト化などのニーズに伴い、薄肉管で曲げ半径が小さく、また断面変形、傷などの少ない高品質な曲げが要求されている。薄肉管の曲げ加工ではシワが発生し易く、形状精度などを維持することが難しくなっている。

世の中には薄肉管の曲げに対応するいくつかの方法があるが工程が増え量産には不向きと考えられていた。当社ではパイプ両端を再使用可能な耐圧栓で密栓し、内部に高圧水を充填して曲げる方法(ハイドロベンド)に着目した。開発にあたり、安全対策として高圧水へのエアーの混入量極小、高圧水の水漏れ時の対策等を実施した。生産性向上に際しては、密栓・注水工程と開栓・排水工程を外段取り化し、曲げ工程のサイクルタイムに合わせた。これらの結果、従来方式では量産困難であった薄肉パイプ(外径 38.1mm、板厚 0.85mm、曲げ半径 60mm)を良品一発で従来並の生産性(サイクルタイム1分)

を確保して、高品質に曲げ加工できる工法を開発、実用化できた。

1 はじめに

モーターサイクルのエンジンには鋼管製のエキゾーストパイプが使用されている。限られた空間にレイアウトされる為、複雑な曲がり形状となっている（図1）。

地球環境の観点から省資源、省エネの他、モーターサイクルとしてスポーツ性能、商品品質の向上の要求がある。このためエキゾーストパイプにおいても軽量化、耐久性を満足する薄肉ステンレス管が採用され始めている。さらに、デザインニーズの多様化から曲げ半径は小さくなる傾向がある。この結果、曲げ仕様としては厳しくなる中で、高品質を実現できる高度な生産技術が必要である。

現在は回転引き曲げベンダーという心金（マンドレル）を用いたパイプ曲げ装置を使用している。しかし薄肉パイプの剛性が低い為、曲げ加工中にクランプ部のすべりが生じ不良品が発生し易い。また、曲げ部のシワ、傷、断面変形等、品質上の問題も多い。

世の中にはパイプ曲げの手段として内部に氷、水等を充填する方法がある。しかしこれらは工程が増え、量産には不向きと考えられていた。

当社では流動性の高い水を充填する方法に着目し、その生産性を改善することで、薄肉パイプに対応できる工法を開発、実用化したので紹介する。

2 現状のパイプ曲げ加工法

当社のエキゾーストパイプは早出工場を中心に生産されている。パイプサイズは外径30から60mm、肉厚1.0から1.2mm、全長400から700mmである。

2.1 エキゾーストパイプの製作工程

工場に納入されたステンレス素管は受入れ検査後、回転引き曲げベンダーで曲げ加工され、検査、洗浄、両端切断、フランジ溶接、圧漏れ検査、傷修正、バフ前仕上げ、バフ加工を経て完成する（図2）。



図1 マフラー外観とエキゾーストパイプ

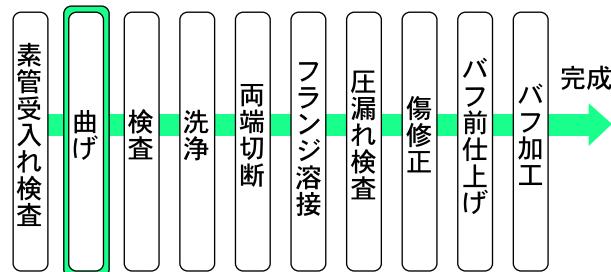


図2 エキゾーストパイプの製作工程

2.2 パイプ曲げ工程

回転引き曲げベンダーでは内径に合わせた心金にパイプを差込み、クランプ型、プレッシャー型を前進させてパイプを固定する。ロール型とクランプ型は一体化して回転し、パイプをロール型溝に巻きつけ

る様に曲げる。プレッシャー型は曲げの反力を受け止め、パイプの動きに従い移動する。心金は曲げによるパイプ断面の楕円化を防止すると共に、ワイパー型の反力を受けて、管壁をロール型、ワイパー型に押付けてシワを防止する。心金部の摩擦低減のため極圧添加剤として塩素を多く含有した油剤を使用せざるを得ず環境面から対応が望まれている（図3、4）。

パイプベンダーの動作（パイプ位置決め、クランプ、回転曲げ等）はNC制御され操作性は良い。しかし、クランプ型やプレッシャー型、ワイパー型、心金の位置調整は熟練者でも試し曲げを繰り返す必要がある。シワが発生した場合、ワイパー型やプレッシャーの位置を調整し圧力を高めるが、心金部等の摩擦抵抗が増えクランプ部はすべり易くなる。クランプ力を高くするとクランプキズが問題となるため全体のバランスを再び取る必要がある（図5）。

このように調整した後はNC制御により、自動化され量産される。ワイパー型、心金はパイプとの摩擦で摩耗し、数日をおくと再調整し、数千個で交換する。

当社の競技用モーターサイクル現YZFシリーズのパイプは肉厚が薄く、曲げ半径が小さいためシワが発生し易く、調整に数時間要し生産性を妨げている。また、この調整の難しさがベンダーを専用機化させ稼働率を低下させている。

新モデルではより軽量化等のため、さらに厳しい曲げが要望され、現有の技術では量産困難である（表1、図6）。

表1 YZシリーズのパイプ曲げ仕様

	‘01 現 YZ426F	‘01 新 YZ426F	‘01 新 YZ250F
パイプ外形 (mm)	41.3	41.3	38.1
肉厚 (mm)	1.0	0.8	0.85
曲げ半径 (mm)	80	75	60
曲げ角度 (度)	180	180	180
肉厚 / パイプ外径	0.024	0.019	0.022
曲げ半径 / パイプ外径	1.94	1.82	1.57
曲げ加工	従来方式 量産限界	従来方式 量産困難	

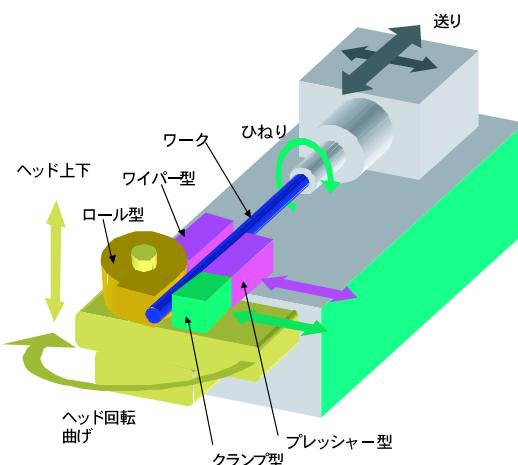


図3 回転引曲げベンダー

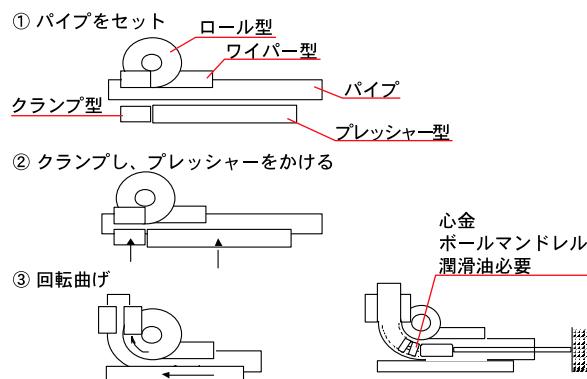


図4 回転引曲げベンダーの曲げ手順

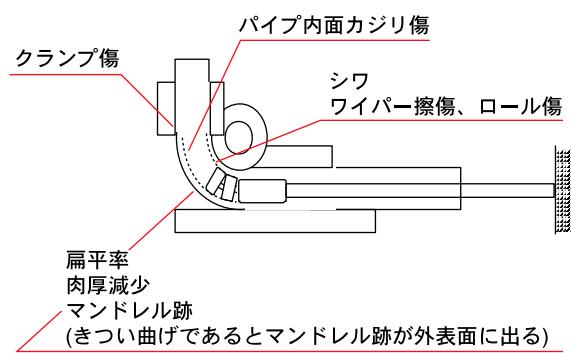


図5 品質不良と発生箇所

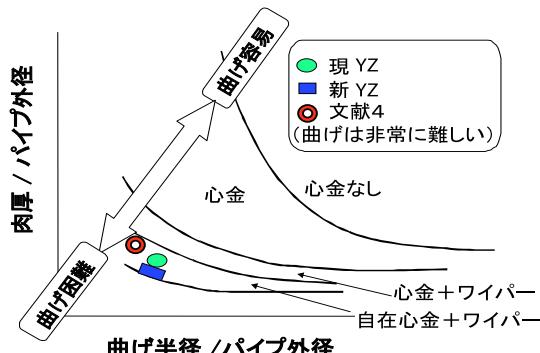


図6 曲げ仕様と曲げ加工の難易性

3 薄肉パイプ曲げ工法の開発

現状の改善に加え、より軽量化等をはかり商品性向上を図る為、新しいパイプ曲げ技術の開発に取り組んだ。

3.1 パイプ断面変形の防止技術

パイプ曲げ技術において、断面変形を防止するには次の4つの基本的な方法がある。

- (1) パイプ内面から外力を加える（内圧）
- (2) パイプ内面から変位を拘束する（心金、氷、砂、低融点合金、溶融塩など）
- (3) パイプ外面から変位を拘束する（ロール型、プレッシャー型、ワイパー型）
- (4) パイプ軸方向から外力を加える

一般的なパイプの曲げはそれぞれ(2)として心金、(3)として金型一式、(4)として引き曲げ力を併用している。二重管等特殊な用途として(2)の氷等をパイプ内に充填し曲げる方法もあるが品質上の他、エネルギー面での問題も多い（表2）。

残る(1)の内圧（水圧）について調査した。

表2 パイプの変形

基本的な変形防止法	事例	特 質
(1) パイプ内面から外力を加える	内圧（水圧）	内面から均一に加圧可能、生産性（密栓方法、サイクルタイム）問題
(2) パイプ内面から変位を拘束	心金	一般的に利用、薄肉パイプにはシワ等の問題
	氷	二重管曲げにも応用、生産性やエネルギー上問題
	砂	二重管曲げにも応用、環境上（粉塵、振動）問題
	低融点合金	工程複雑、研究段階
	溶融塩	二重管曲げに応用、工程複雑
(3) パイプの外面から変位を拘束	金型	一般的に利用
(4) パイプの軸方向から外力を加える	引張り	シワの防止
	圧縮	破断の防止

3.2 水圧法（ハイドロペンド）

水圧のかけ方としては大きく分けて3種ある（図7）。

方式1は両端の耐圧栓を弾性部材で連結するもので、水の充填方法やシール構造に難点がある。また方式2は弾性体が軸方向に変形し、圧力の保持や耐久性に問題がある。それに対し、方式3では全長に亘って圧力を保持できる為、曲げる位置に制約がない。また、内圧によりパイプの軸方向に引張力が発生し、シワ発生防止に有効である。耐圧栓の抜け止め構造に工夫をすれば、実用化の可能性が高い。

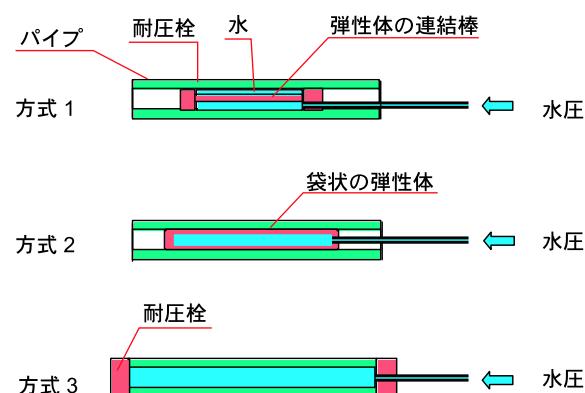


図7 水圧方式

必要な圧力は最大でパイプの降伏応力の前後である。この値はパイプ径、肉厚、材質および曲げの厳しさ（曲げ半径、曲げ角度、偏平率など）によって異なるがおよそ 10 から 20Mpa である。パイプを膨張し成形するハイドロフォームと区別する為、この工法をハイドロベンドと呼ぶことにした（図8）。

課題としては（1）安全確保（高圧水へのエアーの混入防止、水漏れ対策等）、（2）密栓方法、（3）圧力制御、（4）生産性向上である。

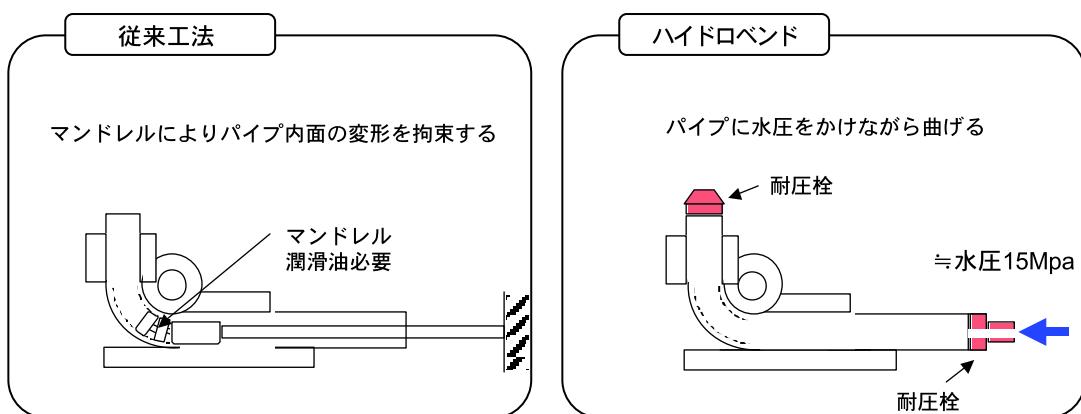


図 8 工法比較

3.3 ハイドロベンドの要素技術

3.3.1 耐圧栓

一般的に金属製の蓋をパイプに溶接する方式やパイプ端にネジを切り、栓をする方法があるが生産性に問題がある。

化学機械等の高圧容器製造会社では、パイプ溶接品質の確認のため耐圧栓を用いた水圧テストを実施している。この耐圧栓の原理は外部リングによりパイプ径拡張を防止し、くさび効果を利用してツメを内径に押し付け抜けを防止すると共にパッキンを拡張してシールする。今後の自動化にも対応し易い（図9）。

この機構の採用にあたり空気の混入を防止する必要がある。透明アクリルパイプを用いて、水充填時における空気の残留の有無を調査した。その結果、パイプ直立姿勢で上部の耐圧栓付近に空気溜まりがあることが判った。そこで溜まりの上部にエア抜き穴を設け、空気溜まりがなくなることを確認した（図10）。



図 9 水圧栓写真

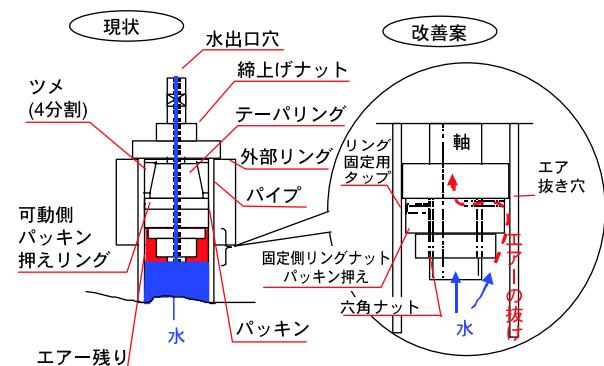


図 10 耐圧栓の構造とエア残り対策

3.3.2 水圧発生用ポンプ

曲げ加工中にシールが破損した場合の水の飛散を最小限に押えるため、ポンプは高圧時流量が少なく、制御し易いものが適している。本設備では空気圧を動力源としたプランジャー方式のポンプを採用した（図 11）。

空気圧 0.5 MPa で最大水圧 20 MPa を発生する（図 12）。

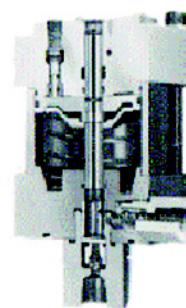


図 11 ポンプ断面

3.3.3 圧力の制御

ハイドロベンドでは加工中にパイプの弾性変形や塑性変形により体積が増加するので圧力が低下する。これを常時一定になるよう制御する必要がある。そこでパイプ入口の圧力を検出し、設定圧とのずれが生じた場合、ポンプの駆動圧を制御して吐出圧を調整する仕組みが必要である（図 13）。

作業安全上から、本装置には次のような制御が必要である。

- (1) パイプへの水充填完了時に残留空気が無いこと；
注水時、ポンプ入口で気泡を検出したら停止する。また、パイプ出口からの水に気泡を感知しなくなつてから規定時間後に注水停止する。
- (2) 急激な昇圧は避ける；
シールが不完全の場合に備えて、水の飛散を最小限にする為、目標圧まで段階的に昇圧する。
- (3) 昇圧時、パイプ内に残留空気が無いこと；
残留空気があると昇圧時間が長くなるため時間を検出し停止する。
- (4) 昇圧後、耐圧栓の緩み、パイプ亀裂等の発生時の対応；
圧力の急激な低下と送水量の増加に伴って、ポンプのストローク回数が増える。これらを検出し異常時は停止する。

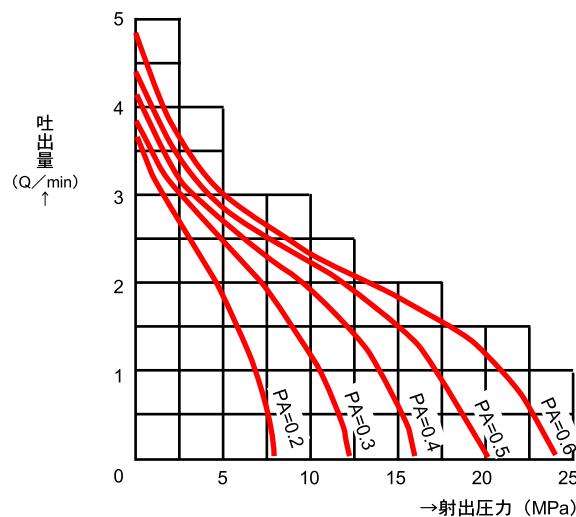


図 12 ポンプ特性

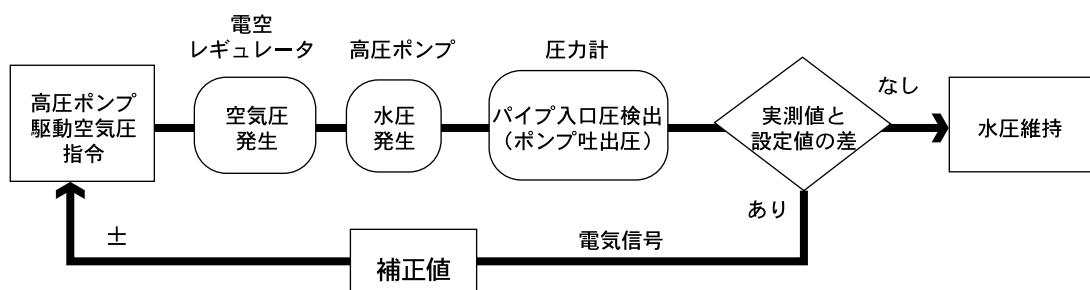


図 13 高圧ポンプ制御

3.4 ハイドロベンド開発機

以上の要素技術を評価確立するため、単曲げベンダーを利用してテスト機を製作した（図14）。

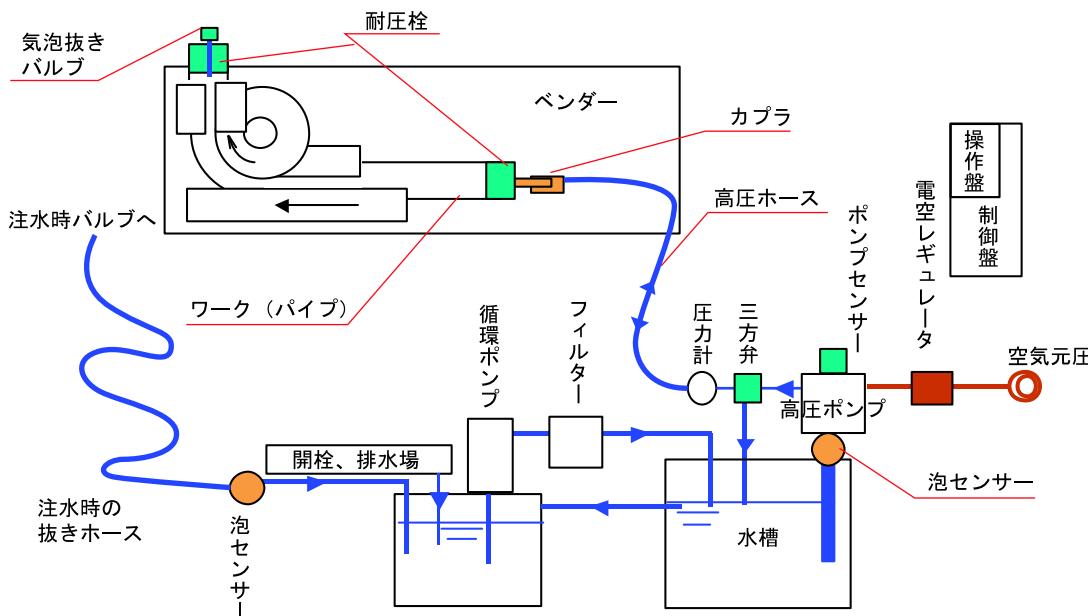


図14 ハイドロベンド装置概要

3.5 曲げ加工手順

最初の水圧はパイプ材の降伏応力の半分を目安として設定する。

本装置での加工手順を以下に示す。

- (1) パイプに耐圧栓を取付け、気泡が無くなるまで注水し、水漏れを確認する。
- (2) ベンダーにパイプをセットし、設定水圧に加圧後、曲げ加工する。
- (3) ベンダーからパイプをはずし、開栓・排水する。

3.6 トライ結果

開発機で前述の新YZシリーズのパイプを曲げ加工した。

この結果、従来の方法では曲げ加工困難なパイプがシワ、キズ等の不具合も無く、断面偏平率（＝最小外径 / 公称外径）も 96% と従来（93%）以上の品質を確保出来た（図15）。

また、曲げ加工の条件出し、試加工の本数は通常の数分の一で済み、調整が非常に簡単である事が分かった。

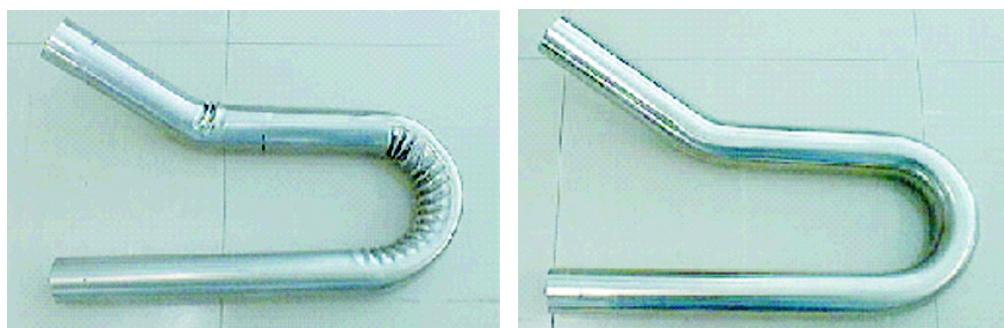


図15 新YZ250F エキゾーストパイプ曲げ結果

4

量産設備の開発

安全性を確保し、生産性として従来方法と同レベルを狙い (1) サイクルタイム1分、多機種対応を狙い (2) 段取り短縮、調整一発と2つの目標を立てた。

(1) サイクルタイム1分を目指すには解決すべき2つの課題がある。

イ. 密栓注水工程、開栓排水工程を外段取り化し、それぞれ1分以内とする。

ロ. 自動位置決め、複数回曲げ可能な設備にする。

(2) の機種変更段取り短縮、調整一発では

ハ. ベンダーのロール金型交換等は従来通り実施し、その他は出来るだけデジタル設定（プログラム交換）にする。

安全確保として

ニ. 耐圧栓の締付けトルク管理、締め付け量の管理、耐圧栓の使用回数の管理を実施する。

これら4つの課題を達成するには機構の新設や改良が必要である。

4.1 量産設備の新設、改良項目

ベンダーは複数回曲げ可能な設備を改造する事にした。主な新設、改良項目について説明する。

(1) 密栓注水機の新設

パイプに耐圧栓を挿入後、ナットランナーにより自動で締上げ、注水ポンプを新設して事前に注水する。この時、規定のトルク、規定の締付け量を外れた場合アラームで停止する。

(2) 高圧水供給配管の自動気泡抜き機構新設

注水後、供給する高圧水に気泡が無い事が必要である。本装置の始動時等、定期的に気泡抜きする機構を設けた。またベンダー上での高圧配管の接続部にはエアーレスカプラを採用した。

(3) 耐圧栓の使用回数記憶回路

一機種で複数セットの耐圧栓を使用する。

このセット毎に生産回数を記憶し、消耗品（パッキン等）の寿命を管理する事で保全性も向上させた。

(4) 耐圧栓構造の改良

複数回の曲げ加工を実施するには耐圧栓装着後、パイプの一端を保持し、前進、ひねり等の動作が出来る様にする必要がある。そこで、反ロール側の耐圧栓にはベンダーへの取付け部を設ける。

また外部補強リングとの一体化をはかり、パイプへの耐圧栓の装着、搬送、等で自動化を容易にする（図16）。

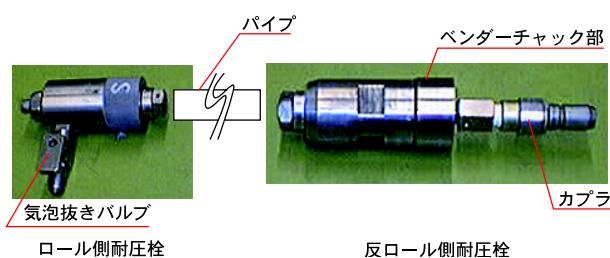


図 16 量産用耐圧栓

4.2 量産設備概要

以上の改良項目を織り込むと共に安全性向上、作業負荷軽減、省人化の為、搬送ロボットを採用した。作業者はパイプの溶接線が曲げの内側になる様に決められた位置にパイプをセットし起動ボタンを押す。後の一連の工程は自動化されており、曲げ加工完了のパイプをシートから取り出し、検査をする（図17、表3、図18）。

4.3 量産の事例

本設備にて新YZ250F用のエキゾーストパイプの生産を開始した。曲げ部の偏平率を同一にする為、曲げ角度毎に圧力を変化させている（表4）。

表4 YZ250F 生産条件

機種	新YZ250F	パイプ径	38.1mm
		板厚	0.85mm
材質	SUS304L	曲げ半径	60mm
曲げ 1 回目	33.5	水圧 (Mpa)	12
曲げ 2 回目	180		15.5

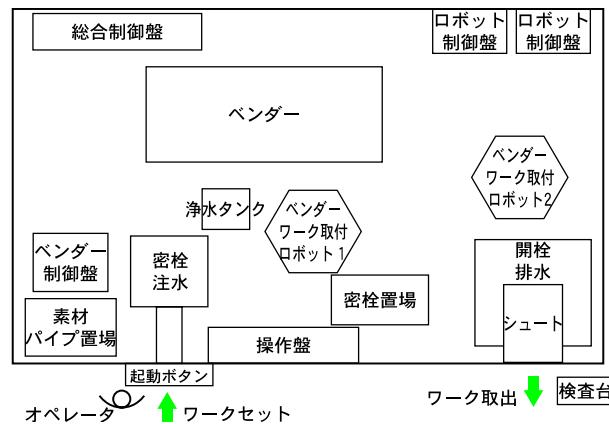


図17 パイプ曲げ設備レイアウト

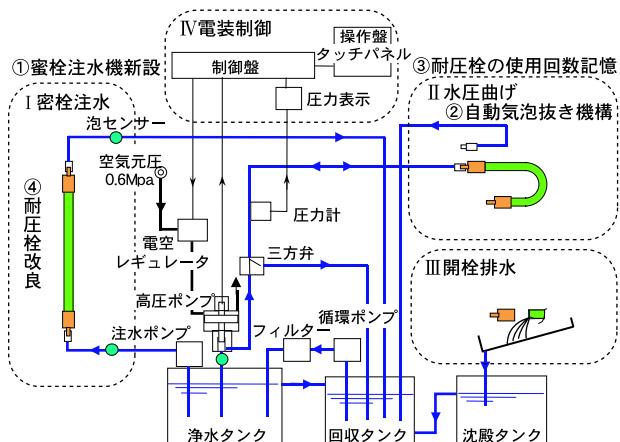


図18 システム概要と主要な新設、改良項目

表3 量産設備作業内容

作業名	作業内容
ワークセット	作業者がパイプをセットし起動ボタンを押す
密栓注水	ロボット1が耐圧栓を密栓注水機にセットする 密栓注水機でパイプに耐圧栓を取り付け、注水する
ワーク移動 1	ロボット1が注水完了パイプをベンダーにセットする
曲げ	曲げ加工機で設定水圧に加圧し、曲げ加工する
ワーク移動 2	ロボット2が曲げ完了のパイプを開栓機にセットする
開栓排水	開栓機で耐圧栓を外し、排水する
ワーク移動 3	ロボット2がパイプをシートに運搬する
耐圧栓回収	ロボット2が耐圧栓を回収する
検査	作業者が検査ジグで曲げ精度を確認する

5 成果

- (1) 新YZ-Fシリーズのエキゾーストパイプの生産が目標サイクルタイムで出来た。
- (2) クランプすべりが防止され、クランプ型の滑り止め溝加工は不用になった。またクランプの材質をプラスチックにする事で、クランプ傷が減少し、表面品質が向上した。この為、傷取り工程を廃止し、素管として研磨パイプを使用する事でバフ前仕上げ工程も削減できた。研磨パイプの使用にあたり、素管納入の荷姿が改善され、運搬傷が無くなった。
- (3) 熟練を要した曲げ加工条件出しから開放され調整一発となった。この為、段取り時間が数分の一となり、安定した。従来、ベンダーは専用機化していたが、多機種対応となり稼動率が数倍に向上した。
- (4) 一般には加工の難しいチタンパイプ（チタンは親和性によりカジリが発生し易い）でも良好な曲げ加工が出来る。調整一発で良品を得られる事から高価なチタンパイプの曲げにも適している。
- (5) 心金用の含塩素潤滑油が不用となり、その洗浄工程も削減できた。
- (6) 多気筒生産は各気筒毎のロット生産であったが、各気筒一本づつのセット生産が可能となった。

6 おわりに

本工法は1999年に開発し、本設備は2000年8月より生産移行した。開発初期より商品開発部門と連携を取り短期間に実用化できた。2001年11月からはハイドロベンド2号機を導入し、チタンエキゾーストパイプの生産を開始した。

なお本件に関してはシステム構成全体とパイプへの注水方法および水圧の制御方法について特許申請済みである。

今後、二重管パイプの曲げ加工法への応用、自動車エンジンのインテーク、エキゾーストパイプへの適応等を検討する。

■参考文献

- 1) 日本塑性加工学会編：「チューブフォーミング」，コロナ社，1992
- 2) 田所豊年：「パイプの塑性加工」，塑性と加工，VOL11,no.117(1970-10)
- 3) 相津昭一：「パイプベンダーによる曲げ加工」，プレス技術第3巻6号
- 4) 落合和泉：「曲げ加工」，プレス技術第17巻7号
- 5) 遠藤ほか：「円管の曲げ加工における形状精度」，塑性加工学会誌第27巻300号，1986
- 6) 株オプトン：公開特許公報、特開平10-58051,1998年3月公開
- 7) 株ニチリン：特許公報、第28998902号,1999年3月登録
- 8) 中村ほか：「パイプ加工法」，日刊工業新聞社，1998
- 9) 日本塑性加工学会編：「最新塑性加工便覧 第2版」，コロナ社，平成1

超音波振動を応用した圧入機の開発

Forced Insertion Device Utilizing Ultrasonic Vibration

深津 英治 Eiji Fukatsu ● EG 第2 SyS 技術 Gr.

Abstract

Until now, a hydraulic press was used for forced insertion of plugs in the oil passage holes of motorcycle crankcases. However, there were a number of problems with this method, such as the size of the press needed to apply the necessary pressure and the deformation of the work pieces (crankcases) due to the amount of force applied. To solve these problems, we developed a new type of forced insertion device that utilizes ultrasonic vibration to reduce the amount of insertion force necessary.

In experiments with a test unit, a combination of pressure from an air cylinder and ultrasonic vibration applied at the tip of the insertion device enabled a reduction of force necessary to insert a ϕ 7.9 ball plug from the previous 2,000N to just 700N. Also the resulting extraction load is greater than with insertion by the conventional method. In a test with a ϕ 12 tapered plug it was possible to insert it with 1,000N without the occurrence of undesirable effects like pressure leakage and biting.

Based on these tests a new forced insertion tool was built. This device eliminated the use of the hydraulic unit, enabled the use of lighter jigs, greater freedom of work positioning as well as less electricity consumption. We are now in the process of shifting operations to this new device.

要旨

モータサイクルエンジンのクランクケースにおける埋栓では、従来から油圧プレスによる圧入が行われてきたが、高荷重ゆえに設備の大型化やワーク変形などの問題点も多い。そこで圧入荷重を低減するために超音波振動を応用した圧入機を開発した。

テスト機による実験では、圧入ポンチ部先端にエアシリンダによる荷重と超音波振動を加えることにより、 ϕ 7.9 ボール圧入時の圧入荷重を従来の 2,000N から 700N へ低減できた。また、抜け荷重が従来の方法で圧入した場合より大きくなった。 ϕ 12 テーパープラグの圧入テストでは、1,000N にて圧入可能であり圧漏れ、カジリなどの不具合も発生しなかった。

テスト結果をもって圧入機を製作した。この設備は油圧ユニット廃止、軽量治具、ワーク姿勢自由度向上、消費電力削減といった特長を持っており、現在生産稼動中である。

1 はじめに

モータサイクルエンジンのクランクケースには、複雑なオイル通路を形成するための埋栓圧入があり、その埋栓としてボールやテーパープラグなどがよく使われる(図1)。

従来、それらの圧入は埋栓自体に荷重をかけ押し込む方法を取っていた。荷重をかける主な方法として油圧シリンダが一般的である。この方法では、数千Nという高荷重をかけるために、設備の剛性が必要であったり、ワークを歪ませてしまうなどの問題点も多い。

そこで、超音波振動(以後超音波と表現する)を応用することで圧入荷重を減少させ、問題を解決した埋栓圧入機を開発したので、その概要を述べる。

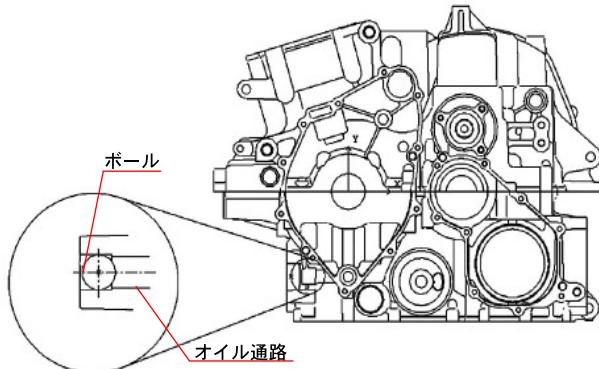


図1 クランクケースの埋栓圧入

2 埋栓圧入の現状

2.1 圧入方法

埋栓を圧入する場合、ワーク側に埋栓より径の小さい穴をあけておき(締め代を用意しておく)、そこへ埋栓をセットしておく。そして、埋栓にポンチを押し当て油圧シリンダ等で荷重を加えると、塑性変形や弾性変形を起こしながら埋栓が穴の中へ入っていく。圧入後は弾性変形分の締付力により、埋栓が保持される。

2.2 問題点

圧入時の塑性変形、弾性変形及び摩擦力が圧入に必要なエネルギーとなり、それが圧入荷重の大小に影響する。

$\phi 7.9\text{mm}$ 鋼球を締め代 $\phi 0.15\text{mm}$ のアルミニウムの穴に圧入する時には、1,500～2,000Nの荷重が必要となる。その場合、推力を得るために油圧シリンダが必要となり、油圧ユニットが電力を消費する。そして、スペースも占有してしまう。

さらに、荷重に耐えうる剛性を持つために、設備、治具が大型化してしまう。人々、人件費削減のためにワークのクランプや姿勢変更を自動化しているラインでは機種毎の治具も大型化する傾向にある。そこへ高剛性化が重なると人では持てないほどの重い治具となり、治具段取り用の自動交換装置や収納ラックが必要となる。そのため設備全体の大型化、設備投資の増加が避けられない(図2)。

また、荷重がワークを変形させてしまうこともあるため、荷重の反対側を支える複雑な治具となり、ワーク形状によっては、治具が成り立たない可能性もある。

品質面でも、圧入時にカジリ(穴壁面にむしられた様なキズが付く)が発生することがあり、圧洩れの原因となる。また、穴が過度に塑性変形を起こすため、抜け荷重の低下に対する管理が必要となる。

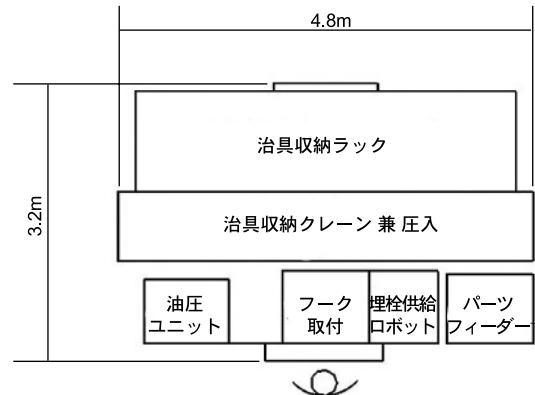
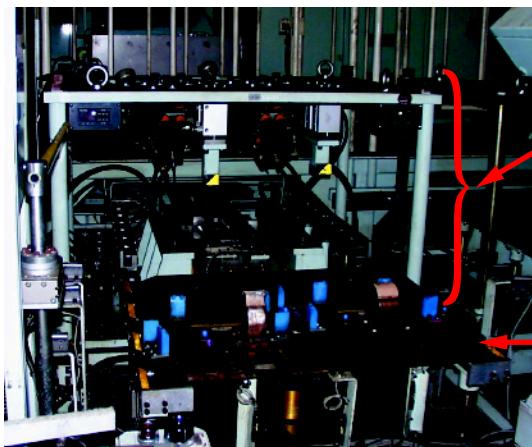


図2 従来タイプの埋栓圧入機

3 目指す姿

現状の問題点を解決するために、以下の項目を課題として新しい圧入機を開発することとした。

開発に当たっては、

- (1) 油圧の廃止 (消費電力削減、スペース削減)
- (2) 交換治具重量を工場規定の 15kg 以下として自動治具交換装置や収納ラックを廃止する
(スペース削減、投資削減)
- (3) 任意の方向から圧入可能とする (製品設計自由度向上)

最大の問題は、圧入荷重が大きいことであるため、圧入荷重を減少させる工法開発をめざした。

4 圧入荷重減少方案

通常圧入を行う場合、一定の力で押すよりも、ハンマによる打撃やインパクトハンマによる連続的打撃のほうが、はるかに小さい力で圧入できる。これは、打撃の力は加速度は非常に大きいが、時間が極短いので、反力をワークや工具自身の慣性力が受け止めてくれるためと考えられる。しかし、インパクトハンマでは騒音が問題となる。特にクランクケースの様な薄肉箱形の場合、ワーク自体が大きな音を発してしまい、騒音規制値を越えてしまうこともある。

そこで、他の衝撃（振動）として超音波に目を付けた。調べてみると、超音波プラスチックウェルダという装置（超音波振動をプラスチックに加え摩擦発熱させ接着や変形をさせる装置）では、ポンチ部の先端に 20kHz 、 $50\text{ }\mu\text{m}$ という振動を与えることができる。これは先端の速度で 6.3m/s 、加速度は $7.9 \times 10^5 \text{ m/s}^2$ （重力加速度の約 8 万倍）であり、十分衝撃といえそうである。また、 20kHz は人間の可聴範囲の限界付近であり、騒音問題も解決できる可能性がある。これらの期待を持ち、検証することにした。

ちなみに超音波とは、物質の弾性と慣性とによって伝わる波動現象（音波）の内、人が聞くことを目的としない物であるとされている¹⁾。 実際には、可聴範囲の周波数では騒音となってしまうため、人に聞こえない 20kHz 以上が多く利用される。また、波動の媒体としては、気体、液体、固体を問わないが、超音波利用例としては液体、固体が多い。

5 プリテスト

超音波応用機器の専門メーカーに話を持ちかけたところ、プラスチックに金属部品を圧入する装置はあるが、これは振動による熱でプラスチックが溶ける現象を利用しておらず、金属部品同士の圧入はやったことがないという回答であった。超音波を使った圧入としては国内で2、3の報告もあるが、市販されたシステムがなかったため、超音波機器メーカーと協力して新たに開発することにした。

まず初めに、超音波の圧入に対する効果を確認するために、圧入プリテストを行った。超音波プラスチックウェルダにボールを押すためのポンチ（超音波機器ではホーンと呼ぶ）を取付け、テストピースの穴にボールを圧入した（図3）。

動作は

1. 穴の入口にボールを置く。
2. ホーンをボールに当て、荷重をかける。
3. 超音波を発振させる。

である。

テストの結果、荷重約500Nにて圧入することができた。また、振動音等はほとんど聞こえなかった。

文献によれば、超音波振動には固体どうしの摩擦を減少させる効果があるとされており、それが従来の1,500～2,000Nに対し500Nという低荷重で圧入できる理由であると考えられる。

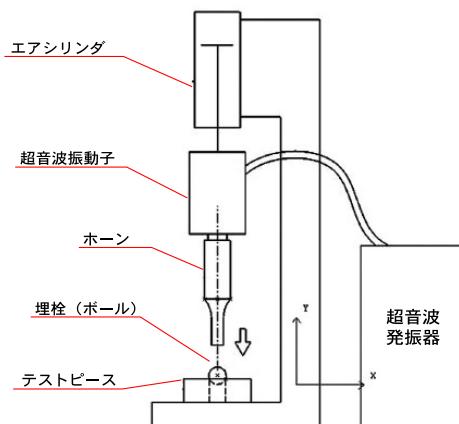


図3 テスト方法

6 本テスト

プリテストより超音波の効果が認められたため、詳細テストを行った。テストの目的は、圧入機の基礎データを得ることと、圧入後の抜け荷重と圧洩れを確認することである。

確認項目は、

- (1) 穴径（締め代）に対する影響
- (2) 圧入可能な荷重の調査
- (3) 圧入後の抜け荷重測定
- (4) 圧入後のエア圧による洩れ確認
- (5) 他の埋め栓部品（テーパープラグ）の圧入をする

7 テスト結果

7.1 締め代及び荷重

穴径に対し1.3～1.9%の締め代（ $\phi 7.9\text{mm}$ ボールで $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 0.15\text{mm}$ 、実際の製品公差と同等の値）の時に、700Nの荷重でテスト数n=48すべて圧入可能という良好な結果が出た。この700Nという値はプリテストでの500Nに対して安全率を見込んで設定した値である。この推力であればエアシリンダで十分に実現できる。

7.2 抜け荷重

抜け荷重は従来の圧入方法より大きくなっている。埋栓の機能は高まっていることがわかった。また、締め代と抜け荷重とが比例関係になっていることがわかった(図4)。

7.3 圧漏れ

テストのn数の範囲では圧漏れ、カジリは発生しなかった。

7.4 テーパープラグ圧入

テーパープラグの場合締め代がボールよりも大きいため、ホーン先端の振幅が初めに設定した $48\text{ }\mu\text{m}$ では圧入しきれず、途中で止まってしまった。超音波出力を上げ先端振幅を $64\text{ }\mu\text{m}$ にすると、荷重 1,000N にて圧入可能となった。

プリテスト時にわかったことであるが、うまく入りきらないボールに超音波をかけ続けると、ボールが回転してしまったり、設備など他の部分へ振動が伝わり悪影響を及ぼす。そこで、超音波をかけ続けてよい最大時間を設定するためのテストも行った。超音波を印加している時間を変化させると、圧入の深さが変わる。テスト機では構造上圧入深さの測定値に多少のバラツキがあるが、超音波印加時間 0.05s 近りから長い方ではストロークエンドの 4.5mm 付近へ達している。これは、圧入自体が 0.05s で完了しており、これ以上長い時間超音波を印可しても無意味であるといえる(図5)。また、テーパープラグ圧入においてもカジリがまったくなく、穴内径の面がとてもきれいであった(図6)。

従来、テーパープラグの圧入やハンマ打撃ではカジリが発生しやすく、漏れ防止のためにシール剤を塗布する必要があった。超音波でのテーパープラグ圧入ではシール剤塗布を廃止できる可能性がある。

テスト結果から「圧入荷重 1,000N 以下」が実現できると判断し、超音波埋栓圧入機の具体的な仕様検討を開始した。

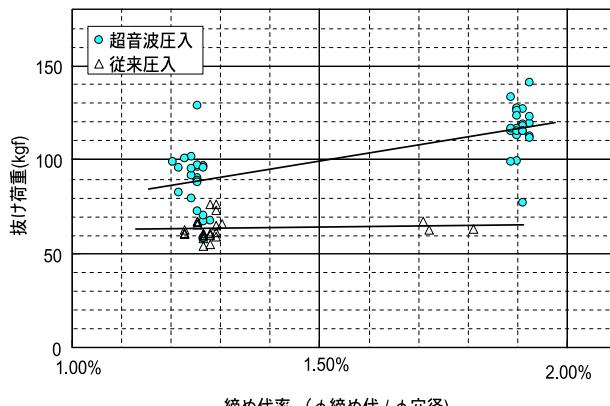


図4 締め代と抜け荷重の関係

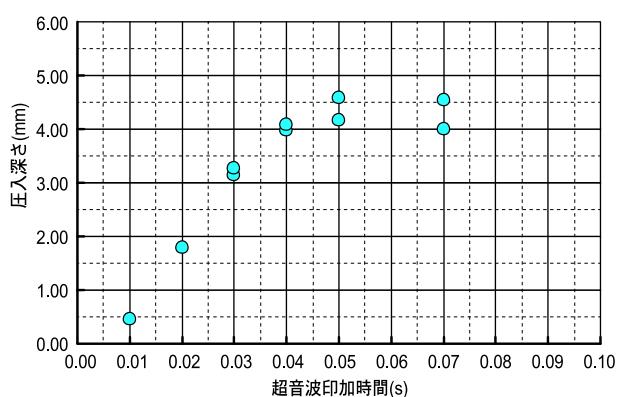


図5 超音波印加時間と圧入深さの関係



図6 圧入後に取り外したテーパープラグと穴
(カジリは見られない)

8 圧入機の仕様

基本動作は、クランクケースを治具上に固定し反転、旋回により圧入穴を上に向ける。そして穴の口元にボールをセットし圧入する。何ヶ所も圧入する機種では、姿勢変更と圧入を繰り返す。以上の動作を1サイクル自動で行なう。

圧入荷重が小さい点を活かして、

- (1) 圧入荷重発生源はエアシリンダとし、油圧ユニットを廃止する。
- (2) ワーク取付け治具はアルミ板製とした上、ワークの荷重受けバックアップを省き、段取りが容易な15kg以下の軽量治具とする。
- (3) フレキシブル性を高めるために、圧入ユニット、埋栓吸着パッド、かしめユニットをXYロボットに搭載する。ワークの圧入姿勢の自由度を増すために、2軸のサーボモータによりワーク取り付け治具を3次元的に回転可能とする。

シリンダ用のエア圧力を機種や埋栓の種類に応じて自動的に変更できるようにして、 $\phi 7.9\text{mm}$ ボール圧入では圧入荷重を700Nに設定した。

超音波による圧入では、超音波をかけた瞬間に一気に埋栓が圧入されるため、荷重管理では圧入良否を判定することができない。そこで、リニアセンサにより位置を監視し、超音波を印可せず荷重を加えただけでボールが穴に入ってしまったらNGと判断している。

圧入機外観を図7に示す。

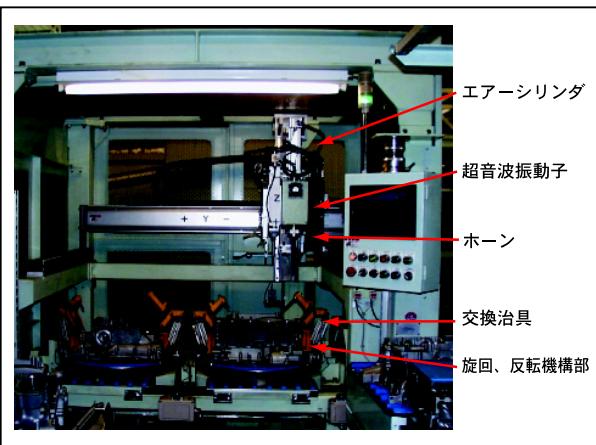


図7 超音波埋栓圧入機外観

9 開発した圧入機導入による効果

現在生産稼動中であるが、ボール圧入部からの圧漏れ検査での漏れ不良は発生していない。また、圧入荷重低減効果を活かし、油圧ユニット廃止、XYロボットの小型化を行い、消費電力を56%削減できた。また設備各部分の小型化により設備全体の占有面積を77%削減できた。設備投資額は従来とあまり変わらないが、機種専用治具投資は58%の削減となった(表1)。

表1 従来機と超音波圧入機との比較

	従来機	超音波圧入機	削減量
スペース	15.36 m ² (4.8m~3.2m)	3.6 m ² (2m~1.8m)	77% 削減
消費電力	17KVA	7.5KVA	56% 削減
設備投資	100%(とする)	96%	4% 削減
専用治具投資	100%(とする)	42%	58% 削減
段取り治具重量	300kgx2	15kgx2	95% 削減

10 おわりに

今回、超音波を応用して圧入をすることについて、情報量の少ない中で開発を始めたが、当初の目的を達成し、生産ラインにおいて効果をあげることができた。今後、各種部品の圧入に応用するため、部品に合わせたホーンの自動交換機構を開発するなど、超音波圧入機の熟成を進めていきたい。

■参考文献

- 1) 日刊工業新聞社：超音波技術便覧（新訂版）,(1978)

2輪車計測支援ロボット用 磁歪式荷重センサの開発

Development of Magnetostrictive Load Sensor for Motorcycle- Measurement Robot

水野 裕 Yutaka Mizuno 久保田 剛 Tsuyoshi Kubota

●研究創発 C. コア技術研究室エレクトロ Gr. / 研究創発 C. コア技術研究室マテリアル Gr.

Abstract

In order to improve the accuracy and efficiency of evaluation of increasingly high-performance motorcycles, we at Yamaha Motor have developed a control system for automated operation of motorcycles by human-shaped robots.

For the indispensable shift load sensor in the system, we had originally used a strain gauge type load cell but were unable to get satisfying results with it regarding sensor sensitivity when subjected to engine vibration conditions, strength and response. To solve these problems, we tried using a magnetostrictive sensor for the first time.

In tests in actual use we found that the magnetostrictive load sensor satisfied the requirements of operating conditions for a motorcycle operation control system and measurement system.

要旨

高性能化するモーターサイクルの評価を、高精度かつ効率的に行うため、社内において人型ロボットを使用したモーターサイクルの自動運転用制御システムが開発されている。

その制御システムに不可欠なシフト荷重センサは、当初、歪みゲージ式ロードセルを用いていたが、エンジンの振動条件下で検出感度、強度および応答性を全て満足することはできなかった。そこで、この問題を解決するために、新たに磁歪式荷重センサの適用を試みた。

実機テストの結果、磁歪式荷重センサはモータサイクルの運転用制御システム及び計測システムの条件を満足することが分かった。

1 はじめに

近年、モーターサイクルは、益々高機能化・高性能化・高速化が進み、走行評価試験では、ライダーにより高い運転技量が要求されている。

そこで、こうした要求を満足しながら、開発の効率を向上させることを狙って、人型ロボットを使用したモーターサイクルの自動運転用制御システムが、社内において開発されている。これは、テストライダーのアクセル操作、シフト操作、クラッチ操作を人型ロボットに行わせることにより、自動運転による台上走行試験を可能にしたものである。ここでは、その制御システムに不可欠な磁歪式荷重センサについて述べる。

2 MC 走行性能計測システム

2.1 評価試験設備

図1は、ロボットを使用したモーターサイクルの計測システムの写真である。ロボットに装着されたアクチュエータにより、アクセル操作、クラッチ操作およびシフト操作を行い、自動運転による台上走行試験を可能にすると同時に、データの精度と再現性の向上が図られている。

図2は、テスト車両が評価される風洞を示したものである。車両は、シャーシダイナモにより車速に対応した負荷を与えられる。また、走行風に見立てた風は、車両前面の送风口から均一の風速で車両に向けて送風される。これらにより、風洞内において実走行に等しい状態で走行評価を行うことができる。

2.2 自動運転用制御システム

図3は、この自動運転用制御システムを表したものである。

組み込まれた走行プログラムにより、自動的に運転制御を行うことができるため、オペレータは、操作室にてスタートボタンを押すだけで良い。

制御情報は、入出力制御装置を経由して、ベンチ内部へ送られ、ロボットへの動作命令・環境設定・負荷設定を行う。同時に、ベンチ内部の各種センサの状況も、ここを経由してコントローラへ送られる。

コントローラは、制御盤に内蔵されており、運転状態の監視を行うとともに、センサからの計測値をロガーに記録する。



図1 ロボットを使用したモーターサイクルの評価

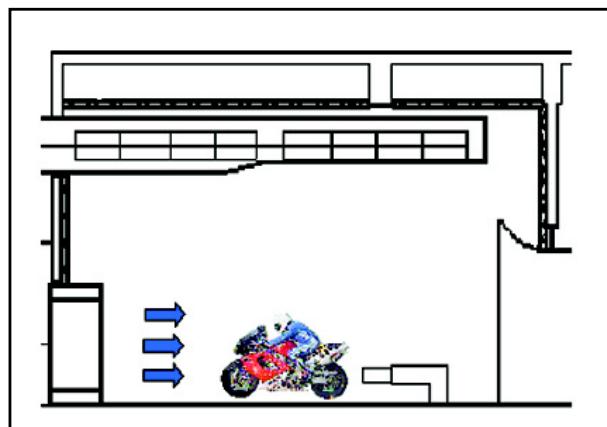


図2 風洞設備

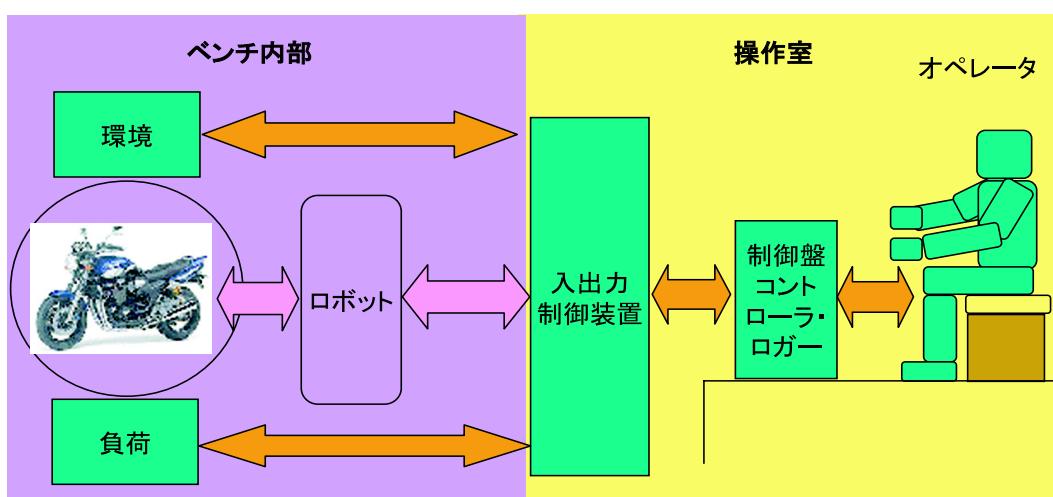


図3 モーターサイクル自動運転システム

3 計測支援ロボット用シフト荷重センサ

3.1 計測支援ロボット

図4は、計測支援ロボットの制御ブロック図である。アクセル操作系、クラッチ操作系およびシフト操作系について、それぞれにアクチュエータとセンサが取り付けられている。

ロボットは、主に2つの役目を果たす。第一に、アクチュエータにより自動制御でシフトチェンジやアクセル調整を行って、モータサイクルの出力設定を行うこと。

第二に、その形状により、エンジン周辺の気流を人が乗車した時に合わせることである。

二輪車の走行評価では、人の体を含むエンジン周辺の空気の流れが問題となる。その場合、上半身はエンジン周辺の気流にはほとんど影響を与えないため、ロボットは下半身だけのものを採用している。

3.2 シフトチェンジの判定

モータサイクルの自動運転のために重要なことは、シフトチェンジが確実に行われたかどうかを正しく判定することである。単にシフトストロークを検出しただけでは、シフトが正しく行われたかどうかを判定できない。そのため、シフトストロークと同時に、シフト荷重の検出を行っている。

図5は、シフトペダル操作時のシフト荷重の変化を示したものである。一般に、シフトチェンジが成功した時は、シフト荷重の上昇途中に荷重の減少が見られる。しかし、シフトミス時にはシフト操作を解除するまで荷重が減少しない。よって、シフト荷重をシフトストロークと同時に検出することにより、シフトミスが発生したか否かを判別することが可能になる。そして、そのためには、エンジン振動下でシフト荷重の変化を検出できる精度の良いセンサが必要であった。

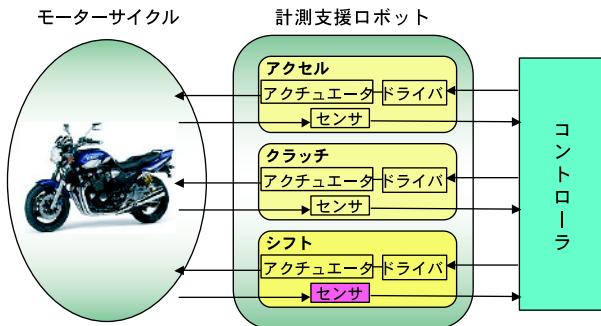
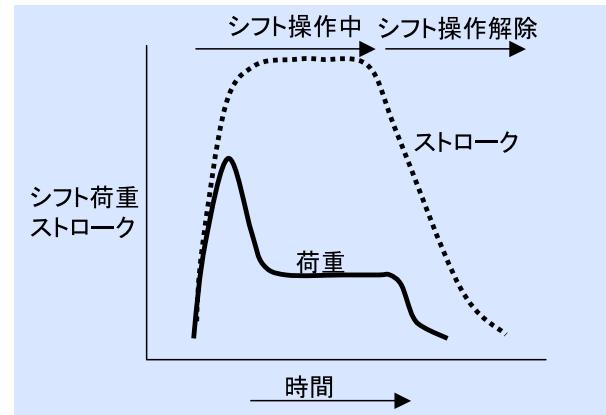
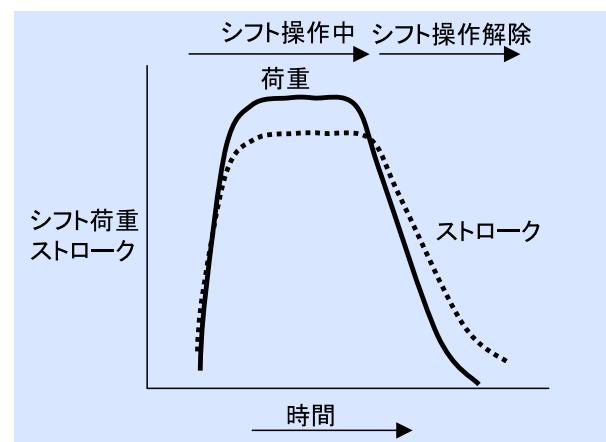


図4 計測支援ロボットの制御ブロック図



1) シフト成功時



2) シフトミス時

図5 シフト荷重の変化

4 初期型シフト荷重センサ（歪ゲージ式）

シフト荷重センサは、シフトペダルを動作させるリニアアクチュエータとシフトペダルをつなぐ連結棒に取り付けられている（図6）。このセンサは、シフト荷重を検出すると同時に、リニアアクチュエータとシフトペダルを連結する部材の役目も果たしている。

当初、市販の歪ゲージ式ロードセルを使用して、シフト荷重の検出を試みた。しかし、このセンサは検出感度が低かったために、制御に必要な精度が得られなかった。そのため、シフトミスを検出できない場合があった（図7-1）。

一方、感度を高めた仕様では、強度が十分でなかったために、短時間使用した後に折損した（図7-2）。さらに、このタイプのセンサは、自動運転中に折損すると、アクチュエータとシフトペダルが分かれてしまい、エンジン制御不能になってしまうという欠点があった。

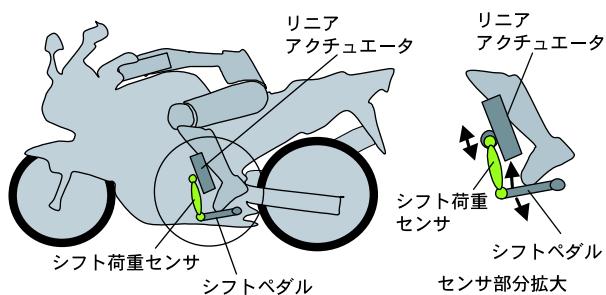
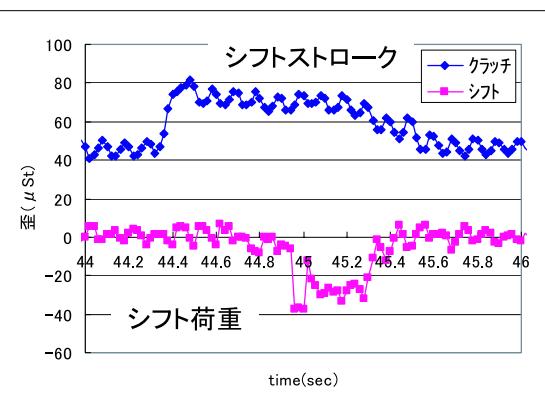
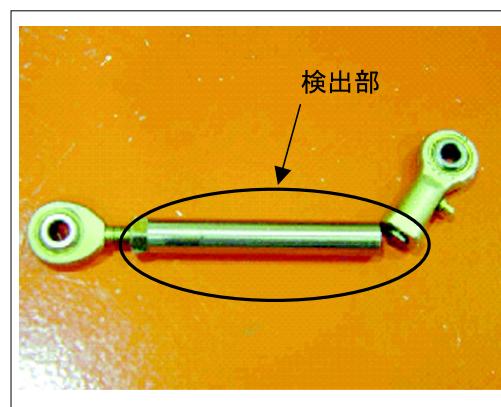


図6 シフト荷重センサのレイアウト



7-1 測定データ



7-2 破損した初期型センサ（約10時間使用後）

図7 初期型シフト荷重センサ（歪ゲージ式）

5 新型シフト荷重センサ（磁歪式）

5.1 磁歪式荷重センサ

歪ゲージ式センサの問題点を対策するため、新規に磁歪式荷重センサを開発した。図8は、新たに開発した磁歪式荷重センサの外観である。このセンサは、測定中の変位が極めて小さく応答性が良い。また、歪みゲージ式に比べてセンサ感度が高いため、耐荷重性に優れている。さらに、小型軽量であり、構造が簡単であるため低コスト化が可能である。

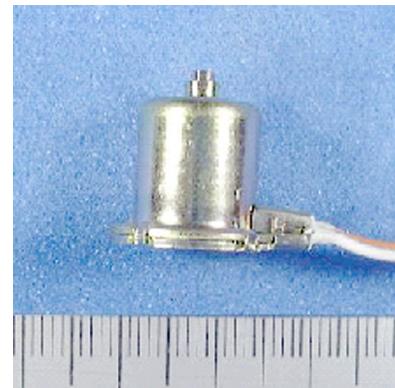


図8 開発された磁歪式荷重センサの外観

図9は、このセンサの荷重特性の一例を示したものである。この時のセンサの諸特性を表1に示す。

図10は、このセンサの耐久性を示したものである。センサに繰り返し一定の荷重を加えた場合、荷重が許容荷重以上の場合(A、B)には、センサ感度が繰り返し回数が増加するに連れて低下しているのに対し、許容荷重以下の場合(C、D)にはセンサ感度は、繰り返し回数 10^6 回まで低下は見られなかつた。

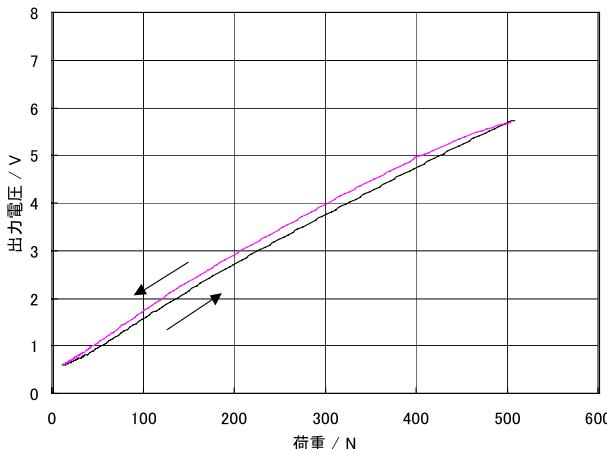


図9 荷重特性の一例

表1 磁歪式荷重センサの諸特性

許容最大荷重	800N
非直線性	3%
ヒステリシス	5%
温度特性	0.25mV/°C

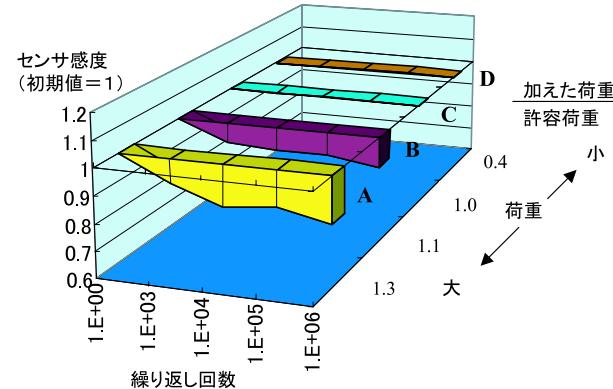


図10 繰り返し荷重試験結果

5.2 磁歪式シフト荷重センサユニット

我々は、このセンサを使用して新しいシフト荷重センサユニットを開発した。図11は、それを実機に取り付けた状態を示したものである。このシフト荷重センサは、初期仕様に比べて感度が高く、耐荷重性にも優れている。図12に磁歪式シフト荷重センサユニットの構造を示す。これは、磁歪式ロードセルをばねではさみ込んだ構造をしているため、衝撃や過荷重からセンサを保護できる。また、仮にセンサにトラブルが発生しても、センサホルダーが損傷することはないので、連結棒としての機能は維持される。よって、操作盤から手動モードでの遠隔シフト操作が可能である。

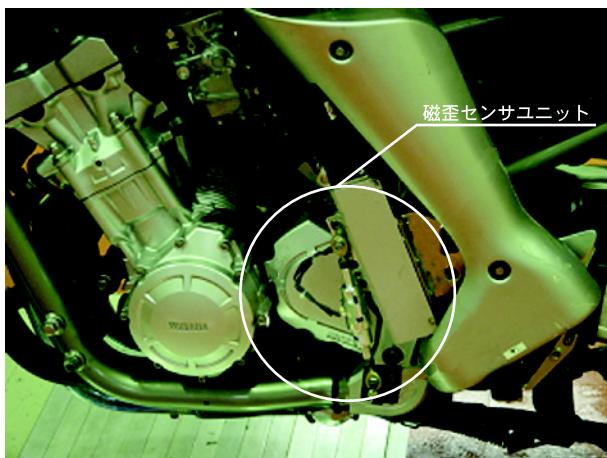


図11 新型シフト荷重センサ取り付け状態

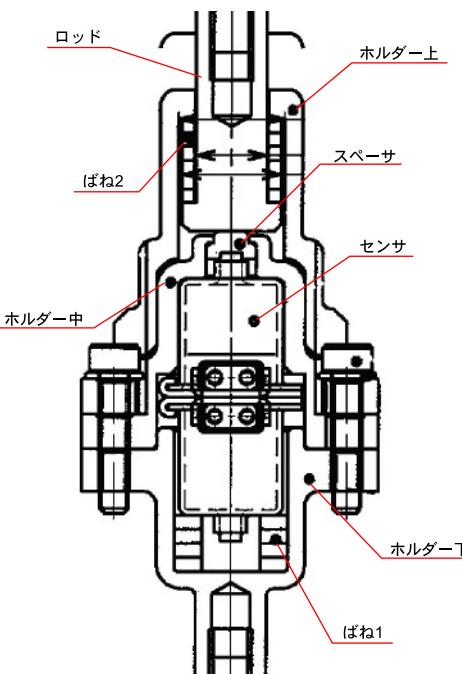


図12 センサユニットの構造

5.3 計測システムへの適用結果

図13は、新型荷重センサによって得られた荷重信号である。初期仕様と比較して、感度が向上したために、確実にシフトミスを検出できるようになり、この結果計測の自動化が可能になった。図14は、テストコース走行パターンの一例である。これまで、このシステムは、このような走行パターンの他、様々な走行パターンにおいても自動運転で使用され、現在も順調に運用されている。

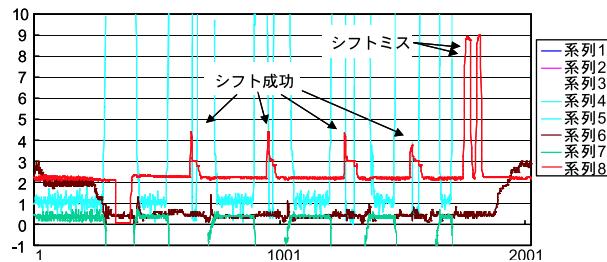


図13 磁歪式シフト荷重センサの測定結果

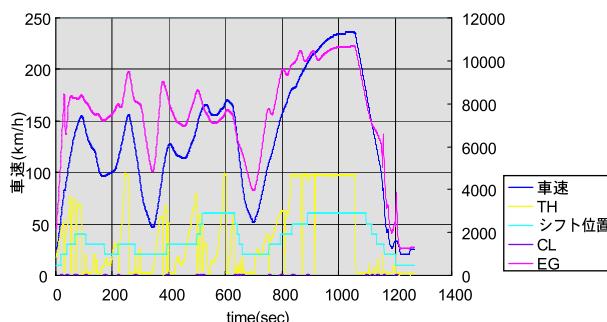


図14 テストコース走行パターン

6 おわりに

磁歪式シフト荷重センサの開発により、計測支援ロボットを使用したモーターサイクルの自動走行評価システムにおいて、課題であったシフトミスの検出が可能になった。このセンサは、2輪車に適用して、様々なパターンの走行評価に対応できており、制御に必要な感度と強度を備えていることを実証できた。

この計測システムは、商品化される計画もあり、今後、センサユニットの小型軽量化を進めていく。また、より信頼性を向上させてハードウェアとの互換性を高め、計測項目の多様化を図って行く予定である。

さらに、この磁歪センサは、小型軽量低コストであり、実用に充分な感度と強度及び応答性を兼ね備えており、本用途だけではなく、その他の制御システムに広く適用可能であると考えられる。よって、今後その可能性を追求していきたい。

■参考文献

- 1) Yutaka Mizuno, Kubota Tsuyoshi : Development of Magnetostriction-type Load Sensor for Measurement System Using Motorcycle Testing Robot, Yamaha MotorCo., Ltd. SAE World Congress , 2002.03.
- 2) 藤本, 井上, 山崎 : 二輪車におけるシフトフィーリングの定量解析と改善技術 , 本田技研 , Honda R&D Tech Review , 1990 Vol. 2.
- 3) 須田秀夫 : 二輪車のシフトフィーリングの定量化 , スズキ株 , 自動車技術 , 1997 Vol. 51.

高性能鍛造ピストン用アルミニウム合金の機械的性質

Mechanical Properties of Aluminum Alloys for High-performance Forging Pistons

小池 俊勝 Toshikatsu Koike ●研究創発センター応用プロジェクト開発室

技術論文

Abstract

A continuous cast aluminum alloy, AFC12 (Al-12Si-4Cu-0.5Mg) and powder metallurgical aluminum alloys, AFP10 (Al-10Si-5Fe-1Cu-0.5Mg-1Zr) and AFP20 (Al-20Si-5Fe-1Cu-0.5Mg-1Zr) were developed for high-performance forging pistons. Their mechanical properties at room temperature to 623K, corresponding to the temperature range in the practically working piston, were investigated in comparison with a conventional cast-piston alloy, JIS AC8A aluminum alloy. The mechanical properties were measured after forming under the condition for the piston forging. Room temperature hardness of the AFP10 and AFP20 changes scarcely even after exposition at the elevated temperatures. The AFP20 has higher tensile strength, proof stress and fatigue strength than the AC8A at whole temperature range investigated, while those of the AFC12 are higher than those of the AC8A at a temperature below 423K. It is concluded that the forging pistons of the AFC12 and AFP20 are expected to improve their performances at a low and whole working temperature ranges, respectively.

要旨

高性能鍛造ピストンのための連続鋳造アルミニウム合金 AFC12 (Al-12Si-4Cu-0.5Mg)、粉末アルミニウム合金 AFP10 (Al-10Si-5Fe-1Cu-0.5Mg-1Zr)、 AFP20 (Al-20Si-5Fe-1Cu-0.5Mg-1Zr) を開発した。各材料にピストン鍛造に相当する加工を付与した後に、ピストン使用温度域、すなわち室温から 623K における機械的特性を調べ、従来の鋳造ピストン合金 JIS AC8A アルミニウム合金の結果と比較した。 AFP10 と AFP20 の加熱保持後の室温硬さ変化はほとんどない。 AFP20 はすべての温度域において、また AFC12 は 423K 以下の温度域で AC8A に比べて高い引張強度、耐力、疲労強度を示す。以上の結果より、AFC12 を使った鍛造ピストンは低温域の、 AFP20 を使った鍛造ピストンはすべての温度域において、それぞれ高性能化が期待できる。

1 はじめに

エンジンの高出力化と燃費改善、排気ガス・騒音低減を高いレベルで満足させるため、ピストンにもより一層の軽量化と耐久性向上が要求されている。1920 年代にドイツで開発された Al-Si 系ピストン合金は、熱膨張係数が小さく、鋳造性が良好であることから、本合金を使った金型鋳造ピストンが高性能エンジン用ピストンにも主流で使われてきた¹⁾。しかし、金型鋳造ピストンは厳密な品質管理を行っても内部欠陥を皆無にはできないことや、鋳造性を阻害するような鉄、ニッケル等の耐熱性向上元素^{2),3)}を多くは添加できないことなどから、今以上にピストンの高機能化を行うには製造技術上の制約が多い。ダイカストや溶湯鍛造なども含め、今以上のピストンの軽量化、耐久性向上を行うには、鋳造ベースの技術で

は限界に達していると思われる。

一方、Al-Si 系ピストン合金は一般に鍛造性が悪く、結果的にコスト高になるとされ、量産ピストンの成形法として鍛造はほとんど使われていなかった。しかし最近、Al-Si 系ピストン合金を使って効率よくピストンの成形を可能にする新しい鍛造技術が実用化され⁴⁾、量産高性能エンジンへの鍛造ピストンの適用が今後一層広がるものと期待される。鍛造に使われる Al-Si 系ピストン合金素材としては、A4032 アルミニウム合金の押出素材が開発されている他に、より低成本で生産が可能な連続鋳造アルミニウム合金素材（以下、連鋳材）や、より高強度の素材が可能な急冷凝固アルミニウム合金粉末押出し素材（以下、粉末材）が候補として考えられる。Al-Si 系の連鋳材や粉末材は現在までにコンプレッサ部品⁵⁾やシリンダーライナ⁶⁾など、主に耐摩耗性を要求されるアルミニウム部品に実用化例がある。しかし、これらと比べて使用環境のきびしい高性能エンジン用ピストン素材としては、室温から高温までの広い温度域で強度と延性をバランスよく備えていることが要求される。

Al-Si 系の連鋳材や粉末材を高性能エンジン用鍛造ピストンに使用することを目的として、その諸特性を検討した報告は今までには見当たらない。今後、鍛造ピストンを広く実用化するためには、その特長を十分に生かした素材の選定が必要となり、鍛造加工性と同時に鍛造後のピストンとしての特性を十分に把握することが重要である。本研究では、そのような観点から新たに開発した Al-Si 系の連鋳材と粉末材について、鍛造ピストンに相当する変形付与後のピストン使用温度域における機械的性質の測定を行い、従来のピストン用金型鋳造アルミニウム合金素材（以下、金鋳材）である JIS AC8A アルミニウム合金素材との比較検討を行った。

2 実験方法

Fig.1 にピストン各部の名称を示す。4ストロークガソリンエンジンの高負荷運転時にピストン頭部は 523 ~ 623K、ランド部は 523K 程度、ピンボス部、スカート部は 423K 程度まで温度上昇することが知られている⁷⁾。エンジン回転数 6,800rpm で 360ks 連続運転するという 4ストロークガソリンエンジンの耐久試験条件を想定して、ピストンの使用温度域における硬さ変化、引張特性、疲労特性について測定を行った。

2.1 供試材料

実験用素材として連鋳材 (AFC12) と粉末材 (AFP10、AFP20) を用意した。また、比較材として金鋳材 (AC8A) を用意した。各合金の化学成分を Table. 1 に示す。連鋳材 (AFC12) には Al-Si 系鋳造合金に添加して強度向上効果が報告されている

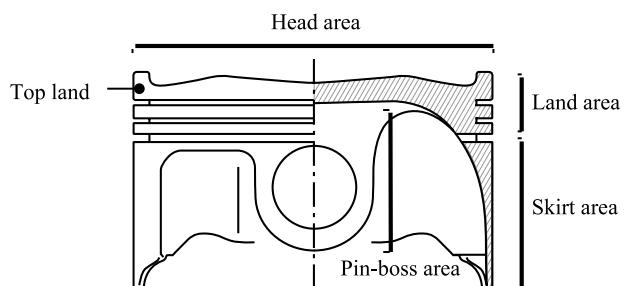


Fig.1 Schematic view of a 4-cycle engine piston

Table.1 Chemical compositions of prepared alloys

Alloy	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Ni	Cr	Zr	SiC	Al
AFC12	11.5	0.2	3.9	0.4	0.18	-	0.12	-	-	bal.
AFP10	9.8	2.1	1.0	0.45	-	-	-	1.0	-	bal.
AFP20	19.7	5.0	1.0	0.5	-	-	-	1.0	-	bal.
AC8A	11.8	0.2	1.0	1.3	-	1.2	-	-	-	bal.

$\text{Cu}^{8)}$ が多く添加されている。粉末材は、 Si 量の影響を調べるために、10mass% (AFP10) と 20mass% (AFP20) の二種類とした。これらの合金には Al-Si 系急冷凝固粉末合金に添加して強度向上効果が報告されている $\text{Fe}^{9)}$ が 5mass% と、 $\text{Zr}^{10),11),12),13)}$ が 1mass% 添加されている。粉末法による Al-Si 系合金では、晶出する Si 粒子が微細になりすぎて使用条件によっては十分な耐摩耗性を得ることができない¹⁴⁾ため、耐摩耗性を補う方法として 2mass% 程度の SiC 添加が有効である¹⁵⁾ とされている。従って、ピストン合金としてもセラミック粒子の複合化の可能性が考えられる。そこで、 SiC 粒子添加による強度特性への影響についても調べるために、平均粒径 5 μm の SiC をそれぞれに 2mass% 添加した粉末押出し素材 (AFP10SiC、AFP20SiC) も用意した。

それぞれの供試材料の作製工程を Fig.2 に示す。連鋳材 (AFC12) はミクロ偏析の改善を目的として鋳造後の丸棒 ($\phi 80$) に均質化処理 (763K に 21.6ks 加熱保持後炉冷) を施した。粉末材 (AFP10、AFP20) は 150 μm 以下に分級したエアアトマイズ合金粉末を原料粉末とし、外径 $\phi 80$ の丸棒へ熱間押出しした。各素材について、ピストンに鍛造成形して使用した場合を想定して、丸棒 ($\phi 80$) から切り出した円筒ビレット ($\phi 60$) を 703K に 3.6ks 加熱保持した後、 $\phi 20$ の丸棒へ熱間押出し鍛造して供試材料とした。この時の鍛造比 (断面積比) は 9 であり、ピストンのピンボス部の鍛造比に相当する。比較材の金鋳材 (AC8A) は JIS 舟形金型に鋳造した試料から $\phi 20$ の丸棒を削り出して供試材料とした。すべての供試材料は T7 処理 (溶体化処理: 763K に 14.4K に加熱保持後水冷、過時効処理: 473K に 14.4ks 加熱保持後空冷) を施した後に、試験片形状に機械加工した。

2.2 ミクロ組織観察

各供試材料のミクロ組織の観察を光学顕微鏡により行った。連鋳材、粉末材については鍛造によるミクロ組織の変化についても調べるために、鍛造前の素材のミクロ組織観察も併せて行った。観察はいずれも円筒横断面の中央部で行い、エッティングはケラ一液を用いた。

2.3 等温加熱処理後の硬さ変化

ピストンの使用温度域における機械的特性の安定性について調べるために、等温加熱処理後の室温硬さの測定を行った。各供試材料を厚さ 7mm の円板状に切断したものを試験片として用いた。ソルトバス中で 423K、523K、623K の各温度にそれぞれ 360ks 加熱保持した後、室温まで空冷した試料の硬さをロックウェル硬度計を用いて測定した。測定は 1 試料につき各 3 点行い平均値を求めた。

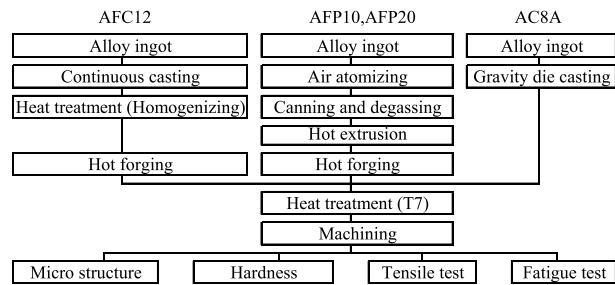


Fig.2 Fabrication process of AFC12, AFP10, AFP20 and AC8A alloys and experimental procedure

2.4 引張試験

ピストンの使用温度域における静的な強度特性について調べるため、室温、423K、523K、623Kにおける引張試験を行った。試験片の形状を Fig.3 に示す。試験は加熱保持用電気炉を装備したインストロン 1185 試験機を用いて、初期ひずみ速度 $5 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ で行った。高温における試験では、エンジンの耐久試験時間 360ks 加熱保持による強度低下を考慮にいれて、あらかじめソルトバス中で各試験温度に 360ks 試験片を加熱保持した後、試験機にセットし試験を開始した。各温度で2回ずつ試験を行い、引張強度、0.2%耐力、破断伸びの平均値を求めた。

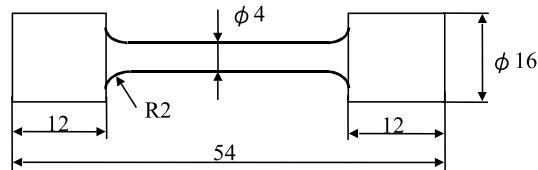


Fig.3 Specimen for tensile test

2.5 疲労試験

エンジン運転中にピストンリング、ピストンピン、シリンダー壁からそれぞれ繰り返し荷重がかかるランド部、ピンボス部、スカート部の使用温度域における動的な強度特性について調べるため、室温、423K、523K における疲労試験を行った。試験片の形状を Fig.4 に示す。試験は加熱保持用電気炉を装備した

小野式回転曲げ疲労試験機を用いて行った。4ストロークガソリンエンジンにおいてはエンジン回転2回に1回の割合で燃焼室内で爆発がおこる。エンジン回転数 6,800rpm の場合には1秒間に 57 回の頻度でピストンに爆発負荷がかかることから疲労試験の繰り返し速度は 57Hz とした。また、ピストンは往復運動をしており、同じ大きさの応力が正反対の向きに繰り返し発生すると考えられるため応力比は -1 とした。高温における試験では、引張試験と同様にあらかじめ各試験温度に 360ks 試験片を加熱保持した後、試験機にセットし試験を開始した。同一試験温度で 6 水準の応力値を設定し 1 応力水準あたり 2 回の試験を行った。測定データをもとに描いた S-N 曲線上から繰り返し数 2×10^7 回の時間強さを求めて疲労強度とした。アルミニウム合金の場合、繰り返し数 10^7 回の時間強さを疲労強度とするのが慣例となっているが、本研究においてはエンジン耐久試験条件（繰り返し速度 57Hz、時間 360ks）に相当する繰り返し数 2×10^7 回の時間強さを疲労強度とした。

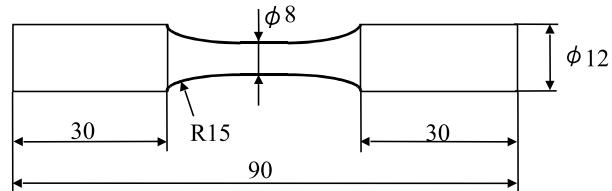


Fig.4 Specimen for fatigue test

3 実験結果および考察

3.1 ミクロ組織

Fig.5 に、連鉄材 AFC12 の (a) 鍛造前素材と (b) 鍛造後、粉末材 (c) AFP10 と (d) AFP20 の鍛造後、そして (e) 金鉄材 AC8A のミクロ組織を示す。連鉄材の鍛造前素材 (a) のマトリックスはデンドライト状の α と粒径 5 μm 程度の共晶 Si からなっており、粒径 20 μm 程度の初晶 Si と 10 ~ 30 μm の大きさの金属間化合物も観察される。鍛造後の (b) ではデンドライト状の α は観察されず、 α 中に共晶 Si が均一に分散したマトリックスになっている。金属間化合物は 10 μm 以下の大きさになっている。初晶 Si の粒径は鍛造前 (a) とほぼ同じであるが、デンドライト状の α や金属間化合物は鍛造時のせん断変形によって分断されたと考えられる。

粉末材は鍛造前後でミクロ組織に差が見られず鍛造前も (c)、(d) と同様のミクロ組織であった。(c)、(d) 共に α マトリックス中に粒径 1 ~ 5 μm の微細な Si 粒子が均一に分散した組織となっている。Si 粒子以外に、Al-Fe 系の化合物粒子も分散していることが EPMA による分析の結果確認された。Si 添加量の多い (d) AFP20 では、Si 粒子が AFP10 より多量に分散している。(e) のマトリックスはデンドライト状の α と共に共晶 Si から成っている。10 ~ 20 μm の大きさの金属間化合物もみられるが、初晶 Si は観察されない。

3.2 等温加熱処理による硬さ変化

各鍛造材および金鉄材を等温加熱処理した後の硬さ変化を Fig.6 に示す。加熱処理をしない T7 処理ままの室温硬さは、粉末材 AFP20、連鉄材 AFC12 の順に高く、粉末材 AFP10 と金鉄材 AC8A はほぼ同等の硬さである。そして 423K の加熱保持においては、いずれもほとんど硬さの低下はみられない。加熱保持温度が 523K 以上になると、AFC12 と金鉄材 AC8A では大幅な硬さの低下が見られ、両者の硬さの差も少なくなる。連鉄材と金鉄材の主たる強化の機構は Cu、Mg 添加による時効硬化であるため、時効温度 (473K) 以上の温度域では急速に軟化するものと考えられる。AFC12 は AC8A に比べて Cu の添加量が多いため、時効温度よりも低い温度においては高い硬さを示すと考えられるが、時効温度以上では θ' 相の粗大化に伴って硬さが低下すると共に、両者の差が少なくなると考えられる。

一方、粉末材の AFP10、AFP20 では、処理温度 523K 以上においても硬さの低下はごくわずかである。

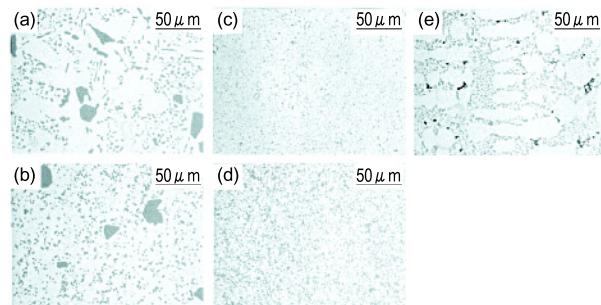


Fig.5 Microstructures of (a) AFC12 before forging, (b) AFC12 after forging, (c) AFP10 after forging, (d) AFP20 after forging and (e) AC8A as cast

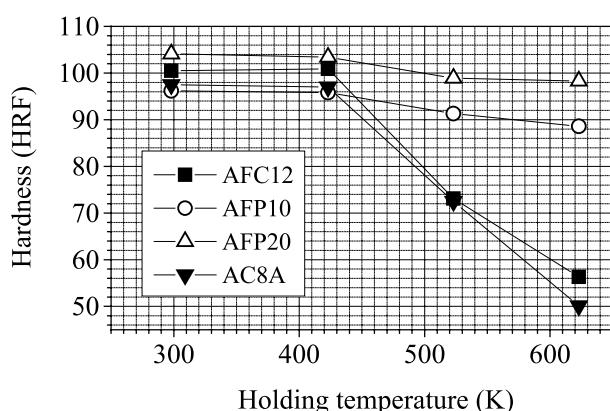


Fig.6 Hardness at room temperature after exposition for 360ks at various temperatures

粉末材においては主たる強化のメカニズムは急冷凝固およびその後の冷却過程で生成した準安定な微細化合物による分散強化であると考えられる。急冷凝固した Al-Fe および Al-Fe-Zr 合金における Al-Fe 系の準安定相は、623K 以下の温度域ではほとんど成長粗大化しない¹¹⁾ という報告がある。このことは上述の硬さの変化と対応するものである。粉末材において、623Kまでの加熱保持によっても大きな硬さの低下が認められないことは、ピストンの使用温度域において組織、すなわち機械的性質が安定していることを示しており、ピストンの信頼性や耐久性の向上につながると考えられる。

3.3 引張特性

室温から 623K における引張強度、耐力の測定結果を Fig.7、Fig.8 にそれぞれ示す。引張強度と耐力は同様の傾向を示しており、連鋳材 AFC12 と金鋳材 AC8A を比べると、前項の硬さと同様に、室温、423K においては AFC12 が 20 ~ 30 %高いものの、523K、623K においてはほぼ同等である。423K 以下において AFC12 が AC8A に比べて高い強度特性を示すのは、Cu 添加による時効硬化の増大によるものと考えられる。そして 523K 以上の温度域では、過時効によって時効の効果がほとんどなくなるため両者の差もなくなるものと考えられる。

粉末材について、AFP10 は室温において AC8A よりもかなり高い引張強度、耐力を示しているが、423K 以上ではその差はわずかである。また、連鋳材 AFC12 と比べると、室温、423K では AFC12 の方が強度特性が高いものの、523K 以上では僅かであるが AFP10 の方が高くなる。一方 AFP20 は室温から 623K までのすべての温度域において、他の材料よりも高い引張強度耐力を示している。特に 523 ~ 623K の高温域においては AC8A に比べ 30 %程度高い引張強度、耐力を示している。粉末材の強度向上の主な要因は、マトリックス中に微細に析出している金属間化合物の分散強化によるものである。 AFP20 は AFP10 に比べて Si 添加量が多く、分散強化に寄与する微細析出物の量が多いため、 AFP10 に比べて高い強度を示すものと考えられる。

前述のように、高負荷運転時におけるエンジン各部の温度上昇を考えると、室温～423K において金鋳材よりも 20 ~ 30 %高い引張強度、耐力を示す連鋳材を鍛造ピストンの素材とする場合、ピンボス部、スカート部の基本肉厚を 20 ~ 30 %低減できると考えられる。高性能エンジンでは軽量化のためスカート部長さを短くする傾向にあるが、過度に短くするとガイド機能を悪化させ、燃焼ガスのシール性や騒音などが悪化する。従ってスカート部の軽量化のためには強度の高い素材で薄肉化することが有効である。

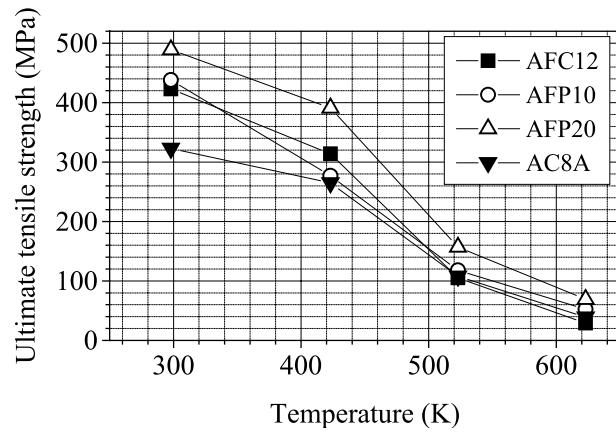


Fig.7 Ultimate tensile strength at various temperatures

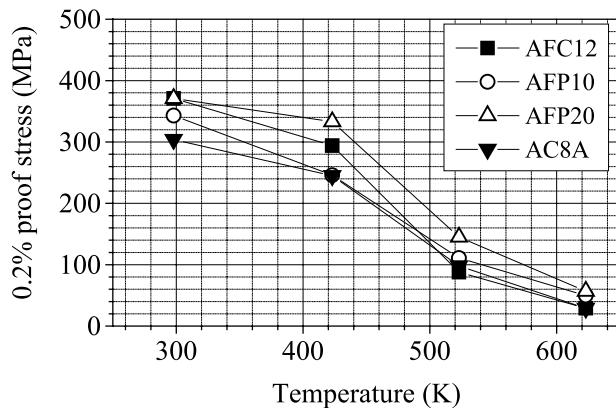


Fig.8 0.2% proof stress at various temperatures

と考えられる。さらに、粉末材 AFP20 を素材とする場合には、ピストン頭部やランド部の基本肉厚も AC8A と比べて約 30% 低減でき、ピストン全体の軽量設計が可能になる。

Fig.9 に室温から 623K における伸びの測定結果を示す。金鋳材に比べて強度特性の高い連鋳材や粉末材は、伸び特性にも優れていることが分かる。特に室温、425K において金鋳材の伸びが 1% 程度であるのに対して、連鋳材や粉末材は 3% 以上の伸びを示している。この理由としては、連鋳材は鍛造によりデンドライト組織が微細化されていること、粉末材では鍛造前から組織が非常に微細であることが考えられる。室温、425K においてある程度の伸びがある連鋳材や粉末材は、ピンボス部やスカート部の応力集中による破損が金鋳材 AC8A よりもおこりにくいと考えられる。

Fig.10、**Fig.11**、**Fig.12** に SiC を添加した粉末材 AFP10SiC、AFP20SiC の引張強度、耐力、伸びの測定結果を示す。SiC の添加量はわずか 2mass% で、強度特性には大きく影響しないが、むしろ強度特性と共に伸びを多少低下させる傾向がある。粉末材では必要に応じてセラミック粒子を自由に添加し、耐摩耗性の向上を図ることができるが利点として考えられるが、AFP20 のような高 Si 合金への SiC の添加は、引張強度や伸びを低下させるため成分の最適化をはかる必要がある。

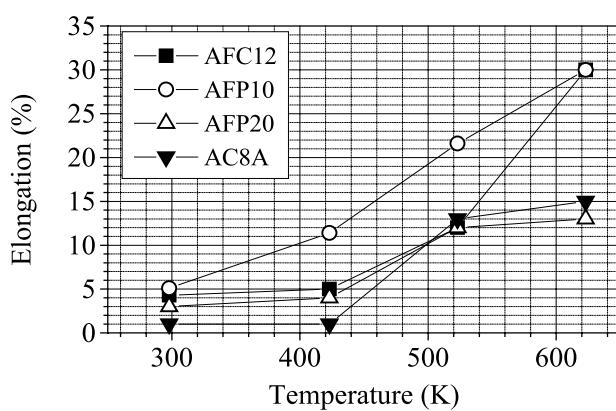


Fig.9 Elongation to failure at various temperatures

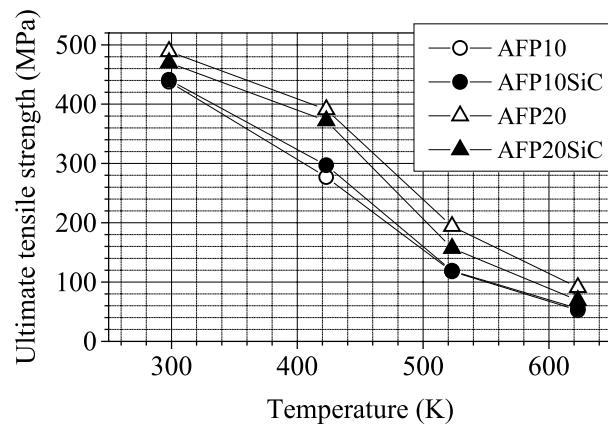


Fig.10 Ultimate tensile strength of SiC added powder alloy at various temperatures

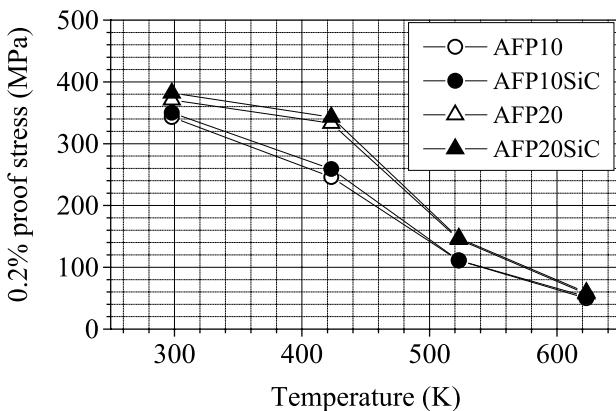


Fig.11 0.2% proof stress of SiC added powder alloy at various temperatures

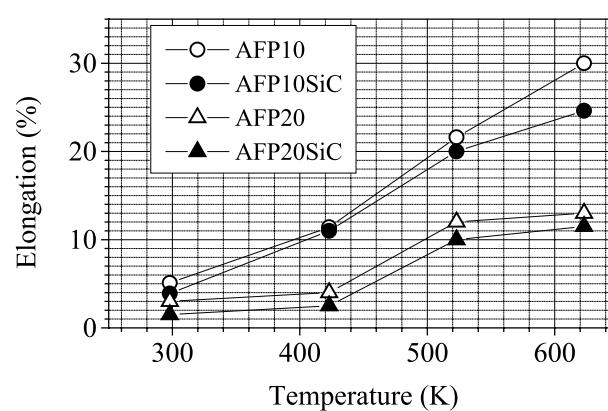


Fig.12 Elongation to failure of SiC added powder alloy at various temperatures

3.4 疲労特性

Fig.13 に連鉄材 AFC12 および粉末材の室温、423K、523K における疲労強度を金鉄材 AC8A と比較して示す。連鉄材 AFC12 の疲労強度は、室温、423K において AC8A に比べて約 30% 高いが、523K においてはほぼ同じ値に低下する。この両者の疲労強度の差は、前述の静的な引張強度の差を反映しており、やはり Cu の時効析出による効果と考えられる。また、鉄物合金においてはデンドライトアームスペーシング (DAS) が小さくなるに従って疲労強度が向上する¹⁶⁾ という報告があり、鍛造によって AFC12 の組織が微細になったことも疲労強度向上に寄与していると考えられる。

粉末材 AFP10 および AFP20 の疲労強度は、室温、423K においては金鉄材 AC8A に比べてやはり 20 ~ 40% 程度高くなる。そして 523K においては連鉄材 AFC12 のように低下することは無く、AC8A に比べて約 130 ~ 170% も高い値を示していることが大きな特長である。粉末材の疲労強度が高い主な要因は静的な引張強度の場合と同様に、冶金学的に安定した微細析出物の均一分散によるものと考えられる。さらには、過共晶 Al-Si 合金においては平均 Si 粒子間距離が小さくなるほど疲労強度が高くなる¹⁷⁾ ことが報告されており、粉末材では Si 粒子が微細に分散していることも寄与しているものと考えられる。

動的強度の観点からみても、連鉄材 AFC12 を鍛造ピストンの素材とする場合、ピンボス部、スカート部の基本肉厚を AC8A と比べ 20 ~ 40% 減らすことができる。さらに、ピンボス部においてはピストンピンとの接触部の面圧も 20 ~ 40% 高い応力値を許容する設計が可能になるため、ピストンピンの小径化によって往復慣性質量をさらに低減する効果も期待できる。

粉末材を素材とする場合、疲労強度の向上量に応じたピンボス部、スカート部の肉厚低減はもとより、さらに高温となるランド部の基本肉厚を、金鉄材 AC8A と比べ AFP20 で約 170%、AFP10 でも約 80% と大幅に減らすことが期待できる。さらに、ランド部におけるトップランド幅の短縮はデッドボリューム (トップランド、シリンダ壁、トップリング間で形成される燃焼に寄与しない無効容積) を小さくし、不完全燃焼により生成する排気ガス中の HC の低減効果も期待できる。

Fig.14 には SiC 添加粉末材の疲労強度を示す。疲労強度におよぼす SiC 添加の影響はほとんど見られないが、室温における AFP20SiC の疲労強度が AFP20 より約 10% 低くなっている。試験後の試料の破面観察では SiC を起点とするフィッシュアイ破面は観察されなかったが、表面近傍で SiC とマトリックス間に応力集中が生じ、疲労クラックが発生

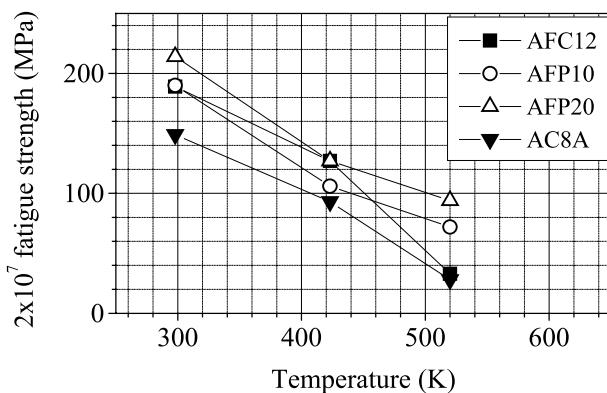


Fig.13 Fatigue strength at various temperatures

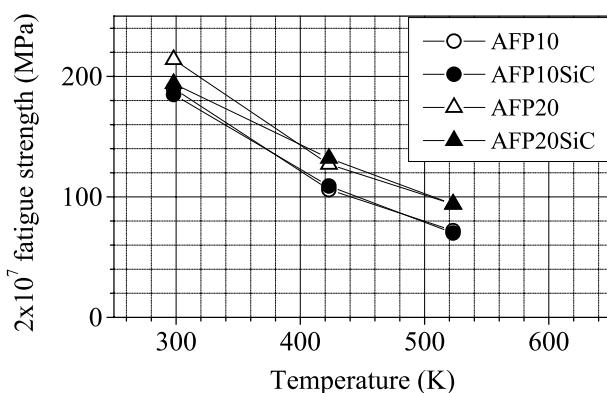


Fig.14 Fatigue strength of SiC added powder alloy at various temperatures

しやすくなっているものと考えられる。AFP20 のような高 Si 合金への SiC の添加は、室温の疲労強度を低下させるため成分の最適化をはかる必要があると考えられる。

4 おわりに

鍛造ピストンに使用することを目的として新たに開発した連続鍛造アルミニウム合金素材 AFC12 と急冷凝固アルミニウム合金粉末押し出し素材 AFP10、 AFP20 について、鍛造工程も考慮して高性能エンジンピストンの使用温度域における機械的性質の測定を行い、従来の金型鍛造アルミニウム合金素材 JIS AC8A との比較検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 粉末材は 623K までの温度において等温加熱後の硬さ変化がほとんどなく、ピストンの使用温度域において組織・機械的性質が安定していると予測される。
- (2) 連鑄材 AFC12 は AC8A に比べ室温、423K で高い引張強度、耐力、疲労強度を示すが、523K、623K ではほぼ同程度まで低下する。
- (3) 粉末材 AFP20 は室温～623K のすべての温度域で AC8A に比べて高い引張強度、耐力、疲労強度を示し、623K でも強度特性の低下が少ないことが大きな特長である。
- (4) 2mass% の SiC 添加は機械的性質に大きくは影響しないが、Si 量の多い AFP20 では引張強度や伸び、そして室温の疲労強度をわずかに低下させる。
- (5) 連鑄材の鍛造ピストンでは、スカート部、ピンボス部のような低温部の軽量化と耐久性向上が期待でき、粉末材による鍛造ピストンは、低温部はもちろんのこと、頭部やランド部のような高温部の軽量化と耐久性向上が期待できる。

最後に連鑄材の作製に御協力いただいた(株)ショウティック殿、粉末材の作製に御協力いただいた住友軽金属工業(株)殿にお礼申し上げます。

なお、本論文は、軽金属第 51 巻 第 5 号 (2001) に掲載された論文を加筆修正したものである。

■参考文献

- 1) 塩田 亘 : 軽金属, 21 (1971), 670.
- 2) 小宮山 芳郎, 内田邦彦, 郡市政広 : 軽金属, 28 (1978), 377.
- 3) J.A.Catherall and R.F.Smart : Metallurgia, 79 (1969), 247.
- 4) 小池俊勝, 山縣 裕 : プレス技術, 35 (1997), 71.
- 5) T. Hayashi, Y.Takeda, K.Akechi and T.Fujiwara : SAE Technical Paper No.900407, SAE, (1990).
- 6) E.Koya, Y.Hagiwara and S.Miura : SAE Technical Paper No.940847, SAE, (1994).
- 7) 鈴木吉洋 : 自動車用ピストン, 山海堂, (1997), 41.
- 8) 山本龍太郎, 田多井 明, 本郷民雄, 友弘一郎 : 軽金属, 18 (1968), 155.
- 9) 申 熙澤, 菅又 信, 金子 純一 : 軽金属, 42 (1992), 38.
- 10) M.H.Jacobs, A.G.Doggett and M.J.Stowell : J.Mat.Sci., 9 (1974), 1631.
- 11) 神尾彰彦, 手塚裕康, 鈴木 聰, Than Trong Long, 高橋恒夫 : 軽金属, 37(1987), 109.
- 12) 山内重徳, 渋江和久, 佐野秀男, 伊藤清文, 犬丸 晋 : 軽金属, 37 (1987), 704.
- 13) 桜井喜宣, 福島康博, 手塚裕康, 村上 雄, 神尾彰彦 : 軽金属, 41 (1991), 847.
- 14) 大久保喜正, 渋江和久, 山内重徳, 犬丸 晋 : 軽金属学会第 73 回秋季大会概要, (1987), 103.
- 15) 大久保喜正, 佐野秀雄, 犬丸 晋 : 住友軽金属技報, 32 (1991), 102.
- 16) 斎藤莞爾, 竹内勝治 : 住友軽金属技報, 28 (1987), 193.
- 17) 伊藤清文, 竹島義雄 : 軽金属学会第 68 回春季大会講演概要, (1985), 103.

●著者



小池 俊勝

唾液アミラーゼ活性は ストレス推定の指標になり得るか

Is Saliva an Index for Stress Level?

水野 康文 Yasufumi Mizuno 山口 昌樹 Masaki Yamaguchi ^{※)} 吉田 博 Hiroshi Yoshida ^{※※)}
●研究創発 C. コア技術研究室ダイナミクス G, ^{※)}富山大学 工学部 物質生命システム工学科,
^{※※)}ニプロ（株）総合研究所

Abstract

More than half a century has passed since Hans Selye defined “stress” as the body’s response when a human being is subjected to an outside stimulus. However, no one has yet proposed an index for making quantitative evaluations of stress. The authors of this report focused on the changes in activation of α -amylase in the saliva and attempted to detect psychological stress in tests with six normal subjects. As the psychological stressor, the Kraepelin Test was used. These tests resulted in the observation of relatively rapid response in the activation values when the subjects were subjected to a stress load. Also, when graphed, the slope of the line of the activation values against time is consistent with the eustress and distress response. What’s more, when the overall protein content of the saliva was measured simultaneously to study the effect of the saliva secretion flow, we were able to verify that changes did occur in the level of activation of α -amylase as a result of stress. This shows that α -amylase in the saliva is indeed a viable marker substance for making quantitative evaluations of stress.

要旨

ハンス・セリエが「ヒトが外界から刺激を加えられたときに生体に生じる反応」をストレスと呼んでから既に半世紀以上が経過した。しかし、ストレスを定量的に評価できる指標は今だ考案されていない。筆者らは、唾液中の α -アミラーゼ（唾液アミラーゼ）の活性変化に着目し、健常被検者 6 名を対象とした実験により精神的ストレスの判別を試みた。精神的なストレッサーとしてはクレペリンテストを用いた。その結果、ストレス負荷に対して活性値の比較的速い応答が観察された。また、快適、不快のストレス反応に対応して活性値の時間勾配の符号が正負に反転した。さらに、活性値と唾液総タンパク量を同時測定することによって唾液分泌流量の影響を検討したところ、ストレスに起因した唾液アミラーゼ活性の変化が確認できた。これらより、唾液アミラーゼはストレスを定量的に評価するための有効なマーカー物質であることが示された。

1 はじめに

1935 年、ハンス・セリエが「生体が外界から刺激を加えられたときに生体に生じる反応」をストレスと呼んでから既に半世紀以上が経過した^{1,2)}。しかし、ストレスの定量的評価を可能とする指標は今だ考案されていない。これは、ストレスが非常に複雑なメカニズムに起因して現れるものであり、ヒトによって刺激に対する感じ方が異なるだけでなく、同じヒトでも快適なストレス（eustress）・不快なストレス（distress）や、精神的ストレス・肉体的ストレス等多様な反応があることにも起因している。

生理学的には、脳がストレスを認知することによって、①交感神経の緊張による副腎髄質からのカテ

コールアミンの放出と、②視床下部-脳下垂体-副腎皮質系の活動の亢進によるコルチゾールの分泌亢進という2つの応答が生ずることが知られている³⁾。カテコールアミンとコルチゾールは「ストレスホルモン」と呼ばれ、血液中に放出される。これらストレスホルモンが心拍や血糖の上昇を促進することによって、生体のストレス対応能力を高める。したがって、血液中のストレスホルモン濃度を測定すればストレスをある程度定量的に捉えることができるとされている^{4,5)}が、その一方で、採血や「採血される」という予期や不安自体がストレスになることも指摘されていることから、血液以外の唾液や尿を用いた評価方法が検討されている^{6,7)}。その中で、唾液は、①被検者に心理的、肉体的苦痛を与えることなく随時に採取でき、②量的にも充分得られ、③特別な前処理を必要としないなど、血液や尿に比べて多くの長所がある。しかし、唾液中のホルモン濃度はnM (nmol/L)オーダーと非常に低いので定量計測自体が困難であることから、汎用性のある技術として実用化されていないのが現状である。

筆者らは、簡便な装置で場所や状況に左右されず、ストレスに対する生体反応（以下、ストレス反応）を定量的に評価する技術を確立するためのマーカー物質として、消化酵素のひとつである唾液中の α -アミラーゼ（以下、唾液アミラーゼと略す）の活性変化に着目している。唾液アミラーゼは、通常唾液中に40mg/dlという高濃度で存在するため、実用的なストレス評価のためのマーカー物質としてだけでなく、酵素電極法を利用して携帯可能なセンサを開発することによって、ストレス反応の連続計測の実現も期待できる。唾液アミラーゼとストレスホルモンとの関係については、アドレナリン等に関する報告が散見される⁸⁾。また、交感神経の緊張によるカテコールアミンの放出は、コルチゾールよりもストレスに対する反応性が高いため、微弱なストレスの早期検出に適していることが知られている。したがって、唾液アミラーゼによって交感神経の緊張によるストレス反応を捉えることができれば、反応性の高い実用的なストレス評価技術の確立が期待できる。そこで、本論文では、最初に、精神的ストレスの評価物質として唾液アミラーゼを用いることの妥当性を知るために、ストレス反応と唾液アミラーゼ活性との相関を実験的に検証した結果について述べる（Study 1）。次に、唾液分泌流量がストレス負荷時の唾液アミラーゼ活性の変動に与える影響を知るために、唾液アミラーゼ活性と唾液中の総タンパク量（以下、唾液総タンパクと略す）を同時測定した結果を報告する（Study 2）。

2 対象及び方法

2.1 Study 1（精神的ストレス）

ヒトは、日常生活においても常に様々なストレスを感じているため、ストレス反応の評価においてはこの被検者毎に異なるプリストレスの取り扱いがしばしば問題となる。そこで、日常のストレスを取り除いて、プリストレスの状態を作り出すために、精神的ストレスを負荷する前に、ストレス緩和を目的したマッサージを行った。

図1に実験プロトコルを示す。被検者は、全身疾患がなく薬物の投与を受けていない健常者6名（男性3名、女性3名、年齢22.2±0.9歳、mean±S.D.）である。被検者には、実験の趣旨を十分に説明し理解させて同意を得た。電動式の指圧子が

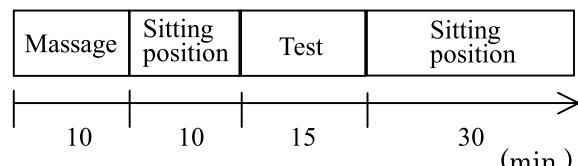


図1 精神的ストレス評価に用いた実験プロトコル
Test:クレペリンテスト

内蔵された長椅子(EP1800、松下電工株)を使用し、被検者に10分座位をとらせて腰と背にマッサージを施した。この間、被検者にマッサージが快適か否かを問診した。その後、少し落ち着かせるために軽快な音楽環境下(Mariah Carey, 1994, SONY MUSIC ENTERTAINMENT INC.)で10分安静座位をとらせた。次に、クレペリンテスト(Kraepelin Psychodiagnostic Test)を15分行わせた後、座位を30分取らせた。クレペリンテストは、簡単な一桁の足し算を数十分間行う心理検査のひとつであり、通常は性格などの検査に用いられる。本研究では、精神的なストレッサーとして用いた。実験の間、毛細管現象を利用して唾液を能動的に吸引することを目的に試作した使い捨て式の唾液採取器具⁹⁾を用い、味覚刺激などを与えないで口腔内に自然に貯留した非刺激唾液を5分間隔で毎回1～2分かけて1μLを経時に採取した。この実験は、朝食の後十分な時間をおき、午前10時から12時の間に実施した。

アミラーゼの活性値の測定は、血液を検体として試薬を用いた方法でルーチン化されている。しかし、唾液アミラーゼ活性は血中アミラーゼ活性に比べて非常に高い。そのため、市販の血液用測定試薬の測定範囲を越えているために、そのまま用いることはできない。そこで、まず採取した唾液を生理食塩水で100倍に希釈した。次に、検体と共に酵素法試薬(ESPA AMY-FS、ニプロ株)の計量と混合を行い、37℃で加温し、その後に波長405nmでの吸光度を計測することによって活性値を測定した。アミラーゼ活性は、1分間に1μmolのマルトースに相当する還元糖を生成する酵素量を1単位(U)として示した。以下、測定結果はmean±S.D.で示す。

2.2 Study 2 (流量との関係)

唾液中に含まれる化学物質濃度は唾液分泌流量の影響を受けることが多く、唾液アミラーゼでも唾液分泌流量に比例してその活性が増加することが知られている。これは、耳下腺由来の唾液アミラーゼ活性が顎下腺由来のものに比べて4倍も高く、かつ強い分泌刺激では全唾液量に対して耳下腺唾液の割合が大きくなるためと説明されている¹⁰⁾。また、唾液分泌は交感および副交感の自律神経の調節を受けており、唾液アミラーゼの主な供給源は耳下腺であり、その分泌は交感神経支配である¹¹⁾。

すなわち、唾液アミラーゼ活性変化の主要因としては、図2に示すように①ストレスに起因し、交感神経を介する耳下腺唾液アミラーゼ産生・分泌の増減(細胞膜の一部がシャボン玉のようにふくれ、ちぎれる現象で“エキソサイトシス(開口分泌)”という)、②耳下腺唾液の全唾液量に対する割合の変化に起因した唾液分泌流量の変化による見かけ上の増減、の2つが考えられる。したがって、「唾液腺の腺房細胞におけるアミラーゼ産生とその分泌がストレスによっても影響を受け、その結果唾液アミラーゼの活性が変化する」という仮説を検証するた

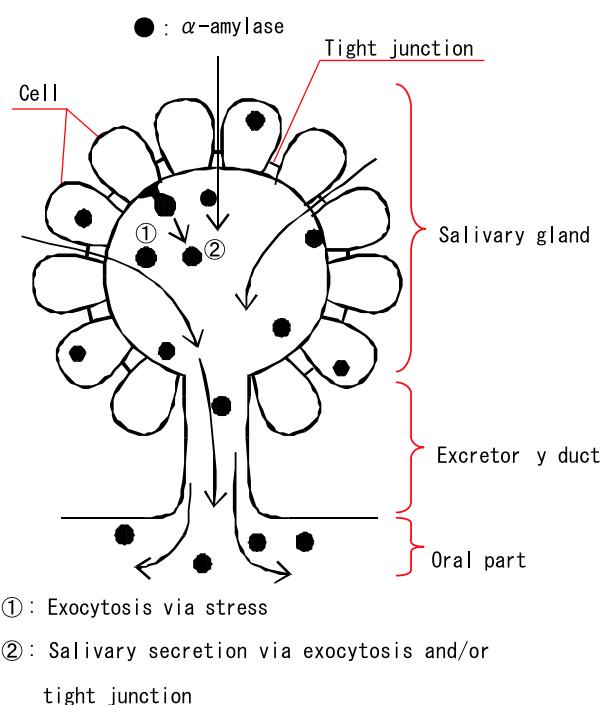


図2 耳下腺における唾液アミラーゼの分泌メカニズム

めには、唾液分泌流量の影響をできるだけ受けない条件下でその作用を確認する必要がある。

ヒトに余分なストレスを与えることなく唾液分泌流量を測定する事は非常に困難であるが、口腔生理学において唾液中に含まれる総タンパク量（唾液総タンパク）は唾液分泌流量と良好な相関を示すことが知られている¹²⁾。そこで、咀嚼や味覚刺激を与えない条件下で、かつ唾液分泌流量があまり変化しない程度の弱い精神的ストレスを負荷することによって唾液分泌流量の影響をできるだけ小さくしておき、採取した唾液から唾液アミラーゼ活性（AMYa）と唾液総タンパク（TP）を同時に測定し、これらのストレス負荷に対する変化を測定した。

被検者は、Study 1 と同一の健常者 6 名である。図 3 に、唾液アミラーゼ活性と唾液総タンパクの同時測定プロトコルを示す。各被検者に対し、マッサージによるリラクゼーション（ストレス緩和）直後の唾液と、クレペリンテストによるストレス負荷直後の唾液を各々 3 回採取し、唾液アミラーゼ活性と唾液総タンパクを測定した。唾液総タンパクを測定には、ピロガロールレッド（PR）モリブデン（MO）錯体発色法¹³⁾に基づく発色試薬（マイクロ TP-AR、和光純薬工業株）を用いた。

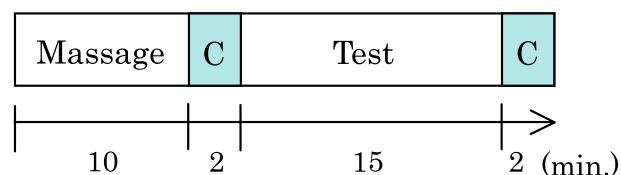


図 3 ストレスと唾液アミラーゼ活性、唾液総タンパク各々の関連性評価のための実験プロトコル

3 結果

3.1 Study 1 (精神的ストレス)

図 4 には、健常被検者における唾液アミラーゼ活性の経時変化の 2 例（A, C）を示す。マッサージを快適と回答した被検者では、マッサージにより唾液アミラーゼ活性が徐々に下降した。一方、不快と回答した被検者では、マッサージによって唾液アミラーゼ活性が上昇、下降を繰り返し安定しなかった。マッサージ後の座位（安静時に相当）における唾液アミラーゼ活性は、 $AMYa = 120.2 \pm 79.9 \text{ kU/L}$ の範囲にあるものの、被検者による差が比較的大きかった。

次に、個人の $AMYa$ の変化のパターンの着目するために、唾液アミラーゼ活性の時間勾配 $AMYg$ を定義した。 $AMYg$ はクレペリンテストによって全ての被検者で上昇し、一方テスト後に座位をとらせることによって $0 \text{ U/ (L} \cdot \text{min.)}$ に収束した。

また、ストレスを加え始めてから唾液アミラーゼ活性が最大値を示すまでの時間は 8.5 ± 3.7 分であった。その後、唾液アミラーゼ活性が最大値を示してから初期値に復帰するのに要する時間は 21.8 ± 6.4 分であった。

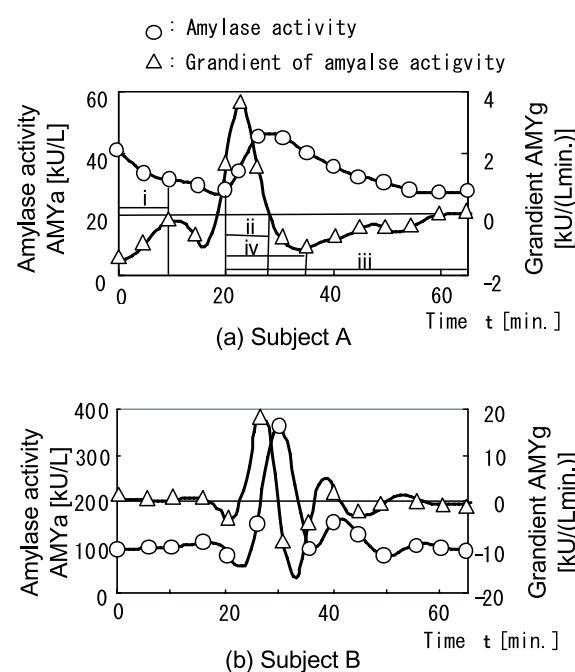


図 4 唾液アミラーゼ活性とその時間勾配の経時変化例
(被検者 A, C) i ~ iv の定義は、表 1 で後述

3.2 Study 2 (流量との関係)

唾液アミラーゼ活性 (AMYa)、唾液総タンパク (TP) 各々について、リラクゼーション時とストレス負荷時の 2 群間の差異を Mann-Whitney 検定を用いて評価した。Mann-Whitney 検定は、母集団の分布が未知の場合において、独立 2 群の平均値を検定するためのノンパラメトリック検定法のひとつである。その結果、AMYa には 2 群間の差異が認められたが ($p = 0.04$)、TP には差異は認められなかった ($p = 0.55$)。

4 考察

表 1 には、提案したストレスの定量評価値標を、表 2 にはこの定義から求めた被検者 6 名のストレス値を示す。絶対値による評価では、快適、不快の差が明確でなく、その判別が容易ではない。それに対して、時間勾配を用いると快適、不快のストレス反応に対応して符号が逆転する。この結果は、ストレス評価指標としては、唾液アミラーゼ活性の絶対値よりもその時間勾配のように、個人の変化パターンに着目した評価法が適することを示す。また、ストレスを加え始めてから唾液アミラーゼ活性が最大値を示すまでの時間は 10 分以内、復帰するのに要する時間は 20 分程度であり、ストレス負荷に対して比較的速い応答が観察された。

唾液アミラーゼ活性と流量との関係においては、リラクゼーション時とストレス負荷時の 2 群間で唾液アミラーゼ活性には有意差が認められ、唾液総タンパク、すなわち流量では有意差が認められなかった。これにより、唾液分泌流量が変化しない条件下においてもストレスに起因するエキソサイトーシスによって唾液アミラーゼ活性が変化することが確認された。

マッサージを快適と回答した被検者では、唾液アミラーゼ活性が徐々に下降したことからストレス緩和の効果が認められたが、マッサージを不快と回答する被検者も存在することから、被検者毎にプリストレス状態を作り出すための適切なストレス緩和方法を選定する必要があると考えられる。これは今後の課題のひとつである。

表 2 被検者 6 名の唾液アミラーゼ活性側的結果

Subject	Absolute value [kU/L]		Gradient [kU/(L · min.)]		Inquiry *
	Eustress	Distress	Eustress	Distress	
A	34.8	39.1	-1.15	3.56	C
B	42.2	51.7	-2.43	1.17	C
C	95.2	254.7	-64.88	70.94	UC
D	223.6	296.0	-44.00	27.04	UC
E	205.4	217.9	-16.29	15.42	C
F	10.6	15.3	-0.66	1.71	C
Mean	120.2	171.8	-25.8	23.6	
± S.D.	± 79.9	± 106.2	± 24.9	± 25.4	

*C:comfortable, UC:uncomfortable

表 1 定量評価に用いたストレス指標

Absolute value	Eustress:Mean value of the massage period, i Distress :Mean value of the mental stress period, ii
Gradient	Eustress:Maximum negative gradient after the mental stress period, iii Distress :Maximum positive gradient during the mental stress period, iv

5 おわりに

健常者を対象として、唾液アミラーゼ活性と精神的ストレスの相関を実験により検証した。その結果、唾液アミラーゼがストレス評価のための有効なマーカー物質であることが確認された。唾液アミラーゼには、ストレス負荷に対して比較的速い応答が観察された。また、快適、不快のストレス反応に対応して唾液アミラーゼ活性の時間勾配が正負に反転する現象が観察されたことから、個人の変化パターンに着目した評価法が有効であることが示された。さらに、唾液アミラーゼ活性と唾液総タンパクを同時測定することによって唾液分泌流量の影響を検討したところ、ストレスに起因するエキソサイトーシスによって唾液アミラーゼ活性が変化することが確認された。

医学分野の専門家として、特に生理学的観点から多くの貴重な助言を賜ったヤマハ健康管理センター所長の倉田千弘博士に謝意を表する。

■参考文献

- 1) H. Selye, T. McKeown: Studies on the physiology of the maternal placenta in therat, Proc. Roy. Soc., Lond., CXIX-B, 1/31 (1935)
- 2) ハンス・セリ著, 細谷 東一郎訳: 生命とストレス, 工作舎, 東京 (1997)
- 3) 日本比較内分泌学会編: ストレスとホルモン, 学会出版センター, 東京 (1997)
- 4) 伊藤 真次, 熊谷 朗, 出村 博: 情動とホルモン, 中山書店、東京 (1997)
- 5) 日本比較内分泌学会編: からだの中からストレスを見る, 学会出版センター, 東京 (2000)
- 6) R. F. Vining, R. A. Mcginley, J. J. Maksyvitis, and K. Y. Ho : Salivary cortisol: a better measure of adrenal cortical function than serum cortisol, Ann. Clin. Biochem., 20, 329/335 (1983)
- 7) 織田 弥生, 中村 実, 龍田 周, 小泉 祐貴子, 阿部 恒之: 就労者の唾液中・尿中コルチゾー標準値作成の試みとその有用性の検討, 人間工学, 36, 287/297 (2000)
- 8) R. T. Chatterton Jr., K. M. Vogelsong, Yu-cai Lu, A. B. Ellman, G. A. Hudgens : Salivary α -amylase as a measure of endogenous adrenergic activity, Clinical Physiology, 16, 433/448 (1996)
- 9) 山口 昌樹, 佐藤 太亮, 畠山 豊正, 大久保 雅通: 唾液式非侵襲血糖測定器の携帯化と評価, 医用電子と生体工学, 38, 127/133 (2000)
- 10) N. Jenkins : The Physiology and Biochemistry of the Mouth (4th ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, 284/359 (1978)
- 11) R. L. Speirs, J. Herring, W. D. Cooper, C. C. Hardy, C. R. K. Hind : The influence of sympathetic activity and isoprenaline on the secretion of amylase from human parotid gland, Arch. Oral Biol. 19, 747/751 (1974)
- 12) J. O. Tenovuo 著, 石川 達也, 高江州 義矩 監訳: 唾液の科学, 一世出版, 東京, 1/20 (1998)
- 13) 吉崎 英清, 大澤 進: 金属キレート化合物を用いた新しい尿中たん白測定法の検討, 衛生検査, 35, 1171/1176 (1986)

競泳用プールの水浄化に関する数値解析

Numerical Analysis of the Scavenging Flow in Swimming Pool Filtration

田中 廣 Hiroshi Tanaka
●研究創発 C. コア技術研究室 パワーソース G

Abstract

Using two different types of flow analysis codes, SCRYU/Tetra and AVL/FIRE, we conducted analysis to estimate the distance to which input flow of filtration water in a competition swimming pool would reach, estimates of the filtration scavenging flow patterns using a simple model, analysis of the effects of different filtration input and drain locations and a filtration analysis based on 1/3 section model. As a result of these numerical analyses we found the originally planned distribution of numerous input and drain mouths in the walls along the long sides of the pool would result only in circulation in the areas near hose walls and not accomplish effective filtration of the pool as a whole. It was also found that there was a dramatic improvement in filtration-related water scavenging (circulation) performance to when the input and drain mouths were placed at larger intervals while maintaining the same overall pumping capacity.

Bases on the result of these analyses, we changed the positioning of the input and drain mouths. When the pool was completed, it was found that the resulting filtration system performed its desired effect and the water of the pool achieved an unprecedented level of water purity.

要旨

タイプの異なる流体数値解析コード、SCRYU/Tetra および AVL/FIRE を用い、競泳用プール給水噴流の到達距離予測、簡易モデルによる浄化流れ予測、給取水口配置変更の影響解析、1/3 区画モデルの浄化解析を実施した。これらの数値解析により、小規模多数の給水口と取水口をプール長辺に沿って分散配置する当初計画では、長辺壁面の近傍だけで循環流が形成されてしまい、プール全体の浄化は達成できないことが分かった。また合計ポンプ能力を維持したまま給水口と取水口の間隔を大きくすると、浄化に関わる水置換の促進に顕著な効果があることが認められた。

これらの解析結果を踏まえ、給水口と取水口の配置が変更された。完成した競泳用プールでは浄化装置が本来の機能を発揮することができ、前例のない高いレベルの清浄度が達成できた。

1 はじめに

近年あらゆるスポーツで記録向上のために科学的アプローチが盛んに行なわれるようになり、競泳においても水中映像を活用したフォーム研究が効果的なトレーニングに欠かせなくなっている。一方、オリンピックを初め大規模な競技大会では商業主義化傾向が一般化し、「見せるため」の映像を求める要求が高まっている。フィールド外周にレールを布設してカメラを走らせるとも、水中カメラで競泳のターンシンやシンクロ演技をテレビ放映することも今やごく当たり前の事になった。

ヤマハ発動機(株)が受注した2001年世界水泳選手権大会(7月・福岡)向け公認プールでは、既設展示会場の平床に据え置く工法を探るために取水口等をプール底に配置することができず、浄化のための水置換は側壁からの給取水によって形成される流れに頼らざるを得なかった。特にプール中央部では淀みが生じて浄化の障害となり、透明度が低下して水中撮影に支障がでる懸念があった。当該大会は汎用会場での開催であるためプール設置工事期間が限定されており、着工後の改修は事実上できないので、CFD(計算流体力学、流体数値解析)による予測に基づいて改良仕様の採否検討を実施した。

2 給水噴流の到達距離

プールの浄化を検討するとき、まず給水口から吐出する流れがどこまで到達するかに关心があった。壁面の穴から静止流体中に流れが吹き出す自由噴流に関しては H.Schlichting の著書¹⁾に記述があり、その理論モデルを参照して給水に伴う流れ場を推定した。

円形噴流を仮定し、壁面の噴口中心に原点、噴流軸に沿って x 軸、ラジアル方向に y 軸をとると、中心流速は x に反比例する。流速がその軸方向距離での中心流速の 1/2 に等しいラジアル距離を噴流の半幅 B と定義すると、B は x に比例する。

噴流の強さの指標として単位密度当たりの吐出運動量 $K[m^4/s^2]$ を導入すると、流速の x 成分 u は

$$u = (3/8 \pi) (K/\varepsilon x) (1 + \eta^2/4)^{-2} \quad (1)$$

$$\eta = (1/4) \sqrt{(3/\pi)(\sqrt{K/\varepsilon})(y/x)} \quad (2)$$

$$y = B \text{ では } (1 + \eta^2/4)^{-2} = 1/2 \text{ だから } \eta = 1.287 ;$$

$$B = \eta x / \{(1/4) \sqrt{(3/\pi)(\sqrt{K/\varepsilon})}\} = 5.268x / (\sqrt{K/\varepsilon}) \quad (3)$$

H.Reichardt の実験によれば、

$$B = 0.0848x \quad (4)$$

ゆえに、

$$\varepsilon / \sqrt{K} = 0.01610 \quad (5)$$

$$\eta = 15.17(y/x) \quad (6)$$

浄化装置の流量 $90m^3/h$ のうち $1/3$ を $\phi 80$ の給水口から注入するとき、出口平均流速 $1.66m/s$ として

$$K = 2\pi \int (u uy) dy = 0.01385 \quad (7)$$

これを代入して、

$$u = 0.8725(1/x) (1 + \eta^2/4)^{-2} \quad (8)$$

理論モデルによる噴流の速度プロフィールを描くために、式(6)を式(8)に代入し、変形して下式を得る。

$$\{1+(15.17^2/4)(y/x)^2\}^2 = (0.8725/u)(1/x), x > 0 \quad (9)$$

$$57.53 y^2 = \{\sqrt{(0.8725/u)x} - 1\} x^2 \quad (10)$$

速度 u の到達距離 X は、式 (8) に $y = \eta = 0$ を代入して得る。

$$X = 0.8725 / u \quad (11)$$

流量 $90\text{m}^3/\text{h}$ のポンプを 12 基並列運転してプール ($50\text{m} \times 25\text{m} \times 3\text{m}$) 横断方向に一様な流れをつくると仮定したとき、プール縦断面内の平均流速は 0.002m/s に過ぎない。これに対して、自由噴流の理論によれば給水噴流は 25m の距離でも 0.03m/s 以上の中心速度を有しており、十分な到達距離を有すると推定される。表 1 に速度分布、表 2 に流速毎の到達距離を示す。

表 1 流速の分布

$x=$	0.50	1.00	2.00	4.00	6.25	12.50	25.00
$y=0.00$	(1.746)	0.873	0.437	0.218	0.140	0.070	0.035
0.25	0.007	0.041	0.121	0.146	0.117	0.067	0.035
0.50	0.001	0.004	0.021	0.061	0.075	0.059	0.033
1.00	0.000	0.000	0.002	0.010	0.023	0.037	0.029
2.00	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.011	0.019
3.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.010

表 2 噴流の到達距離

流速 $u [\text{m}]$	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05
到達距離 $x [\text{m}]$	0.828	1.657	3.313	6.626	13.252

3 SCRYU/Tetra による自由噴流解析

3.1 SCRYU/Tetra モデル

SCRYU/Tetra (以下 SC/T と略す) は 4 面体解析格子自動生成機能を備え、個々のノードに流速などの物理量を定義する。ノードを囲むコントロールボリュームに有限体積法を適用し、Win-NT 上で比較的安定かつ高速に定常解析を実行できる特長を持っている。

自由噴流解析では、当該給水口の吐出流を囲む十分広い領域をとり、給水壁面以外の境界に Neumann 条件 (境界面の内外で、流体のもつ物理量に差がないという仮定) を適用することが理想的であるが、SC/T では Neumann 条件が設定できない。そこで $5\text{m} \times 3\text{m}$ の壁の中央にプール給水口相当の吹出しをおき、壁から 12.5m までの領域で囲壁を圧力規定境界条件とした場合 (図中、_press で区別) と、対称境界条件 (=滑り壁、_restr) とした場合について数値解析を実行した。

解析結果を精査したところ、吐出流量が計画量 (境界条件として入力した値) の約 6 割であった。SC/T で得られた吐出直後の運動量 K (単位密度当たりで表記) および速度分布の理論解は以下のようになる (図 1)。

$$K = 0.007988 \quad (12)$$

$$u = 0.6626 (1/x) (1 + \eta^2/4)^{-2} \quad (13)$$

$$\{1+(15.17^2/4)(y/x)^2\}^2 = (0.6626/u)(1/x), x > 0 \quad (14)$$

$$57.53 y^2 = \{\sqrt{(0.6626/u)x} - 1\} x^2 \quad (15)$$

$$X = 0.6626 / u \quad (16)$$

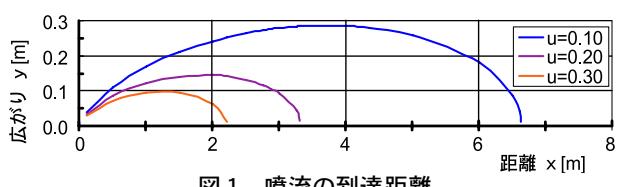


図 1 噴流の到達距離

計算格子の、噴口を含む断面を図2に示す。領域はすべて4面体で構成し、要素数は1,328,041である。PC (Pen III -633MHz) を用い、SC/Tの標準設定(収束判定残差 1.0×10^{-4} または反復計算200回で打ち切り)で定常解析した結果を圧力境界条件について図3(a)、対称境界条件について図3(b)に示す。

理論解(図1)と比較して、両境界条件とも、0.1m/sまでの流速では到達距離をよく再現しているが、圧力規定境界の場合、吐出距離4mを過ぎた辺りから、また対称境界の場合には同6mを過ぎた辺りから、流速分布に乱れが見られる。

3.2 解析領域と境界条件の考察

噴流軸を中心とした半径 r の円筒領域を考え、断面位置 x を通過する流量、およびその増分から算定される外周からの流入(連行:entrainment)を定量する。断面流量 Q は式(8)を $r=0$ から r まで積分して得る。

$$Q = \int [0.6626(1/x) \{1 + 57.53(r/x)^2\}^2 (2\pi r dr)] \quad (17)$$

$$= 0.6626(1/x) \pi \int [\{1 + 57.53(1/x^2)r^2\}^2 (2r dr)]$$

$$Q = (0.6626 \pi r^2)x / (x^2 + 57.53 r^2) \quad (18)$$

区間 Δ での流量の増分は $(dQ/dx)\Delta$;これが外周面 $2\pi r\Delta$ から平均的な流入で賄われると考えると、位置 (x, r) でのラジアル方向の流速 v は、

$$v = (dQ/dx) / (2\pi r) \quad (19)$$

$$v = (0.6626r/2)[1 - 2x^2/(x^2 + 57.53r^2)] / (x^2 + 57.53r^2) \quad (20)$$

自由噴流では、軸方向の運動量は保存される。噴流軸を中心とする有限径の円筒領域についてみれば、噴流の拡散により噴口から遠ざかるにつれて円筒断面内の運動量 M は減少する。

$$M = \iint u |u| dA = \int [\{0.6626(1/x)\}^2 \{1 + 57.53(r/x)^2\}^{-4} (2\pi r dr)] \quad (21)$$

$$= \pi (0.6626)^2 \int [\{1 + 57.53(1/x^2)r^2\}^{-4} \{(1/x)^2\} (2r dr)]$$

$$M = (\pi/3)(0.6626^2 / 57.53)[1 - \{1 + 57.53(1/x^2)r^2\}^{-3}] \quad (22)$$

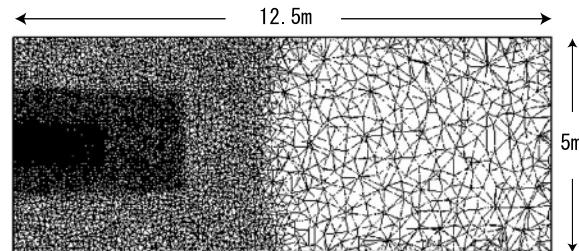


図2 解析格子

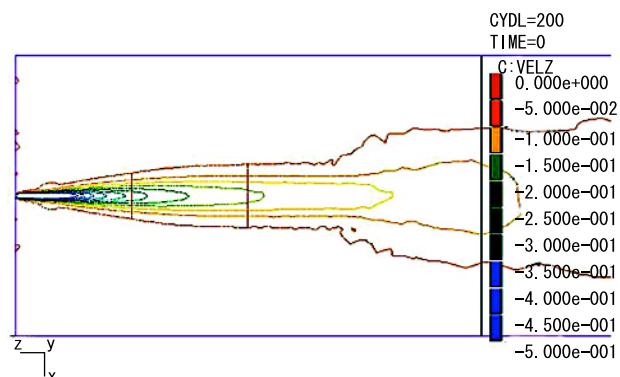


図3(a) 等流速線(圧力境界条件)

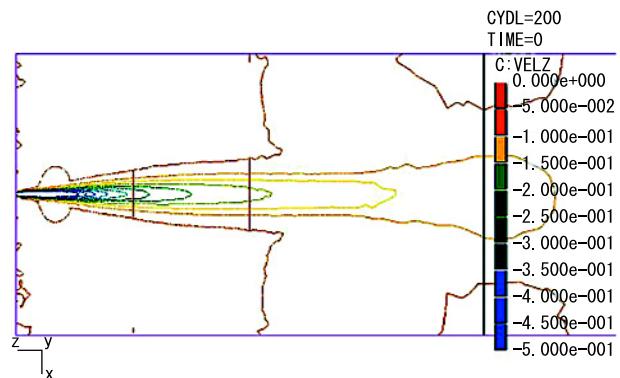


図3(b) 等流速線(対称境界条件)

噴流の相似域での、Schlichting モデルによる断面流量[m³/s]と外周における軸直交方向流速[m/s]の算定値、断面運動量[m⁴/s²]を表3、表4、表5に示す。連行による流量の増加が大きいこと、それに伴い周囲から噴流軸方向に向かう流速も、横方向に数 m の距離ではまだ無視できない値（1時間に数 m 移動する速度）であることが分かる。

水の移動速度 1×10^{-3} [m/s] での動圧は 5×10^{-4} [Pa]に過ぎないが、微少な圧力分布を境界面で拘束する「圧力規定」、流体通過を許さない「対称」の境界条件適用は、いずれも厳密な『遠方境界』条件とは異なる。両境界条件による x 断面 (3m × 5m) での流量と運動量の噴流軸に沿った変化を、Schlichting モデル (r=2 ; 表3、表5) と比較して図4、図5 に示す。

$x = 2 \sim 8m$ における理論モデルとの乖離は、数値解析における連行の過小評価を意味している。側壁を滑り壁とみなす対称境界モデル (FJ2_restr) では領域外からの流入がなく、領域内の速度分布が平均化されていく過程で運動量も減少している。

$x = 6 \sim 8.5m$ において、圧力規定モデル (FJ2_press) では流量、運動量とも約2倍に急増しており、この区間で領域外からの流入が大きいことが判る。対称境界モデルの運動量増加は、噴流軸付近への流量集中を示している。

表3 流量[m³/s]

$x \setminus r$	1	2	3	5	10
2	0.06766	0.07113	0.07181	0.07217	0.07232
6	0.13354	0.18773	0.20299	0.21180	0.21575
10	0.13214	0.25223	0.30326	0.33831	0.35565
25	0.07625	0.24343	0.40985	0.63056	0.81594

表4 直交流速[m]

$x \setminus r$	1	2	3	5	10
2	0.00468	0.00273	0.00188	0.00114	0.00057
6	0.00082	0.00182	0.00156	0.00107	0.00057
10	-	0.00079	0.00109	0.00094	0.00055
25	-	-	-	0.00032	0.00042

表5 運動量[m⁴/s²]

$x \setminus r$	1	2	3	5	10
2	0.00799	0.00799	0.00799	0.00799	0.00799
6	0.00754	0.00797	0.00799	0.00799	0.00799
10	0.00595	0.00777	0.00796	0.00799	0.00799
25	0.00186	0.00487	0.00668	0.00777	0.00798

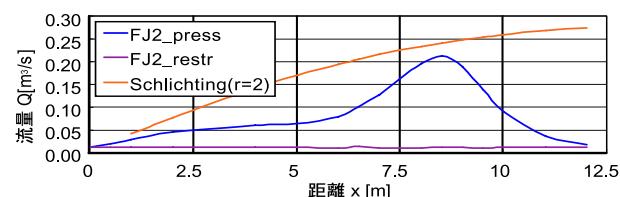


図4 流量の分布

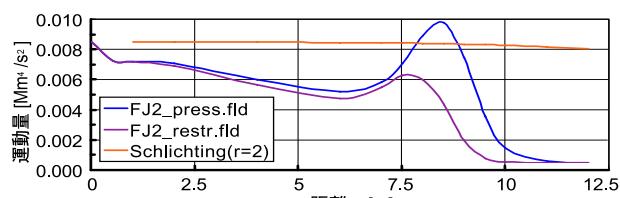


図5 運動量の分布

4 FIRE による自由噴流解析

4.1 FIRE モデル

AVL/FIRE (以下、FIRE と略す) は主に6面体解析格子を対象として個々の要素中心に物理量を定義し、各要素をコントロールボリュームとして有限体積法を適用する解析コードで、unix 上で非定常解析を行う。

SC/T による解析結果と比較するため、同等の流入運動量 ($K=0.007988 \text{ m}^4/\text{s}^2$) になるように、給水口に相当する部分を一様流入速度規定した。したがって、噴流の拡散する状況は前章と同様になるものと考えられた。

計算格子の、噴口を含む断面を図6に示す。すべて6面体で構成し、要素数は 500,000 である。固定壁を除く境界を全圧規定し(図中_pr で区別)、10,000 回時間進行させた結果(非定常解析で約 100s 経過に相当)を図7に示す。噴口正面のみ Neumann 条件に変更した場合(同、_adpr)についても同様の結果を得ている。

噴流到達距離は、境界条件の異なる両者とも理論解(図1)のほぼ 70% 程度であった。解析の時間進行に伴い噴流の影響は少しずつ遠くまで及ぶようになっており、さらに計算を追加することでこの誤差が改善されることを後に示す。

図8、図9に両者の流量と運動量の噴流軸に沿った変化を示すが、SC/T による解析結果(図4、図5)とは様相が異なる。SC/T と比べ連行の過小評価は改善されており、噴流先端部では流量急増や急減もなく緩やかに過減している。これは、側面の境界からの流入に対して FIRE では全圧を規定することで外部エネルギーの流入抑制が行なわれているためであろう。運動量は約 5m の位置まで保存されているが、その前方では一度減少～増大し、SC/T 解析結果と同様に急激に減少している。この傾向は噴口正面の領域境界を Neumann 条件に変更しても、ほとんど変わらない。

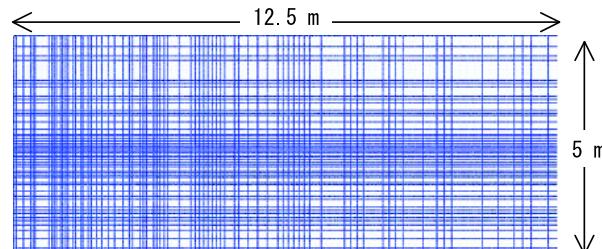


図6 解析格子

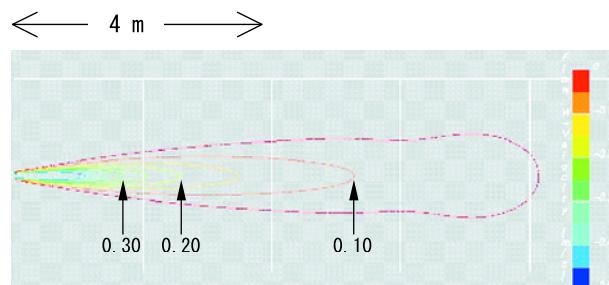


図7 等流速線(圧力境界条件)

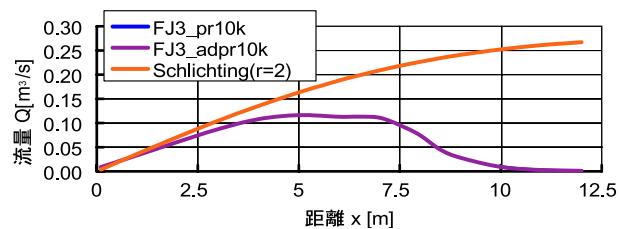


図8 流量の分布

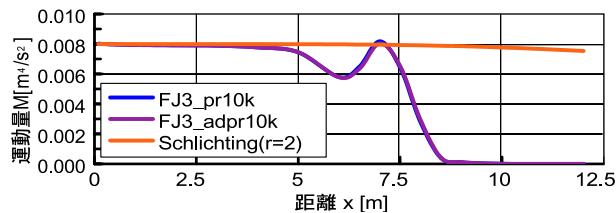


図9 運動量の分布

4.2 時間進行による変化

連行の過小評価が解析時間の不足に起因していると考えられたため、反復時間進行 10,000 回時点の解析結果 (FJ3_adpr10k) から時間刻み 0.01s で非定常解析を再開した。

図 10、図 11 で判る通り、シミュレーション時間が延びるにしたがい流量、運動量とも、理論モデルから推定される分布に近づいていくのが分かる。

時間進行 4,000 回毎の噴流軸方向速度の分布及び渦度コントを図 12 に示す。同図で 14,000 ステップ以降、噴流先端から渦輪 (Vortex Ring、以下 V.R. と略す) が放出される様子が窺える。噴流軸上で先端に孤立して高い流速域が見られるのは、分離しつつある V.R. によるものである。この V.R. の進行速度は、図 11 の運動量ピークの移動量から $2.8m/(8000*0.01s) = 0.035m/s$ 程度と判る。噴流先端から放出される V.R. の循環強さ Γ は、平均渦度 $0.08/s$ と 断面積 $2m^2$ の積から $0.16m^2/s$ 程度であった。断面直径 $2a = 1m$ 、リング直径 $2R = 2.5m$ とみなして Kelvin の公式を準用すると、この数値解析結果に近い V.R. の並進速度 $U[m/s]$ が得られる。

$$U = (\Gamma/4\pi R) * [\log(8R/a) - 1/4] = 0.03 \quad (23)$$

20,000 ステップ目の図では、既に第 2 V.R. が形成されているが、最初の V.R. より渦は弱いようである。最初の V.R. も、粘性による影響が適正に反映されたものかどうかは判断できないが、衰退していくように見える。ソフトウェア上の制約で 20,000 ステップ以降は計算していないが、さらに 160s 分ほど計算を継続すれば V.R. は解析領域の外まで移動し、理論モデルから予想される流場に近いものが得られると予想される。

V.R. による局所的な流場を除けば、10,000 ステップ (約 100s 分) の時間発展による解析で、自由噴流の構造が捉えられている。

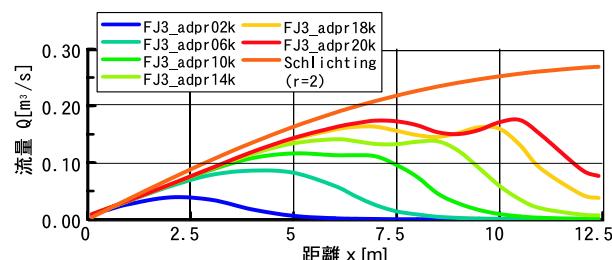


図 10 流量の変化

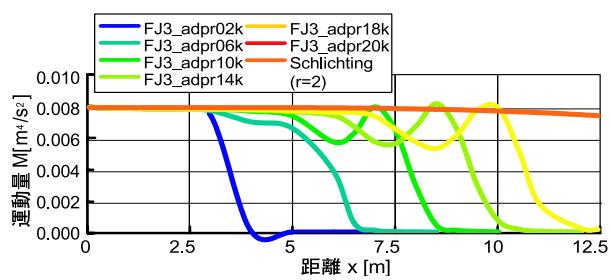


図 11 運動量の変化

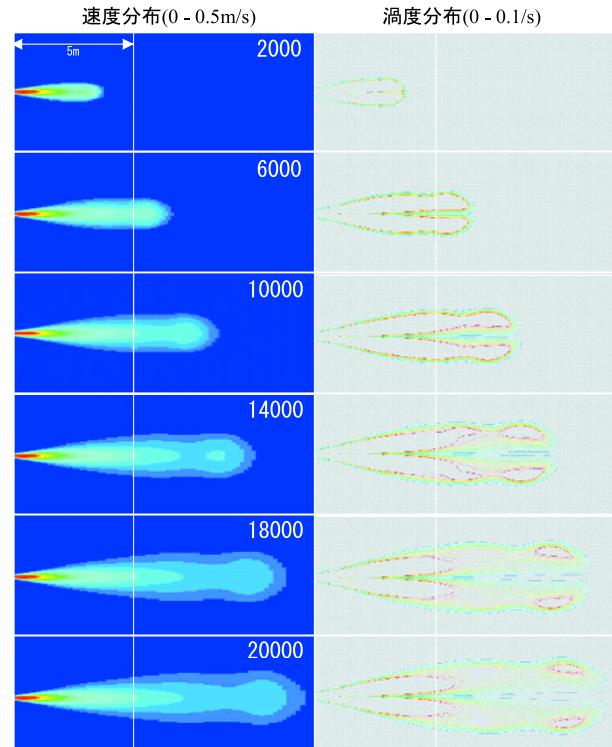


図 12 流速と過度の発達

5 給水・取水口間隔の検討

5.1 解析モデル

水置換を行う領域の代表寸法(=プール幅)に対して、給水口と取水口の間隔が小さいことの浄化への影響を調査した。解析には、自由噴流の解析で信頼に足る結果が得られた FIRE を用いた。

全体を直方6面体で格子生成し、給水口と取水口は矩形要素面の集合で表現する。水深1m及び2mに給水口、同2.55mに取水口を設けることとし、取水口間の水平距離を5m、10m、20mとする。

給水口は対辺の取水口に正対させ、プールを横切る流れを促進するように配置する。このため、解析モデルの大きさは縦10m、横25m(プール幅)、深さ3mとする。

基本要素サイズはプール長辺方向125mm、短辺方向250mm、深さ方向62.5mmで、給水部細分割及び壁際の細分割、短辺方向中央部の間引きを行ない、全体の要素数は275,264である。

解析モデルを境界条件と併せて図13に示す。

5.2 境界条件

計画ではプールの1長辺につき6基のポンプを設置し、合計18の給水口で540m³/hの循環流量を得ている。モデル壁面の要素「タイル」のうち適当な枚数を給水口および取水口に置き換えて、吐出および排出流速が不合理な値にならないように設定した。

解析モデルの長辺上に、給水口4ヶ所(83.3mm×62.5mm×1.575m/s)と取水口2ヶ所(250mm×187.5mm×0.35m/s)を配置した。対面の取水口1ヶ所は自由流出境界条件として解析領域全体の流入流量と流出流量の一致を保証している。

プール短辺と平行な境界面は、5m及び10mモデルでは周期境界条件;20mモデルでは対称境界条件(鏡像効果)を利用して倍間隔・倍流量相当のモデルとしている。

自由表面は対称境界とした。

5.3 解析結果

90m³/hのポンプを12基運転してプール全域の水を置換するのに要する時間は、見掛け上、3.5時間である。即ち、浄化装置がプール内にあった汚水のみを吸い入れ、吐出された清浄な水は汚水と全く混ざり合わないと仮定するならば、3時間半でプールは完全に清浄な水で満たされることになる。

浄化ポンプ運転開始後1時間、2時間、3時間時点でのプール内の水の置換の進行度を比較すると、吐

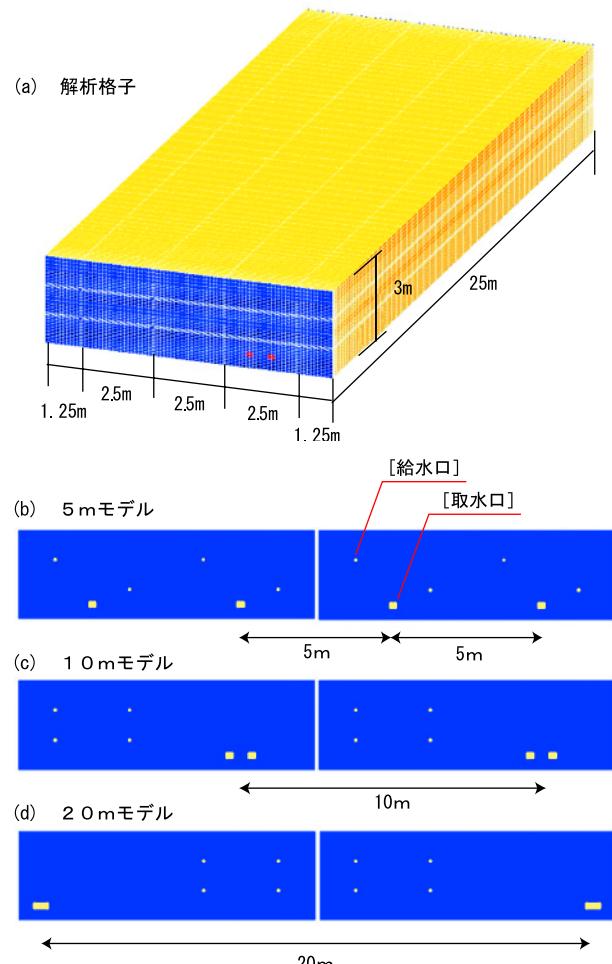


図13 給取水口間隔のモデル化

出口と取水口の間隔に依存して、浄化効果に顕著な差が認められた(図14)。

水深を4等分し、水面から底までの各レベルの平均浄化率(=水の置換進度)を求めておいて、これをSimpsonの方法で積分処理してプール全体の平均値として定量し、表6、図15に示す。

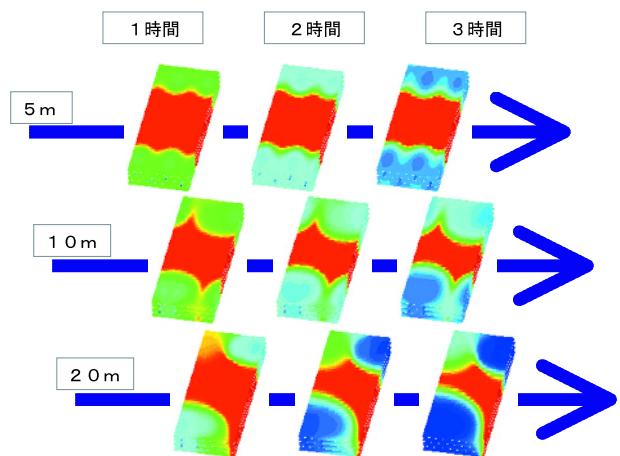


図14 給取水口間隔の浄化に与える影響

表6 平均浄化率の差異

	間隔 5m	間隔 10m	間隔 20m
1時間経過	0.234	0.261	0.285
2時間	0.354	0.416	0.473
3時間	0.423	0.516	0.595

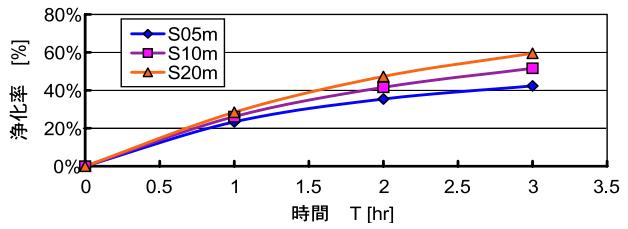


図15 浄化進捗の予測

6 プールモデルの浄化解析

6.1 解析モデル

前章の考察で給・取水口間隔がプール浄化性能に影響を与えることが確かめられた。これを設計に反映させるため、プール短辺寄りの約1/3について実際の給排水レイアウトに則したモデルを作成し、浄化運転10時間相当まで水置換の状況を数値解析して改善効果を比較検証した。

片側6基中2基の浄化ポンプを対象とし、ターン側短辺から17.75mを模擬して両側の長辺に各々給水口6ヶ所と取水口2ヶ所を配置した。使用するモデルは、前章の6面体格子を長辺方向へ拡張して生成した。要素数は447,304で、解析は流体解析コードFIREで行なった。

6.2 境界条件

プール長辺、短辺及び底面は固定壁、プール短辺と平行な境界面及び自由表面は対称境界条件とした。

前章と同様に、長辺上に給水口(83.3mm×62.5mm×1.575m/s:12ヶ所)と取水口(250mm×187.5mm×0.533m/s:3ヶ所)を組み合わせた流入流出境界条件を与えた。

残る取水口1ヶ所は自由流出条件とし、解析領域全体の流入流量と流出流量の一致を保証している。

原仕様と改良仕様について、給取水口配置を図16に示す。

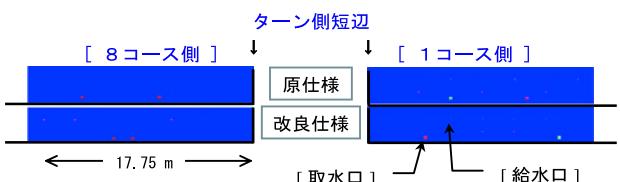


図16 プールの給取水口配置

6.3 解析結果

給水口および取水口を含む各水平面上で、定常に達したときの流速分布を図17に、また圧力分布を図18に示す。

流速では目立たないものの、圧力をみると当初仕様の対称性に対して改善案の非対称性が顕著であり、これが領域全域を攪拌する要因となっていることが分かる。

浄化開始後10時間までの浄化進度(水置換)を表7、図19に示す(ORG:原仕様、MOD:改良仕様)。

6時間経過時点の水置換の状況を図20に示す。

10時間までの浄化の過程をアニメーションで図21(a)、(b)に示す。

表7 平均浄化率の差異

経過時間	1	2	3	4	6	8	10
原設計仕様	0.204	0.318	0.393	0.446	0.523	0.578	0.622
改良案	0.241	0.406	0.520	0.605	0.724	0.807	0.862
効果	118%	128%	132%	136%	138%	140%	139%

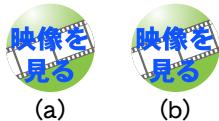
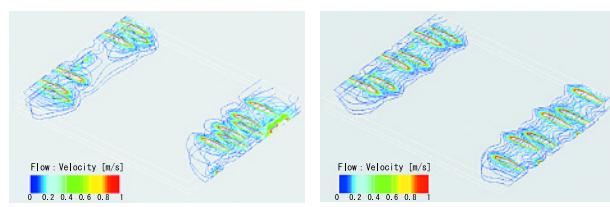
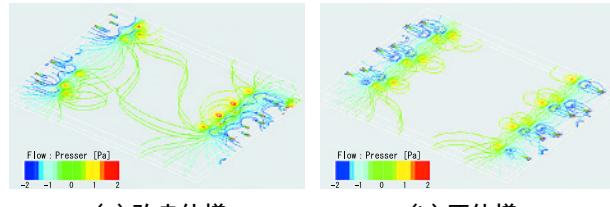


図21 プール浄化の過程



(a) 改良仕様 (b) 原仕様

図17 流速の分布



(a) 改良仕様 (b) 原仕様

図18 圧力の分布

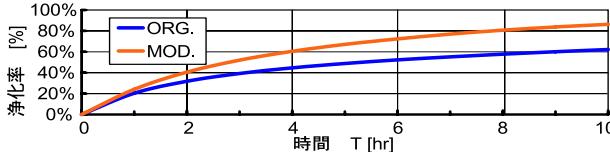
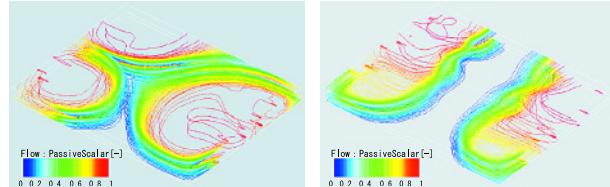


図19 浄化進捗の予測



(a) 改良仕様 (b) 原仕様

図20 プール浄化の状況

7 おわりに

プール底面に給取水口を配置できない制約のもと、長辺上で給取水口配置を最適化するための循環流れの検討に数値解析を適用した結果、以下のような知見が得られた。

- ・吐出流は、自由噴流と仮定するとプール幅に及ぶ到達距離が予想され、また単独噴流の数値解析でも同様の結果が得られた。
- ・プール長辺に沿って給取水口を配置するとき、相対面する給水噴流は抑制しあって循環浄化流の発達を妨げる。この場合、流れは壁近傍の給水口と取水口の間で短絡し、プール中央部の浄化は達成できない。
- ・給水口(取水口)の正面には対辺の取水口(給水口)を配置することで、プールを幅方向に横切る流れを誘引することができる。給水口および取水口をそれぞれ集約して互いの間隔を広くとることで、この傾向はより顕著になる。
- ・給取水口配置の変更により4時間経過時点で36%、8時間経過時点で40%の浄化改善が予想される。

■参考文献

- 1) Hermann Schlichting, Boundary-Layer Theory, Eng. 6th Ed, (1968)

●編集後記

今回は新しい試みを、2つ取り入れてみました。

1つは、活字主体の技報から「マルチメディア技報」への転換です。紹介記事や論文の中には、音声に関する技術や流れなどの非定常現象に関するものがあります。これらはコンピュータのサウンド機能や動画を活用して紹介すればより理解が深まると考えました。

2つめは、「品質」特集です。前号でも特別寄稿および製品紹介で取り入れましたが、今回はさらに一步踏み込み、品質という重要課題に対して各事業部がどう取り組むか、意思を込めた記述内容で構成してみました。技報とはその時々の State of The Art を世に問うもの、という観点からはやや異色に写るかもしれませんし、微妙な問題も含んでいます。しかし、企業における技報には、様々なメッセージの発信スタイルがあつても良いと思います。ただし、執筆者の皆様にはご苦労をおかけしました。改めて感謝申上げます。

冊子にはアンケート葉書を添付致しました。今回の技報について皆様の忌憚のないご意見を賜れば幸いです。 (藤田)

先日、会社からの帰り道、浜松駅前の路上で、思わず足をとめた。どこからか、フルクローレ(南米の民俗音楽)が聞こえてきた。実にいい音だった。人だかりを割って入ってみると南米系のミュージシャンが数人いた。見たことのないアコースティック楽器を使っていた。深みのある音色と十分な音量だった。はじめて聞く曲なのに、妙に懐かしい感じがした。

あの音が忘れられず、後日、彼らのCDを買いに行った。日本人に馴染み深い曲が収録されたアルバムを薦められた。パッケージのデザインは安っぽかったが山は素晴らしい。コンドルは飛んで行くはサイモンとガーファンクルのそれとは、かなり違っていた。「花祭り」もどこかでよく聞く曲ではなかった。「これが本物なのか」と感激した。「これって癒し系だよね」と妻がいった。

昔、♪ボロは着ても心は錦♪という歌があった。今は、その逆の現象に接することが多い。問題の解決方法は簡単には見つからない。閉塞感があつて息苦しい。癒すものがないと救われない。今度、彼らの生演奏を聞けるのは、いつだろう? できるなら、その時も、メジャー・レベルには属さない、神出鬼没のストリート・ミュージシャンのままでいて欲しい。 (三浦)

ヤマハ発動機
技報 第33号

印 刷

発 行

発 行 所

発 行 人

編集委員長

編集委員

監 修

編集事務局

デザイン・印刷

お問い合わせ

ホームページ

2002年2月28日

2002年3月 1日

ヤマハ発動機株式会社 〒438-8501 静岡県磐田市新貝 2500

山下 隆一

秋山 茂 研究創発センター 企画推進室

鈴木 篤 AM 事業部 第1技術室

木宮 祐三 IM カンパニー 技術チーム

生熊 克己 PAS 事業部 開発室

橋本 正喜 モーター・サイクル事業本部 GEM センター

鈴木 晴久 モーター・サイクル事業本部 GEM センター

望月 範久 モーター・サイクル事業本部 技術企画室

本山 雄 研究創発センター コア技術研究室

河野 俊平 舟艇事業部 製品開発室

鈴木 昭彦 新事業推進部 スカイ事業部

村松 康幸 新事業推進部 淨水器事業室

中村 和郎 特機開発室

鈴木 隆 (株) YEC マネジメントセンター

澤田 良治 (株)モリック 技術部

松下 行男 三信工業(株) 技術部

小野 憲一 創発(株) 技術開発室

山田 多計治 製品保証推進室

森岡 貞実 製品保証推進室

藤田 嘉久 研究創発センター 企画推進室

田村 力 法務・知財センター 知的財産グループ

梶原 さゆ美 研究創発センター 企画推進室

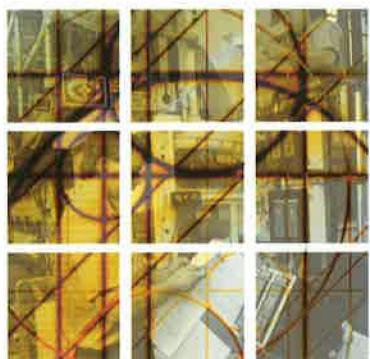
三浦 正明 研究創発センター 企画推進室

株式会社スタジオコバ 〒437-1196 静岡県磐田郡浅羽町松原 2455-2

研究創発センター 企画推進室 TEL 0538-32-1171

<http://www.yamaha-motor.co.jp/profile/technical>

無断転載を禁じます



YAMAHA

YAMAHA MOTOR CO., LTD.

2500 SHINGAI IWATA SHIZUOKA JAPAN