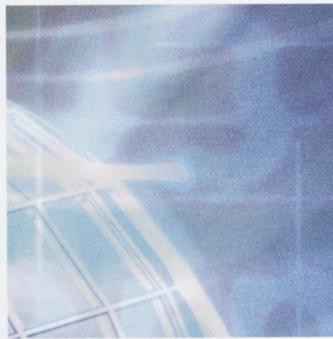
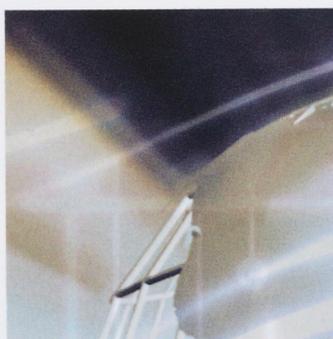
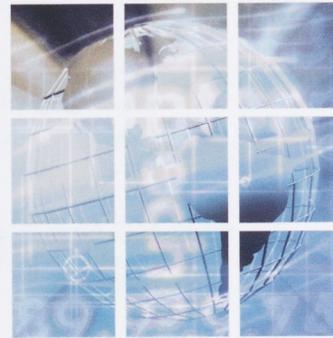


YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

ヤマハ発動機 技報



2002-9
No.34



特集：CAE

▶ CAE 特集

- 1 **「CAE」の意義と課題**
Significance and Issues of CAE
堀内 滋
- 6 **二輪車の操縦安定性解析**
Analyzing Handling and Stability in Motorcycles
内藤 重男
- 12 **二輪車の衝突解析**
Motorcycle Collision Analysis
出口 基明 / 神戸 庄二
- 17 **二輪車の振動**
Motorcycle Vibration
田中 十四夫
- 21 **二輪車の騒音解析**
Motorcycle Noise Analysis
浅野 俊二
- 27 **二輪車の流体力学**
Fluid Dynamics of Motorcycles
大滝 尚
- 32 **運動機構解析**
Motion Mechanism Analysis
木村 哲也
- 37 **熱伝導解析**
Heat Transfer Analysis
松岡 直樹 / 中野 実
- 45 **鍛造解析の二輪車設計・製造への適用**
Use of Forging Analysis in Motorcycle Design and Production
村上 剛
- 50 **ESPRI-CAE(PLATON) と解析系コンピュータシステム**
ESPRI-CAE (PLATON) and an Analytical Computer System
土屋 光生 / 近藤 雅孝
- 55 **MC 事業本部 における CAE の利用 ～設計者への構造解析普及～**
Use of CAE at Motorcycle Operations -Diffusion of Structural Analysis
上田 美佳子
- 60 **三信工業における CAE の利用**
Use of CAE at Sanshin Industries
沼田 文夫
- 65 **モリックの CAE 及びその事例紹介**
CAE by MORIC and Case Presentation
鈴木 幸一
- 73 **YEC における CAE の利用**
Use of CAE at YEC
甲賀 利孝 / 松下 広規

▶ 製品紹介

- 78 **Winforce TRY/ ウインフォース トライ**
Winforce TRY
尾崎 由斉
- 84 **創薬研究用自動倉庫&ピッキングシステム**
Automated Stock and Picking System for Genome Research
鈴木 信成 / 佐藤 睦比呂
- 89 **NOUVO**
ASEAN Model NOUVO
中畑 巖 / 石原 靖朗 / 神ノ門 裕之
- 95 **鉛フリー対応クリームはんだ印刷機 YVP-Xg**
The Lead Free Cream Solder Compatible Printer YVP-Xg
墨岡 浩一
- 101 **4ストローク船外機 F2.5A**
F2.5A 4-stroke outboard motor
新井 秀人 / 北島 和幸

▶ 技術紹介

- 105 **ヤマハ発動機災害時社員安否確認システム**
Emergency Communication System for Yamaha Motor Employees
名畑 哲郎 / 内山 勝 / 神崎 哲 / 鈴木 雅美 / 中村 英一
- 112 **問題予測と評価 ~予測精度の向上と評価への結びつけ~**
Problem Prediction and Verification
Improving prediction accuracy and extending to Validation
宝泉 誠
- 116 **エアロギア 21 の開発 / ウエイキコントロールシステム**
AERO GEAR 21 Development - Wake Control System
市川 尚友 / 門田 律

▶ 技術論文

- 121 **FRP 製プール「水夢 21」での水中音響解析**
Analysis of Underwater Acoustics in the FRP Pool "Swim 21"
山田 潤
- 126 **予測を伴う場面での自転車運転時生体機能の変化**
Changes in Biodynamic Functions In Situations of Anticipation During Cycling
水野 康文 / 守屋 貴於 / 入島 和代 / 木竜 徹



CAE 特集

「CAE」の意義と課題

Significance and Issues of CAE

堀内 滋 Shigeru Horiuchi

● MC 事業本部 技術開発室

CAE stands for Computer Aided Engineering. Today, CAE is utilized in the development process for products. To further expand its practical use, it is important to have a clear understanding of the significance, value, and issues surrounding CAE. First, this paper describes the significance of CAE in the product development process. It emphasizes the effectiveness of concepts such as Front-loading and the Virtual-product Method. Next, some issues concerned with the realization of the concepts are shown. Regarding these issues, there are three items, namely, the research and development of simulation models, taking root in the development process, and the ability of engineers who use the system. The three items are explained in detail, respectively.

1 はじめに

「ドットコム、どこが混むのと、聞く上司」。この川柳を引き合いに出すまでもなく、まさに世はコンピュータ・デジタル技術で満ち溢れている。その技術と関連の深い本報の表題を見ておもむろに読み始めた読者の中には、よもや「CAE」を「カエ」と読む類いの人はいないと思うが、念の為、まずはこの「シーエーイー」を簡単に定義しておこう。

「CAE」とは Computer Aided Engineering の略である。「コンピュータを使った工学解析」とでも訳そうか、いわゆる大規模な技術計算のことを言う。物作りの過程で、対象となる複雑な物理現象をコンピュータで高速に演算・処理し、事前に予測・検討できることが大きな特長だ。

その「CAE」に関する種々の話題の中から、本報では、「CAEの意義」と「実現化への課題」に絞って取り上げたい。共に、CAEの底流にある基本的な事柄と思うからである。

2 CAEの意義

古風だが概念を凝縮している点が便利なゆえんであろう。言葉の世界では、昔から四文字熟語が広く使われている。「熟慮断行」という言葉もその一つのようなだ。ご存知の如く、「いろいろの事をよく考えて十分に検討した上で、思い切って行動しよう」、という意味である。この言葉を取り上げたのは外でもない、実はCAEの意義・存在価値は、この「熟慮断行」という考え方を実践することと同等と思うからである。

製品の開発プロセスに目を転じてみよう。昨今、その効率化・期間短縮化は焦眉の急となっている。言うまでもなく、製品競争力の強化が主な狙いだ。そして、それを達成する為の基本的な方法論も、既に幾つか唱えられている。総じて言えば、その骨子はこうだ。「開発の上流（設計）で、製造も含めて懸念されるあらゆる事を事前に検討しておけ、その後、実物作りに展開しろ」。巷に氾濫するこの

関連のカタカナ英語：「コンカレントエンジニアリング」、「サイマルテイニアスエンジニアリング」、「フロントローディング」、「バーチャル化」、などなど。これらも、「同時の」、「並行の」、「前倒し」、「仮想試作」と、表現の違いはあれ、実はどれも開発の最上流に意識が注がれている。そして、その精神は先の一文に集約される。短い四文字に換言すれば、「熟慮断行」型開発を目指せ、というわけである。

この「熟慮断行」型開発の一手段として、CAEの活用が広がり始めてきた。それには理由がある。一つには、開発者にとって仕様決めでの判断の際、他の手段より確実な保証が得られるからだ。確かな感触が得られるレベルに成ってきたからだ。少し状況を示そう。設計者は商品開発の段階で、各種の課題に遭遇する。強度、振動、挙動、流れ、熱、などの問題だ。これに対処するため、過去、設計開発者は自分なりの手がかり・拠り所を求めて格闘してきた。簡略計算、横比較データ、経験則、勘、わら（をも掴む）、いわしの頭、神頼み……。程度の差はあれ、自分なりの拠り所に頼ってきたのが実情だ。それがCAEの出現から変わり始める。より確かな拠り所・ツールとしてCAEに置き換わり、組織的な活用に変貌してきた。CAEの活用が弾みがついてきた理由は他にもある。コンピュータの高速化、とりわけ、安価で高性能なパソコンの普及は、その代表格だろう。又、入力データ作成の効率化も挙げねばなるまい。特に、CADとの連携により、解析に必要な入力データを素早く作成できるように成ってきた点は、大きな要因である。

コンピュータの発展によって台頭してきたCAEは、何より、工学理論に立脚した科学的な手法が魅力的である。複雑な物理現象をコンピュータ内で模擬し再現できれば、実物を作る前の分析・検討用として、強力なツールとなり得る。確かに、その存在価値は大きいと思う。

以上のような観点からCAEの意義・存在価値を示してみた。「熟慮断行」や「前倒し」や「仮想試作」は、重要なキーワードである。小手先の改善程度でなく、ダイナミックな開発プロセス改革に繋げていくには、まずはこういった概念への意識変革と意義・価値の共有化が必要であろう。さもないと、具体的な効果となる「試作や試験の回数削減」の達成は、とても見つからない。

3 実現化への課題

そうは言うものの、「理念」や「意義」だけ唱えていても、事は成就しない。「熟慮断行」型開発への実現に向けて、ともかく推し進めなければなるまい。その為に、まずは、推進していく上での課題や方策を把握しておく事が必要に違いない。従って、ここではCAE活用という観点から、留意すべき課題などを浮き彫りにしておきたい。

幸か不幸か、筆者はこのCAE関連の業務に長く携わってきた。解析モデルの開発やその実用展開を通して、悲喜こもごもの体験も味わった。その体験から推し量って、実現化には次の項目が鍵であると観ている。大小難易の課題を取り上げれば切りがないが、敢えて3項目に主眼を置いた（図1）。

- (1) 解析手法・モデルの開発
- (2) 開発プロセスへの定着化
- (3) 人材の拡大

三者はどれも等しく重要である。以下、それぞれについて説明を加える。

(1) 解析手法・モデルの開発

当然ながら、まずは道具を取り揃えることが重要だ。解析モデル、計算モデル、シミュレーションモデル、言い方は色々あろう。道具とはいわゆるCAE ツールのことである。羅列気味を覚悟の上で、ここでは、種々のCAE ツールを開発する際の留意点を幾つか示しておきたい。

CAE ツールは多くあれば便利だが、投資の資源にも限度がある。対効果比と難易度を考えて、その対象を選択すべきである。基本的な選択基準は、次の事であろう。開発期間の長いもの、試作・実験の多いもの、そして試作費用の掛かるもの。具体的なテーマ事例は、幾つか、このCAE 特集の記事に含まれている。参考にされたい。

次に解析モデルを開発する上での留意点。製品開発者用に必要な物理量とその精度が解析モデルに要求される。精度を保証するには、当然ながら、実験値と突き合わせ、検証しなければならない。但し、必要以上に精度を追ってはいけない。自己満足か、もしくは徒労のみが残るだけだ。その前に製品開発者とその情報を如何に活用するか、どの程度まで精度を要求しているのかを確認することだ。それにより、妥当な目標精度レベルを設定できるであろう。

解析モデルの検証には実験値が必須となる。現象把握が必要となる。よほどの事情が無い限り、ポイントとなる実験データを採ることが重要だ。突き合わせをしていない解析モデルは、あまり信頼されない。解析モデルが高度・複雑に成れば成る程、それに応じて必要な実験データの入手も困難になる。更に高い実験計測技術が要求されるからだ。解析技術と計測技術は車の両輪である。解析モデルの質を上げる為には、計測技術の質も上げなければならない。切に、実験計測技術の重要性を強調しておきたい。

次に、モデル化技法の要領も挙げねばなるまい。但し、専門的な領域なので主要な項目を示す程度に留めたい。①系の境界に留意しよう。対象の系の「ふるまい」は境界の条件で一意的に決まる。②系の内部については、エネルギー保存場としてのイナーシャとキャパシタ、そしてエネルギー散逸場のレジスタ、この3種の度合いに気を配る。③その為に、集中定数系理論や梁理論のような、自由度の凝縮された工学理論の活用をお勧めする。以上が、構造系、運動機構系、流れ系、音響系など各分野で共通する事項であろうか。

市販ソフトの利用についても言及したい。最近では、種々の分野で汎用的な市販工学ソフトが多く出回っている。一昔のことを思うと大変便利になった。但し、該当するソフトを導入すれば事は簡単に済むと、

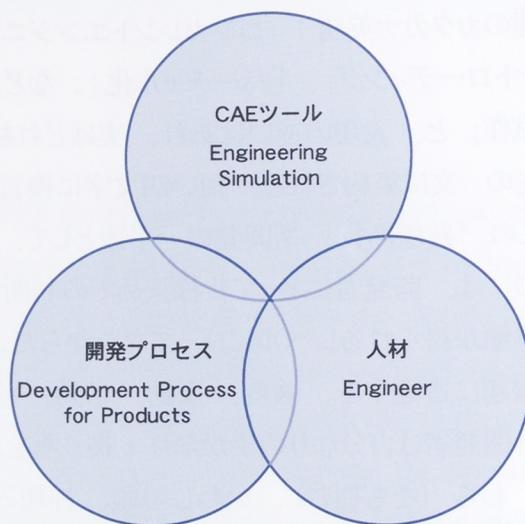


図1 実現化への3課題

ゆめゆめ考えないことだ。活用できるようにするには、それなりの技術と時間が必要である。

CAE ツールとしての使用を考えると、実は、解析モデルそのもの以外に操作性も重要である。その為に、GUI（Graphical User Interface）、ツールキット、テンプレートといったもので、入出力データ処理に対する簡便化を図っている。市販されているソフトはそれなりに良く出来ているが、出来るだけ他のソフトと共通の形式・書式のものを使った方が良い。操作上、連想し易いからだ。但し、個別のテーマに対しては独自のものが必要となるが、後のメンテナンスを考えて、あまり凝ったものを作るべきでない。維持・管理が困難になるだろう。

(2) 開発プロセスへの定着化

「着想は一瞬、実用化は一生」。解析モデルの研究開発と実用化に携わってきた筆者の感想である。解析モデルの研究開発もさることながら、商品開発部署への普及・実用化には、更なるエネルギーと根気を要す。末永く活用していくには、継続的な支援も改良も必要となる。CAE 技術者への期待は大きいだろう。但し、ツールとして完成させ、商品開発部署への実用化まで漕ぎつかなければ、仕事は完結したことにはならない。解析モデルの開発だけに精を出すのではなく、その後の実用展開にも力を注ぐべきである。一方、商品開発技術者にとっても、仕事の対象・内容が幅広く成ってきている。今後益々、開発を行う上での効率的な方策や手段・ツールにも目を向け、労力を割く事が必要となろう。

商品開発技術者にとって、CAE ツールを使う上での最も留意すべき点は何か。解析モデルの技術的な効果と限界を見定めておくことである。正しく使う為に、その適用範囲を把握しておくことが重要だ。

話を開発プロセス全体に移したい。全体を眺めた場合、各部品の剛性・強度問題や振動問題といった、個別のテーマに対する CAE の有効性を議論しているだけでは十分でない。個別テーマの効率化から、開発プロセス全体の合理化へ発展させなければならない。個別の各 CAE 技術を全体プロセス内にどう配置し位置付けるか。前述した「熟慮断行」型開発を念頭に置きつつ、効果の大きいテーマ選定、それに必要な CAE 技術、開発プロセス内での適用時期、担当部署、各種データの流れ、そして実験・試験を絡めた運用体制など、全体的なシステムと体制作りが重要である。個別的ではなく、全体最適化を目指せというわけだ。

実は、ここにこそ商品開発技術者の知恵が必要である。そのプロセス思想が基盤となる。その構築には、ツール開発側の担い手である CAE 技術者、或いは CAD や情報検索系システム技術者と、商品開発技術者との協同作業が必須となるだろう。

(3) 人材の拡大

最後に人の問題に触れたい。ツールを作る側も使う側も、お互いにレベルアップを図ろう、という事である。効率化を目指せば、人はおのずと道具を使う。効率化を高めれば、道具も更に高度になる。道具が高級になれば、使う人間もレベルアップを図らねばならないのは必然である。人だけが足踏み状態というわけにはいかない。超高速走行が可能な二輪車も、それを乗りこなせる技量の持った乗り

手が居なければ、宝の持ち腐れである。CAE を腐らしてはいけない。作る側も使う側も互いに腕を磨かなければなるまい。

レベルアップへの手段はいろいろあろう。組織的に行うには、計画的なローテーションや出前 OJT 教育が有効と考える。実践での体験・経験は動機付け教育に適している。レベルアップへの近道だと思う。

ざっと主要な3項目に触れた。再度、強調しておきたい。三者はどれも等しく重要である。技術寄りの項目である「解析手法・モデルの開発」のみに、意識と労力が注がれ易い。しかし、「開発プロセスへの定着化」や「人材の拡大」を注目することが大切だ。個別ツールだけでなく、運用システム全体の「働き」を重要視しようということである。

4 おわりに

以上、「CAE の意義」と「実現化への課題」を述べた。何かの折、参考にでもなれば幸いである。次の一節は、筆者が10年程前に自動車技術誌へ論文投稿した際の、添付コラムである。

「解析・シミュレーションへの期待・役割が多様化してきたと感じる。開発期間短縮が図れる：生真面目派、カンコツ経験より確か：正統派、説得の道具：現実派、科学している感じ：オシャレ派、技術蓄積を標榜：夢想派、入社案内・カタログに利用：古典派、何も期待していない：個性派、考えたこともない：多数派、-----。あなたは何派？」

この多少皮肉混じりのコラムを眺めて見て、今日、多数派が少数派になった気がするが、この当時の状況とどの程度変わったであろうか。安易に精神論を振りかざす気はないが、詰まるところ、「意欲」や「熱意」や「根気」が実現化への原動力であろう。ともあれ、継続して「熱意」・「意欲」を高めていく意識変革と環境作りが、我々関係者に課せられた課題のようである。

●著者



堀内 滋



CAE 特集

二輪車の操縦安定性解析

Analyzing Handling and Stability in Motorcycles

内藤 重男 Shigeo Naito

● MC 事業本部 技術開発室 システム技術グループ

Handling and stability is an important function of motorcycles that are expected to offer enjoyable running performance. The handling and stability of today's motorcycles is something that has been developed over a long period of time through the efforts for highly skilled test riders and experienced development staff. However, as the future calls for shorter product development schedules, fewer prototypes and building in handling and stability aspects at a much earlier stage in the development process than was ever possible with conventional methods, CAE will become increasingly effective and important in development work.

There are many aspects of evaluating motorcycle handling and stability that depend on human sensibilities and are hard to express in terms of quantitative values. However, it has become possible to attach quantitative analytical values to a limited number of these aspects of handling and stability where the quantitative component attainable through calculation is particularly high. The analytical role of the development team's test riders will always be prominent in achieving the kind of fine settings that bring excitement to the users. However, the use of CAE technology in the earlier stages of development when the basic machine characteristics are being set can make it possible to reduce the development work considerably.

In this paper we introduce some of the motorcycle stability-analysis technologies that have been developed by YMC.

1 はじめに

操縦安定性は、軽快な運動特性を持つ二輪車にとって重要なものである。現在の二輪車の操縦安定性は、高度な技術を持った評価ライダーと経験豊かな開発チームによって長い時間をかけて作り出されたものである。従来の方法では実現できない程の開発期間の短縮、試作回数の削減、設計初期段階での操縦安定性の作り込みが要求されるこれからの商品開発では、CAEの活用が有効かつ重要となってくる。

二輪車の操縦安定性は人間の官能による評価が多く定量的に表わし難い。そのなかで、定量的な評価ができる割合が多い安定性解析については、部分的ではあるが計算による評価予測が可能になってきた。ユーザーに感動を与える絶妙なセッティングは、開発ライダーの官能評価によるところが大きい。その前段階の基本特性の作り込みにおいては、CAE技術を用いることにより開発負荷の軽減が可能である。

ここでは、当社での二輪車の安定性解析について紹介する。

2 二輪車の安定性

安定性とは、乱れを与えられた時に元の状態に戻ろうとする性質である。乱れとしては、例えば、路面の凹凸によりタイヤに加わる力、横風、ライダーの姿勢変化、急激な操舵がある。このような乱れが走行中に生じた場合でも短時間で元の走行状態に戻る性質すなわち安定性が二輪車に備わっている。

中高速で走行中の二輪車には、安定性を支配すると言われている2つの振動現象がある。一つはウィーブモード (weave mode) と呼ばれ、車体のヨー軸とロール軸回りの回転が連成した振動モード (図1) で高速域において問題となることがある。周波数は1~5Hzと比較的低く、車速の上昇に伴い高くなる特徴がある。もう一つは、ウォブルモード (wobble mode) と呼ばれ操舵系軸回りが主に振動する振動モード (図2) で中高速域において問題となることがある。周波数は6~10Hzと高く、車速依存性がある。

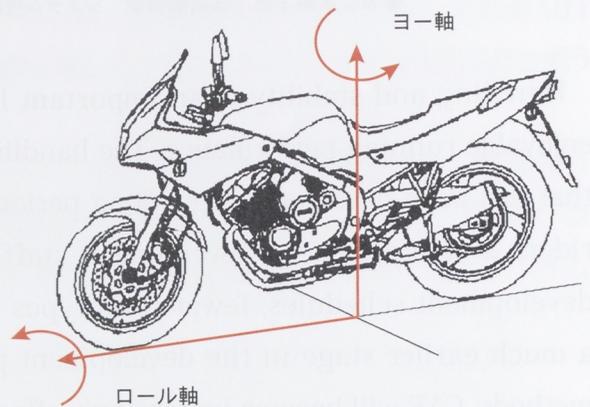


図1 ウィーブモード

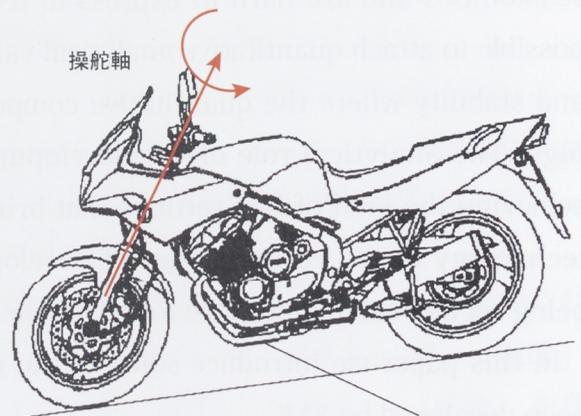


図2 ウォブルモード

2.1 実験による安定性評価方法¹⁾

簡易的に安定性を調べる方法としては、ライダーの意思で行える急激な操舵や腰の移動により生じる車両のヨーレートおよびロールレートを計測する方法がある。

外乱によって生じた車体のヨーレートの収まり具合で評価している。この収まり具合を定量的に表わすために、周波数と減衰比を用いている。1自由度系の減衰振動で考えるとそれらの物理的意味が理解し易い。図3のように、周波数が高ければ短い時間で揺れは収まる。また、図4のように減衰比が大きければ1周期の間での振幅の減少度合いが大きくなる。

周波数: f
(高いほど収束時間が短い)

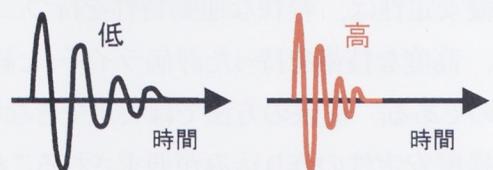


図3 周波数の高低

減衰比: δ
(大きいほど収束性が良い)

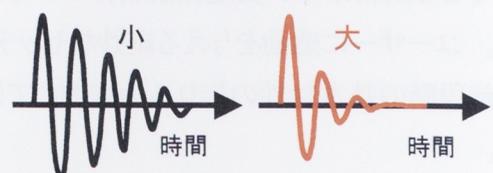


図4 減衰比の大小

3 安定性計算モデル

二輪車の安定特性解析を考える場合、キャスト角、トレール、重心位置等の車両基本諸元に加えて車体剛性、タイヤ特性そしてライダーの特性という3つの特性のモデル化が重要かつ問題となる。

まず、車体剛性。3つの特性の中で唯一当社が設計製造している部品の特性である。二輪車の車体は、ライダーおよび原動機を載せるメインフレーム、操舵を前輪に伝えるとともに路面からの振動を吸収するフロントフォーク、駆動力を伝える後輪の支持をするリアアームからなる。この3つの車体部品の剛性が車両の安定性に影響することが知られており、解析モデルで考慮する必要がある。

次は、タイヤ特性。タイヤは、路面からの力を受ける唯一の部品である。前後に配置された二本のタイヤのみで走行する二輪車の解析においてタイヤ特性のモデル化は重要である。走行中のタイヤには、「タイヤの6分力」と呼ばれる3つの力（前後力、横力、接地荷重）と3つのモーメント（オーバーターニングモーメント、転がり抵抗モーメント、セルフアライニングトルク）が作用する（図5）。これらの力とモーメントは、タイヤの横すべり角、キャンバ角、前後すべり比および接地荷重の関数として表わされる。直進走行のような小横すべり角、小キャンバ角では、線形モデルが使われる。大横すべり角、大キャンバ角となるような旋回や任意走行ではオランダのデルフト工科大学で考案された「Magic Formula Tyre」と呼ばれる非線形モデルが使われる。

最後は、ライダーの特性。二輪車は軽く、車両総質量に対するライダーの割合が高いため、車両の運動に与える影響は大きい。乗車姿勢に応じた重心位置、慣性モーメントを計算モデルで定義する必要がある。これらのことを考えた計算モデルは、図6のようになる。

フレーム、フロントフォーク、リアアームは剛性を考慮できるように弾性体とし、前後のサスペンションはばね特性と減衰特性をモデル化している。また、走行中の車両およびライダーに作用する抗力および揚力等の空気力学的力は風洞実験による計測値を用いている。

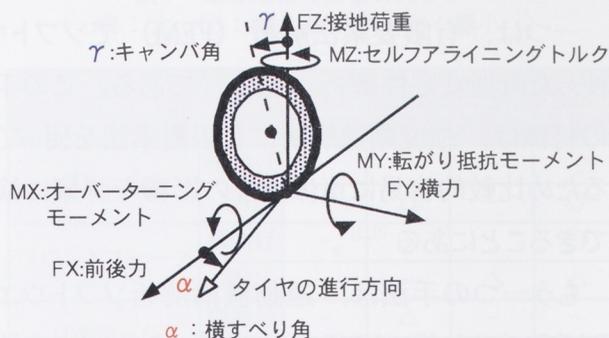


図5 タイヤに作用する力とモーメント

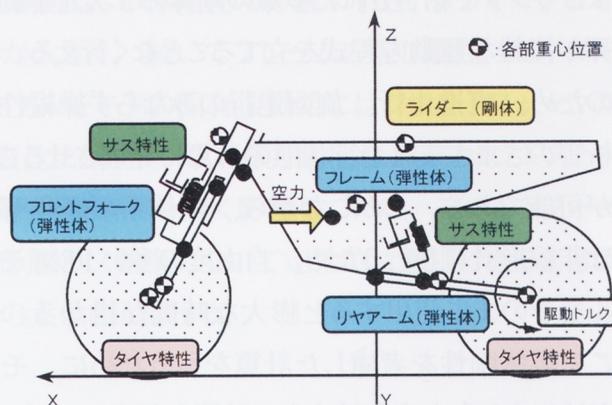


図6 計算モデル

4 安定性計算手法

当社では、二輪車の安定性解析を以下に述べる2つの方法を組み合わせて行っている。

一つは、有限要素法解析（FEM）でソフトウェア MSC/NASTRAN（米国 MSC Software 社）を使った直進安定性解析（図7）である。この手法の特徴は、強度剛性解析に有限要素法を使っているため比較的容易に車体剛性の影響を詳細に検討できることにある^{2),3)}。

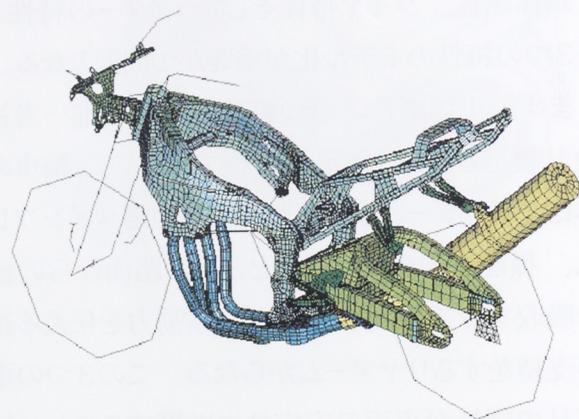


図7 FEMを使った直進安定性解析

もう一つの手法は、運動機構解析ソフトウェア DADS（ベルギー LMS 社）を使った旋回安定性解析（図8）である。DADSでは、ばね、ダンパおよびリンクで結合された多数の剛体の3次元挙動計算が複雑な運動方程式を立てることなく行える。そのため、直進走行、旋回走行のみならず操縦性解析等のさまざまな走行状態の計算に発展させることが可能である。しかしながら、剛体系の運動解析は非線形計算を行うため、自由度の多いFEMモデルをそのまま使用すると膨大な時間が掛かる。そこで車体剛性を考慮した計算を行うために、モード法により自由度を縮小して計算を行うコンポーネントモード合成法（component mode synthesis method）という手法を使っている⁴⁾。

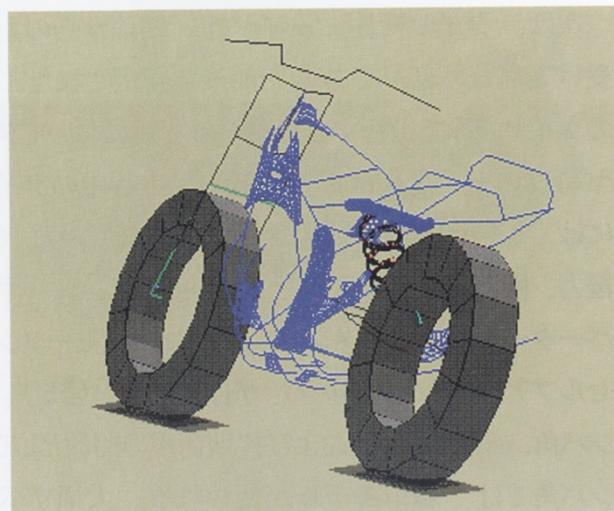


図8 DADSを使った旋回安定性解析

旋回走行時のウィーブの周波数と減衰比を実験と計算で比較した結果を図9、10に示す。

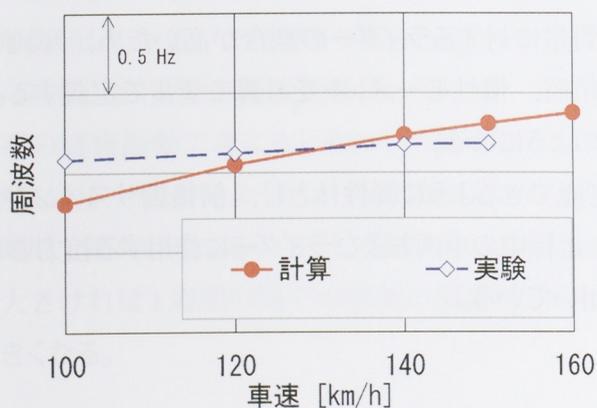


図9 ウィーブの周波数（旋回半径 400m）

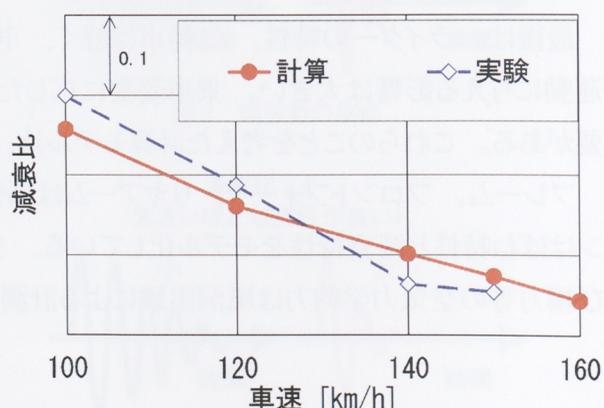


図10 ウィーブの減衰比（旋回半径 400m）

5 車体剛性の影響

車両諸元、タイヤ特性、車体剛性、ライダー特性等様々なものが安定性に関係している。その中で開発時に時間を掛けて検討される車体剛性が安定性に与える影響について計算を行ったので紹介する。対象は大型オンロード用二輪車である。

車体剛性の影響を調べるために、フレーム、フロントフォークおよびリヤアームの横曲げ剛性および振り剛性をそれぞれ独立に変化させて計算を行った。ウィーブおよびウォブルモードへの影響度合い

をまとめた結果を表1に示す。ウィーブモードの固有振動数は、車体剛性の影響が小さい。ウィーブモードの減衰比にはフロントフォークの横曲げ剛性の影響が大きく、続いてフレームの振り剛性、リヤアームの横曲げ剛性および振り剛性が影響している。ウォブルモードの固有振動数にはフロントフォークの振り剛性が僅かに影響している。ウォブルモードの減衰比にはフレームの振り剛性およびフロントフォークの横曲げ剛性が非常に大きく、続いてフレームの横曲げ剛性が大きく影響している。フロントフォークの振り剛性の影響は僅かである。結果は、同様の形態の二輪車について定性的に適用できると考えられるが、定量的には車両の仕様や走行速度で影響の大きさは変わる。

表1 車体剛性の影響の大きさ
(◎：大、○：中、△：小、－：極小)

		ウィーブモード		ウォブルモード	
		周波数	減衰比	周波数	減衰比
フレーム	横曲げ	-	-	-	○
	振り	-	△	-	◎
フロントフォーク	横曲げ	-	○	-	◎
	振り	-	-	△	△
リヤアーム	横曲げ	-	△	-	-
	振り	-	△	-	-

6 おわりに

今まで述べたように、CAE技術を利用することにより一部分であるが安定性評価予測が可能になってきた。しかし、このような計算を精度良く行うには、走行特性に影響を与えるパラメーターを高い精度で入力する必要がある。商品開発にこのような手法を使うことの成否は、如何に効率良く入力データを入手できるかにかかっている。車両を構成する多数の部品の特性データを用意するのは簡単ではない。部品を供給して頂いているメーカーの方々とのさらに進んだ連携が必要になる。

■参考文献

- (1) Juichi Otombe, Akira Hasegawa : Experimental Analysis of Sense of Stability in Motorcycle , SAE891993, Passenger Car Meeting and Exposition, 1989 p1 ~ 7
- (2) 浅野 俊二 : モーターサイクル直進安定性シミュレーション, MSC Forum 2000 前刷集 自動車, 2000
- (3) 浅野 俊二, 大富部 寿一 : FEM 車両モデルを用いた二輪車運動特性解析, 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.69-01, 2001-5 p17 ~ 20
- (4) 内藤 重男, 北川 洋, 大富部 寿一 : 車両の弾性変形を考慮した二輪車の安定性解析モデル, 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.108-01, 2001-10 p1 ~ 4

●著者



内藤 重男



CAE 特集

二輪車の衝突解析

Motorcycle Collision Analysis

出口 基明 Motoaki Deguchi 神戸 庄二 Shouji Kanbe

●研究開発センター コア技術研究室 ダイナミクスグループ

Although it is not as conspicuous as with cars, research and development for improving motorcycle safety has continued steadily and the fruits of these efforts are gradually being acquired. In this report we present one of these efforts: R&D about improving safety in motorcycle-car collisions.

It is indispensable to conduct verification experiments for new safety chassis design and/or new protective equipment that reduce rider injury in collisions. However, there are too many factors to consider regarding collision phenomenon, such as collision speed, direction and the shape of the other vehicle, etc. Consequently, it is impossible to cover all of the factors by means of experiments only. Therefore, it has been found that numerical simulation of collision is an effective way to complement these experiments. We adopt a type of multi-body dynamics software, "MADYMO" to develop simulation models. In addition, we are also developing simulation models that use the Finite Element Method (FEM).

The FEM models consist of enormous data compared to the MADYMO models, and require a very long time to calculate. Therefore, these are not practical for our R&D activities that require a large number of calculations. However, since the FEM models have detailed data, very precise results can be expected. We are aiming to develop a simple but highly precise simulation method that incorporates the results of the FEM models into the MADYMO models.

1 はじめに

二輪車の安全性向上の研究開発は、四輪車に比べて目立たないが、着実に行われておりその成果も徐々に得られつつある。本稿ではその中の一分野である衝突時の安全性向上の研究開発に係わる部分を紹介する。二輪車の衝突時のライダーの障害を軽減する車体や保護具の開発には、実車による実験評価が欠かせない。しかし衝突現象には、衝突時の速度や方向を始めとして相手側の形状など考慮すべき事柄があまりにも多い。このため、全てを実験でカバーすることはほとんど不可能であり、衝突を計算機上で再現する数値シミュレーション手法が実験を補完する有効な手段となる。当社ではこのシミュレーションモデルの開発に「MADYMO」という運動機構ソフトの一種を採用している。また、同時に有限要素法（FEM）によるシミュレーションモデルの開発にも取り組んでいる。このFEMによるモデルはMADYMOに比べてデータの巨大であり、計算も非常に長い時間が必要である。従って、本研究開発のように数多くの計算例が必要なケースでは実用的ではないが、反面、詳細なモデルではあるがゆえに高い計算精度を期待できる。我々はこのFEMによる高い計算精度の結果を部分的にMADYMO

モデルに取り入れることで、簡便ながら高い精度のシミュレーション手法の開発を目指している。

2 運動機構ソフト「MADYMO (マディモ)」について

運動機構解析ソフト「MADYMO」では、対象物を有限要素法 (FEM) 解析のように細かなメッシュに分割せず、いくつかの剛体 (変形しないひとかたまりの物体) とその剛体間を結合し、いろいろな動きをする関節で表現する。例として、**図1**にMADYMOで使用する衝突試験用のダミーモデルを示す。このダミーモデルは、32個の剛体と同数の関節からできており、ダミーの動きを再現できるようにつくり上げられている。

運動機構解析ソフトの最大の長所は、その計算時間の短さにある。モデル化の方法で全く違うので単純な比較はできないが、FEM解析で何日

という単位で考えていた計算が、時間や分の単位で考えることができるようになる程の違いがある。従って、MADYMOでは考えられる様々な衝突形態について多くのシミュレーション計算を比較的簡単におこなうことができる。一方、その最大の短所は、精度が悪くなりやすいことである。精度が悪くなる原因は主に2つある。1つは、それぞれの構成要素を剛体として扱うために、実際には変形する構成要素をMADYMOでは、直接表現できないことである。2つめは、モデル化 (どこにどのような関節をつけるのか) が適切でない場合である。1つ目の問題は、変形する1つの構成要素を複数の剛体と関節で表現し、物理的に等価なモデルとすることで解決できる。2つめは、モデルと実際の現象との違いを注意深く観察することで解決できる問題である。

いずれにせよ、MADYMOに必要とされるのは大局的な精度であり、局所的な精度にこだわることはMADYMOの一番の長所である計算時間の短さを失ってしまうことになる。従って、局所的に高い精度が求められる部分ではFEM解析をおこない、その結果をMADYMOに取り入れていくのが両者の長所を生かした方法であるといえる。

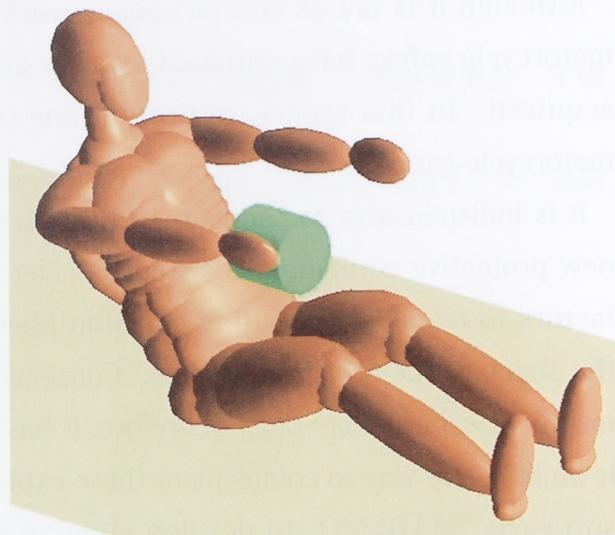


図1 MADYMO ダミーモデル

3 MADYMO による衝突解析

MADYMOを使った二輪車衝突シミュレーションの実施例を**図2**、**3**に示す。このシミュレーションでは、実際の衝突試験の画像を解析して二輪車の動きを求め、シミュレーション上でその動きを再現して、ライダーダミーの動き、加速度などを比較している。この試験では、静止している四輪車の側面に、二輪車が時速48kmで直角に衝突している。**図2**は、エアバッグのない場合、**図3**はエアバッグをつけた場合で衝突直後から20msecごと、100msecまでを試験画像と比較している。**図4**、**5**にこの

時のダミーの胸部加速度を示す。グラフの中で、X方向は前後方向、Z方向は上下方向を示し、赤、青が試験データ、橙、水色がシミュレーション結果を示している。また、その他の形態として、時速24kmで走行している四輪車の側面に、二輪車が時速48kmで前方45°の角度より衝突する場合のシミュレーション画像を動画で添付する。

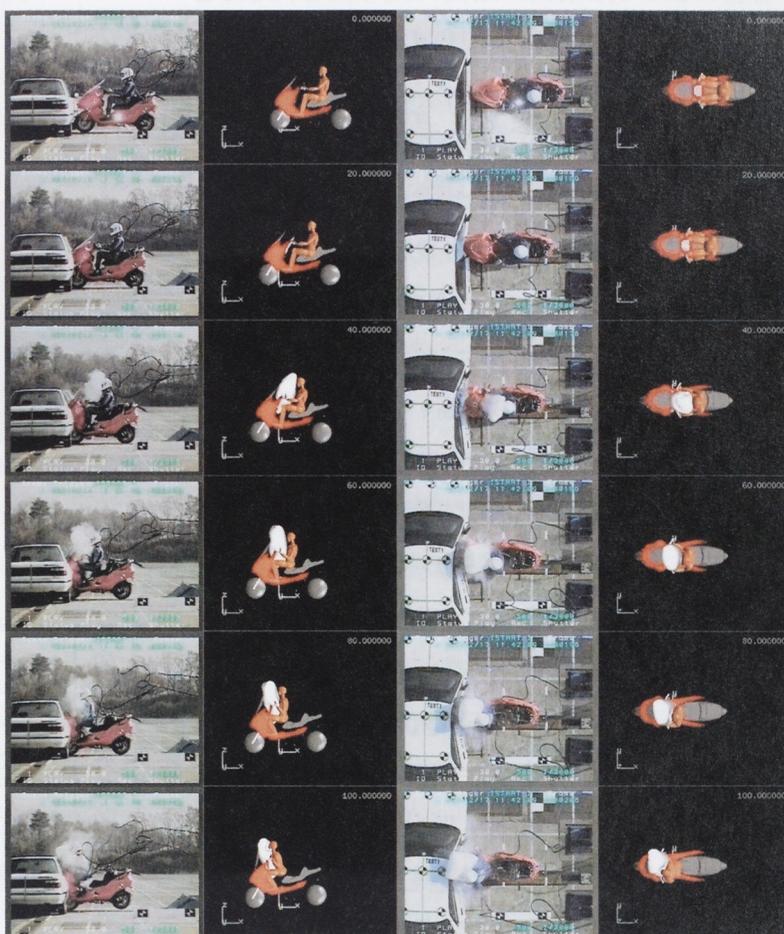
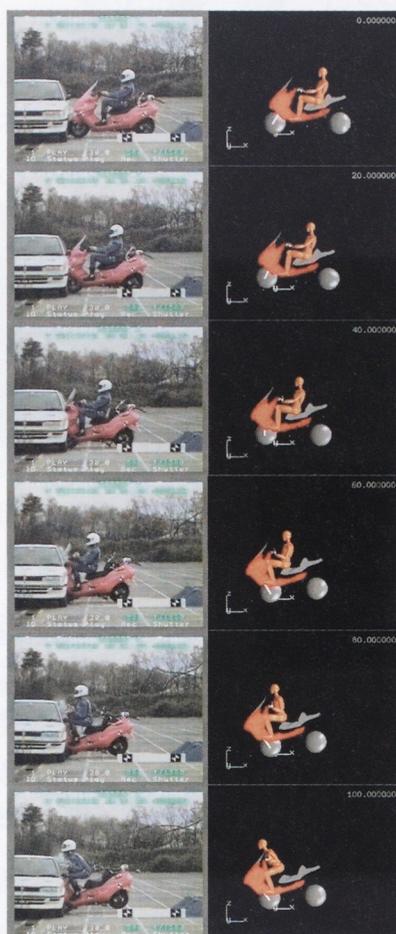


図2 二輪車衝突シミュレーションの実施例
- エアバッグなしの場合 -

図3 二輪車衝突シミュレーションの実施例
- エアバッグありの場合 -

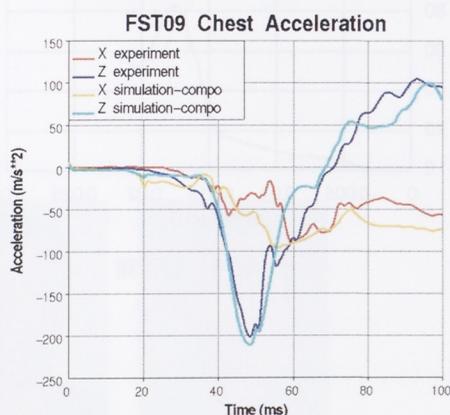


図4 ダミー胸部加速度の比較
- エアバッグなしの場合 -

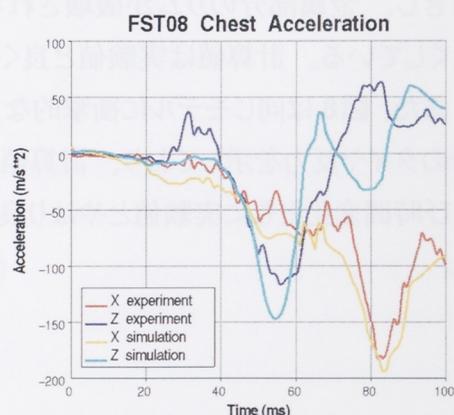


図5 ダミー胸部加速度の比較
- エアバッグありの場合 -

4 有限要素法 (FEM) による衝突解析

二輪車の衝突は四輪車と比べて、乗員がシートベルトなどで拘束されていないのでその動きが大きく、場合によっては乗員が路面に投げ出されることもある。従って考慮すべき現象の時間も四輪車に比べて1桁長くなっている。また、最初に衝突する箇所は四輪車のように硬い車体ではなく柔らかいタイヤであり、また、そのタイヤもバネで支えられているために、衝突による減速の状況が四輪車とは大いに異なっている。この考慮するべき時間が長いということはシミュレーション計算における誤差の蓄積が大きくなる可能性が高いということであり、計算初期の精度向上が特に重要となる。すなわち、タイヤの衝突時の挙動を正確に予測することが二輪車の衝突シミュレーション解析の特徴であり、またキーポイントであると言える。

図6にタイヤの解析モデルを示す。このモデルは、トレッド部やサイドウォール部などのそれぞれ異なるゴム特性、補強材のナイロンコードの特性および空気圧を考慮しており、形状の著しい変化や材料の特性変化それに摩擦を含む接触など一般には解析が難しい現象を取り扱えるものとなっている。図7はタイヤに徐々に荷重を掛けてその変位を示したものである。荷重はタイヤが大きく潰れていわゆる底付きし、金属部分のリムが破壊される寸前まで大きくしている。計算値は実験値と良く一致している。また、図8は同じモデルに衝撃的な力を加えた場合のタイヤ反力を示しており、計算値はピーク値および時間変化ともに実験値とやはり良く一致している。

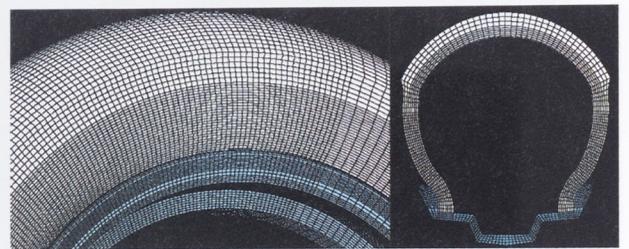
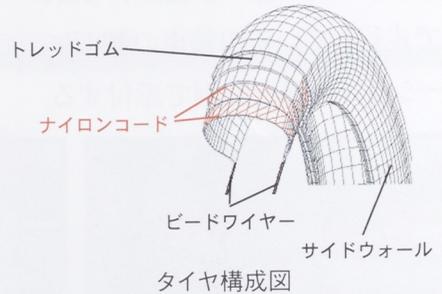


図6 タイヤモデル

準静的なタイヤ反力

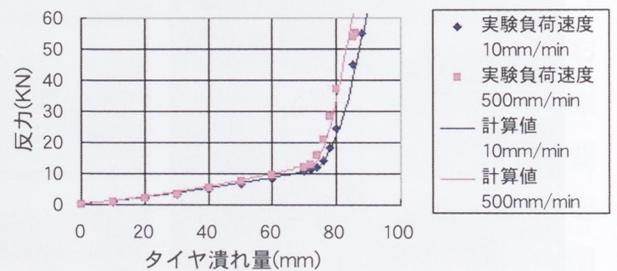


図7 静荷重

動的なタイヤ反力

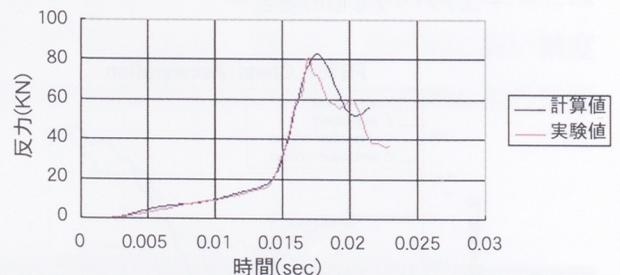


図8 動荷重

図9は車体のFEMモデルを示している。このモデルは車体の前半部の構造部分を詳細な有限要素で表している。衝突現象にあまり影響を及ぼさない車体後半部と非強度部材（アクセサリ類など）は単純化されており、後輪もバネとダンパーに置き換えられている。また、各部の重量と重心位置は実物を正確に再現している。衝突時に変形する前半各部の形状や接合状態は微小な要素で正確に表現するとともに、高速で変形し潰れる場合の材料特性の変化も考慮して、衝突現象を正確に再現できるよう工夫している。全車体モデルはこの車体モデルと前輪のタイヤモデルを組み合わせることで完成する。

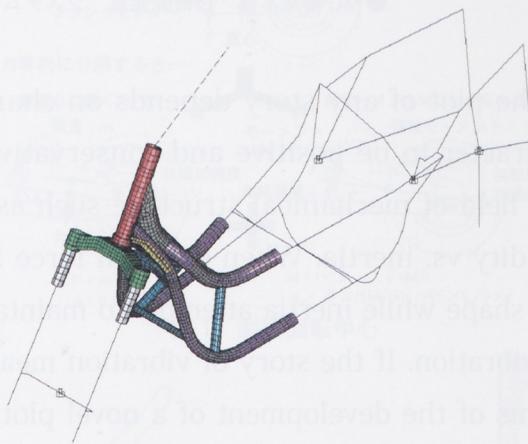


図9 車体モデル

5 おわりに

現在開発中の二輪車の衝突シミュレーション手法とそのモデルを簡単に紹介した。我々は運動機構解析ソフトと有限要素法解析ソフトのそれぞれの長所を活かした手法の開発に取り組んでいるわけであるが、最近の傾向として、MADYMOではエアバッグなど剛体でうまく表現しきれないものはFEM要素で表すことが可能になっており、一方、FEMではあまり重要でない部分の細かい要素は剛体とし、計算時間を短くするなどの改良を行っている。つまり、両者がその特長を生かしつつ他者の長所を取り入れようとしており、将来的には最初から一つの解析モデルで短い時間でいながら精度の高いシミュレーション計算が可能になると思われる。

衝突時の安全性向上を目指した研究開発は、実験が高コストなため、シミュレーション計算が特に有効な手段となり得る分野と考えられる。また、二輪車の衝突解析は現象として非常に複雑であり、技術者として非常に興味深いとともに、その成果が人命を救うことに直接的につながるため、社会的使命感を持ちやすいという僥倖にも恵まれている。今後も意欲的に挑戦して行きたい。

● 著者



出口 基明



神戸 庄二



CAE 特集

二輪車の振動

Motorcycle Vibration

田中 十四夫 Toshio Tanaka

● MC 事業本部 技術開発室 システム技術グループ

The plot of any story depends on characters in conflict. The common pattern is for one character to be positive and conservative while the other is more negative and radical. In the field of mechanical structure such as for motorcycles, this opposition takes the form of rigidity vs. inertia. When external force is applied, rigidity stubbornly attempts to maintain his shape while inertia attempts to maintain his motion in spite of the force. This is the cause of vibration. If the story of vibration measures in motorcycle development were expressed in terms of the development of a novel plot, the introduction would come first followed by the emergence of vibration then solutions proposed and finally work precedes toward a happy ending. The purpose of CAE is to read the development of vibration, create solution proposals and provide plans for the happy end at the conclusion. Here, we will introduce the highlights of such development stories using three examples (scooter vibration, motorcycle vibration and countermeasures for brake noise.)

1 はじめに

物語は互いに対峙する配役があって初めて成り立つ。一方が肯定的保守志向であれば、他方は否定的革新志向、というパターンが多い。二輪車など機械構造系でいうと、剛性と慣性が、これらの対峙する配役に相当する。同じ外力に対して、剛性は頑なに自身のカタチを保持しようとするが、慣性は自身のモーションを押し通そうとする。これが共振の原因となる。振動開発の物語を起承転結とみれば、「起」で始まり、「承」で共振が浮上し、「転」で対策を考え、「結」でハッピーエンドを目指す。CAEは、まさに「承」を読み、「転」を描いて、最終的な対策手段の「結」につなげるためにある。ここでは、その物語のさわりを3つの事例（スクータの振動、モーターサイクルの振動、ブレーキの鳴き対策）で紹介する。

2 スクータの振動

初めてローマの休日を観たとき、ヘップバーンにばかり目がいていた。今ならきっと乗っているスクータの方が気になるだろう。

二輪車におけるエンジン懸架方法（マウント）はさまざまであるが、スクータというカテゴリーではほぼリンク式の防振マウントのみである。これは、図1に示した瞬間回転中心の考え方を基本にしており¹⁾、エンジンが発生する加振力Fの方向とスイングするリンクの長手方向との関係が双方向で一義的に決まる。

リンクはゴムのねじりばねを利用しているため、車体とエンジンの相対的な姿勢変化は重要な検討項目である。基礎データとしてのディメンションや剛体特性をもとに、乗車時の変位量や各部の荷重分布などコンピュータによる計算上でのさまざまな検討が加えられる。図2は、その出力例である。先に述べた振動源となる力Fの方向や最適なリンク角度の設定値も瞬時に確認することができる。不快な振動を抑え、快適な乗り心地のヤマハ製スクーターがローマの街を駆け抜ける。つい、そんなシーンを思い浮かべてしまう。

3 モーターサイクルの振動

片岡義男の世界なら、振動をバイブレーションと呼ぶだけで、体感レベルが5VGL (Vibration Greatness Level: 振動の大きさのレベル) くらい²⁾下がってしまう気がする。

スクーターと異なり、スーパースポーツに代表されるモーターサイクルの多くはエンジンを車体に直接ボルトオンする懸架方法（以下、リジッドマウントと呼ぶ）を採用するものが多い。リジッドマウントの場合、コンピュータによる振動予測は、前項のような防振設計可能なラバーマウントにくらべ甚だむずかしいのが実情だ。しかし、相対的な比較と割り切れば、十分実用的なレベルとすることは可能である。そこで、FEM (Finite Element Method) 動解析モデルに対しマウント配置のパラメータスタディを行い、リジッドマウントにおける低振動化技術を構築した事例を紹介する。

図3は計算に用いたFEモデルの全体図である。マウント配置の全組合せにより、振動予測計算を行い、その結果を図4に示した。縦軸となるVGL_{ave}が低いほど体感振動は少ない、とされる。横軸は配置を表すパラメータで、2点マウントから

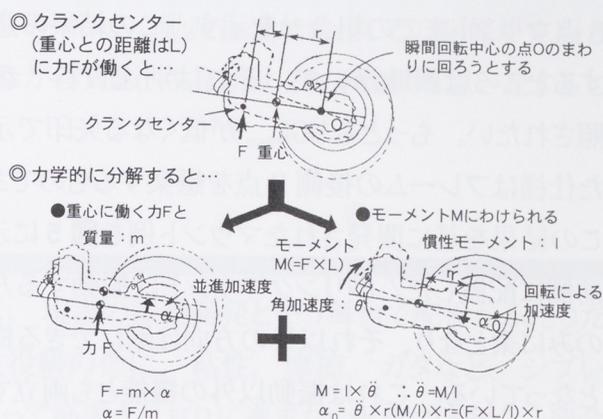


図1 瞬間回転中心

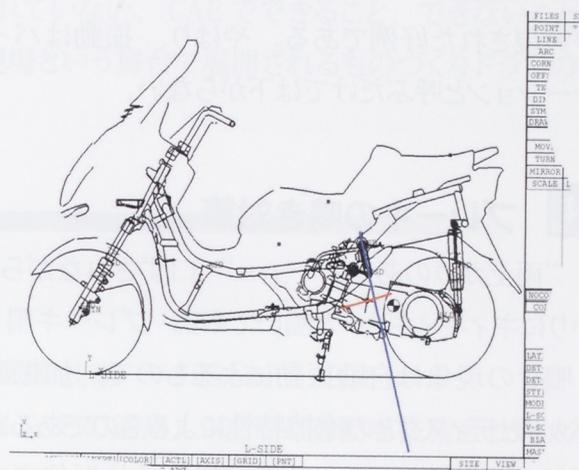


図2 スクーター CAE 画面

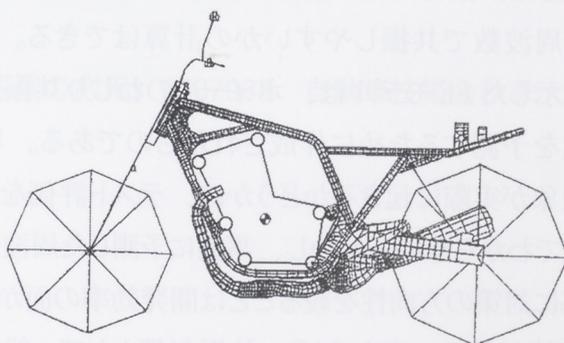


図3 モーターサイクルのFEモデル

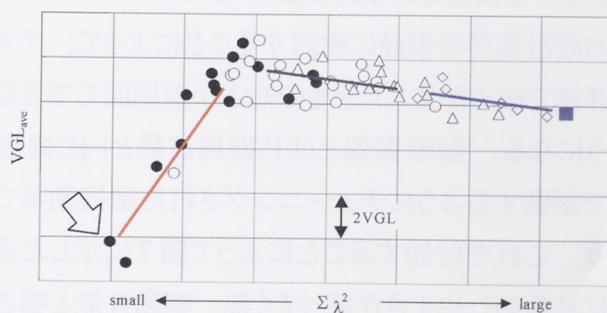


図4 FEモデルによる振動予測結果

6点マウントまでの組合せを示す。この結果の意味するところは興味深いが、それは別途資料³⁾を参照されたい。もっともVGL_{ave}が低くなる矢印で示した仕様はフレームの後側2点を懸架するものであり、この結果を基に開発されたマウント例を図5に示す。前側に配置した△型リンクマウントは振動する方向のみに柔となり、それ以外の方向は剛にできる構造となっている。これは振動以外の機能とも両立するために重要なファクタである。CAEにより低振動化が実現された好例である。やはり、振動はバイブレーションと呼ぶだけでは下がらない。

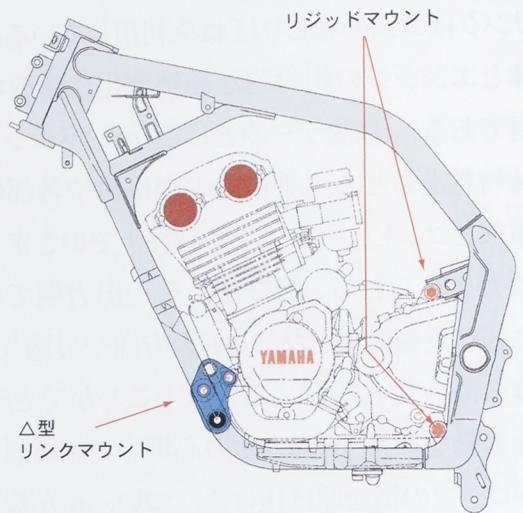


図5 △型リンクマウント

4 ブレーキの鳴き対策

“雨上がりのあさあ〜っ…” 口ずさみながらブレーキをかけると、へボな唄はやめてくれと言わんばかりにキィキィキィと鳴いてくる。ブレーキ鳴きは不愉快、いや不快である。

鳴きの現象は自励振動によるもので、加振源はパッドとディスクとの摩擦特性によるものであるが、最終的に鳴くかどうかは構成部品の共振倍率で決まる⁴⁾。CAEでは共振倍率は予測できないが、どの周波数で共振しやすいかの計算はできる。図6に示したFEモデルは、ホイールのねじり共振周波数を予測するために作成されたものである。鳴き現象が実際に起きるかどうかは、テスト評価をするまでわからない。しかし、事前に予測した周波数を基に対策の方向性を絞ることは開発効率の面からも価値がある。たとえば、共振対策として一般化されている技術である動吸振器(ダイナミックダンパ)の設計要件を事前に検討することによって、テスト評価で鳴きが生じたときの対応が短期間でできるようになる。動吸振器とは共振周波数と同じ周波数で振動するようにチューニングされた副振動系であり、これを付加することによって図7に示したように共振のしやすさが鈍ってくる。制動性能と鳴きの関係の多くはトレードオフの関係にあり、効きのい

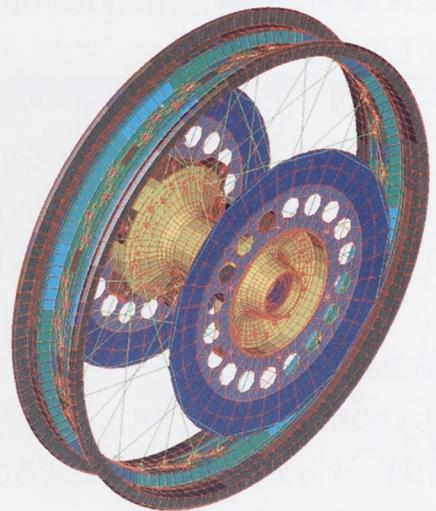


図6 ホイールのFEモデル

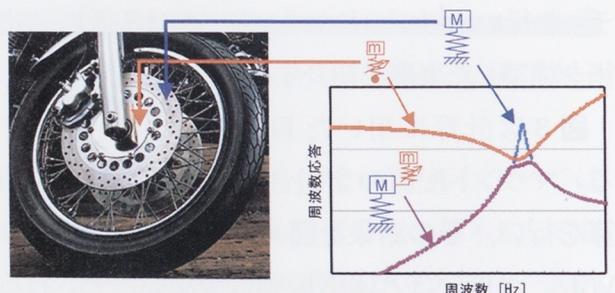


図7 動吸振器と適用例

いブレーキほど鳴きやすい傾向を持つ。図 7 に示したホイールは、動吸振器によってその関係が克服され、快適な商品に進化した事例といえる。もう、唄いながらブレーキをかけても不愉快な思いをすることはない。

5 おわりに

実際の物語で数多くのキャラクターが登場するように、現実の振動開発という舞台で配役がふたりだけ、という場面はむしろ少ない。剛性、慣性という主役級の他に、粘性、摩擦、ガタなど、シブい脇役が周りを固める場合がほとんどである。脇役によって筋書きどおりに進まないドラマは多く、残念ながら現在の CAE では彼らの立ち回り方まで演出しきれていない。CAE でできること、できないことを把握することは、開発の現場で非常に重要である。現場という舞台で展開されるものづくりドラマの脇役たちへの観照を忘れてはならないと思う。

■参考文献

- (1) 富田「二輪車の振動・騒音・乗り心地と CAE」自動車技術 Vol.35 No.12 1981
- (2) 田中, 古沢「二輪車における体感振動計測システムとその適用」902197 自動車技術会秋季大会前刷集 1990.10
- (3) 田中, 西津「シミュレーションによるモーターサイクルの振動開発」20015410 自動車技術会秋季大会前刷集 2001.10
- (4) 田中, 鈴木「低周波ディスクブレーキ鳴きと動吸振器の応用」9637933 自動車技術会秋季大会前刷集 1996.10

●著者



田中 十四夫



CAE 特集

二輪車の騒音解析

Motorcycle Noise Analysis

浅野 俊二 Shunji Asano

● MC 事業本部 技術開発室 システム技術グループ

In general, when applying CAE technology to product development, attention has focused mainly on theoretical approaches. But from the standpoint of practical use in an actual engineering process, an empirical approach is much more important. And the areas of noise and sound quality are no exception. So a theoretical approach for any solution must be based on empirical verification.

In this paper, some theoretical solutions in noise and vibration fields tried at our motorcycle division are introduced, which have been backed up by empirical verification and applied or will be applied to actual product development.

1 はじめに

一般的認識として、商品開発における CAE 技術の適用については理論解析によるアプローチに多くの関心が寄せられる傾向がある。しかしながら実際的に有効に利用するためには、実験解析の必要性が理論解析以上に重要なものである。そしてこの認識は騒音開発の分野においてももちろん例外ではない。いかなる理論解析も実験的な裏打ちがあってその有効性が発揮されるものである。

本論では、二輪車騒音開発に関して、当社で開発された理論解析例をいくつか紹介する。これらは実験解析によりその妥当性が実証されているもので、実際の開発に適用もしくは今後適用される見込みの CAE 技術である。

2 騒音の分類

二輪車から発生する騒音には、その発生個所や原因等いくつかの視点にたった分類が可能である。たとえば発生部位から見ると、車体・エンジン・タイヤ・吸 / 排気・ブレーキ系等による分類が挙げられる。また発生メカニズムの観点では、Structure-Borne-Noise と Air-Borne-Noise と呼ばれるカテゴリに分けることができる。前者は構造体表面が振動することで周りの空間に音を放射する現象であり、いわゆるスピーカ効果によって発生する騒音である。また後者はさらに空洞共鳴と流体騒音に分類され、それぞれ空間内での共鳴現象と空気の流れに伴って発生する騒音現象に分けられる。

さらに音のレベルや周波数また聴感上の観点から、レギュレーション騒音と商品性に関する騒音等にも分類することができる。

これらの中で、本論では音の発生メカニズムの視点から騒音開発への CAE の適用について当社の現状を紹介していくこととする。

3 現象の分類

CAE を実際の騒音対策に適用する場合、まずその発生メカニズムを理解しておく必要がある。

解析の対象が Structure-Borne によるものか、あるいは Air-Borne によるものかで解析のアプローチは異なったものとなる。前者の場合、最終的には騒音問題を対象としているものの、その本質は構造体の振動現象に他ならない。この場合解析の順序は構造の挙動・振動解析が最初のステップとなり、その後音場を対象とした音響放射解析へと進むこととなる。一方後者の場合には音響現象そのものが直接解析の対象となるもので、音の波動としての性質を明らかにする空洞共鳴解析と空気の流体としての視点から現象を捉える流体騒音解析とに分けられる。

これらの解析においてそれぞれ具体的に適用される手法には、構造体挙動・振動については、有限要素法と運動機構解析が、また音場の音響放射解析については境界要素法が用いられている。

一方 Air-Borne-Noise である空洞共鳴問題については有限要素法もしくは境界要素法が、また流体騒音については有限体積法が主流となっている。

有限要素法は CAE 技術の中で特に構造問題においては中核的な役割を担っており、線形問題から非線形まで幅広く適用されている技術である。また最近ではマルチボディダイナミクス（剛体系運動機構解析に弾性振動の影響を考慮したもの）に組み込まれて運動挙動全般の解析にも適用され始めている。

一方境界要素法は音響問題に見られるような無限領域を対象とする解析に有効で有限要素法の弱点を補う手法として特に非構造分野で活用されている。また有限体積法は主に流体問題への適用を中心に発展してきた手法といえる。以上をまとめて図 1 に示す。

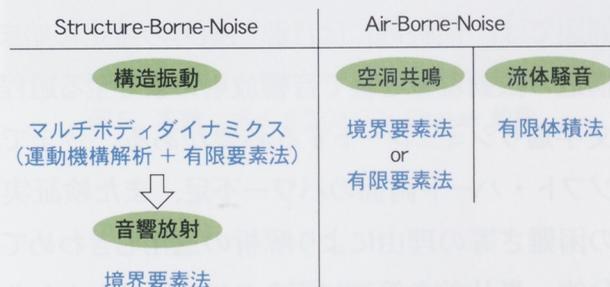


図1 騒音現象の分類と解法

またこれら解析から得られる結果の評価については、現状においては定常問題すなわち周波数領域における適用がほとんどであり、過渡的な時刻歴を対象とする評価は稀に行われる程度である（ただし解析結果の分析においては、特に実験解析で定常時の時刻歴分析はよく用いられるものである）。

4 解析の実用例

当社で二輪車の騒音開発に最初に適用された本格的な CAE 技術といえば、エアクリーナの吸気騒音への適用である。本例は前述した Air-Borne-Noise に起因する空洞共鳴対策であるが、自動車業界においても早くから取り入れられ、広く普及している技術である。

一方、当社の手法はその特徴として共に開発された検証実験手法に準拠するもので、加振スピーカや大気開放等の境界条件の影響が完全にキャンセルされ、対象となる音響モデルの純粋な特性を算出

できるという点においてユニークなものである。そして実験解析および理論解析結果を区別なく同じレベルで商品開発に適用できるというメリットを持つ。さらには各音響素子の組み合わせによるシステム評価も可能とするものである。本手法を用いた実験および解析事例を図2、3に示す。

本手法は吸気系のみならず排気系にも適用可能であるが、この場合空洞共鳴（音響効果）に加えて流体騒音（脈動効果）の影響も無視できないものとなる。流れの解析によるアプローチが次の開発目標である。

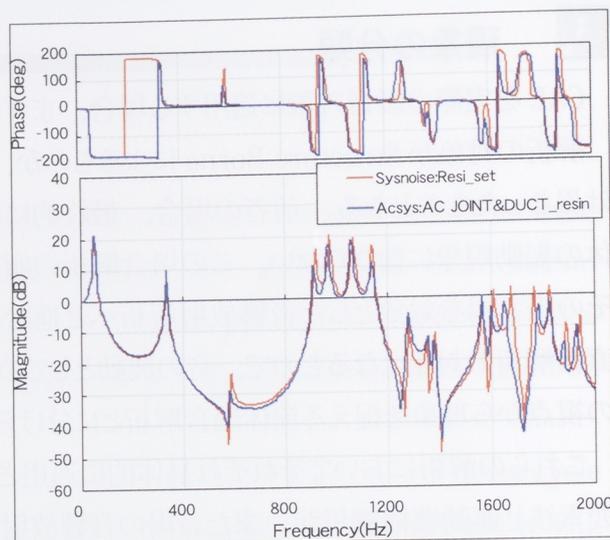


図2 エアクリーナ消音特性
—：計算、- -：実験

5 解析の開発例

エンジン騒音開発に対するCAEの適用は当社においてもかなり以前から試みられてきた。しかしStructure-Borne-Noiseの代表例ともいえる当問題では、最終的には音源加振力の特定に始まり構造の振動現象を経て音響放射にまで至る過程を文字通りシミュレートする必要がある。今まではソフト・ハード両面のパワー不足、また検証実験の困難さ等の理由により解析の適用もきわめて部分的、断片的な範囲に限られていた。しかしながら

ここ2~3年実際のエンジンをコンピュータ上で駆動するVirtual-Engineの概念が一部現実のものとなり、エンジン内で発生する各力がある程度シミュレートすることが可能になってきた。これは主に前述したマルチボディダイナミクスにおける最近の著しい進歩によるものである。

エンジン内の騒音加振源は大きく分けて4つに分類される。1. クランク及びピストンの運動に起因するパワートレイン系加振力、2. カム・バルブ等に伴う動弁系加振力、3. 駆動ギア等のドライブトレイン系加振力、そして4. 爆発圧によるシリンダ・ピストンへの加振である。これらの力がクランクケース、ケースカバー、シリンダ等を加振してエンジン表面の振動を励起する。そしてスピーカ効果となって周囲に音が放射されることとなる。

当社でも他社同様この分野にCAEを適用する目的で開発が進められてきた。そして部分的には成果も現れ始めている。開発は2つのフェーズからなり第一段階は上述したエンジン内で発生する加振力を予測する技術である。そして第二段階ではそれら加振力が加わった時に放射される音響パワー、音圧分布等を予測するものである。

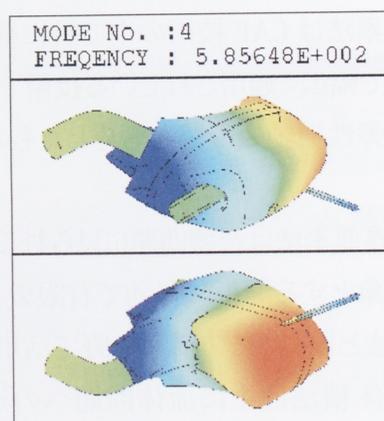


図3 エアクリーナ音圧モード

開発の順序はまず第二段階の手法確立と実機検証から行われた。この理由は単純で開発の難易度が後者の方が低いためである。この開発では具体的には、ボイドエンジン（内部パーツを取り外したエンジンケース全体で、クランクケース、ケースカバー、シリンダ、ヘッドシリンダー等を組み付けた状態）をシェーカにて加振して、周囲に放射される音をシミュレートし、実験値と比較、検証した。

解析の手順は、ボイドエンジンの振動解析（加振力はシェーカより付加される力）を経て音響放射を計算する。本解析事例を図4、5、6、7に示す。

一方第一フェーズの開発においては、そのカバーする範囲は問題の性質上単に騒音開発に留まるものではなく、エンジン開発全般に及ぶものである。それは前述したようにエンジンの実挙動そのものを直接シミュレートする試みであり、今まで計測が困難な各種物理量や各部品挙動に関する情報、また部品間の相互に及ぼす影響などが解析の対象となるためである。当然のことながら解析にかかる負荷やコストも大きなものとなり、開発自体の難易度も高い。

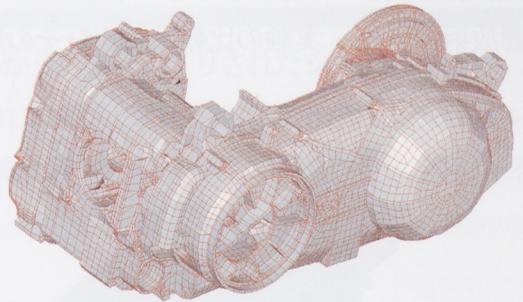


図4 ボイドエンジン構造モデル

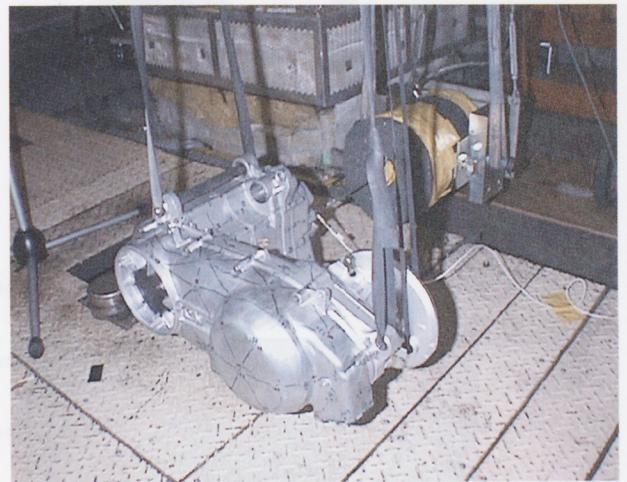
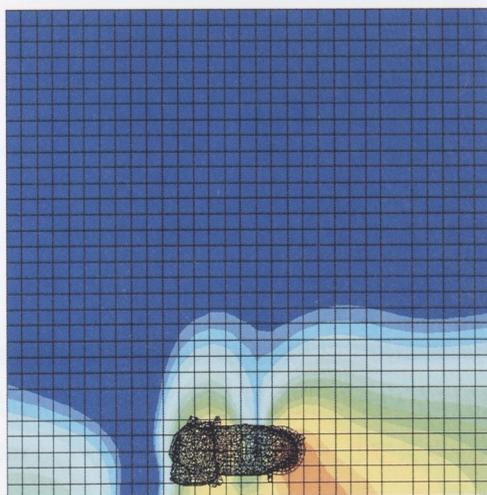
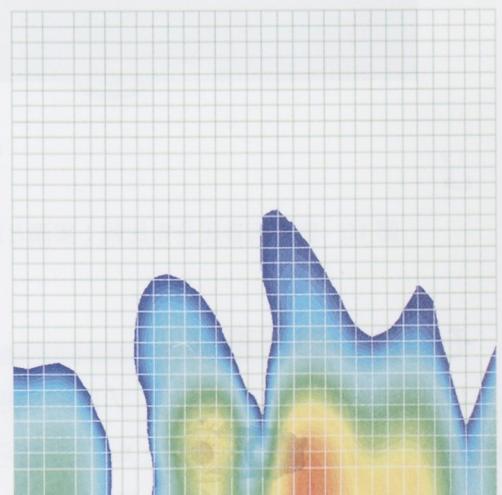


図5 実験：ボイドエンジン Shaker 加振



最大音圧レベル：78.60dB

図6 計算：Shaker 加振によるボイドエンジン 487Hz 左側面音圧分布



最大音圧レベル：75.4dB

図7 実験：Shaker 加振によるボイドエンジン 465Hz 左側面音圧分布

本解析事例として現在進めている爆発圧とパワートレイン系に基づく加振力について、それらに伴う音響放射の計算・実験の比較、およびその解析モデルを図8、9、10に示す。

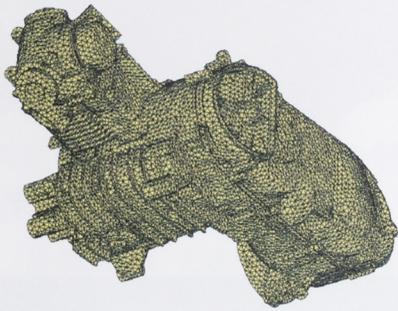


図8 構造メッシュ（振動モデル）

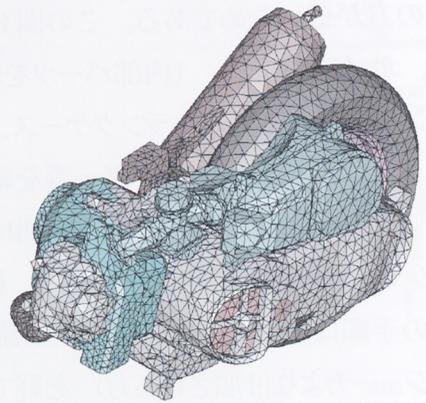


図9 音響メッシュ（音響放射モデル）

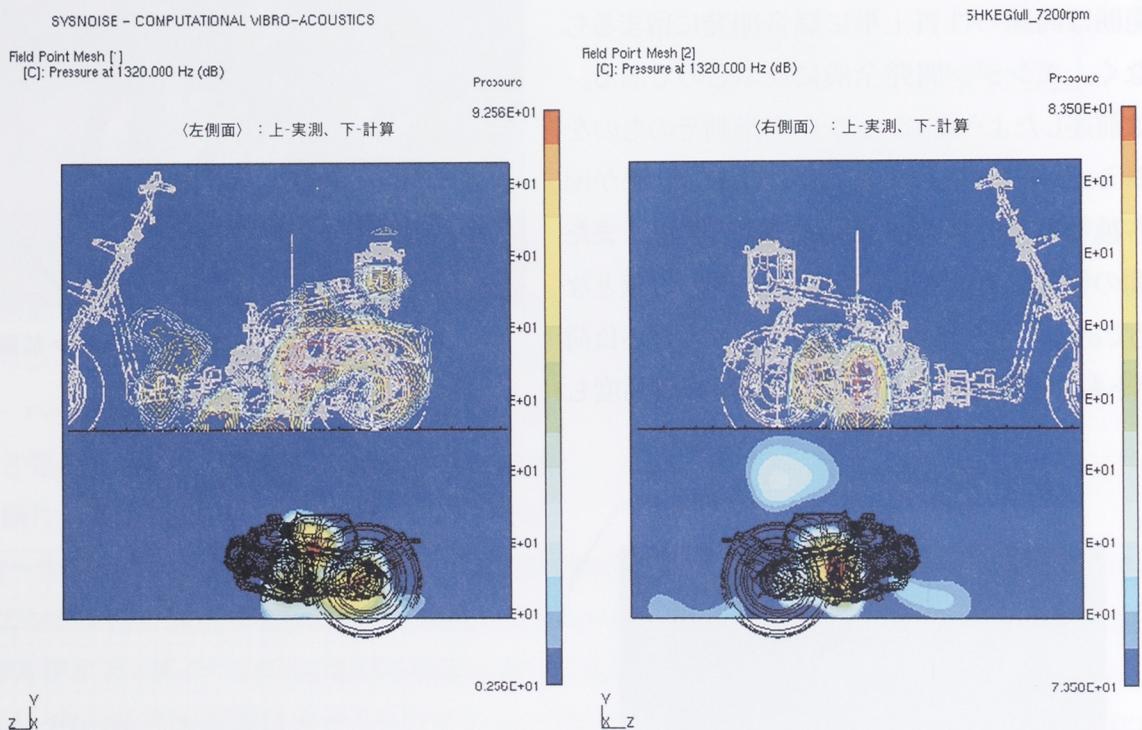


図10 実車両音圧分布比較：実測と計算（計算は爆発圧とパワートレイン系加振力を考慮）

6 その他の適用事例

以上に挙げた事例以外では、ブレーキ鳴き問題（特にグロン音と呼ばれる低・中周波数域の自励振動）、吸/排気系のシェル音、さらにデルタボックスフレームやリアアームからの放射騒音（Structure-Borne-Noise）等に適用されている。

これらの事例は商品開発が比較的進んだ段階における問題点对策手法として用いられる場合が多く、今後適用の一層のフロントローディング化が必要である。

7 おわりに

CAE 技術の進歩は著しく、従来の部品単位による検討からアッセンブリされたシステム評価へ、また実験解析と理論解析が一つの解析ツールとして統合されプロジェクト開発に適用されようとしている。これらの環境の中で当社に見合った技術を取捨選択し、噛み砕き、再構築して商品開発に提供することが我々 CAE 技術者の役割であると考えます。

● 著者



浅野 俊二



CAE 特集

二輪車の流体力学

Fluid Dynamics of Motorcycles

大滝 尚 Takashi Ootaki

● MC 事業本部 技術開発室

The motorcycles and the other important products we produce are at once a tool to get out into nature and a trusted friend to share the experience with. The high quality we have developed at YMC in order not to betray the strong trust placed in us is a source of pride and an irreplaceable asset for us. The "flow" which can be experienced in the wind or a babbling stream found by taking just one step beyond the everyday is a pleasure which makes one feel surrounded by nature, and helping to provide this experience is a major concept in our products.

This phenomenon of flow is also an important element in the reliability and safety of products and is studied at every step of the developmental process. Thanks to the incredible advances in computer hardware in recent years, low-cost, fast and effective simulation of this flow value is now possible and detailed analysis of the flow aspect is performed from the early stages of development. Here, we will take the example of motorcycle development and present an actual case of the use of simulation in examining engine cooling and high-speed rider wind-protection values.

1 はじめに

モーターサイクルをはじめとする当社の主要な商品群は、大自然に分け入るための道具であると同時に、それを共に体験する心強い友人でもある。人々がよせる全幅の信頼を裏切らない高い品質は、当社の誇りであり、かけがえのない財産である。日常を一步踏み出した先で出会う風や川のせせらぎのような「流れ」は、人々が自然につつまれていることを実感するのに欠くことのできない恵みであり、それらとの出会いは当社製品の重要なコンセプトとなっている。

一方でこのような流れ現象は、製品の信頼性や安全性にかかわる重要な要素でもあり、開発の随所において検討がなされている。近年のコンピュータハードウェアのめざましい性能向上によって、安価で速くかつ十分な分解能をもった流れの数値シ



図1 Touching Your Heart

ミュレーションが可能となり、開発の早い段階から流れの問題を詳細に解析できるようになってきた。本稿では、モーターサイクル開発を例にとり、エンジンの冷却と高速走行時の乗員ウィンドプロテクションを数値シミュレーションによって検討した事例を紹介する。

2 エンジン冷却

現在世界中で消費されるエネルギーの4分の3は化石エネルギーである。化石エネルギーには石油や石炭、天然ガスなどがあるが、これらは数億年も前に地球に降り注いだ太陽の光エネルギーが動植物によって吸収され化石となって地中に閉じ込められたもので、エネルギーのタイムカプセルと言える。約500ccのガソリンが持っているエネルギーは、家庭の風呂一杯を沸かすことができる程度の熱量に相当する。エンジンは、石油に閉じ込められた太古のエネルギーを取り出し、動力に変えて車やモーターサイクルを動かしているのである。

ところが、燃料が持っているエネルギーからエンジンが動力として取り出せるのは高々25%程度しかなく、それ以外のエネルギーは排気ガスで排出されたり、熱に形を変えてしまう。エンジンに伝わった熱は、エンジン部品の強度を落とすなど様々な問題を起こすため、適切に冷却してやる必要がある。そのため、エンジン内部には冷却水を通す通路を設けてある。エンジンの熱は、ここを通った冷却水によって車体に取り付けられたラジエタに運ばれ、走行風や電動ファンによってラジエタを通過する空気に排出される。ラジエタで冷やされた冷却水は、再びエンジン内部にポンプで送られる。このように冷却システムは1つのサーキットになっており、どこか一箇所でも機能低下があるとシステム全体の性能低下につながってしまう。

冷却水通路はエンジン冷却システムの最上流にある（図2）。固体から流体への熱伝達は、壁際の流速が速いほど活発である。人が風にあたり涼しいと感じるのは、速い空気の流れが肌から熱をさかんに取り去っているからである。エンジンから冷却水への熱伝達を多くするには冷却水の流量を増やせばよいが、むやみに増やしても壁から離れたところにある冷却水は熱伝達に寄与せず通りすぎるだけなので、ポンプの損失にしかならない。固体を伝わる熱にも経路があり、エンジンの熱が溜まりやすい部分に冷却水を流してやる必要がある。また冷却水通路形状を変更することは、同時に固体の熱伝達経路を変更することでもある。さらにエンジン部品の材料であるアルミニウムに対し水の比重は半分以下であるため、冷却機能としてではなく軽量化の手段として通路が使われることもある。

一方、冷却システムの最下流にあるのがラジエタである。ラジエタの放熱能力はその面積や体積に

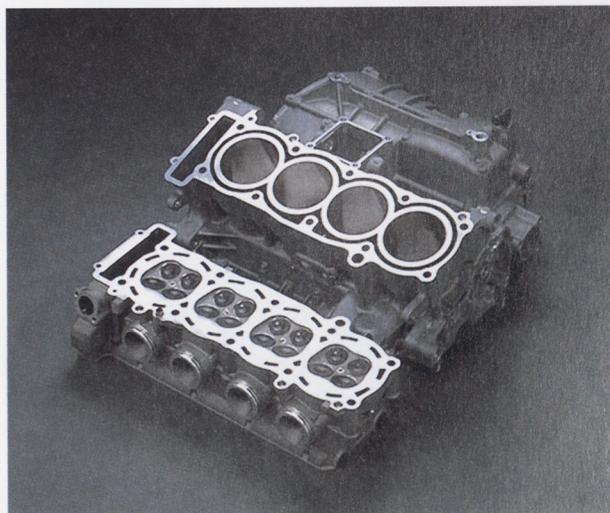


図2 エンジン冷却水通路

よって決まるが、それは空気が一定の流速で通過するということが前提になっている。モーターサイクルのラジエタは、通常車体のエンジン前部に取り付けられている（図3）。これは走行風があたりやすいようにと考えられたレイアウトであるが、エンジンがすぐ後ろにあることで逆に空気が通過しにくいという状況になってしまうことがある。通常ラジエタを通過する空気の平均流速は、走行速度の15～20%程度であると言われているが、よく設計されたものは25%を越えている。これはラジエタを小さくできることを意味しており、軽量化や暖気時間の短縮などメリットは多い。



図3 モーターサイクルのラジエタ

冷却水通路形状とラジエタレイアウトは、開発早期の段階で設計する部分である。この部分を後で変更することは、全体のバランスに影響を及ぼすとともに多額の費用を要するため、この時期に詳細な解析を行うことは価値がある。また数値シミュレーションでは、実測では困難な熱の流れの評価なども行えるため、具体的な数値による品質の裏付けが可能となった。図4に数値シミュレーションによる冷却水通路形状の検討例を示す。エンジンの熱伝導と冷却水による対流熱伝達を計算した。熱負荷が高いエンジン排気側の温度が高くなっていることがわかる。図5はラジエタを通過する空気流れの検討結果である。前輪とフロントサスペンションの影響が現れている。

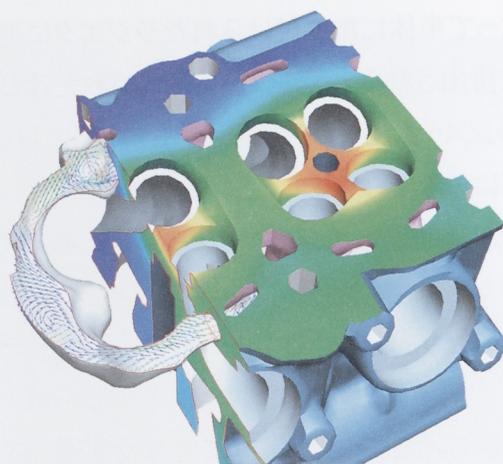


図4 シリンダヘッドの温度分布
(手前が排気側、赤色は温度が高い部分)

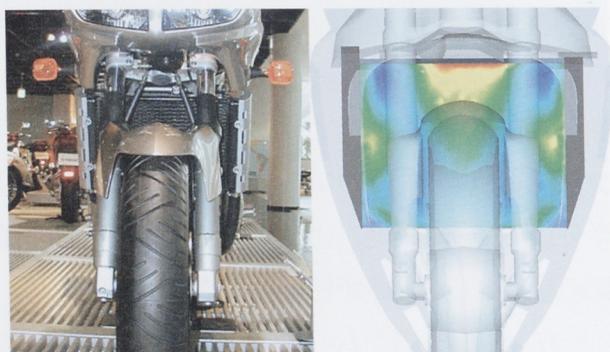


図5 ラジエタ通過風速（赤色は流速が大きい部分）

3 ウィンドプロテクション

地球をとりまく大気圏の厚みは約 50km とも 100km とも言われている。しかし、地球の直径が約 6,400km であることを考えると、それは非常に薄い膜のようなものであると言える。空気にも質量があり地球の引力によって地表に押し付けられている。その圧力は地上で1平方メートルあたり 10t にもなり、密度は1立方メートルあたり 1.2kg ある。モーターサイクルで走行したときに乗員にかかる風圧は、この空気の質量によるもので、その大きさは走行速度の2乗に比例する。

モーターサイクルのカウリングはデザインの一部であり、乗り手に訴える形状美を備えると同時に、クルージング時には心地よい走行風を導き入れ、高速走行時にはしっかりと乗員を風から守る機能が要求される。時速 100km で走行するカウリングのないモーターサイクルの乗員の上半身には約 100N 強の力が加わるが、乗車時にはやや前傾姿勢をとることもあって、この程度の風圧はそれほどシビアなものではない。一方、この時の乗員の耳元での騒音は、長時間の乗車には大きな負荷となる。騒音発生の原因は、ヘルメットのまわりで発生する小さな渦にある。渦音の音圧は渦からの距離の3乗に反比例するため、耳のすぐ近くで渦が発生すると大きな騒音となる。カウリングによりヘルメットまわりの空気の流速を下げれば、渦の強さが弱くなり騒音を下げることができる。またエンジン冷却の例でも触れたが、固体から流体への熱伝達は、壁際の流速が速いほど活発であるため、寒さに敏感な指先や膝などへ風が直接当たると、そこが局所的に冷やされてしまう。そのため、これらの部分への風当たりもカウリング設計の重要な検討項目である。

図6にスクーター乗員前面の空気流速分布を示す。青い領域は空気流速が遅くなっていることを示しており、カウリングの効果がわかる。このスクーターのスクリーンにはエアインテークが採用されている。

図7にエアインテークを開いた場合と閉じた場合のヘルメット表面での渦強度の比較を示す。エアインテークを開いた場合、閉じた場合よりヘルメット表面の渦強度が弱くなっている。渦は流れに速度差がある場合に発生するが、エアインテークからスクリーン内側に入った空気が、スクリーンを越えてヘルメット前面側に入り込もうとする流れを押し広げているため、速度差が小さくなっているからである。

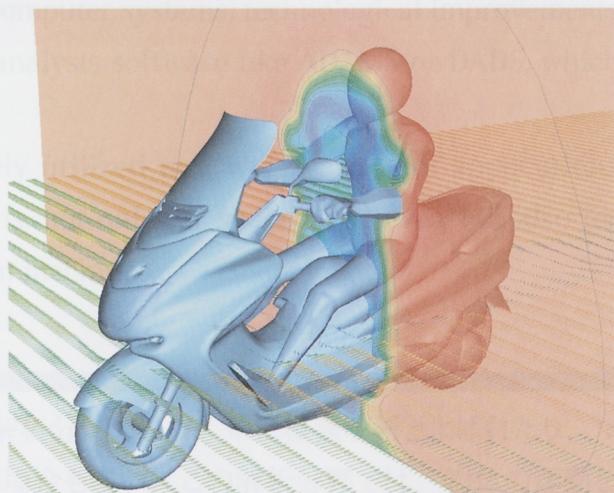


図6 スクーターのウィンドプロテクション
(青色は流速が小さい領域)



図7 エアインテーク開閉によるヘルメット表面の渦強さの比較 (赤色は渦が強い領域)

4 おわりに

物理現象は、さまざまな要因が影響し合ったり引き金となって我々の前に現れる。ここで示した2つの事例は、いずれも直接の課題は熱や騒音などであったが、これらが流れと密接に関係しているということがおわかりになったと思う。商品が壊れるか壊れないかというのは、目に見える現象として絶対に守らなければならない最下限の品質であるが、商品に係わる問題要因は、このように必ずしも陽的な事象として表れるわけではない。商品の品質、特に安全性と信頼性は、それらをいかに多くの要因から検討し、どれだけのマージンが確保されているかを定量的に示そうとする努力によって保証される。商品の付加価値は、お客様が商品を快適に楽しくお使いいただけるような工夫を創造することで高められるが、それには様々な事象をさらに積極的に観察し考察することが求められる。

数値シミュレーションは、そのための強力な道具として発展しつつあるが、あくまでもコンピュータ上で行う実験であり、回答を出してくれる魔法の箱ではない。商品の品質と付加価値を高めるのは、好奇心と観察力そして誇りである。



CAE 特集

運動機構解析

Motion Mechanism Analysis

木村 哲也 Tetsuya Kimura

●研究開発センター コア技術研究室 ダイナミクスグループ

Motion Mechanism Analysis is a process for determining the movement of mechanical systems. It is often simply called mechanical analysis, or multi-bodied dynamics. It is an analytical process for the movement of objects. Its fundamental principle is Newton's "law of motion." The content is basically obtaining the motion equation for an object. As learned in physics in high school, it is not difficult to determine the motion of a single object. But the conventional mechanical system requires calculations of several related objects. In this case, it suddenly becomes very difficult to obtain the motion equation.

Utilization of motion mechanism analysis became tangible during the development race of space satellites between the United States and the Soviet Union in the 1960s, at which time it is said analytical theory made progress in leaps and bounds. After that period, various fields began utilizing it owing to the dynamic development of computer systems, technological improvements and diffusion of general-purpose motion system analysis software like ADAMS or DADS, which were commercialized in the 1980s.

Motion mechanism analysis is presently widely utilized in a wide variety of applications and is used in all types of mechanical simulations, not only for space structures, but also for automobiles, rolling stock, robots, and construction machines.

1 はじめに

運動機構解析とは、機械系システムの運動を扱う解析分野であり、単に機構解析とよばれたり、マルチボディダイナミクス（多体系動力学）とよばれる場合も多い。この解析分野では、物体の運動を対象としており、その基礎原理はニュートンの運動法則であって、物体の運動方程式を導出して、その運動を求めるといった内容が基礎になっている。

これは高校の物理の授業でも行われるように、一つの物体について運動を求める限りにおいては、特別難しいことではない。しかし、通常の機械系システムでは複数の物体が連結されて機構を構成しており、その運動方程式を導出するとなると、途端に非常に困難となる。

このことは、1960年代に米ソにおいて盛んに行なわれた人工衛星の開発競争によって顕在化し、解析理論の飛躍的な発展が行われたといわれている¹⁾。また、その後のコンピュータの大幅な高速化と利用技術の進歩、および1980年代に商用化されたADAMSやDADSといった汎用の運動機構解析ソフトの普及によって、様々な分野で盛んに利用されるようになった。

現在では、宇宙構造物はもちろん、自動車、鉄道車輛、ロボット、建設機械などなどありとあらゆる機械系のシミュレーションに用いられており、その適用範囲は極めて広い。

2 当社における運動機構解析

当社において運動機構解析手法を適用した最初の事例として、1989年に発表した二輪車の突起乗り越し挙動シミュレーションが挙げられる²⁾。これは当社の主力商品であるオートバイの悪路走行を想定した台上耐久試験(図1)を、コンピュータシミュレーションで行なったものである。図2のようにオートバイをメインフレームと前後輪および前後サスペンションを連結したものとモデル化し、コンピュータ上で走行させることによって、各パーツに働く力を求め、これを構造解析に利用して、机上での正確な強度検討が行なえるようになった。また、1991年には突起乗り越しシミュレーションの解析モデルを応用した、落下強度シミュレーションを発表している³⁾。

ただ、この当時の解析モデルは発展性にとぼしく、様々な車両形式や試験形態等に対応させるためには、解析対象毎にその都度運動方程式を導出し、計算プログラムを作成するといった非効率な作業が求められた。そこで当社においても、1987年頃からマルチボディダイナミクスの手法を用いた汎用の運動機構解析ソフトの開発に着手し、2次元の運動機構解析ソフト KINE2D を1991年3月にリリース、また3次元版の KINE3D を1992年7月にリリースしている⁴⁾。このシステムは社内開発の CAD である STAGE と組み合わせられて、GUI によってモデルを作成することができ、運動方程式を全く意識することなく、設計者がプラモデル感覚でモデルを構築できるという画期的なものであった。

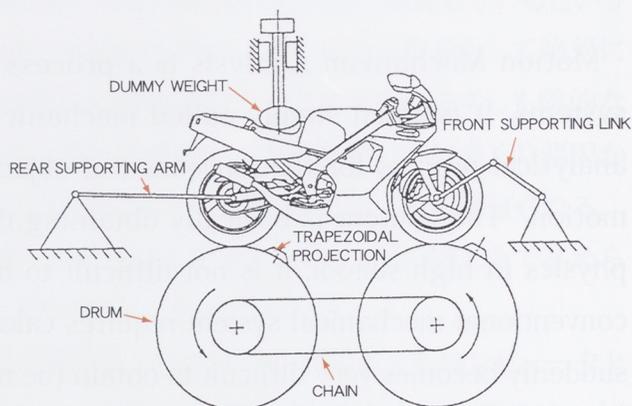


図1 台上耐久試験概要

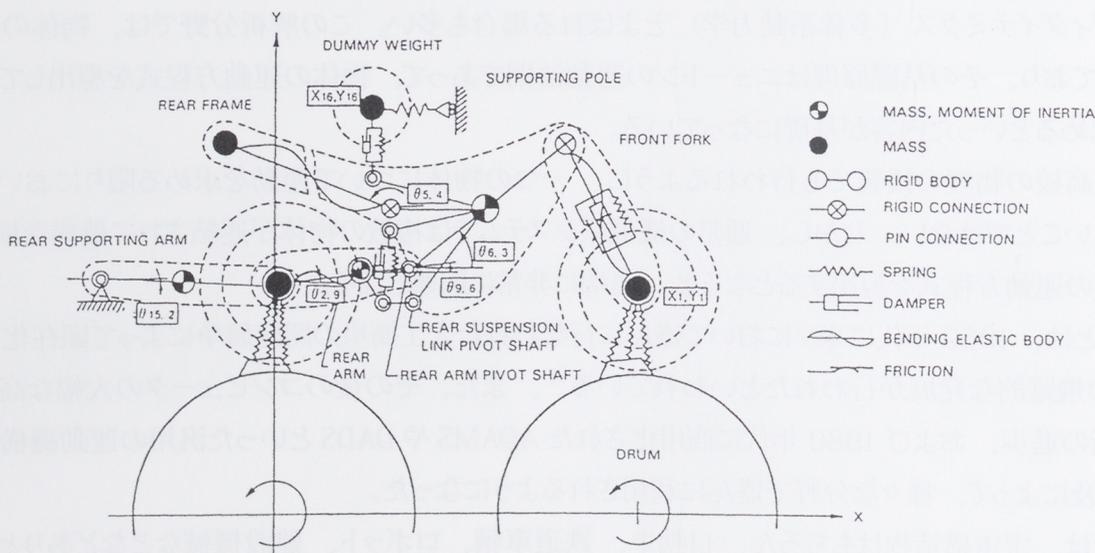


図2 突起乗り越し挙動シミュレーションモデル図

この KINE2D/3D のリリースや、同時期の導入した商用の運動機構解析ソフト DADS の利用によって、運動機構解析の適用分野は大幅に広がり、オートバイのリンク式サスペンションの挙動解析や、ATV や芝刈り機の足回りやステアリング系のアライメント設計、スノーモービルの操縦安定性解析などなど、当社の様々な製品の設計検討に利用されるようになった。

しかし、汎用の運動機構解析ソフトも万能ではなく、必ずしもすべての問題に適用できたわけではない。特にエンジン系の動部品の挙動解析においては、ピストンスカート部や軸受け、カムなどといった摺動部での力の予測が重要であり、狭いクリアランスの中で変形しながら油膜を形成して接触力や摩擦力が発生するといった、複雑な力の算出をおこなう計算モデルの構築が鍵となる。これらの力を一般化して扱うのは困難であり、汎用の運動機構解析では扱いにくい種類の問題である。その一方で注目する部品点数は少ない場合が多く、運動方程式自体はあまり複雑ではないため、こういった問題には運動方程式を導出して専用プログラムを作成するという旧来の手法をとり、ピストン挙動解析プログラム KisPis⁵⁾ (図3) や動弁系挙動解析プログラム KisVas (図4) といったものが作成された。

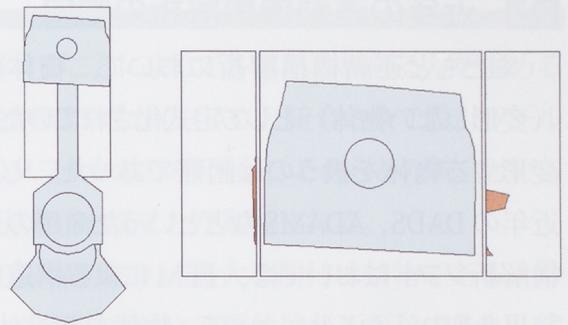


図3 ピストン挙動解析

0.000E+00 >

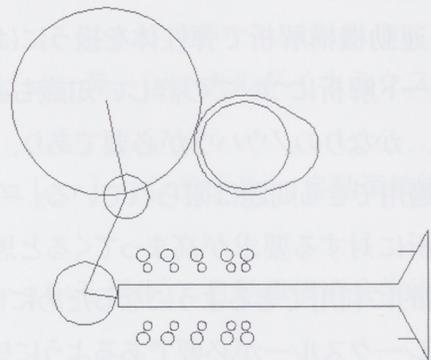


図4 動弁系挙動解析

3 近年の運動機構解析の動向

もともと運動機構解析において、物体は剛体（変形しない物体）として定式化されていたため、変形する物体を扱うのは困難であった。しかし、近年の DADS、ADAMS などといった商用の運動機構解析ソフトにおいては、FEM による構造解析の結果を取り込むことによって、物体を弾性体として扱えるようになってきており、物体の変形を考慮した挙動解析が可能となっている。当社ではオートバイのフレームを弾性体とした操縦安定性解析や、クランクとシリンダを弾性体としたクランク挙動解析（図5）などの試みが行われている。

ただ、運動機構解析で弾性体を扱うには、構造解析やモード解析についての詳しい知識も必要とされるなど、かなりのノウハウが必要であり、現状ではこれを適用できる問題は限られている。今後このような解析に対する要求が高まってくると思われるが、実用的に利用できるようになるためにはもう一段階のブレークスルーが必要であるように感じられる。

また、汎用の運動機構解析におけるもう一つの動向として、3次元 CAD との統合が挙げられる。

近年の3次元 CAD の急速な発展に伴い、3次元設計モデルをベースに、構造解析や運動機構解析などの手法を用いて、設計段階で製品の性能を予測し、実験・試作工程を削減するという、いわゆるバーチャルプロトタイピングに活用しようとする動きが盛んである。コンピュータシミュレーションで実験や試作で行なわれていることの全てを代替しようとするソフトウェアメーカー売り込み方には疑問も感じるが、運動機構解析や構造解析が CAD の一機能として提供され、図面の作成とともに挙動や強度・振動などの解析が同時に行なえるようになれば、設計者にとって強力なツールとなることは間違いなく、今後の動向が楽しみである。

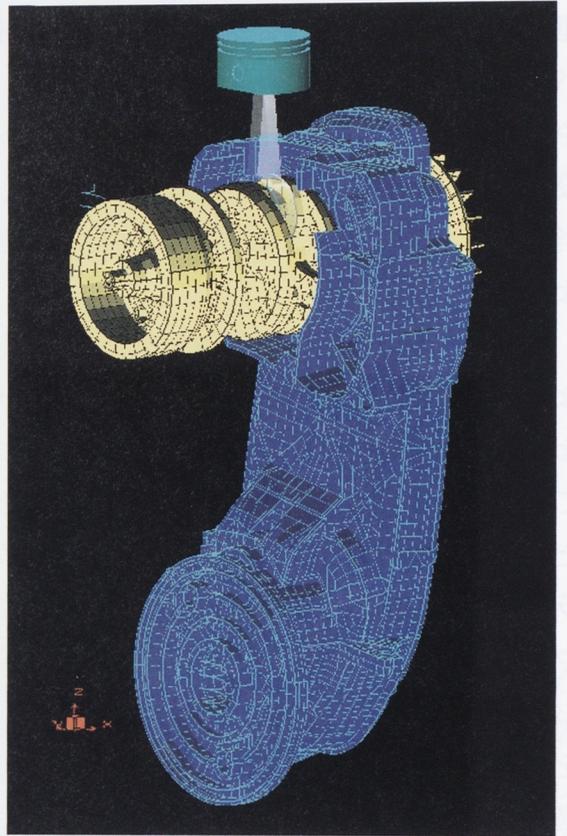


図5 弾性体を含むクランク挙動解析

4 おわりに

運動機構解析という解析分野は、機械系の運動を解析することによって各部品に加わる力を求めるという機械設計において基本を成す解析分野であり、当社では早くからCADと統合されて設計ツールとして活用されてきた。近年の3次元CADや構造解析系のソフトウェアの発展と、これらとの統合といった動向を見ると、今後ますます高機能化して様々な場面で活用されることが期待される。

しかし、純粋に理論的に解析できる問題にもある程度の限界があり、過大な期待は禁物である。今でも摩擦や熱伝達といった現象をモデル化するためには、実験計測による裏付けが不可欠であり、実験が困難なものは解析も困難である。今後解析する領域が増大するにつれて実験計測の重要性がますます大きくなるものと考えられる。

■参考文献

- 1) 吉村 浩明, “力学の形式と基礎原理の考え方”, コンピューテーショナルダイナミクス講習会資料, 1997年11月
- 2) 杉山 滋, 内藤 重男, “二輪車の突起乗り越し挙動シミュレーションモデル”, 自動車技術, Vol. 44, No.10, 1990
- 3) 内藤 重男, 杉山 滋, “二輪車の落下強度シミュレーションモデル”, 自動車技術会学術講演会前刷集 912 1991-10
- 4) 杉山 滋, 内藤 重男, 戸口 孝則, “運動機構解析システムの開発”, 自動車技術, Vol.47, No.12, 1993
- 5) T.Kimura, K.Takahashi and S. Sugiyama, "Development of a Piston Secondary Motion Analysis Program with Elastically Deformable Piston Skirt", SAE 1999-01-3303/JSAE 9938058

●著者



木村 哲也



CAE 特集

熱伝導解析

Heat Transfer Analysis

松岡 直樹 Naoki Matsuoka 中野 実 Minoru Nakano

● AM 事業部 / (株)ワイ・イー・シー プロセス開発事業部 DE 推進室

Low weight, compact size and high output are characteristics of the automotive engines developed by Automotive Operations. On the other hand, there have been increasing calls for higher efficiency and greater compactness in engines in order to address environmental issues and secure an extra measure of safety in head-on collisions. But along with this, increases in the levels of heat transfer occurring in the engine itself can cause problems that must be avoided, such as deterioration in material strength and heat-induced distortion. In addition to this, unevenness in combustion chamber wall temperature between the cylinders adversely affects the engine's anti-knock characteristics, and simply increasing the amount of coolant to the engine in turn adversely affects its warm-up characteristics. CAE technology that enables prefabrication analysis has become indispensable in the development of high-quality engines in such a short time frame by addressing these problems in the design of the water jackets.

This report introduces the methodology employed in analyzing coolant flow and heat transfer for a cylinder head as an example of how heat-transfer analysis can be used in automobile engine development.

1 はじめに

当事業部の自動車用開発エンジンは、軽量・コンパクト・高出力が特徴である。一方、環境問題への対応や車両衝突安全性の確保のため、益々エンジンの高効率化・コンパクト化の要求が高まっている。それと共に、エンジン自体への熱伝達量の増大が、材料強度の低下や熱変形を引き起こさないように配慮しなければならない。また、燃焼室壁温度の気筒間ばらつきはエンジンの対ノック性を悪化させ、冷却水量の安易な増大はエンジン暖気性能を悪化させる。そのため、ウォータージャケットの設計にあたっては、これらの問題を未然に防ぎ高品質のエンジンを短期間に開発する為、CAE 技術の活用による事前評価が必要不可欠になってきている。

本報告では、自動車用エンジン開発業務における熱伝導解析の適用例としてシリンダーヘッドの冷却水流れ・熱伝導解析の手法について紹介する。

2 解析方法

2.1 解析手順の概要

図1にエンジン（シリンダーヘッド、シリンダーブロック）のウォータージャケット水流れ・熱伝導解析の手順を示す。

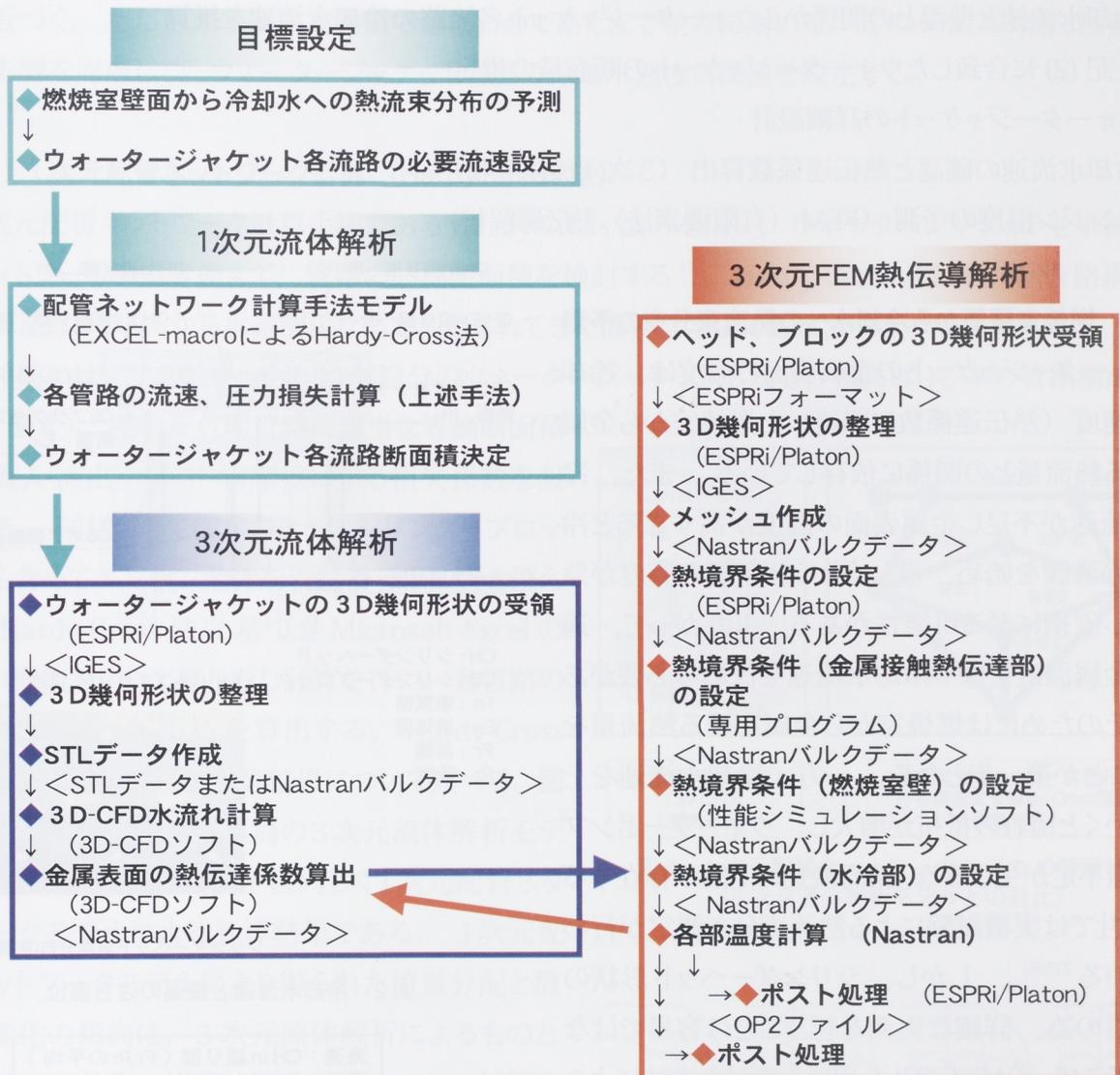


図1 エンジンのウォータージャケット水流れ・熱伝導解析の概略手順

以下にこの手順の内容を説明する。

2.2 ウォータージャケット設計の目標設定

エンジンは燃料を燃焼室内で燃焼させ、発生する熱エネルギーを機械エネルギーに変換する。この機能を満足する為に冷却水によりエンジンの温度上昇を適正值に抑えなければならない。しかし、単純にウォーターポンプの容量を大きくし冷却水流量を増やしても圧力損失の増大やエンジン暖気性能の悪化を引き起こす。また気筒間の燃焼室壁温度ばらつきの改善も期待できない。したがって、ウォータージャケットの設計においては、必要最低限の冷却水流量で必要な部位を的確に冷却し、かつ各気筒の燃焼室温度を均等にするための精密な冷却手法が必要である。この精密冷却に関してはいくつかの報告¹⁾²⁾³⁾⁴⁾がなされており、本報告では1)、4)の手法を参考にしている。以下の一連の手順について説明する。

- (1) 燃焼室壁面から冷却水への熱流束分布の予測
- (2) 冷却水流速と壁温との関係からウォータージャケット各流路の冷却水流速を推算
- (3) 上記 (2) に合致したウォータージャケットの断面積の推定
- (4) ウォータージャケットの詳細設計
- (5) 冷却水流速の確認と熱伝達係数算出 (3次元流体解析)
- (6) エンジン温度の予測 (FEM (有限要素法) 熱伝導解析)

2.2.1 燃焼室壁面から冷却水への熱流束分布の予測

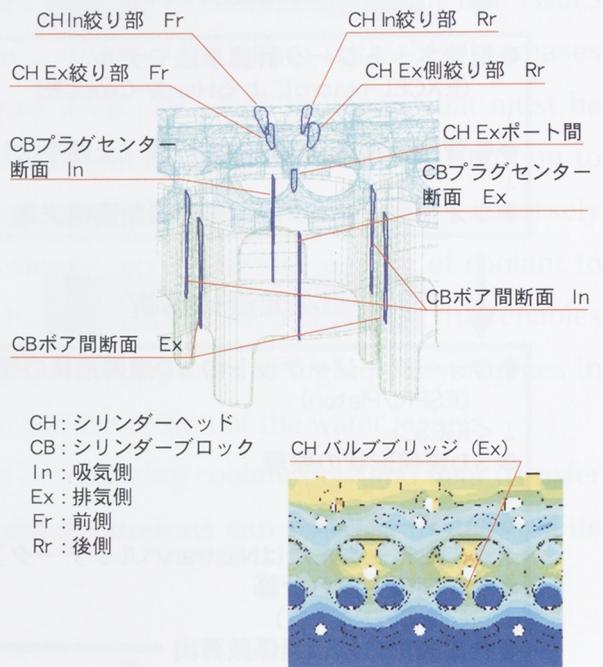
ウォータージャケットの金属表面の温度は、冷却水の流れ（熱伝達係数に関連）と燃焼室から金属を通る熱流量との関係に依存している。また、冷却水流速が不足し金属表面の温度が高すぎると冷却水が沸騰を始め、激しくなると金属の温度が急上昇し破損に至る可能性がある。したがって、適切な金属温度を保つ冷却水流速を決める必要があり、そのためには燃焼室から金属を通る熱流量を知ることが第一歩となる。一方、冷却水流速を上げていくと流れの抵抗が増大し、ウォーターポンプの容量不足が生じる為、結局流速の上限が存在する。

他社では実機試験による熱流束分布測定が行われている²⁾⁵⁾⁶⁾。しかし、シリンダーヘッド形状の複雑さの為、詳細な実測を行うことは容易ではない。そこで、CAEモデルを用いた簡易な方法により冷却水流速の目標値を設定する。ただし、別途実機測定による確認は必要である。

以下に本手法の概要を紹介する。

2.2.1.1 過去のCAEモデルによる簡易壁温予測

過去に実測実績のあるエンジンのCAEモデル（ウォータージャケット水流れ解析、シリンダーヘッド・ブロック熱伝導解析）を用いて、冷却水流量を変化させた場合の注目部位毎の温度変化を再計算により求める（**図2**）。さらに、注目部位毎の冷却水流速と壁温との関係式を導く（**図3**）。どの部位



シリンダーヘッド温度分布(燃焼室側)

図2 冷却水流速と壁温の注目部位

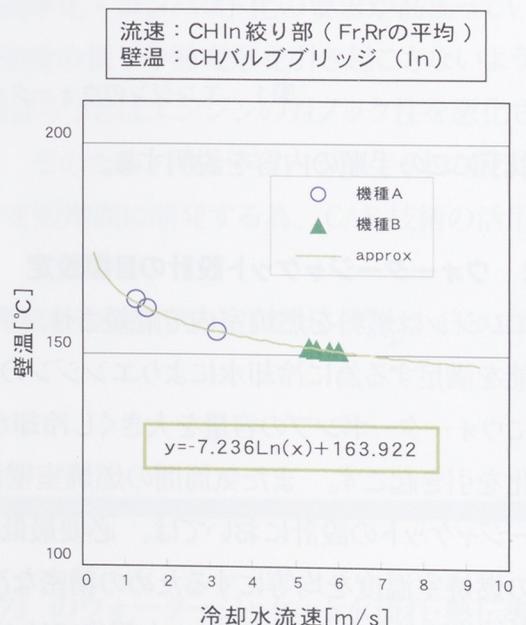


図3 注目部位の簡易温度予測

に關してもほぼ同様の傾向が見られ、冷却水速度 3m/s ~ 5m/s 以上で壁温の変化が緩やかに一定傾向に近づく。ただし、本例は実測値ではないのであくまで参考用いる。このグラフの傾向と圧力損失の影響を考慮して、ウォータージャケット各部の冷却水速度目標値を設定する。

2.2.2 1次元配管ネットワーク計算 (Hardy-Cross 法)

1次元配管ネットワーク計算手法である Hardy-Cross 法⁷⁾を用い、ウォータージャケットを単純な配管ネットワークに置き換えて、管路の必要断面積を検討する¹⁾。Hardy-Cross 法は網目状管路網の流量計算法として古くから水道関係などで利用されてきた簡便な手法である。

具体的にはシリンダーヘッドの1気筒分のウォータージャケット形状を、例えば 12 本の管路構成とみなし(図4)、それぞれの管路に適当な等価断面積及び流入・流出・ベンド・管摩擦による損失係数を設定する。同様にして図5のようにシリンダーブロック部も含めてエンジン全体を管路モデルに置き換える。Hardy-Cross 法に基づき Microsoft-Excel のマクロ機能を用いて繰り返し計算を行い、各管路の流量(流速、圧損)を算出する。Hardy-Cross 法と3次元流体解析の計算結果について述べる。図6はシリンダーヘッド1気筒の3次元流体解析モデルによる計算結果で、図7は同じく1次元配管ネットワークモデルによる計算結果である。1次元配管ネットワークモデルにより得られた流量分配と数値と変化の傾向は、3次元流体解析によるものとほぼ同等である。また、圧力損失については値の開きが大きい為絶対値評価は出来ないが、形状変更による変化の比率としては概ね良好な対応といえる。以上により Hardy-Cross 法による計算・評価の妥当性が確認できた。

この方法により、ウォータージャケットの目標流速を満足するような管路断面積を選定する。あるいは、管路の断面積や長さを変化させて流量分配や圧損を検討する、あるいはスプリットクーリングのように冷却水の流し方を大きく変えたときの影響を簡単に評価することが可能である。市販の1次元流体解析のソフトウェアも有効であろう⁸⁾。

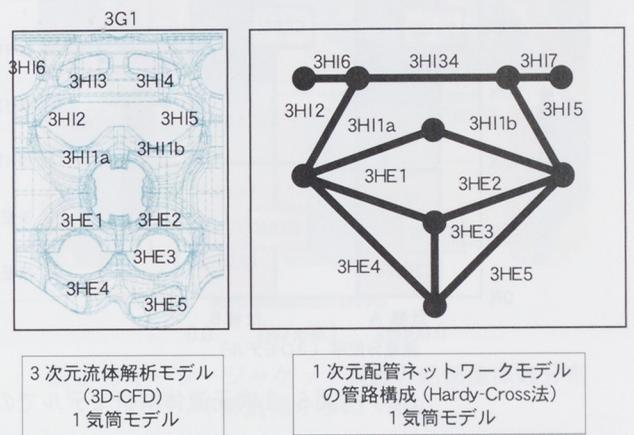
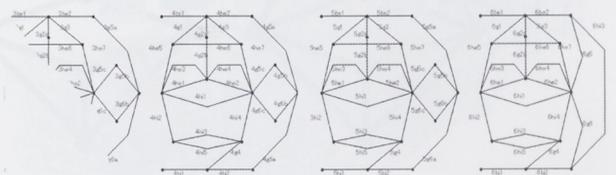
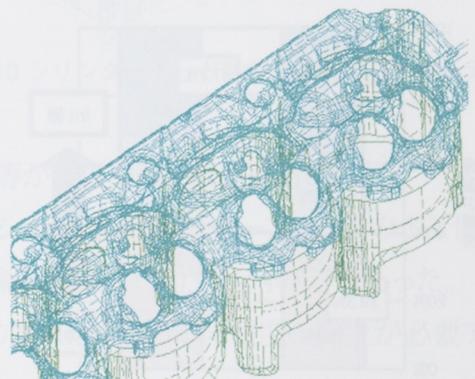


図4 1次元配管ネットワークモデルの管路構成 (3次元流体解析モデルとの対比)

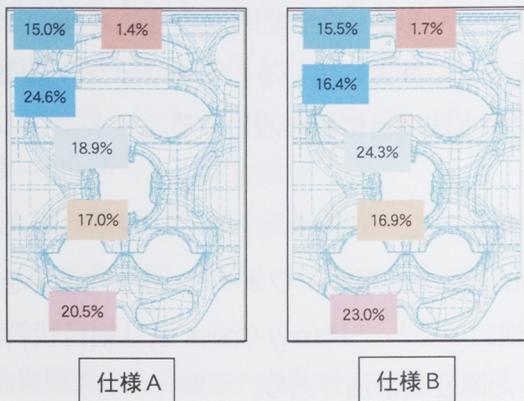


1次元配管ネットワーク計算モデル (Hardy-Cross 法)



ウォータージャケット3次元形状モデル

図5 1次元配管ネットワークモデルの実際例



仕様 A と仕様 B との結果の比較

- ◆ 吸気側 (Int 側) と排気側 (Exh 側) の流量比率は概ね 6 : 4 で、仕様 B は排気側が若干増加傾向 (59.9% : 37.4% → 57.9% : 39.9%)
- ◆ 仕様 B の圧力損失は仕様 A の約 1.6 倍 (+ 57%)

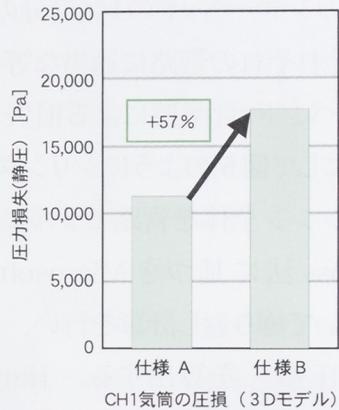
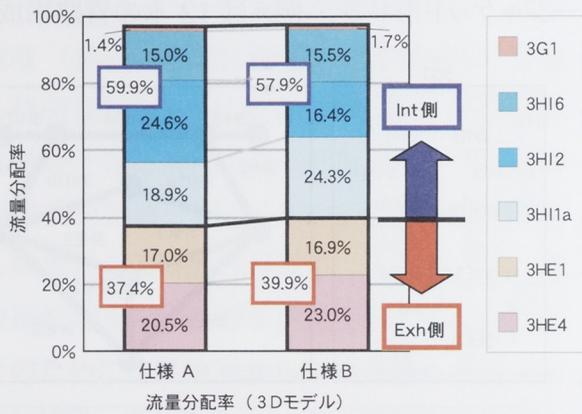
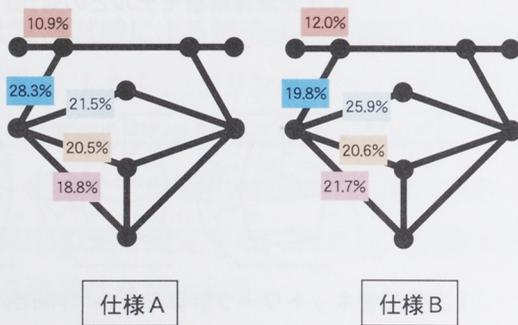


図 6 3次元流体解析モデルでの流量分配及び圧力損失の仕様間比較



仕様 A と仕様 B との結果の比較

- ◆ 吸気側 (Int 側) と排気側 (Exh 側) の流量比率は概ね 6 : 4 で、仕様 B は排気側が若干増加傾向 (60.7% : 39.3% → 57.7% : 42.3%)
- ◆ 仕様 B の圧力損失は仕様 A の約 1.5 倍 (+ 46%)

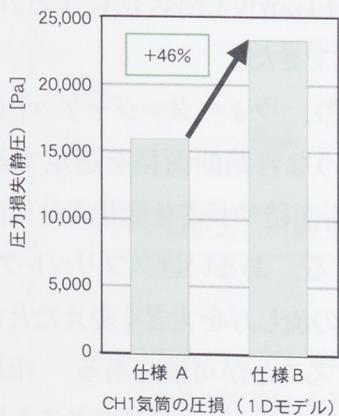
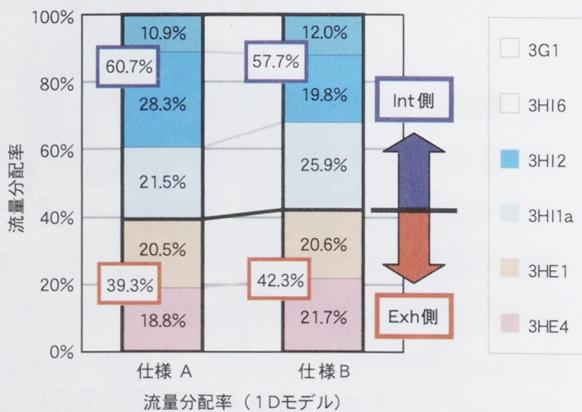


図 7 1次元配管ネットワークモデルでの流量分配及び圧力損失の仕様間比較

2.2.3 3次元流体解析 (3D-CFD)

ウォータージャケットの実体形状による3次元流体解析は、最近のソフトウェアやパソコンの著しい性能向上により、数年前までは考えられない程容易に計算できる環境になった。しかし一方、ウォータージャケットの形状は、複雑な曲面の集合体であるため、3D形状データ作成には現状でも多くの工数を要する。

3次元流体解析の目的は、上述の1次元配管ネットワーク計算の結果設定された管路断面積に基づき再設計された3D形状データでの確認、及びこの後に続くFEM熱伝導解析において水冷部の熱境界条件を与えることである。

図8にウォータージャケット表面近傍の流速分布を、図9に熱伝達係数分布を示す。これらからわかるように、壁表面の熱伝達係数は壁近傍の流速に強く影響される。

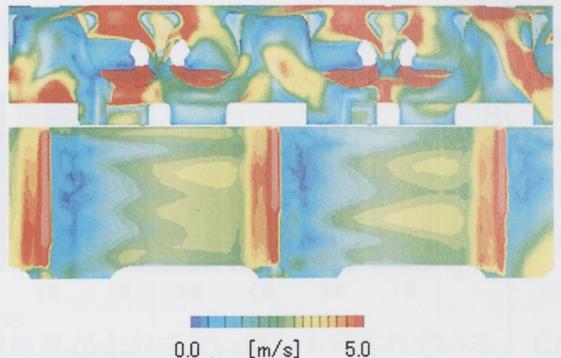


図8 ウォータージャケット表面近傍流速分布 (排気側からの View)

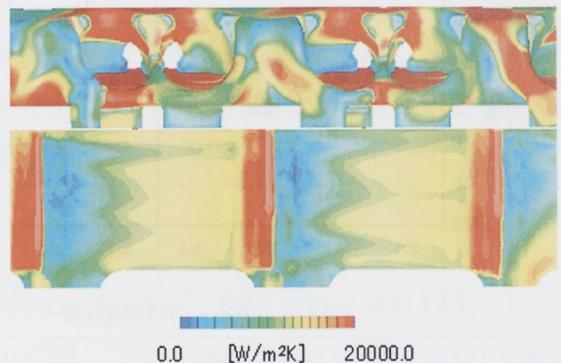


図9 ウォータージャケット表面の熱伝達係数分布 (排気側からの View)

2.3 3次元 FEM 熱伝導解析

図10に熱伝導解析用FEMモデルの一部を示す。各気筒の熱伝達係数がばらつきを持つことや、エンジンの中央部と両端部とでは隣り合う気筒の条件が異なる為、エンジン全体モデルを用いた解析が必要である。

熱境界条件は、水冷部のウォータージャケット壁では3次元流体解析から得られた熱伝達係数と実測の水温、燃焼室壁及び吸排気ポートでは市販性能シミュレーションソフトの計算から得られた熱伝達係数と燃焼ガス温度、金属接触部・他部位は実験経験式等から算出した数値を用いた。

図11及び図12に計算結果の例を示す。燃焼室のバルブシート間やシリンダーブロックのボア間金属部分の温度予測精度に関して、実測値と計算値との比較の結果、ほぼ10℃以内の差であった。相対的な評価に対しては十分な精度であるが、設計仕様の決定の為にさらには予測精度の向上が必要である。

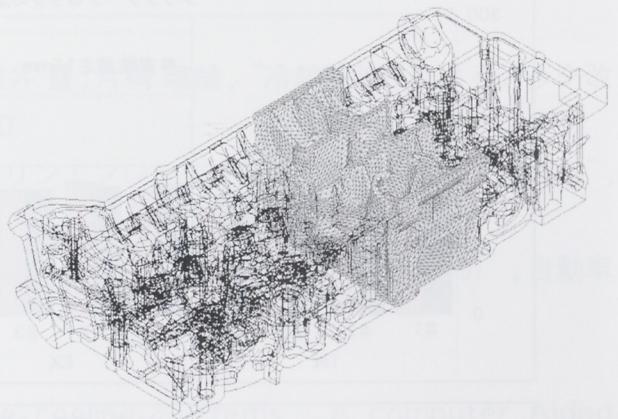


図10 シリンダーヘッド熱伝導解析用FEMモデル (一部)

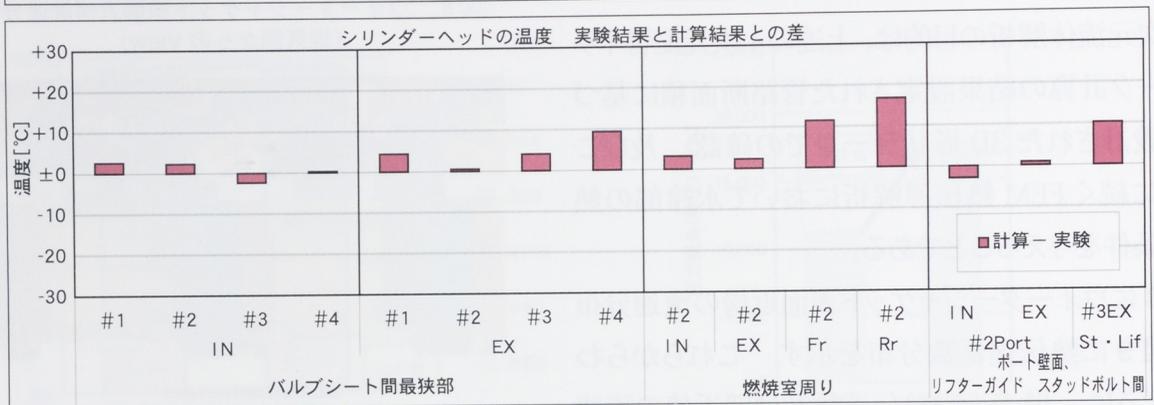
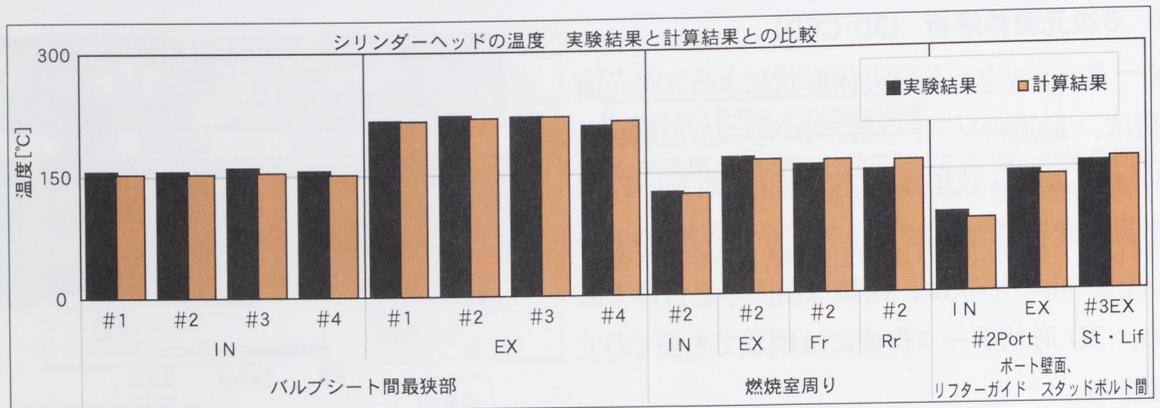


図 11 シリンダーヘッド熱伝導解析結果と実機実験結果との比較

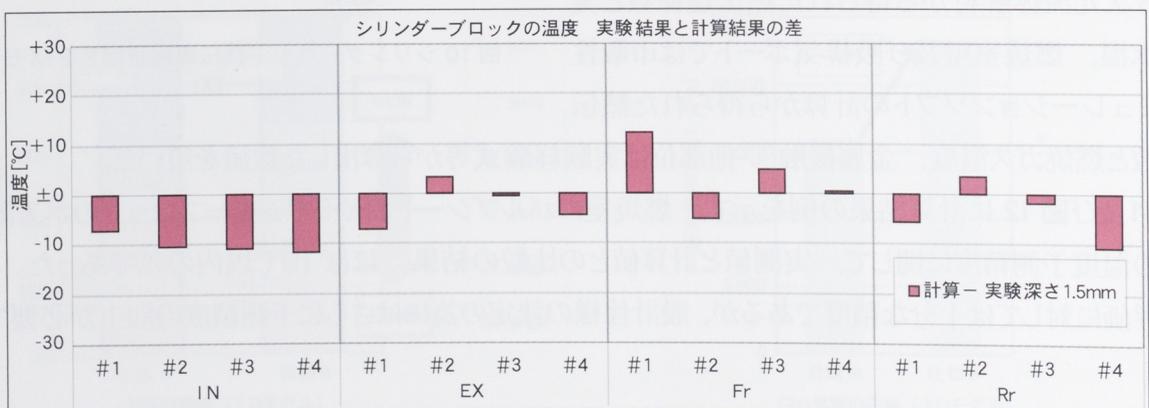
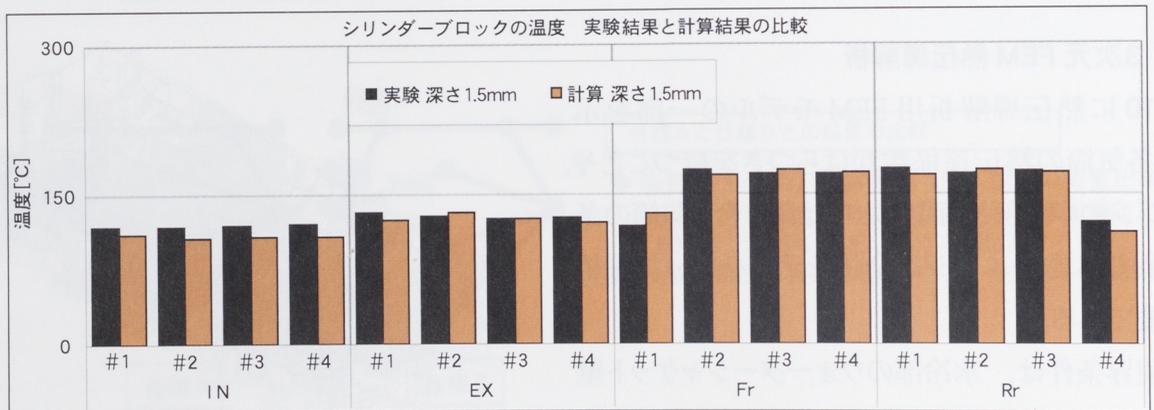


図 12 シリンダーブロック熱伝導解析結果と実機実験結果との比較

3 おわりに

実際のウォータージャケットの設計においては、制約が多く複雑なシリンダーヘッドの構造の中で、吸排気ポートやプラグタワーを配置した後で最後に余った空間に水を流すということになりがちである。このような従来の設計手法に対し、本報告で紹介した1次元の配管ネットワーク計算手法と3次元の流体解析及び FEM 熱伝導解析を併用することで、冷却水通路の設計最適化の工数を短縮し効果を上げることが可能になった。

しかしながら、本報告に関しては実機測定値との比較検証が十分でない部分も残されている。CAEにより迅速に設計仕様を決定する為には、実機検証に基づくCAEの予測精度のさらなる向上が必要である。

伝熱問題は他にも、ピストン、排気マニフォールド、排気バルブなど多くの部品設計において重要である。それらに関してもガスや液体の流れと密接な関係があり、流れの問題として扱う必要がある。これらの取り組みに関しては紙面の制約により今回は割愛した。

■参考文献／引用文献

- 1) M.J.Clough, "Precision Cooling of a Four Valve per Cylinder Engine" ,SAE paper 931123.
- 2) I.C.finlay and G.R.Gallacher, T.W.Biddulp and R.A.Marshall, "The Apprication of Precision Cooling to the Cylinder-Head of a small,Automotive,Petrol Engine" ,SAE paper 880263.
- 3) 周 維敏, 播磨 健司, 近藤 巧, 武藤 直人, "水平対向エンジンの冷却改善", 自動車技術会学術講演会前刷集 962 1996-5.
- 4) 山田 敏生, 古野 志健男, 神田 睦美, 岩下 義博, 横井 豊, 片桐 晴朗, "冷却系改良によるノック改善", 自動車技術会学術講演会前刷集 902 1990-10.
- 5) 片桐 晴朗, 横井 豊, 蔵園 功一, 安部 静生, "ガソリンエンジンヘッドの熱流シミュレーション", 自動車技術 Vol.48, No.4, 1994.
- 6) 今別府 悟, 平野 芳則, 下野 藺均, "シリンダーヘッドに於ける冷却水への放熱量解析", 自動車技術会学術講演会前刷集 892 1989-10.
- 7) 日本機械学会編, 管路・ダクトの流体抵抗, 丸善
- 8) G.Pembery and C.T.Doyle, "Effect Engine cooling Systems - A computer Aided Approach" ,FLOWMASTER/ROVER C427/17/195.

●著者



松岡 直樹



中野 実



CAE 特集

鍛造解析の二輪車設計・製造への適用

An application of Forging Analysis to Motorcycle Design and Production

村上 剛 Takeshi Murakami

●生産技術開発室プロセス技術グループ（第4SyS技術グループ）

The progress of CAE technology in the manufacturing process in Japan has been remarkable. In the automobile industry, the role of manufacturing-related CAE (hereafter referred to as simulation) has become commonplace in such areas as forging, pressing, casting, plastic molding, NC processing, and robot control and is contributing to better production efficiency for various kinds of parts.

Forging is used primarily for making drive train parts used inside the engine and it is a vital process which demands high levels of precision in shaping and part strength. In recent years, due to technological advances in engines, these demands have become ever more stringent and it is increasingly difficult to depend on traditionally-used methods of development relying on experimental trials.

Here, we will explain our basic approach to the use of simulations in the parts forging process.

1 はじめに

日本の製造業においてCAE（Computer-Aided Engineering）技術の進歩が著しい。自動車業界においても、鍛造、プレス、鋳造、樹脂成形、NC（数値制御）加工、ロボット制御等の製造系CAE（以下シミュレーションと呼ぶ）の活用が一般的になり、様々な部品の生産性向上に効果を上げてきている。

鍛造は主にエンジン内部の駆動部品に対して使用され、形状精度と強度が要求される重要工程である。近年、エンジン技術の進歩と共にこれらの要求は厳しさを増し、従来からの実機トライに依存した開発手法は困難になってきている。

本稿ではこの鍛造部品へのシミュレーションに対する当社の取組みについて述べる。

2 鍛造シミュレーションの役割

二輪車の主な鍛造部品を図1に示す¹⁾。

これらはエンジン内部の部品で、接触により駆動力を伝える。その為、高い形状精度と強度が要求される。

歯車部品の製造工程を図2に示す。鍛造は製造工程の上流であり、切削加工前での粗形状の成形と材料の鍛錬（強化）を担っている。鍛造成形では、「割れ」「表面の巻き込み」のような成形欠陥が無いこと、「表面形状」等の製品機能を満たす為に必要な精度、そして安定量産する為の金型耐久性が要求される。

近年のエンジン性能向上に伴い、鍛造部品の軽量化要求も高くなっている。その為、従来の方法では十分な工程成熟度が確保できない事例も出てきた。このような状況下で新規製品を短期間で確実に立ち上げる為の手段として、製品設計の早い段階で鍛造シミュレーションを適用することが有効であると考えた。

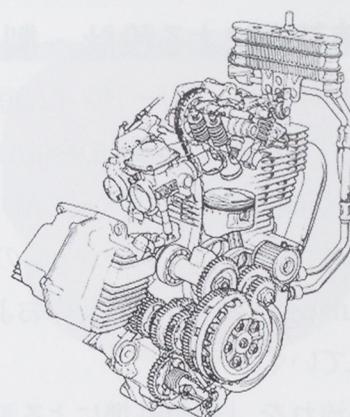
3 これまでの取り組み

当社では1990年頃より軸対称形状を2次元でシミュレーションする技術開発を進めてきた。当時は単純な形状についてもシミュレーションに時間がかかり、精度も甘く実用的ではなかった。3次元シミュレーションについては、世界的にも研究段階であり実用的なソフトは存在しなかった。

その後急速にソフトおよびハードの開発が進み、3次元鍛造シミュレーションの分野でも商業ソフトがいくつか開発されてきた。当社では1997年に3次元鍛造シミュレーションソフトを導入し、現場の製造技術者と共に現物との比較を繰り返し、成熟度を上げてきた。

2001年には一部の生産機種への適用を開始し、現在は主要な鍛造部品についてシミュレーションによる成形性の事前検討を実施している。

製造技術者の実機での経験、ノウハウに基づいてシミュレーション結果を評価し、技術を作り込むことにより、ニーズを適切に把握し、実用レベルにまで引き上げることが出来た。



二輪車エンジン



図1 二輪車の主な鍛造部品

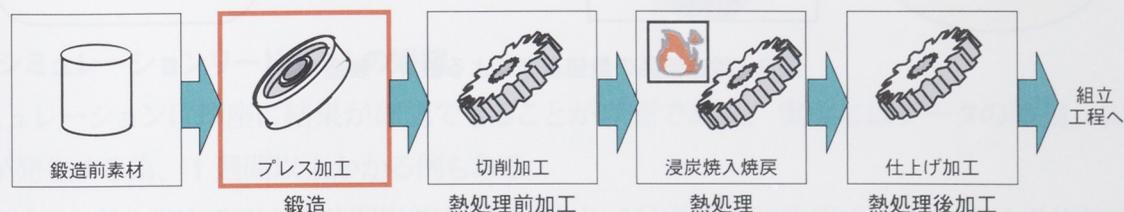


図2 歯車部品の製造工程

4 数値基準による設計・製造²⁾

現在、コストダウンとリードタイム短縮を狙い、開発プロセス改革が進められている。その中では3次元CAD (Computer-Aided Design) データを活用した数値基準による設計、製造が推進されている。

各種要件が織込まれた3次元CADデータを基に、シミュレーションによる工程、金型方案の事前検討が行われる。シミュレーションの結果は設計CADデータに反映され、CAM (Computer-Aided Manufacturing) による金型製作およびCAT (Computer-Aided Testing) による金型や製品の計測に展開されていく。

これらの流れを「数値基準による設計・製造」と呼び、コンカレントエンジニアリングの一つの手法として位置付けている。図3に「数値基準による設計・製造」の概念を示した。

このようなプロセスを確立する為には、シミュレーションの活用が不可欠であると考えている。しかし、シミュレーションによって高品質な工程設計ができたとしても、現実にもその通りの物が作れなければ何の意味も持たない。そこで計測が必要になる。

従って、開発プロセスにおいては、シミュレーションのみならず、加工や計測を含めて、それぞれの要素技術を高めると共に、結果をフィードバックするシステムを構築することが重要である。

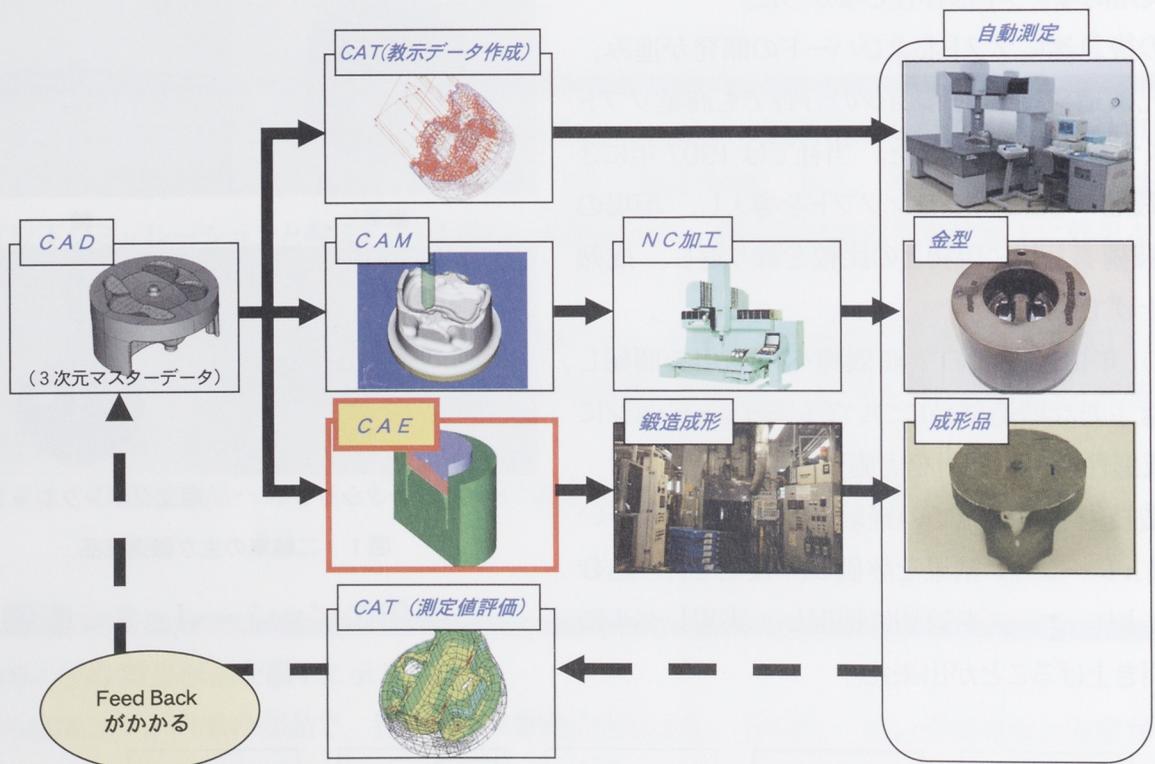


図3 鍛造部品の数値基準による設計・製造

5 シミュレーション事例

5.1 歯車熱間鍛造部品の凸爪欠肉

この部品は突起部分（ドッグ）の欠肉（未充填）が心配された為、事前にシミュレーションを行った。結果を図4に示す。赤色表示部分は金型に対して材料が充填している部分を表している。ここでは欠肉は無いと予測されたが、実際の成形においても問題は発生しなかった。図5に現物形状を示す。



図4 シミュレーション結果

5.2 クランクシャフトの材料巻き込み

図6はクランクの鍛造工程のシミュレーション結果である。シミュレーションでは内部の材料流れのように、実験では観察困難な項目を評価できる。上下からの流れによって行き場を無くした材料が図中右側へ向かって高速で流れ出している。

現物ではこの流れの合流位置付近にクラックが入っていた。

この部品では余肉位置を変更することにより、巻き込みを無くすことができた。



図5 実験結果

6 鍛造シミュレーションの課題

6.1 精度の向上

鍛造シミュレーションの精度は成形欠陥の出方や寸法精度により評価できる。

現在はピストン、歯車熱間鍛造、軸等について問題の予測が可能になってきたが、歯車冷間鍛造やクランクについては開発中であり、今後パラメータのチューニング等によって精度向上を目指す。

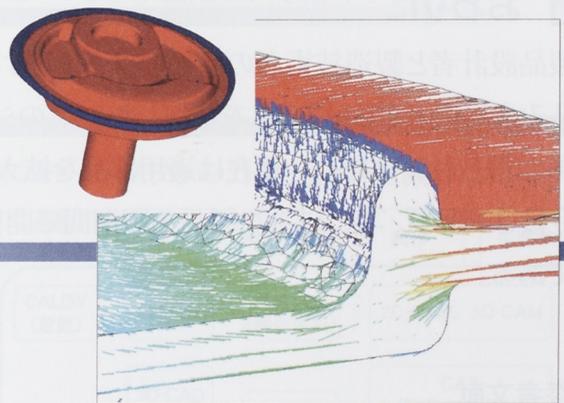


図6 シミュレーション結果

6.2 シミュレーションリードタイムの短縮

シミュレーションは即座に結果が確認できることが理想である。実際にはデータの準備、計算等の作業が発生する為、1週間以上かかる例もある。

現在はハード、ソフト両面から時間短縮を進めており、1日で結果が確認できるシステムを構築中である。

6.3 金型寿命評価技術の確立

金型の耐久性は製品のコスト、納期等に影響する重要な項目である。その為、製造技術者からは成形欠陥や精度と並んで金型の寿命を予測したいという要望が大きい。

その為に従来は鍛造シミュレーションで計算した後に金型表面にかかる力を出力して、汎用の構造解析ソフトを使って、金型の内部応力をシミュレーションする必要があった。この方法では、成形中の連続的な金型負荷を評価できない。また、ソフトウェア間のデータのやり取りに多大な工数が掛かり、実用的に使用することができなかった。現在、鍛造シミュレーションと同時に金型に掛かる応力を連続的にシミュレーションできるシステムを構築している。今後はこのシステムの作り込み、実用化が急務である。

6.4 3次元 CAD データの整備

鍛造シミュレーションには金型と素材形状の3次元CADデータが必要である。現在、3次元CADデータを効率良く作成する仕組みを構築している。

既に、ピストン部品では、設計部門で作成した3次元データから金型形状を効率よく作る仕組みを確立し、従来の1/4以下の時間でシミュレーション用のデータを作成できるようになっている。

7 おわりに

製品設計者と製造技術者の共通のツールとしてのシミュレーションの活用により、製品仕様の早期作り込みを可能とするシステムを構築した。このシステムをピストンや軸部品に適用することにより大きな成果が得られつつある。現在は適用部品を拡大する為の技術開発を行っている。

今後は高品質、低コストな製品を短期間で開発する為にこのシステムをさらにレベルアップしていく所存である。

■参考文献

- 1) つじつかさ：図解バイクエンジン入門，グランプリ出版，1994
- 2) 鈴木章弘，鈴木誠也：型技術ワークショップ '98，1998

●著者



村上 剛



CAE 特集

ESPRI-CAE(PLATON) と解析系コンピュータシステム

ESPRI-CAE (PLATON) and an Analytical Computer System

土屋 光生 Mitsuo Tsuchiya 近藤 雅孝 Masataka Kondo

● ITセンター システムソリューション第2グループ / MC 事業本部 技術開発室 システム技術グループ

Yamaha Motor uses ESPRI (Engineering System for PRecise design and manufacturing), an integrated CAD/CAM/CAE system developed by the company, as the key system for all stages of product development, from design to production preparation. The CAE in this system was developed under the policy of making it possible for the designer to personally perform structural analysis in order to verify design viability. Here, we will introduce ESPRI-CAE (PLATON) and an analytical computer system.

1 はじめに

ヤマハ発動機(株) (以下、当社という)は、基幹システムとして自社開発のCAD/CAM/CAE 統合システムであるESPRI (Engineering System for PRecise design and manufacturing の略) を利用してデザインから生産準備までの商品開発 (以下、設計) を行っている。この中のCAEシステムは設計者自らが構造解析を利用し設計検討をおこなうことができるというポリシーのもとシステム開発をおこなった。今回、ESPRI-CAE (以下、PLATON) と解析系コンピュータシステムについて紹介する。

2 ESPRI とは

当社の設計の品質向上、開発期間短縮、コンピュータハード・ソフトの外部支払い低減のためにサーフェイスモデラを基本として商品設計の企画デザインより生産準備まで業務を分断することなく一貫してサポートする管理集中、処理分散をコンセプトに開発した (図1)。

1990年の開発当初はワークステーション (以下、EWS) でのリリースであったが1998年よりパーソナルコンピュータ (以下、PC) でも稼働させ (以下、pcESPRI) 現在では文書作成、設計検討シート、メールとの親和性の良いPCでの利用が多く95%が

PCにて利用されている。EWSとPCとではデータ形式が異なるが、自動的にデータ形式を変更してユーザーに意識させることなく互換性を確保している。PCでの利用率が高まるに伴い、設計者一人に一台のESPRI端末が割りあてられるようになった。その結果、CAD 端末専用のエリアが廃止され、フロアの有効利用もさることながら設計メンバーが自分の席にいる時間が長くなり同僚に相談する時間が取れ、コンカレント設計を促進した。

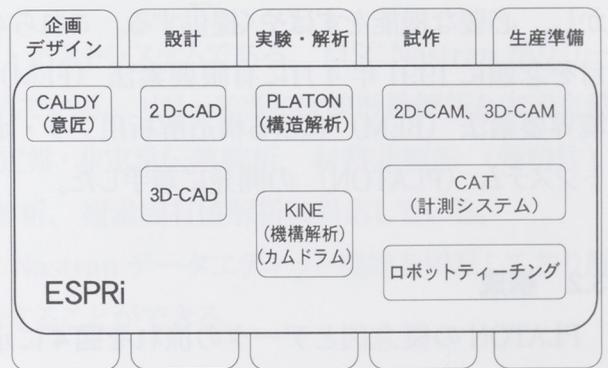


図1 ESPRIの機能と利用範囲

管理を集中することによりユーザーがどこの部署に行っても自部門端末と同一のアクセス権でのデータ参照・更新の実現や大型 CPU サーバを全社で共有する機能の実現、センター操作にて一括して全台にパッチを更新したり、プログラムを配布したりすることを実現している。

設計の基準変更や、新たな要求により ESPRi 内の機能拡張・変更が要請される。最近では中国での部品調達のために簡体字（大陸文字）に対応しリリースした。

3 PLATON とは

設計者が良く考えて（検討して）図面を描く、そのためのツールとして役立ちたいという意味をこめて古代ギリシャ哲学者プラトンから名前をとり、システムの愛称とした（起動画面を図2、解析モデルを図3に示す）。

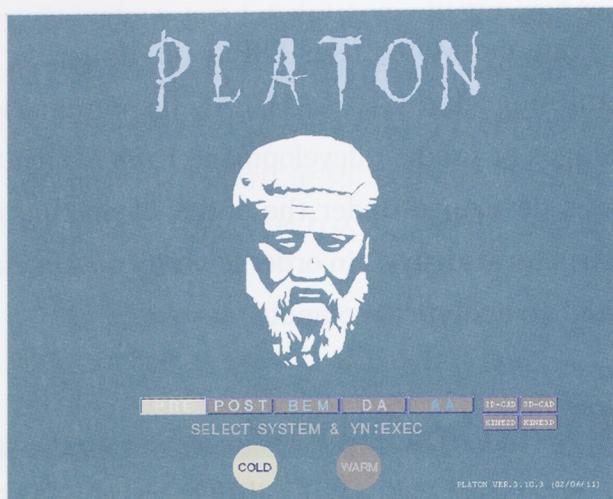


図2 PLATON 起動画面

3.1 狙い

ESPRi 稼働環境があればどこでも作業できる。設計者から解析専任者までだれでも解析ができる。CAD と融合した使い易いシステムを提供し、短期間で解析ができる。自社開発システムのメリットを活かし、必要な機能をすばやく提供する。これら4項目を念頭に 1991 年 4 月に有限要素法（FEM）・境界要素法（BEM）による構造解析用プリ・ポストシステム（PLATON）の開発に着手した。

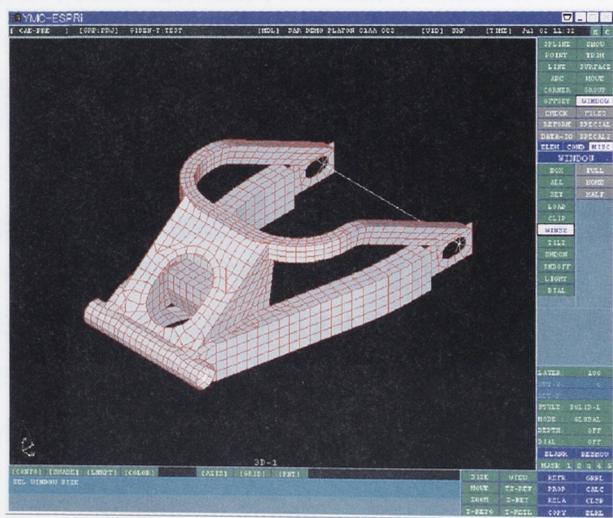


図3 PLATON の画面例
(モータサイクルのリヤアームの解析モデル)

3.2 構成

PLATON の概念図とデータの流れを図4に示す。PLATON は ESPRi-CAD で作成した 3D データを無変換で扱うことができる。CAD で作成した 3D 形状が不完全な場合でもシステムを切り換えることなく PLATON の CAD 機能を利用し形状作成・修正ができる。これは ESPRi-CAD の作図機能を全て包含しているためである。

メッシュ作成機能は、手切りの機能がメインとなっ

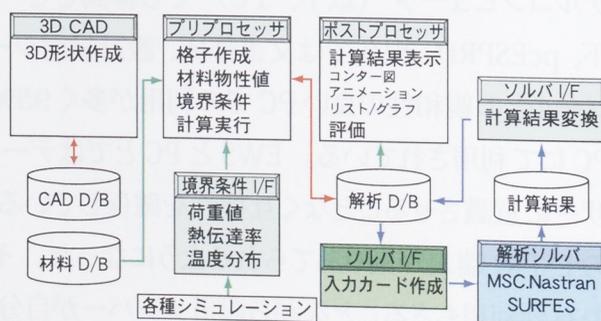


図4 PLATON の概念図とデータの流れ

ている。自動メッシュ分割は、2次元要素については自社開発し、3次元要素は1997年4月の導入に向けて調査を開始し、12月に三角錐要素自動作成プログラムを導入しPLATONに組み込んだ。最近では、車体の鋳造部品やエンジン部品の自動要素分割を利用した場合の解析基準書等も整備され利用件数は上昇している。

インターフェース (I/F) は、運動機構解析結果の加速度データや、市販の流体解析システムで計算される熱伝達率を取り込む**境界条件 I/F**を持つ。又、解析データからソルバ入力カードを作成したり、計算結果をポストプロセッサが読み取る**ソルバ I/F**を備える。その他、IGES や Nastran データの書き出し・読み込み機能を備えている。

ポストプロセッサは、変形図、等高線図、アニメーション等の計算結果を図化する機能、リスト・グラフ等の数値出力機能、部材毎に安全率を計算し解析結果を評価する機能がある。最近では pcESPRi の端末が増え、アニメーションを AVI ファイルに、リストデータをマイクロソフト Excel に渡すため、CSV 形式で書き出す機能を追加した。

3.3 サブシステム

PLATON は、現在5つのサブシステムから成り立っている。リリース当初は、解析モデル作成、境界条件設定、解析 JOB 投入をおこなう「**PRE**」と、計算結果を出力する「**POST**」の2つのシステムであった。解析ニーズに答える形で、境界要素法 (**BEM**) の解析モデルを作成する「**BEM**」、固有値解析の結果をもとにモーダル法による周波数応答計算をおこない、結果を表示する構造系の「**DA (Dynamic Analysis)**」、音響系の「**AA (Acoustic Analysis)**」を開発しリリースした。

3.4 解析機能

PLATON は MSC.Nastran をメインソルバとしたプリ・ポストシステムである。MSC.Nastran がリリースした機能は有効性を検証した上でプリ機能に組み込んでいる。リリース当初は線形静解析と実固有値解析しか対応していなかったが、現在はそれに加え、定常・非定常伝熱解析、材料非線形 (弾塑性) 解析、境界条件非線形 (接触) 解析、設計最適化解析、複素固有値解析に対応している。

上記以外の解析機能については、プリプロセッサに Nastran データエディット機能を用意しており解析者の責任においてデータを修正・編集し解析を実行することができる。

3.5 教育体制

モータサイクルの車体設計部門では、3年程度設計経験を積んだ設計者 (CAD を自由に扱える) を対象とし、1回2時間の操作教育と自主学習を12回おこなうというカリキュラムを組んでいる。その後は、実務で単品部品を中心に解析をおこない、スキルに沿って単品からアセンブリへとステップアップしていき、最終的に車輛全体モデルの強度解析・振動解析ができることが目標である。

3.6 解析報告書

解析データを蓄積するという意味を含め解析を行った場合は、報告書を作成することを義務づけている。解析報告書は全て OA ソフトで作成し、グループウェア（ロータスノート）のデータベースに登録し、簡単に検索・参照できる。

4 システム概要

4.1 運用基盤システム

データのアクセスコントロール、EWS と PC のクライアントを一括管理、プログラムの自動配布などをスムーズに行うために ESPRi の CAD/CAE 機能以外に管理運用機能を作成した。運用基盤は、当社の技術系システムのベースとなっており設計者には利用システムを選択してユーザー ID、パスワードを入力する部分や、クライアント端末を起動したときに表示されるメッセージでその一端を見ることができ。

運用基盤は、いわば縁の下の力持ちでネットワーク状況の監視、各種サーバ稼動確認、ESPRi データ管理、自動バックアップ、構造解析計算処理の自動運転、サーバ使用量実績収集、データアクセス記録などを受け持っている。

4.2 解析系システム構成

PLATON（+ソルバ I/F）、データサーバ、JOB サーバ、計算サーバ、JOB コントロール AP（アプリケーション）で構成されている。

データサーバは、CAD データ、解析データが格納されているデータベースにアクセスしクライアント（PLATON、JOB サーバ）からの要求に対してデータの保存や取り出しをおこなう。

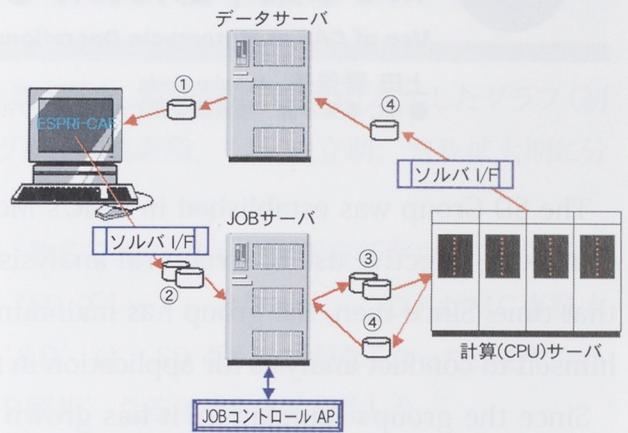
JOB サーバは、計算サーバに対して解析 JOB を投入する、実行中の JOB の進行状況を監視・制御するリクエストを計算サーバに依頼する。

計算（CPU）サーバは、JOB サーバからソルバ入力データと計算実行用スクリプトを受け取り、解析計算を実行する。現在マシンは SGI の ORIGIN（R14000 500MHz × 16CPU、メモリ 16GB、ディスク 560GB）を利用している。

JOB コントロール AP は、実行中 JOB の進行状況の監視・制御や、計算のログファイルを見るリクエストを JOB サーバに依頼し表示する機能を持ったアプリケーションで ESPRi と同じ端末（EWS、PC）で稼動する。

4.3 解析 JOB の流れ

解析 JOB 投入から計算結果格納、計算 JOB の監視・制御まで、解析に必要な機能（図 5）を運用基盤システムの中に組み込むことにより、解析ソルバ入力データ、計算実行スクリプト等の専門知識を習得しなくてもおこなうことができ、設計者は、物理現象のモデル化、評価に専念できる。このことが、設計者自らが解析をおこなうためのハードルを低くしている一因となっている。



- ① PLATONが計算を実行する解析データ選択しデータサーバからロードする。
- ② ソルバI/Fがソルバ入力データ、計算実行用スクリプトを作成しJOBサーバにデータを送る。
- ③ JOBサーバから計算サーバにデータが送られ解析計算を実行する。
- ④ 計算終了後、ログファイルをJOBサーバに戻し、ソルバI/Fが計算結果を変換しデータサーバに格納する。

図 5 解析系システムと解析 JOB の流れ

5 今後の開発計画

今後の予定は 1. 接触解析、弾塑性解析のような非線形解析を得意としているソルバ（ABAQUS）に対応するための I/F 開発、2. 直進安定性解析など、技術開発が終了した解析機能の作り込みを行う、3. モータサイクルフレームのモデル作成は解析になれた設計者でも 1 週間程度かかっているが、このフレームをターゲットとした面作成機能と板要素作成を開発し、誰でも 1 日で作成できるようにする、4. ESPRi-CAD のソリッド機能で作られたデータに対して効率良く格子作成ができる機能開発をおこなう、5. 大規模モデルへの対応をおこなう、などを考えている。

6 おわりに

現在のところは、当初の狙い通りのシステムが提供できている。しかし、開発期間短縮、品質向上、コスト削減等の要因により CAE に対する要求は益々増大かつ高度化してくる。今後も、社内外の状況を注視しながらシステム開発及び、最適なコンピュータ環境を提供することを進めていきたい。

● 著者



土屋 光生



近藤 雅孝



CAE 特集

MC事業本部における CAE の利用 ～設計者への構造解析普及～

Use of CAE at Motorcycle Operations -Diffusion of Structural Analysis

上田 美佳子 Mikako Ueda

● MC 事業本部 技術開発室 CAD/CAE グループ

The SD Group was established in YMC's Motorcycle Operations 18 years ago for the purpose of making effective use of structural analysis techniques conducted in the Research Division at that time. Since then, the group has maintained its activities focused on "enabling the designer himself to conduct analysis for application in motorcycle development."

Since the group's foundation, it has grown through periods of establishment, expansion and decentralization to arrive at our present state. In the process we have achieved our initial goal of "enabling designers to conduct analysis." Beginning this year, advanced CAE technologies have been integrated into the development phase, and thus we changed our name to the "CAE Group" and began new development activities. Plans are to apply a broad range of CAE technologies to motorcycle development, including not only structural analysis but liquid and system analysis as well.

1 はじめに

MC 事業本部に『SD グループ』が誕生したのは18年前である。当時研究部門で行っていた構造解析を、二輪車の開発に役立てるために新たに設立されたのが『SD グループ』であった。以来、『設計者自らが解析を行い二輪車の開発に適用する』事を目的に活動を続けてきた。

活動は、グループ黎明期、グループ繁栄期、分家独立期、普及拡大期の各期間を経て、現在の形、すなわち当初思い描いた『設計者自らが解析を利用できる』状態に達した。

今年からは更に高度な CAE 技術を開発に適用するため、名前を『CAE グループ』に改めた。今後は、構造解析のみならず流体解析や機構解析を含めた広範な CAE 技術を二輪車開発に適用していきたいと考えている。

2 解析報告書

私のデスクのすぐ脇に、40～50冊の解析報告書類が並んでいる。グループ設立以来10,000件以上の解析報告書が発行された。グループの活躍と共に蓄積されていった解析報告書は、その1件1件がこれから述べる『SD グループ』の、まさに指標となった。5年前から完全な報告書の電子化が進んで、設計者がCAD 端末から簡単に検索できる環境が整い、開発の効率アップに貢献した。今日も多くの設計者が自分のデスクで、新旧の解析報告書から情報を拾う。

3 グループ黎明期 (1984～86年)

図1をご覧頂きたい。過去18年の構造解析報告書件数の比と、解析利用人数の比を示したグラフ(初年度を1)である。この18年を、グループ黎明期、グループ繁栄期、分家独立期、普及拡大期に分けてみた。

MC事業本部における構造解析の基盤は、18年前、数名でスタートした解析専任グループにある。グループ名は Structural Dynamics の頭文字をとって『SDグループ』となった。この名がMC事業本部内に定着し、社内では構造解析=SDと相成った。‘SD’は、SDグループがなくなった今もヤマハ発動機社内用語(?)として、そこそこで聞かれ、‘SD解析’なる言葉も自然発生した。

当時は車体の剛性、強度検討が主な解析項目であったが、わずか1,000節点程度の簡単なモデルでも計算するのに2時間程度を要した。前の晩実行させた計算が、次の日の朝出社してみたら、たわいの無いミスでエラー。そして一日を棒に振る・・・なんてこともしばしばであった。現在では15,000節点のモデルがわずか40秒で解析できる。浜松-東京間を新幹線で2時間かかるのが、数秒で行けるのに等しい進歩である。

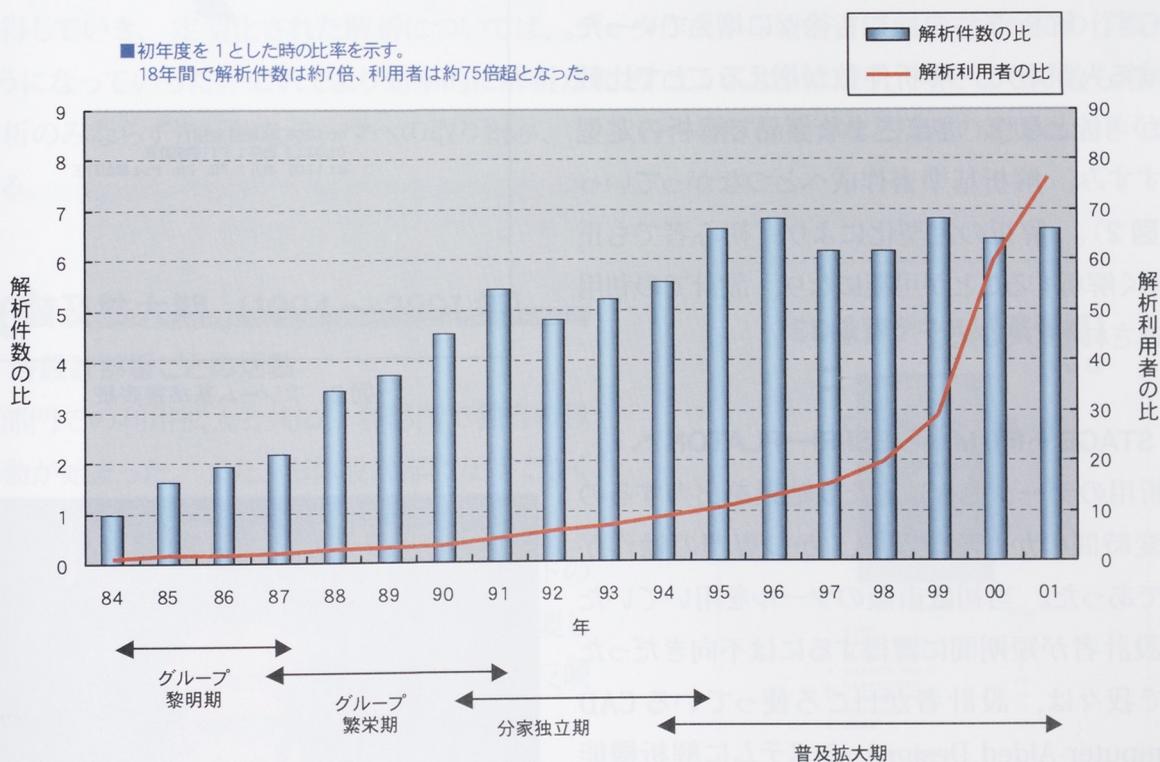


図1 過去18年間の解析利用者と解析件数の比

4 グループ繁栄期 (1987～91年)

4.1 ローテーション制度

数名で発足したグループであったが、‘ローテーション制度’を活用することで、専任者の他に、解析が出来る設計者を増やしていった。設計部門から1名ずつを集め、1～2年の間、解析業務を担当した後、もとの設計職場に戻ってもらう制度である。設計部署の解析依頼者は自分の部署から選出されたローテーションメンバーに依頼することになり、開発状況や解析目的の伝達に大変効果的であった。ただの‘解析の請負’ではなく、自分のこととして共に良い仕様を考えることが出来た。

4.2 解析基準書

この時期、エンジン、車体の両方で解析件数のみならず、解析部品の種類も徐々に増えていった。解析する人が増え、解析件数が増えることで比較検討が可能となり、さまざまな部品で解析の定型化がすすみ、解析基準書作成へとつながっていった(図2)。解析の定型化により、初心者でも正確に早く解析することが可能になり、設計での利用が促進されたのである。

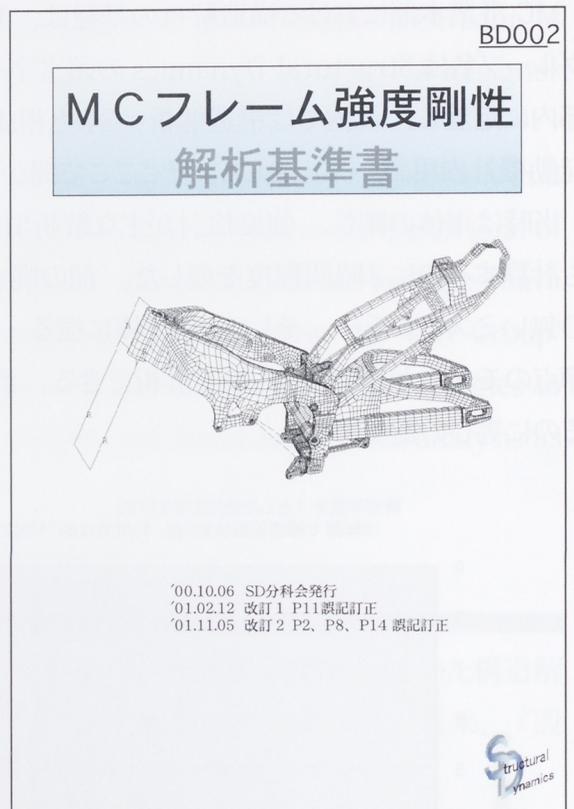


図2 フレーム基準書表紙

4.3 STAGE-FEMからESPRi-PLATONへ

解析用のデータを作成したり結果を出力するのは大変時間のかかる作業で、かつ専門の操作が必要であった。当初は市販のツールを用いていたが、設計者が短期間に習得するには不向きだった。そこで我々は、設計者が日ごろ使っているCAD (Computer-Aided Design) システムに解析機能を付加し、なおかつ操作方法がCADと類似のものを開発した。これが自社製システムの『STAGE-FEM』である。これによりローテーションして来た設計者もすぐに解析操作を覚えることができた。その後、システム改良、機能向上が続けられ、現在の『ESPRi-PLATON』に受け継がれた(図3)。

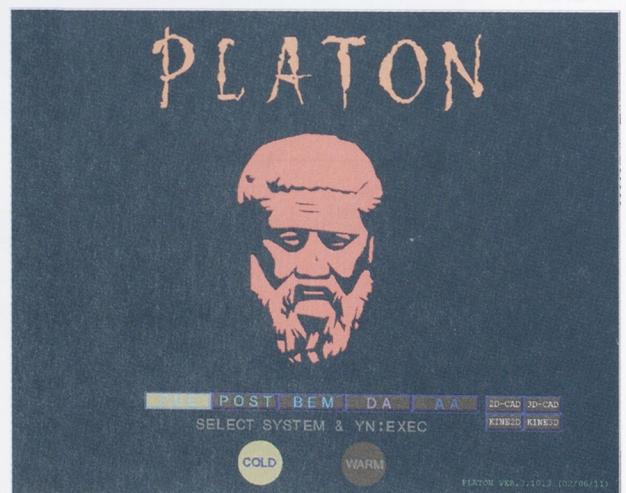


図3 PLATON タイトル画面

5 分家独立期 (1991～94年)

5.1 車体系解析グループ独立

SDグループは創立以来、各部門の解析を一手に引き受けてきたが、さらに設計業務に近づくため、車体系の解析グループを独立させることにした。解析専任者を車体設計の各部門に独立させ、‘分家SDグループ’としてより開発の流れに密着した解析を開始したのである。



図4 解析作業風景

5.2 解析アシスタントの活躍

解析はデータ作成から報告書作成まで大変手間のかかる作業である。そこで、各設計部署で設計補助業務を担当する人達に解析業務を担当してもらうことにした。その多くは解析未経験の女性達であった。そこでSDグループは、彼女達に基本的な解析の教育を行った。彼女達は期待どおりに解析技術を習得していき、定型化された解析については、データ作成から報告書作成まですべての作業ができるようになっていった。これでより効率的に解析がなされていくようになり、今ではその数も増え、定型解析のみならず先行的なテーマへの取り組み、設計者への解析教育など活躍の範囲は大きく広がっている。

6 普及拡大期 (1994～2001年)

6.1 各設計部署ごとの活動

各部門での利用拡大と共に、各部門で独自の普及活動が始まった。また、車体設計部門だけでなく、エンジン設計部門にも解析グループが誕生した。

部門ごとの解析講習会、マニュアルやテキストの作成、個人間のスキルの伝播、等々。時間を要し地味な活動であるだけに、個々の個性をうまく反映し、さまざまな工夫がなされた。

たとえば設計者に解析結果出力操作を教育する活動がある。設計者が解析結果を出力することによって、設計者が自ら解析結果を評価し考える事ができた。また解析報告書とは違う角度からの見方が

でき、設計者が自信をもって判断することもできた。これは解析できる人を増やす普及に留まらず、解析を利用する人を増やしていく普及活動となり、解析利用の枝葉をさらに大きく広げていくこととなった。

SD教育テキスト【車体編】	
- Ver 4.0 -	
	
目次	
1. はじめに	1
2. はりモデル (その1)	2
3. はりモデル (その2)	5
4. シェルモデル (その1)	8
5. シェル+はりモデル	10
6. シェルモデル (その2)	13
7. ソリッドモデル	14
8. 総合演習	15
付録1) JOBTCL の使用法	
付録2) DBTOOL の使用法	
付録3) 剛性自動計算	
付録4) 材料破損に関する条件	
付録5) ESPRI-PLATON メニューリスト	
2001. 12. 10 SD分科会発行	

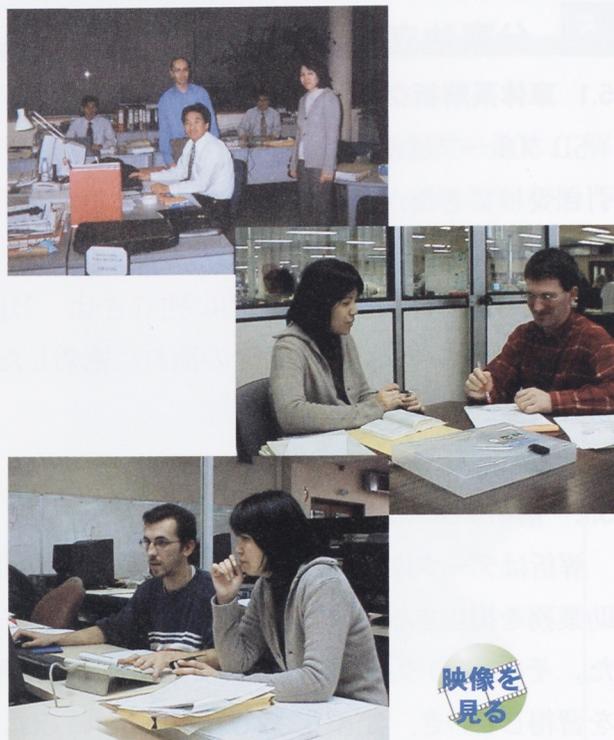
図5 解析教育テキスト表紙

6.2 SD分科会

各部署での解析普及が進むにつれ、解析基準書を発行、管理していく為の組織が必要になってきた。これを実現するためにSD分科会が設立され、解析技術の標準化や最新技術の普及等を中心に活動を行っている。

6.3 海外展開

各部署での解析活動が活発になると同時に、SDグループは海外R&Dに対する解析支援にも力を入れていった。YMRT（台湾）、MBK（フランス）、YMES（スペイン）等の海外拠点のプロジェクトに対して国内同様の解析を適用して、海外のメンバーに解析教育を実施したりして解析利用に差が生じないように徹底した。



MBK での解析教育風景

7 おわりに

2002年、SDグループからCAEグループに名前が変わった。これは新たなスタートの象徴であり、従来の構造解析だけに留まらず、流体解析、機構解析、騒音解析などへの業務拡大を目的とする。

私の手元にSDグループローテーション一覧がある。SDグループに直接関わった人が名を連ねたこの一覧は、まさにSDグループの歴史であるように思える。斯く言う私は25番目のSDメンバーなのであるが、私の先には活動の先駆者がいて、後にはそれを受け継いだメンバーが『SDグループ』として今でも各設計部署の中で活躍し続けている。

SDグループの設計への普及活動は普及が普及を呼んだ、情報共有の賜物とも言える。今後『CAEグループ』で展開されるであろう他の分野についても、この情報共有のノウハウが受け継がれていくことであろう。

●著者



上田 美佳子



CAE 特集

三信工業における CAE の利用

Use of CAE at Sanshin Industries

沼田 文夫 Fumio Numata

●三信工業(株) 技術企画部 技術管理グループ

Sanshin Industries develops and produces YAMAHA brand marine-use engines, and manufactures such products as outboard motors, PWC (personal watercraft) excluding the hull, diesel engines (inboard motors and inboard out-drive motors.)

To ensure reliability on the water, all products must be lightweight and durable under tough conditions. One of the main functions of CAE is testing to what levels this combination of reliability and lightweight quality can be taken. Its use is also becoming more and more common in other areas, mainly strength through FEM and rigidity, but also vibration, noise, temperature and flow (CFD or computational fluid dynamics.)

Although it is most appropriate for product development uses, it also has many uses in production technology.

Also, a wide range of uses of CAE methods are recently being considered for advancing process engineering (testing revolutionary developmental processes.)

1 はじめに

三信工業(株)ではヤマハブランドのマリン用エンジンの開発から製造を行っており、商品としては、船外機、艇体を除く PWC (パーソナルウォータークラフト)、船内機および船内外機用ディーゼルエンジンがある。

水上での安全を確保するために、全ての製品は軽量化とともに厳しい条件下での信頼性が求められる。CAE が活躍するのは主にこの信頼性と軽量をいかに両立させるかという場面が多く、FEM (有限要素法) による強度、剛性を中心として、振動、騒音、温度、流れの分野にも活用を広げている。

主に製品開発で適用しているが、生産技術へも適宜適用している。

また、最近ではプロセスエンジニアリング (開発過程を改革する試み) を進める中で、より広く有効な CAE の活用方法を考えている。

2 三信工業の製品と CAE

当社では図1に示す様なエンジン（青）と駆動部分（黄）を開発製造しており、これらに使用する CAE 環境はネットワークによりヤマハ発動機本社と共有している。

エンジンの基本部分の CAE は、ヤマハ発動機本社で採用している計算条件に倣う部分が多い。その他マリンエンジン固有の機能部品は、オリジナルの計算条件を用いている。

荷重や拘束などの計算条件を如何にうまく設定するかという本質的な問題は難しい。水の影響を受けることが大きなハードルとなっているが、経験的に得た条件設定で対応している。

以下にマリンエンジン特有の CAE 適用対象について、製品に分けて紹介する。

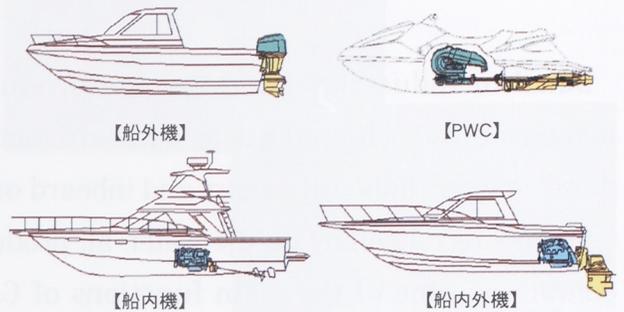


図1 三信工業の製品

3 船外機の CAE

船外機はゴムボートから大型クルーザーや漁船まで活躍する場面が広く、船体の後端に板が1枚あれば取り付けられる簡便さが特長である。

この製品は信頼性の他、軽量コンパクト性が強く要求される。重量は取り回しや運動性を始め、商品性全てに影響する重要なファクターである。

船外機はブラケットと呼ばれる構造（図2）で船体に固定されている。船外機はブラケットを中心に左右と前後に傾く構造になっており、なおかつ発生する全荷重を支えるのでコンパクトかつ十分な強度が要求される。この為 CAE が多用されている。

また、大出力の船外機につけるプロペラ開発では推進効率と翼の強度のバランス設計が必要となる。現在はプロペラ開発担当者が両方のチェックを行なうことで開発効率を上げている。

エンジンの基本的 CAE（出力予測計算、クランクやピストンの耐久性、エンジンボディの強度、等）はヤマハ発動機の共通の手法に倣っているが、極

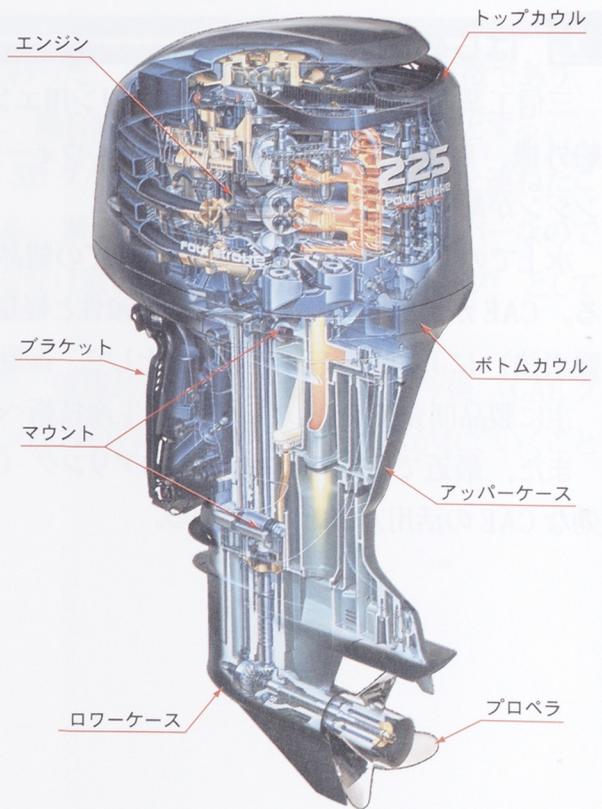


図2 船外機の各名称

限までコンパクトを追求した専用構造からくる問題に対しては独自に設定した条件で計算を行なっている。

船外機の大部分を占めるエンジンの大きな特徴は、クランク軸が立つ向きで据えられていることである。もう一つの特徴は、コンパクトなカウルの中に隙間無く全ての機能が配置されている点である。この為、振動も特有の系をなしている。船体の剛性にも影響されるが、取り付ける船を選べないので経験的な想定の元に振動系のチューニングを行なっている。

また、エンジンの冷却水経路を工夫する為に熱変形に関する CAE も活用している。

4 PWC（パーソナルウォータークラフト）の CAE

この製品は機動力に優れた乗り物である。反面、ジャンプ等で艇体は強い衝撃を受け、当然エンジンや周辺の重量物にも大きな衝撃力が発生する。

エンジンはシート下の空間を使って4箇所でもウントされ全重量を支えているが、エンジン上部に固定された水冷の排気系が重く、この支持部の強度とマウント部がチェックの対象となる（図3）。

エンジンの基本的 CAE は船外機同様ヤマハ発動機の手法に倣っている。

推進機は高速で効率の良いとされるジェットポンプという構造を取っており、水の通路内に回転翼と整流翼を配置している（図4）。

これに要求されるのは推進効率や、猛烈な流れの中に置かれる構造の強度である。CFD（流体解析）も適宜用いている。

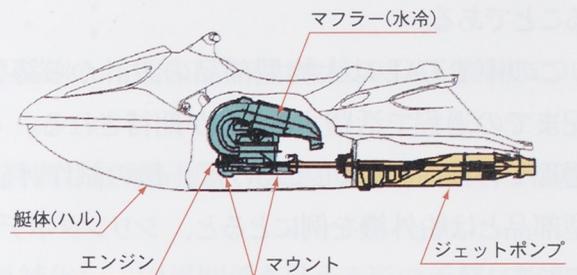


図3 PWCの構造

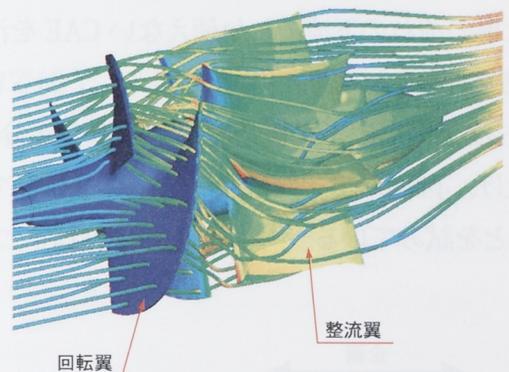


図4 ジェットポンプのCFD

5 ディーゼルエンジンの CAE

主に、ほぼ毎日稼動することが前提の漁船を対象としているディーゼルエンジンは、耐久性が最優先される。加えて漁場を確保する為の速力競争が激しく、結果的に高出力も求められる。

自動車エンジンの船用化（マリナイズ）を行なうが、マリギヤや熱交換器、海水ポンプ等の設計だけでなく、ピストン、ターボ過給などの出力アップのためのチューニングも行ない、信頼性を維持しつつ元の約2倍まで出力を上げている。

CAEの対象となるのはエンジンを支える部分の構造の強度解析、熱交換器や水冷ターボ過給器などの熱応力解析、そして補機類の防振対策などがある（図5）。

6 プロセスエンジニアリングのCAE

プロセスエンジニアリングとは製品の企画から生産までの過程をいかに効率よく進めるかを検討することである。

この中でCAEは大物型部品の設計から鋳型手配までの過程で活躍することが期待される。この過程での検討を尽くしておけば、後の試作評価段階でのやり直しを大幅に減らせるからである。大物型部品とは船外機を例にとると、シリンダボディ、クランクケース、アッパーケース、トップカウルなどである。

従来のCAEは具体的な構造について行なうものなので、どうしても図面完成を待つことになる。即ち仕事の流れの下流でしか使えないCAEを活かすには、噛み込む内容とタイミングをうまく選ぶことが重要である。

三信工業ではまず構造を決める為の部分的なCAEを早期に行うことで、図面作成段階から完成度を上げ、図面ができた段階では全体を確認する為のCAEを再度行うという様に二段階に分けて適用することを試みている。早期のCAEではいくつかの部分を取り出し、簡略モデルを使った（図6）。

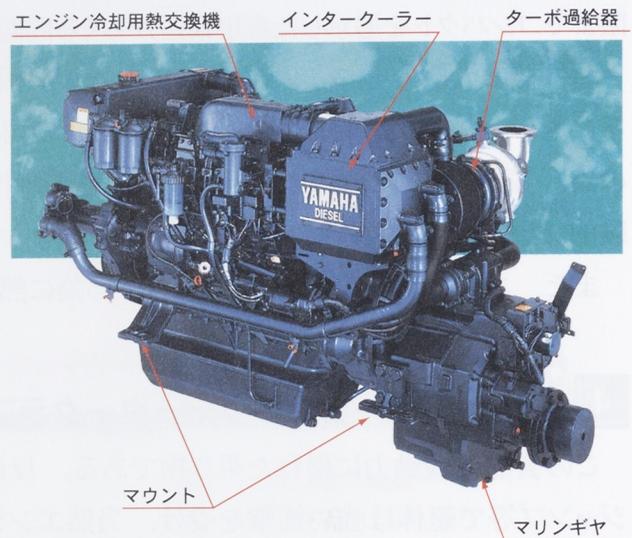


図5 ディーゼルエンジン

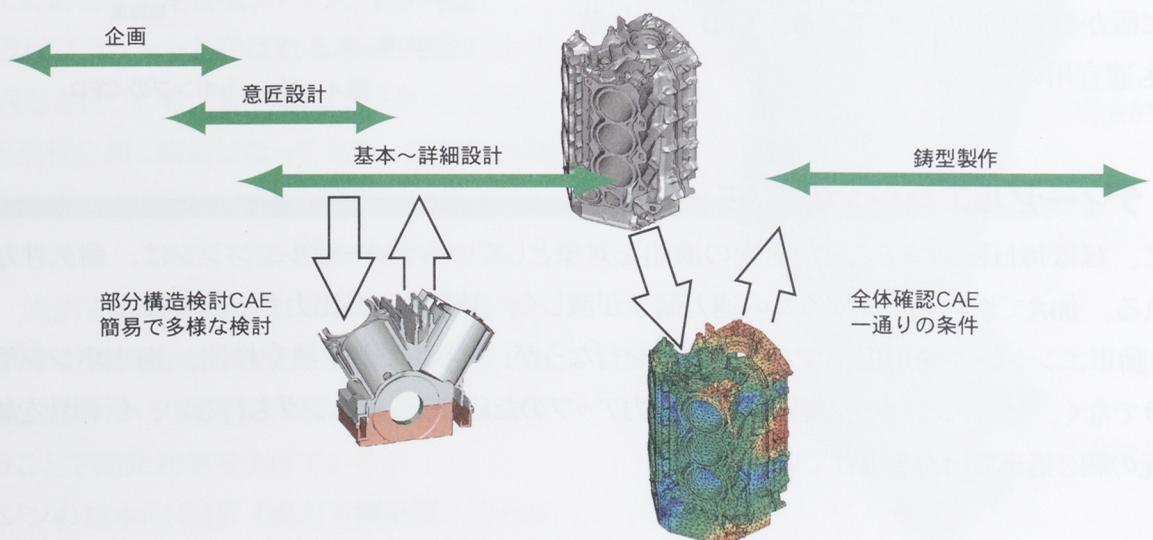


図6 二段階のCAE

7 おわりに

実機の複雑な現象をシミュレーション（CAE）に置き換える技術を充実させることは基盤技術として必要不可欠である。一方、製品開発の現場に立ってみると具体的な形状が無いとCAEは適用できないのかという問題が見えてくる。設計者は具体的な構造を考えると同時に一通りの検討を行なっておきたいはずである。

設計者自身がCAEを行なうことは一つの答えであり、要望に応じて対応はしているが、現状レベルのCAEでは時間がかかり過ぎて開発日程を圧迫する。またリアルな形状に基づくCAEでは得られた応力などの数値がどの寸法に起因するのか見えない場合が多い。その為沢山の比較計算を行なうことになるので効率面で改善の余地を残している。

CAEを活用することによって開発効率を更に向上させる為に、三信工業では今後のCAE展開について次の様に考えている。

まず、構造検討段階での早期成熟度をあげる為に、設計者が行える検討（簡易CAE手法や手計算）を充実させていく。

次に、設計途中の検討を充実させる為に、問題を単純化し、因果関係も見える形の手軽に使える検討ツールを充実させていく。そしてこれらのツールを含めた様々なCAEの適用レベルとタイミングの適正化を進める。

一方で、大規模シミュレーションは試作前の確認の目的で使う。これらについては日々手法を改善して実用的な精度を充実させ、しかも速くこなせる様にするを考えていく。但し、適用タイミングが遅いので、この段階でのやり直しなどのロスも極力無くすべきと考える。

●著者



沼田 文夫



CAE 特集

モリックの CAE 及びその事例紹介

CAE by MORIC and Case Presentation

鈴木 幸一 Kouichi Suzuki

●(株)モリック 生産技術部 生産技術 1 課

MORIC is a member of the Yamaha Motor Group. It develops, produces and sells electrical equipment for motorcycles as its main business. In recent years, efforts have been concentrated on the sales of merchandise that incorporates small electronics equipment technologies (i.e., our core technologies) outside the Yamaha Motor group. However, the lead-time from development to the start of production in the electronics industry, which is our competition, is only six months compared to the nine-month period of the motorcycle industry. In order to match the inter-industry competition, in addition to conventional advancements in concurrent engineering, development requiring only one or no prototypes and faultless preparations for production are requirements for shortening lead-times. For this reason, the R&D Division must make efficient use of simulation technologies, use prototypes for product verification only and increase the overall quality of our output to include simulation technologies for the preparation of highly precise blue prints and specifications, thus allowing production equipment to begin operation simultaneously with the output of prototype plans.

The Production Technologies Division must utilize prior samplings of problems and simultaneously use simulation technologies to design dies that require long lead-times in order to eliminate the need for reworking of dies.

This paper deals with the adoption of motor core laser-processing equipment recently introduced for practical use as a means to reduce lead-times, and our development of automate programming for it. We also present example simulation technologies for die designs. Owing to the implementation of these technologies, it was possible to reduce the time required for making a motor core prototype to one-fourth that previously required. Regarding the development of dies, a thin-cast die was achieved with only a single modification.

1 はじめに

(株)モリックはヤマハ発動機グループの一員として、モーターサイクルの電装部品を主力商品として開発から生産、販売までを一貫して行っている。近年コア技術である小型電装品の技術を利用し関連商品の外販に注力しているが、ライバルである電機業界の生産までの開発リードタイムはモーターサイクルの9ヶ月からさらに短い6ヶ月である。その短いリードタイムに対応する為には今までのコンカレントエンジニアリングに加えて、やり直しのない試作又は試作レスの開発、同様にやり直しのない生産準備と開発開始から生産開始までの各アイテムのリードタイムを縮める必要性が生じてきた。

そのために、開発部門ではシミュレーション技術を応用して試作は確認のみとし、試作図出図とともに生産設備の正式着手を行う事が可能な精度の高い図面、製作指示書をアウトプットする。生産技術部門は、試作を通じて問題点の先行抽出を行いながら、リードタイムの長い金型関係の設計に着手し、同時に、シミュレーション技術を応用し、やり直しのない金型設計を実現する。今回はそれらの試みの中から最近実用化した試作リードタイム短縮のためのモーターコアレーザー加工設備導入とその自動プログラム作成、金型設計時のシミュレーション技術の導入事例を報告する。

今回の導入事例ではモーターコア試作期間は 1/4 に、金型製作に関しては修正回数 1 回により薄肉成型品の完成にこぎ着けた。

2 リードタイム短縮活動

電装部品業界には、パソコンの例にある通り、モデルサイクルが短い商品を扱うメーカーが多数存在する。モーターサイクルの開発も近年モデルサイクルが短くなったが、我々が電装部品応用商品を外販するためには、それら電装部品メーカーに負けない短納期での商品投入が必要不可欠になってきた。現状 9 ヶ月の開発生産リードタイムを 6 ヶ月まで短縮することである。新商品投入までのリードタイム 6 ヶ月を実現することを、TPM (Total Productive Maintenance) 活動として、全社で取り組んだ。

2.1 リードタイム短縮の方向性

新商品投入までのリードタイムを、現状 (図 1) の 9 ヶ月から 6 ヶ月に短縮するためには現状の仕事のやり方では間に合わない。それは今までの仕事の流れを比較すれば分かる。コンカレントエンジニアリングを駆使しても、以下の問題を克服しなければ目標には到達しないからである。

(1) やり直し作業の廃止

図 1 にある改良設計、試作評価、ライン修正等の削減。

(2) 各アイテム毎のリードタイム削減

上記項目を達成できたとき、我々が目標とするリードタイムが達成できる (図 2)。

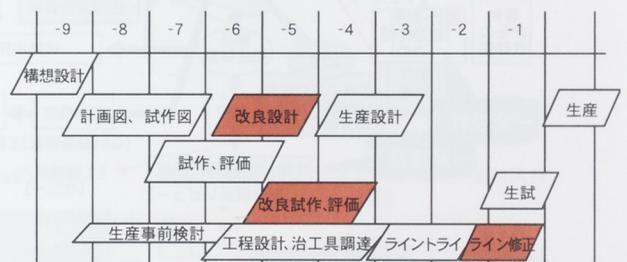


図 1 開発受託から生産までの Time Schedule

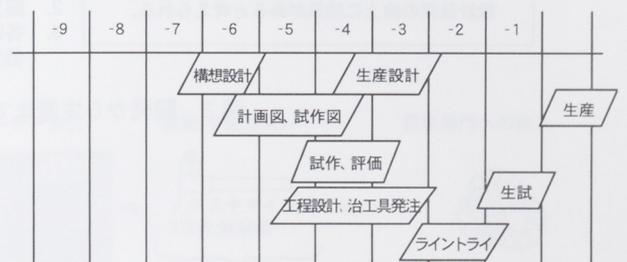


図 2 目標 Time Schedule

2.2 リードタイム短縮の具体的方法

上記の2項目を達成するために、現状の仕事の分析とその対応策(図3)を検討し、以下の項目をキーワードに掲げ活動を開始した。

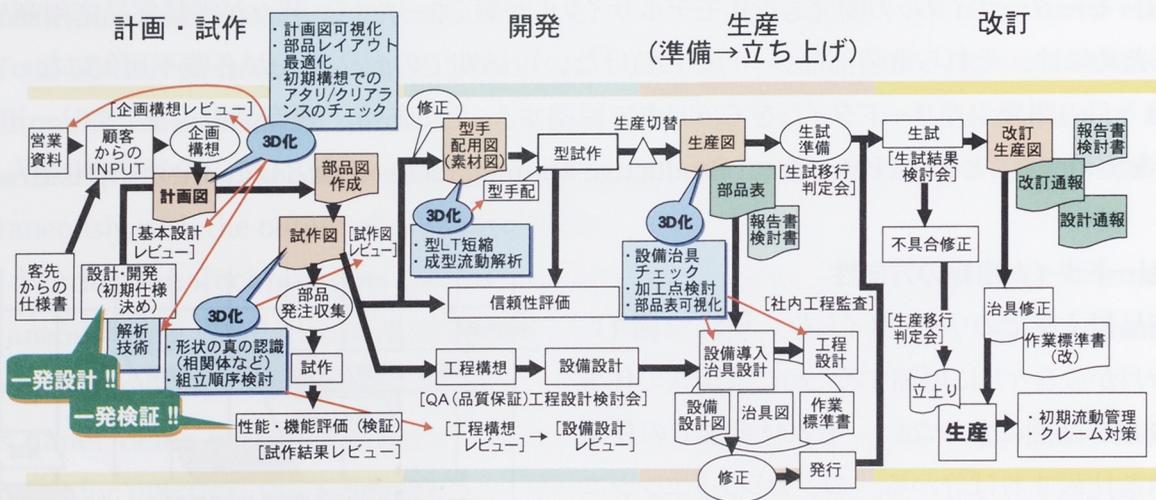
(1) シミュレーション技術を用いたやり直し作業のない設計、試作、立ち上げ

- ・ 振動解析、発熱解析、成型樹脂流動解析の適用

(2) デジタル技術を用いた情報の一元化

- ・ 同一3D-CAD(3次元Computer-Aided Design)データを開発から生産まで共有
- ・ 設計→バーチャル試作→バーチャル組立→金型製作→金型シミュレーション

今回はこの中から、アマチャコアのレーザーカットプログラムの作成自動および射出成型流動解析適用による事前シミュレーションの2事例を紹介する。



計画図を3D作図することで期待される効果

開発初期段階(特に計画図)で3D作図を行う事が、設計品質の向上に効果があると考えられる。

1. 計画・試作段階における、設計品質の向上
⇒形状・構造の認識、アタリ・クリアランスの早期確認
2. 限定スペース内への、最適な部品レイアウト/省スペース化
3. 各D/R(デザインレビュー)へ利用することによる、他部署での視覚的理解促進

図3 開発から生産までの流れの中でCAE導入項目

3 アマチャコアのレーザーカットプログラム自動生成

3.1 アマチャコア試作の問題点

モーター部品の中で性能を決めるアマチャコアは図4にあるように板厚 0.5t ~ 1.0t の鋼板を成型しそれを 30 ~ 50 枚積み上げて作成する。

量産においては高速プレス内の金型で成型と積層を同時に行うが、試作時は金型製作のリードタイムとコストの面からレーザー切断機での NC（数値制御）切断を行う。ここで問題なのは図5に示す様に NC プログラム作成時間である。実際に作成したプログラムを図6に示す。アマチャコアは一見単純な形状に見えるが曲線と直線をつないであり、その要素は 150Point にも及ぶ。又その交点が全て曲線と直線又は曲線と曲線により構成される。NC プログラムの作成は各交点の座標を指示しその間をどう結ぶか指示する（例：A 点から B 点まで半径

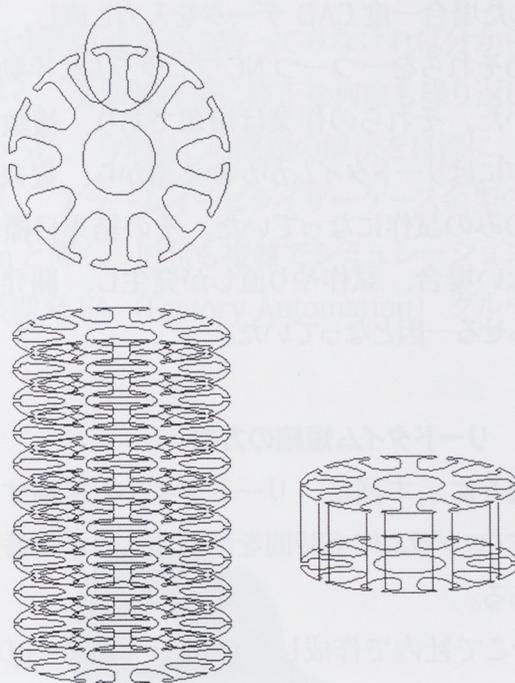


図4 アマチャコアの生成

※試作コア出図から受け入れまでの比較

従来（リードタイム約10日）

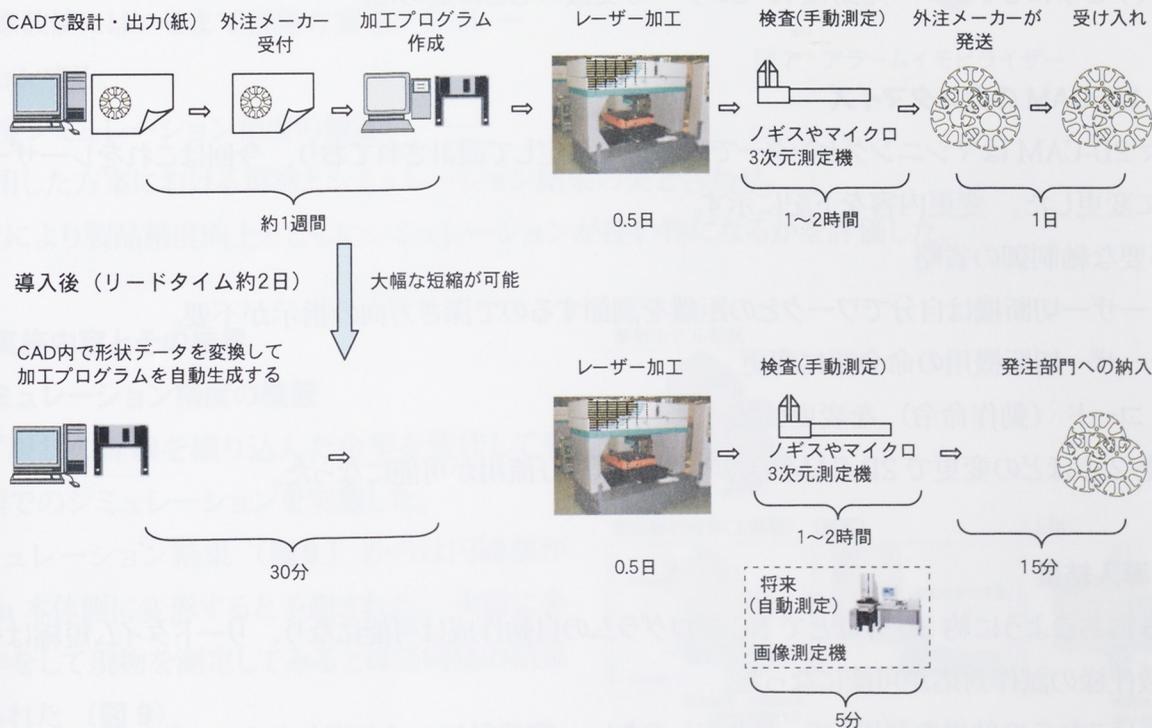


図5 レーザー切断機導入による開発リードタイム削減

Cmmの曲線で結ぶ)。そのため交点を正確に計算し、入力する作業が必要になる。そのため紙で出図した場合一度CADデータを入力し直し、交点を求めそれらを一つ一つNCプログラムに手動入力していた。それらの作業は煩雑であり、複数仕様の試作にはリードタイムがかかる事から、従来は一仕様のみでの試作になっていた。その結果目標性能が出ない場合、試作やり直しが発生し、開発日程を遅らせる一因となっていた。

3.2 リードタイム短縮の方策

図5に示す様に、リードタイムを短縮するにはNCプログラム作成時間を削減するのが一番効果的である。

そこで社内で作成したCADデータからのNCプログラム自動作成を計画した。合わせてレーザー切断機を導入し、試作コストとリードタイムの大幅削減を目標に進める事とした。

自動プログラムはESPRI-CAD上で動作する2D-CAM（2次元Computer-Aided Manufacturing）を導入する事にしてヤマハ発動機ITセンターの支援のもとに進めた。

3.3 2D-CAMのカスタマイズ

元々2D-CAMはマシニングセンターでの加工を想定して設計されており、今回はこれをレーザー切断機用に変更した。変更内容を下記に示す。

(1) 不要な軸制御の省略

レーザー切断機は自分でワークとの距離を調節するので深さ方向の指示が不要。

(2) レーザー切断機用の命令語に変更

Mコード（動作命令）を変更した。

以上2点ほどの変更で2D-CAMのカスタマイズ及び流用が可能になった。

3.4 導入結果

図5にあるように約30分ほどでNCプログラムの自動作成が可能になり、リードタイム短縮はもとより複数仕様の試作対応が可能になった。

今後はこれらの効果を利用して、やり直しのない一発設計に、より寄与させていきたい。

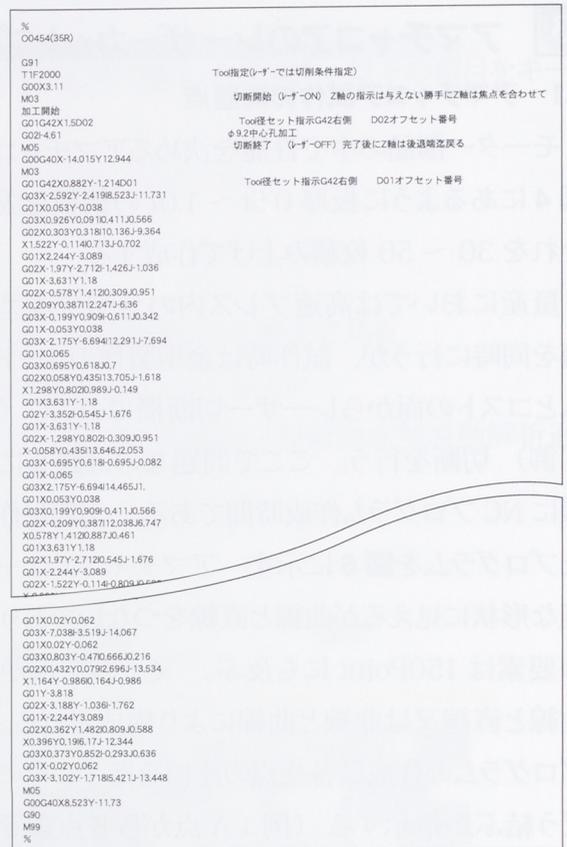


図6 NCプログラム

4 射出成型の流動解析

4.1 射出成型金型製作時の問題点

従来、射出成型金型を製作するとき、金型の出来映えは実際に成型品を作ってみなければ分からなかった。材料の収縮、成形材料の流れ等不確定要素が多く、金型製作後に修正を何度も繰り返し、最悪の場合、金型の再製作が必要になる場合も少なくなかった。今回はこの問題の解決を目標に、金型製作前に出来映えを評価できるシミュレーションを使用し、アラームイモビライザーケース金型の評価を行った。アラームイモビライザーは基本肉厚が1.6mmと薄く、形状も複雑でシミュレーション能力の評価には適している（図7）。シミュレーションは生技開発FA（Factory Automation）グループにて実施した。

4.2 進め方

シミュレーション技術は事前に机上検討で予想した通りの結果が出るかどうか重要であり、必ずしも最適解を求める物ではない。

そこで今回は以下の様に進めた。

(1) シミュレーション精度の検証

シミュレーション結果と現物の突き合わせ。

(2) 修正方案のシミュレーション

修正方案をシミュレーションする。

目標数値にはいるまで各種方案をシミュレーションする。

(3) 再度シミュレーション精度の検証

採用した方案における現物とシミュレーション結果の突き合わせ。

以上により製品精度向上とともにシミュレーションが使い物になるかを評価した。



図7 アラームイモビライザー

4.3 実施内容とその結果

(1) シミュレーション精度の検証

まず現状の経験を織り込んだ金型を製作してその金型でのシミュレーションを実施した。

シミュレーション結果（図8）からは円筒部が0.9mm本体側に変形すると予想された。実際に金型製作をして現物を測定してみるとほぼ同様の結果が得られた（図9）。

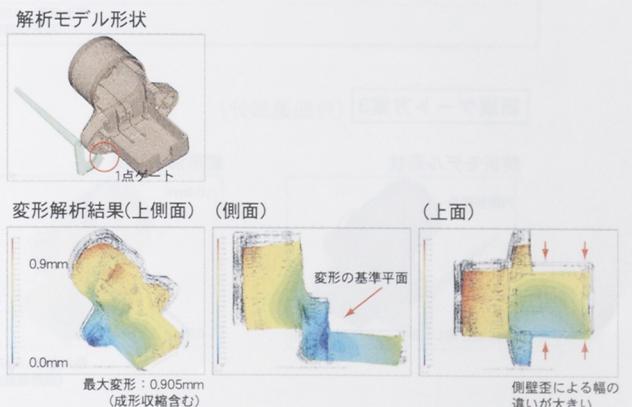


図8 シミュレーション結果

(2) 修正方案のシミュレーション

修正方案として変形量半減を目標にシミュレーションと方案検討を繰り返し、最終的にほぼ半減する方案を採用した（図10）。

(3) 再度シミュレーション精度の検証

上記方案にて金型修正を行い、現物の測定結果からほぼシミュレーションと同等の結果が得られた。

3.4 結果

上記の結果から流動解析による薄肉成型品の変形に対するシミュレーションは、現物の状態をほぼ予想できる事が解った。これにより今回修正は1度のみで目標精度を達成できた。次回からは、この技術を最初から使えば、修正の必要の無い金型設計が可能な事も同時に証明できた。

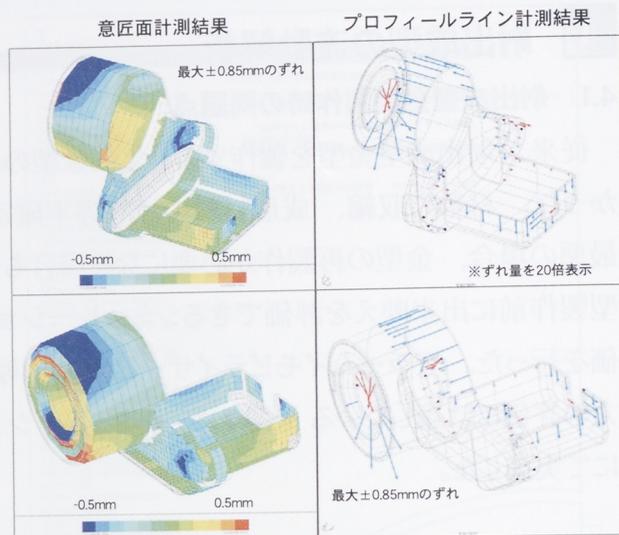
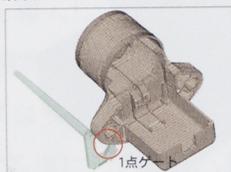


図9 測定結果

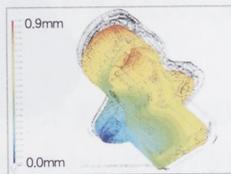
現状ゲート方案

解析モデル形状



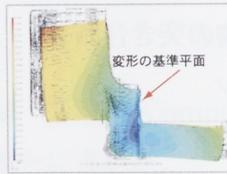
1点ゲート

変形解析結果(上側面)



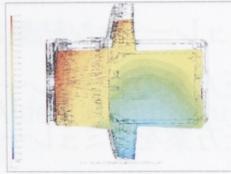
最大変形：0.905mm
(成形収縮含む)

(側面)



変形の基準平面

(上面)



新規ゲート方案2

今回採用案

解析モデル形状

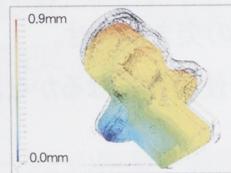


肉抜き大

その他板厚増加等

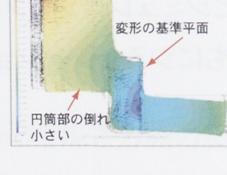
2点ゲート

変形解析結果



最大変形：0.502mm
(成形収縮含む)

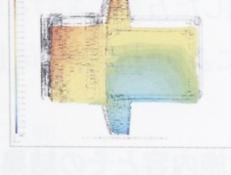
(側面)



変形の基準平面

円筒部の倒れ小さい

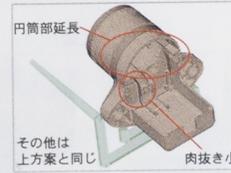
(上面)



新規ゲート方案3

(今回追加)

解析モデル形状

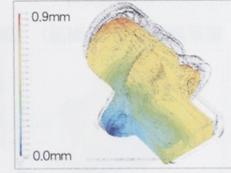


円筒部延長

その他は上方案と同じ

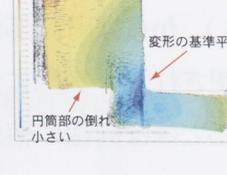
肉抜き小

変形解析結果



最大変形：0.875mm
(成形収縮含む)

(側面)



変形の基準平面

円筒部の倒れ小さい

(上面)

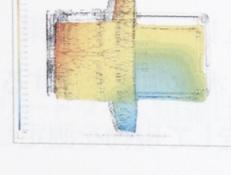


図10 イモビライザ変形解析結果

4 おわりに

モリックは上記の例を見て解る様に CAE という分野では今スタートを切ったばかりである。それもヤマハ発動機グループの技術を応用して、ようやく始めたというのが正しい表現ではないかと思う。しかし、今回の事例にある様にコンピューターを使用すれば、我々が抱える命題に有効な回答が出せる事が社内に証明できた。今後もこの計画を進めて行けば、業界内最短のリードタイムの達成も夢ではないと確信した。

今回の事例は社内に CAE の可能性を認識させるとともに、今後これらを使いこなせないと生き残れない現実も同時に示せた事が重要ではないかと私自身は考えている。

● 著者



鈴木 幸一



CAE 特集

YEC における CAE の利用

Use of CAE at YEC

甲賀 利孝 Toshitaka Kouga 松下 広規 Hiroki Matsushita
●(株)ワイ・イー・シー プロセス開発事業部 DE 推進室

The CAE (Computer-Aided Engineering) Group of YEC was launched in 1991 to promote CAE business based on the accumulated technology developed in cooperation with the YMC group with external approaches in its scope as well.

In addition to a wide variety of analysis management for departments and affiliated companies inside the YMC group which do not have a CAE environment, the Group conducts activities such as consulting including initial analysis education and CAE seminars outside the YEC.

1 はじめに

(株)ワイ・イー・シー（以下、YEC という）の CAE (Computer-Aided Engineering) グループはヤマハ発動機(株)（以下、YMC という）グループとの協業および協業による技術蓄積をベースとした対外アプローチを視野に入れて 1991 年に発足した。

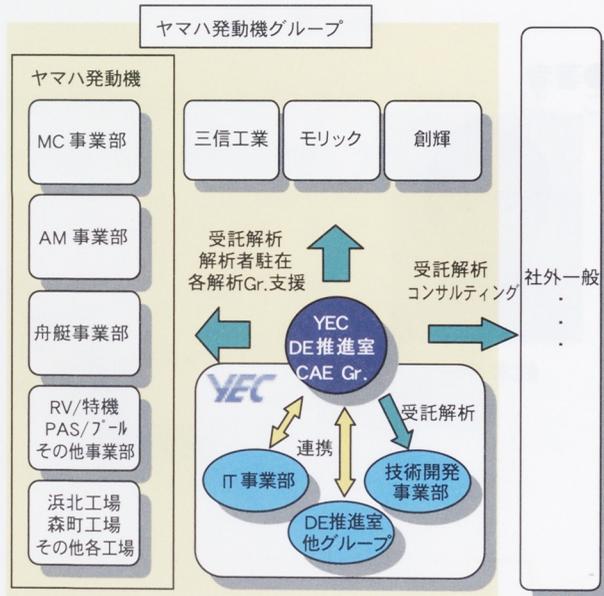
YMC グループ内で CAE 環境を持たない事業部、関連会社の解析受託を幅広く行いながら、解析初期教育を含むコンサルテーション、社外での CAE セミナー等も実施している。

以下にその業務の概要を紹介する。

2 YEC CAE グループの位置付けと強み

YEC は YMC グループ内の各事業部を横断して業務ができるため、各部署ごとに異なる解析技術、ノウハウを幅広く知ることができ、柔軟に対応できる点が強みである (図1)。

CAE グループは DE (デジタルエンジニアリング) 推進室に属し、3次元デジタルデータを核とした CAD (Computer-Aided Design)、CAM (Computer-Aided Manufacturing)、CAE、CAT (Computer-Aided Testing) 活用によって設計から製造に至るスルー業務を目指している (図2)。



解析環境(使用ソフトウェア)

- ・ ESPRI
- ・ MSC. Nastran
- ・ MSC. visualNastran for Windows
- ・ I-DEAS

図1 YEC CAE グループの位置付け

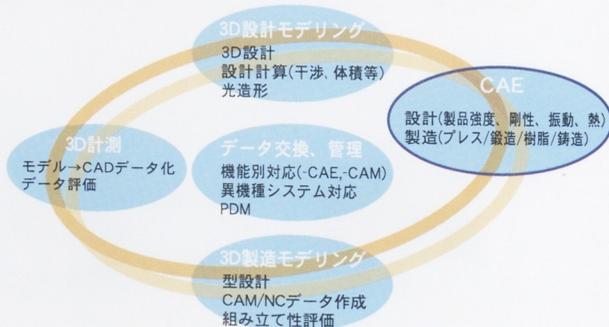


図2 設計から製造に至る、スルーでの3次元(3D)データ活用技術のしくみ

3 受託解析業務

3.1 過去5年間の傾向

過去5年間の解析件数の推移（図3）を示す。2002年度（図3は6月末までの集計）の解析件数は5年前の10倍が見込まれる。依頼部署は多岐にわたるが、YMC 関連会社を含めた YMC グループの受託解析が90%、グループ外が10%の割合である。

3.2 受託解析実績

- ・二輪車関連（フレーム強度剛性、振動等）
- ・自動車エンジン関連（シリンダブロック強度剛性、ピストン熱伝導、接触等）
- ・艇体関連（FRP 製艇体強度等）
- ・船外機関連（シリンダブロック強度剛性等）
- ・その他製品開発部門（スノーモビル、自転車等）
- ・製造部門（型、治具強度剛性等）
- ・YMC 以外の製品（機械部品、樹脂部品の振動、非線形等）

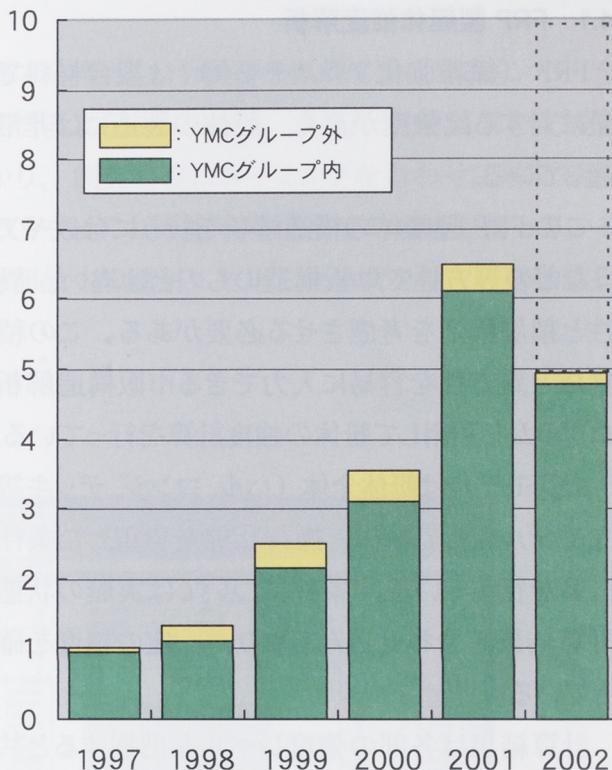


図3 解析件数の推移（1997を1とした比率）

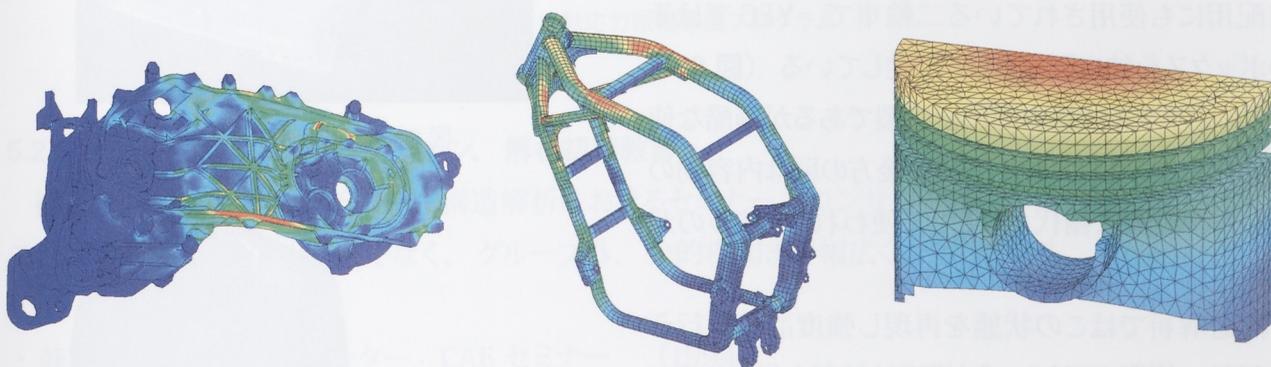


図4 解析事例

4 解析事例

4.1 FRP 製艇体強度解析

FRP（繊維強化プラスチック）は複合材料で重量に対する比強度が高く、艇体の製造には非常に適している。

このFRP製艇体の構造解析を行うには鉄やアルミなどの等方性で単板構造のものとは違い、異方性と積層構造を考慮させる必要がある。この積層構成と異方性を容易に入力できる市販構造解析プログラムを利用して艇体の強度計算を行っている。

計算モデルは艇体全体（ハル、ロンジ、デッキ等）をモデル化しており、操行状態を再現した条件で計算を行っている。条件については実艇の状態と計算結果を合わせ込んでおり、一定の精度を確保している。

計算結果は各部の強度レベルを把握すると共に形状や積層構成の検討に使用されている（図5）。

4.2 ルーフ&ボックス車両強度解析

ルーフ&ボックス車両というのはよく街で見かける宅配用にも使用されている二輪車で、YECではそのボックスを独自製品として開発している（図6）。

このボックスは基本的に樹脂製であるが過酷な使用条件にさらされており、特に後方の扉は内容物の出し入れの際に柵代わりとして使われてしまうのが実情で厳しい状態におかれる。

構造解析ではこの状態を再現し強度計算を行うのだが、樹脂のアセンブリ構造は接着も併用しているため過去の経験やノウハウを基に実機に合ったモデル化を行っている。計算結果はヒンジ部や扉の形状、板厚検討に使用されている（図7）。

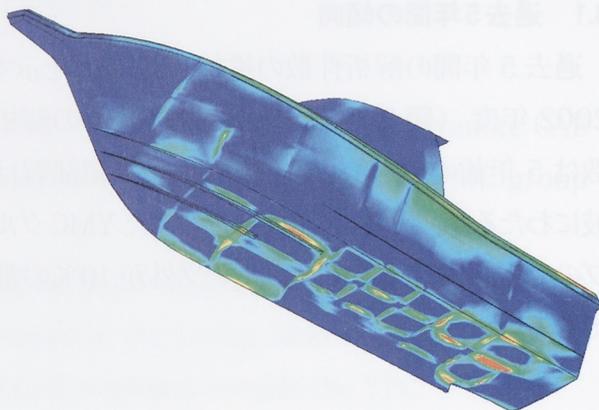


図5 FRP製艇体解析事例



図6 ルーフ&ボックス車両

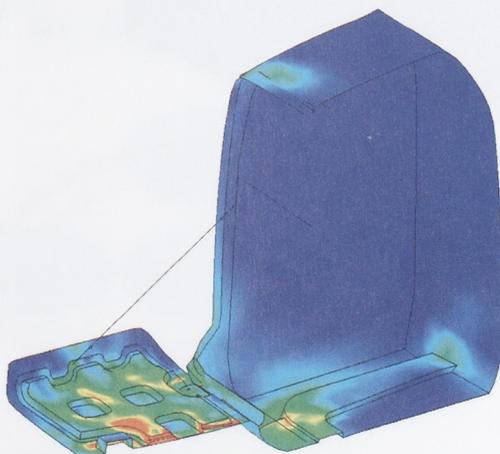


図7 ボックス解析事例

5 CAEの普及と工数削減

5.1 技術開発と調査

構造解析を行う製品、部品が多岐にわたるため、解析基準書、手順書を作成することでメンバー全員が同レベルの解析を同程度の時間内で行うことができるようにしている。また、解析結果を支援するプログラム（図8）を作成することで自動化をはかり、開発日程にタイミングを合わせて解析結果を出せる仕組みとなっている。この他、CAE関連ソフトウェアの機能や解析精度の調査を行っている。また、1997年には「熱境界条件の最適化とエンジン部品への適用」と題した論文をヤマハ発動機技報（No.23）に掲載した。

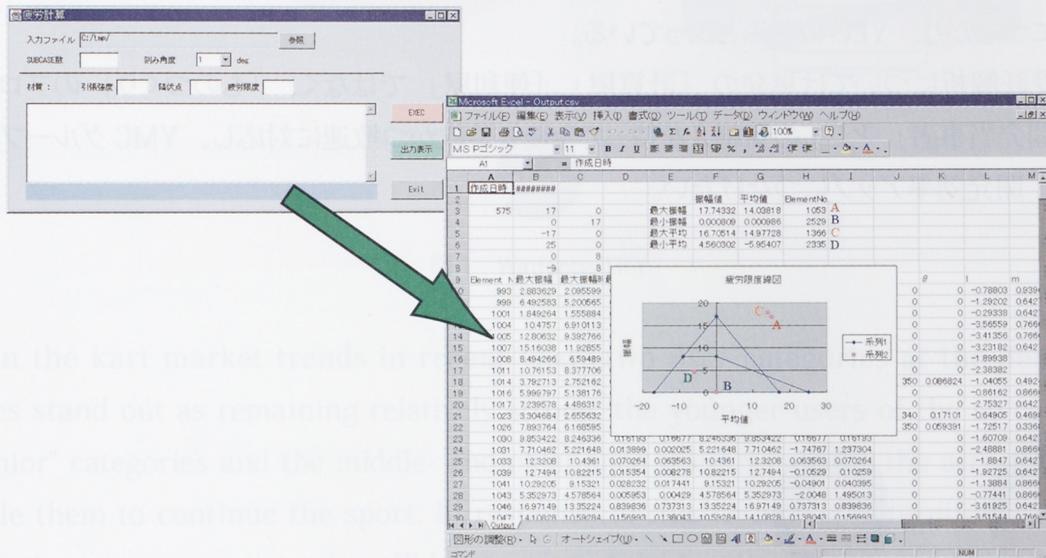


図8 自動応力振幅算出プログラム

5.2 セミナー、コンサルテーション、解析初期教育

構造解析業務の他に以下に示す構造解析におけるセミナー、コンサルティング、教育等を行っている。これはYMCグループ内だけでなく、グループ外、公的機関まで幅広く対応している。

(1) セミナー

- ・静岡県静岡工業技術センター CAE セミナー (1994)
- ・静岡県浜松工業技術センター CAE セミナー (1995、1999)

(2) コンサルティング

- ・自動車照明器メーカー (1996～1997)
- ・電気機械器具メーカー (1996～1997)
- ・医療用具、介護、健康機器メーカー (1996～1997)
- ・ヤマハ株式会社グループ企業 (1998～1999)

(3) 解析初期教育

- ・ YMRT (台湾) (1995)
- ・ 舟艇事業部 (2001)
- ・ 自動車、二輪車部品製造メーカー (2001)
- ・ 株式会社ワイズギア (2002)

6 おわりに

YECのCAE業務はYMC各事業部、各部門を横断して広範囲にわたるため、YMCグループ内でも、同じような部品に対して各部門それぞれの解析方法や評価を行っているのが見える。それが我々のノウハウ蓄積につながり、YECの強みとなっている。

各々の受託解析については単発の「計算屋」「便利屋」ではなく、「ものづくり」のプロセスを意識した「開発当事者」としての気構えを持って今後も柔軟かつ敏速に対応し、YMCグループ全体の技術力向上、開発効率アップにつなげたい。

● 著者



甲賀 利孝



松下 広規

製品紹介

Winforce TRY/ ウインフォース トライ

Winforce TRY

尾崎 由斉 Yoshihito Ozaki

●特機事業部国内営業室カート担当



図 1 Winforce TRY

Within the kart market trends in recent years, two user categories at the demographic extremes stand out as remaining relatively strong: the younger users of the so-called "kids" and "junior" categories and the middle- and older-aged users who have the accessible income to enable them to continue the sport. In response to this trend, we determined that efforts aimed at these younger users who will be the core of the kart market from mid- and long-term perspective must be undertaken urgently. As a result we developed and released the "Winforce TRY" as a child-oriented model for this category, which we had never addressed seriously with products or promotional measures in the 20 years since Yamaha Motor entered the racing kart market. Here we introduce this new model, which was developed for the body size of the target age group in a way that would not compromise the performance of our existing adult-oriented models. It is a model that would thus provide a full-fledged, high-performance racing kart at a low price, and stimulate expansion of the young age-group sector of the kart market with its introduction.

1 はじめに

レーシングカート市場の全盛期には、一般のスポーツユーザー層のみを対象顧客としても新規ユーザーは増え続け、活動停止及び休止者への対策を講じなくてもカート人口の減少に悩まされる事はなかった。しかしながら、昨今スポーツレジャー層は減少の一途を辿り、カート業界も例外ではなくなっている。現在の市場動向の中で比較的順調に推移しているカテゴリーは、低年齢層を対象とする俗に言うところの「キッズ・ジュニア」層、そして年収面で比較的余裕のある中高年層である。

そこで、将来のカート業界を支える基盤となりうる低年齢層への働きかけが急務であると判断し、1973年のヤマハカート市場投入以来、商品・普及政策共に手付かずとなっていた子供を対象とするモデル「Winforce TRY」(図1)を新たに発売した。本モデルは該当年齢の体格に見合い、大人向けに発売されている既存モデルの性能を損なうことのない、本格的なレーシングモデルとしてカート市場の底辺層の拡大を主眼に置いている。

2 開発の狙い

開発の基本概念は以下の通り。

(1) 健全なモータースポーツの登竜門の商品である。

子供向け製品でありながら、製品性能面・普及活動面において、カート活動だけでなく後年のモータースポーツ活動との連動を図る事を主眼に「本物」をつくる事を目指した。

(2) 低価格ながら、上級グレードである大人向けカートに匹敵する性能を有する。

既存の各社製品の平均価格30万円代を大幅に下回りながら、遊園地のゴーカート等のノリモノでなく本格的レーシングカートとしての位置付けを守る事。更に、サイズ面でも該当ユーザー層の体格に見合う適正寸法を目指す。動力部分のエンジンに関しては、扱い易さもさることながら高いスポーツ性を発揮する上級モデルにも搭載可能な100cm³エンジンを搭載する事。

(3) 既存のカート業界に存在する、他の子供向け製品とは一線を画する。

下は4歳程度からを対象とする他社モデル等に見受けられる、規格外サイズ、パワー不足エンジン、利用可能年数の短さ、全天候対応不可の標準装備タイヤ等、様々な観点でこれらの既成概念を打ち破るモデルとする事。

(4) 業界内のリードオフメーカーとして、他の追随を許さない普及政策を伴う。

ハード面のみの展開に留まらず普及活動面との連動も図った。その内容は業界内で既に実施されている各種スクール・イベントの利点を最大限に生かしつつ、盲点・弱点であった部分を徹底的に排除したもので、統一カリキュラムとテキストにて、「プロ」である専門の認定インストラクターが指導を行うスクールを全国的に展開する。

3 仕様諸元と商品特性

図2に Winforce TRYの主要部品構成図、表1に主要な諸元、表2にメーカー希望小売価格を示す。

Winforce TRYには完成車キットとしてのTRY100Jと、フレームコンプリート（エンジン・タイヤレス）のTRY-1の2機種の設定がある。

搭載されるエンジンは扱い易さと耐久性に優れたKT100Jエンジンを採用。遠心クラッチ及びリコイルスタータ装備で、押しがけを不要としている。

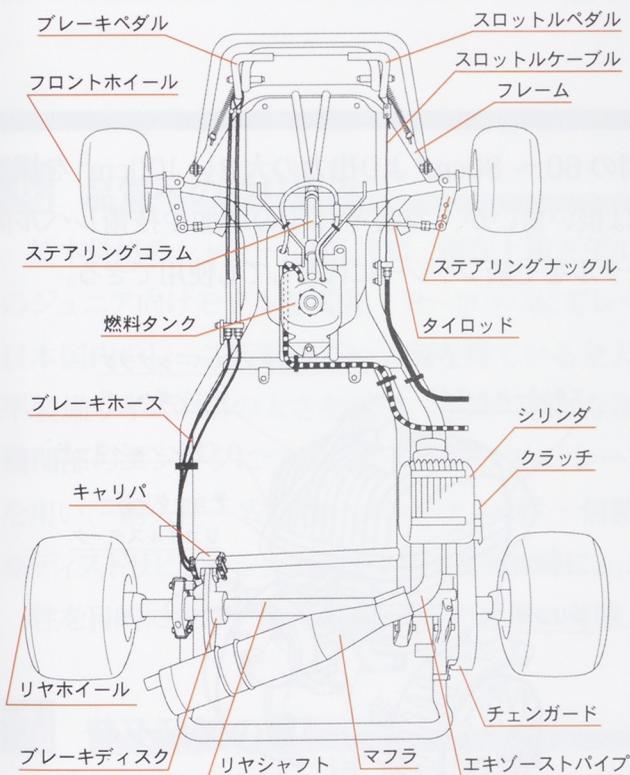


図2 Winforce TRYの主要部品構成図

表1 Winforce TRYの主要諸元表

営業呼称	TRY100J
機種コード番号	J751
全長 / 全幅 / ホイールベース	1,315/1,300mm 以下 / 900mm
乾燥重量	53.0kg
トレッド(標準)前 / 後	930mm/1,170mm
フレーム型式1	変形X型フレーム
フレーム型式2	φ28mm クロームモリブデン鋼管
フロントタイヤ	10×4.50-5(SL98)
リヤタイヤ	11×6.50-5(SL98)
タイヤ空気圧 前 / 後	120kPa/120kPa
制動装置(リヤのみ)	機械式ディスクブレーキ
操行装置	直結シングルステム
エンジン種類	2ストローク・空冷・ ピストンバルブ
気筒数 / 配列 / 排気量	単気筒 / 前傾 / 98.1cm ³
内径×行程	50×50mm
圧縮比	7.6
始動方式	リコイルスタータ
潤滑方式	混合ガソリン
燃料タンク容量	3L
点火方式	T.C.I
点火プラグ型式	BR8ES(NGK)
ドライブチェーン / 駒数	DID219HTM/98 リンク
スプロケット歯数 前 / 後	10T/71T
減速比	7.1

表2 Winforce TRYメーカー希望小売価格

機種名	希望小売価格	備考
TRY100J	229,000円	完成車キット
TRY-1	159,000円	*フレームコンプリート

※フレームコンプリート：完成車より、エンジン・タイヤ・付属部品を除いたもの

4 フレーム基本骨格の特徴

既存のジュニア向けモデルを含め、レーシングカートの主要モデルのホイールベース（軸間距離）は1,040mm前後が主流である。このWinforce TRYは対象を概ね6歳～10歳程度の身長120cm以上の小学1～4年生程度とするため、体格に合わせ140mm短い900mmに設定。材質は上級シャシーにも採用されているクロームモリブデン鋼管を採用し

（通常φ30～32mmの太さをサイズに見合う

φ28mmに）、オールラウンドタイプのイカ型フレームでコントロール性能もさることながら、路面変化に対する反応にも優れた特性を併せ持つ。図3に、既存モデルとのサイズ比較を示す。

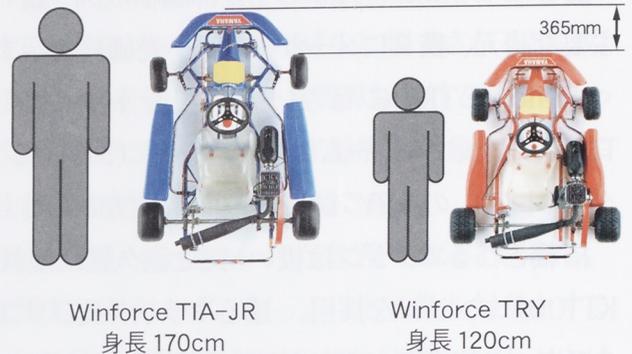


図3 既存モデルサイズ比較図

5 エンジン、その他

排気量に関しては、既存の子供向けカートに採用の60～80cm³より出力の大きい100cm³を採用（図4）。60～80cm³の排気量では、入門当初は扱い易いが、身長や体重の増加や技術レベル向上に対応できない。100cm³のエンジンならば、モデルを上級シャシーに代替しても使用できる。

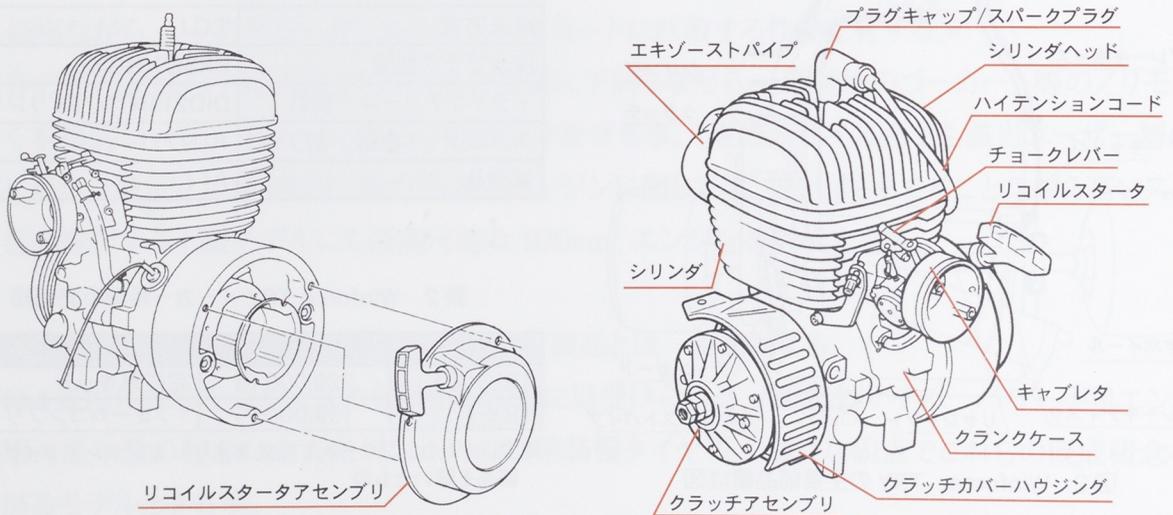


図4 エンジン・リコイルスタータ

製品紹介

レーシングカートに搭載されるエンジンは直結タイプのダイレクトと呼ばれるものが主流であるが、対象が子供ゆえ停止後の再発進・始動性を重視し、チョーキング付キャブレタ・自動遠心クラッチ・リコイルスタータ装備の既存品を採用（図5）。

その他の装備面では、制動性能が高くメンテナンスが容易な機械式ディスクブレーキを採用し、全天候対応のSL98タイヤを装備。乾燥重量53kgを達成した（図6）。

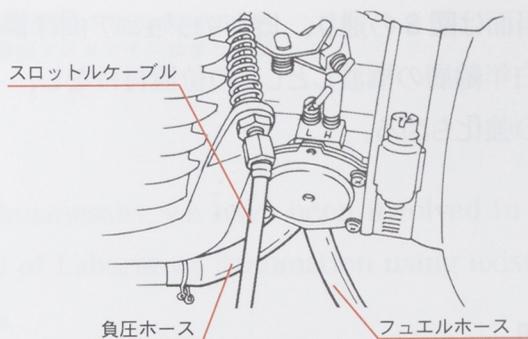


図5 キャブレタ



図6 全天候タイヤ

6 品質への取り組み

基本骨格のシャシーに関しては、既存上級モデルに採用のブランド（イタリア birel 社製 OEM 生産）のジュニア向けモデルを採用。ヨーロッパにてレース・レンタルで実績のある信頼性の高いフレームに、日本国内のレース活動で高い評価を得ている全天候型タイヤ、更にブレーキワイヤーに関しては、標準装備サイズの倍の太さを採用。各部の細かな部品類も全て上級モデルに採用されているものを流用。機関部のエンジンについては、ジュニア向けレースにディストリビューション制度^{*}で採用中のKT100Jを用い、耐久性・安定性・メンテナンス性・信頼性を実現した。

※ディストリビューション制度：レース参加時に、エンジンをレンタルにて配布貸し出しする制度。公平性を目的に主に子供向けレース時の運用に実施。

7 普及政策の展開

ハード面での充実を確固たるものとするために、「ヤマハTRYカートスクール」を全国主要カートコースにて展開している。専任のインストラクタ制度のもと、ステップを細かく設定し、カートの基礎知識・基本操作のみならず、教育の一環としてルール・マナーを重点に実施する（図7）。インストラクタは、講習会受講済みのカート経験者のみとした。完全マニュアル化により、指導内容の平準化も併せて図った。



図7 ヤマハTRY カートスクール

製品紹介

当方は図8の通り、既存のジュニア向けレースの空白年齢層の橋渡しとしての位置付けをし、イベントの強化も図る。

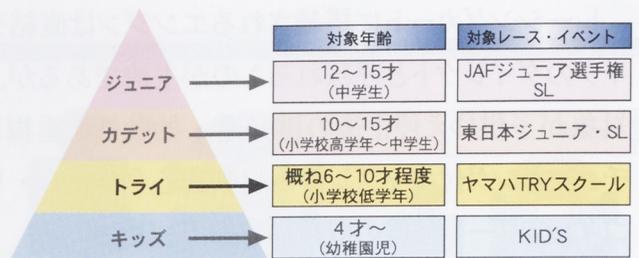


図8 子供用カートのポジションング

8 おわりに

モータースポーツブームが去って以降、年々10代～20代の若者達の間でレーシングカートの存在が薄まりつつあります。その一方で、「キッズ・ジュニア」と呼ばれるカテゴリーは近年参加者が増加傾向にあります。しかしながら、従来からレーシングカートの普及策はレース活動が主流で、この子供のカテゴリーに関しても費用面で活動を断念せざるを得ないケースが多々ある状況です。

モータースポーツの原点はスポーツ&レジャーであり、登竜門的な捉えとして定着を図るためにも根本的な改革が急務と考え、業界トップメーカーとしてハード・ソフト両面でより親しみやすいポピュラーなカートライフを目標に挑戦を致します。

●著者



尾崎 由斉

創薬研究用自動倉庫&ピッキングシステム

Automated Stock and Picking System for Genome Research

鈴木 信成 Nobushige Suzuki 佐藤 睦比呂 Mitsuhiro Sato
●(株)ワイ・イー・シー プロセス開発事業部カスタマイズロボット室

製品紹介

At YEC, as part of our efforts in developing new businesses, we have been involved in the development of various types equipment for the field of Laboratory Automation using existing Yamaha Motor Company robot controller technologies.

One of the areas to which we have directed particular attention is increasing efficiency in genome research related to the development of new pharmaceuticals. Here we introduce the “Automated Stock System for Genome Research” that we developed in cooperation with Y pharmaceutical company. This is a world-first system in the industry that integrates a chemical compound library (one million compounds) with an High Through-put Screening system to greatly increase research speed and efficiency.

1 はじめに

(株)ワイ・イー・シー（以下、当社という）では、かねてよりヤマハ発動機(株)のロボットコントローラ技術を活用した新規事業の一環としてラボラトリーオートメーション分野での各種自動化設備の開発に取り組んできた。

特に注力してきた分野として、創薬部門での効率化を目指し、Y 製薬会社と共同開発した、業界では世界初と目される化合物ライブラリ（1,000,000 種）とハイスループットスクリーニング（高速多量薬効評価）を一体化したシステム『創薬研究用自動倉庫』を紹介する。

2 概要

現在の創薬システムでは、化合物ライブラリ（50 万～350 万種）の種別、残量、濃度等の管理と、研究者の所要する化合物合成と言われるスクリーニング作業の管理が別系統となっているのが主流である。つまり所要化合物を研究員がライブラリから借り出し、要済み後、返却するという作業の繰り返しとなっている。

本システムは、この繰り返し作業をひとつのシステムとして一体化し、自動化させることにより創薬研究における効率化が可能となる画期的なシステムである。数百倍のスループットは、新薬発見の可能性を上げ、更に1つの研究に要する時間短縮をもたらす。特に時間短縮は重要なポイントで、新薬開発競争で他社に遅れをとれば、開発した薬が新薬としての価値を持ち得なくなる場合もある。従来のスクリーニング手法では一人の研究員が数万個の化合物のスクリーニングを実施するのに2～3年を要していた。本システムはロボットを最大限に活用し、多量の化合物のスクリーニングを短時間で実施できる。

製品紹介

上述の要求を実現させた本システムの構成を図1に示す。

マザープレート 10,000 枚（化合物 1,000,000 種）の保管・管理が可能である。

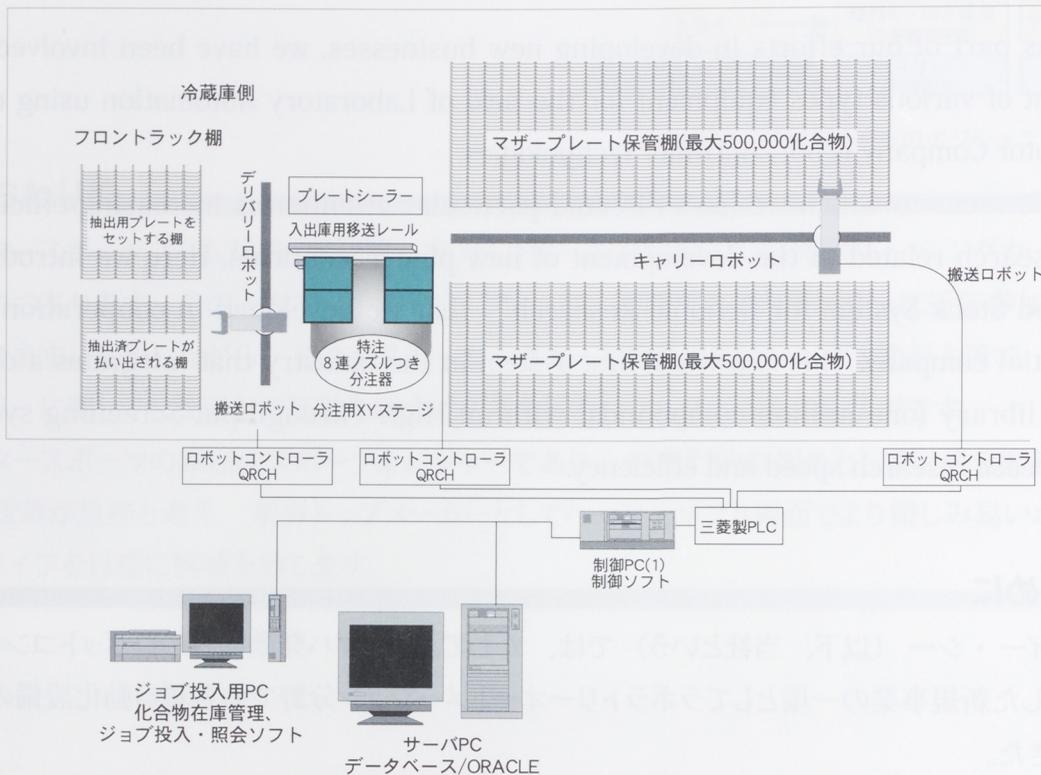


図1 PYAS 構成図 外観サイズ：5.8×2.8×3.3m（高さ）

基本工程として、各ウェル（注入層）ごとに種々の試薬を封入したマザープレート（図3）を自動倉庫に格納し、研究者が試薬を必要とする時にマザープレートから対象となる試薬だけを抽出用プレートに必要量ピッキング（吐出）する（図2）。

機能としては、マザープレート及び抽出用プレートの入出庫作業、一時貸出作業、入替作業、プレートシーラー（プレート上面をアルミ箔でラミネート）作業、分注作業に分類される。この一連の作業指示を研究員がサーバPCより登録し作業の最適化を行い、24時間体制で稼働させている。

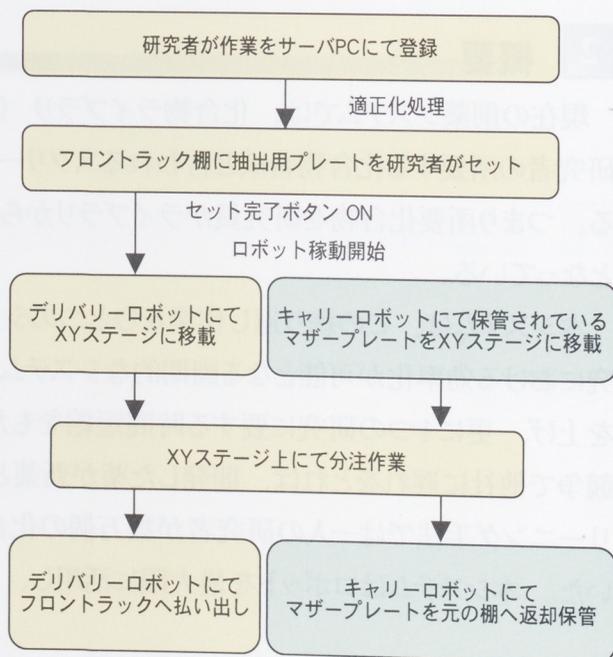


図2 基本工程

3 各部位説明

3.1 96 ウェルマザープレート

倉庫内に保管されるマザープレートのウェル内で試薬は、有機溶剤（DMSO ジメチルスルホキシド C_2H_6OS ）に溶かした状態で保管棚に保管され、庫内の温度・湿度を一定に保ちながら化合物の品質を損なわないよう管理されている（図3）。

3.2 8連分注装置

分注装置は8機の分注機を連動させて構成している。動作としては、8連同時分注と適時分注の2パターンとなる。分注量・プレート吸引、吐出位置指示等は研究者がサーバPC登録時に行い化合物の合成を行う。

分注性能としては、1.0～10.0 μ リットルの吸引・吐出が可能である。他社製品の分注精度は5%以下であるが、本機の方分注精度は2%以下であり、非常に高い精度の方分注作業が可能である。また、ロボットと分注機との連動で切れ目なくピッキング作業を継続することを可能とし、処理スピードを大幅に向上させた（図4）。

3.3 新設計機構

今回、新設計として織り込んだ部分として、ハンド機構が挙げられる。

衝突等の事故が全くないシステムが理想ではあるが、調整段階などを考慮するとたいへん難しい。また、新薬開発といった貴重なサンプルを搬送するため何らかの原因で衝突したとしてもマザープレートへのダメージを最小限に食い止めたい。

そこでハンド根元に過負荷検知機構を追加し過負荷を最小限に食い止めハンド本体は勿論のこと、マザープレートへの影響も少なくなるよう設計している（図5）。



図3 96 ウェルマザープレート
外観サイズ：85 × 127 × 14mm 材質：PP

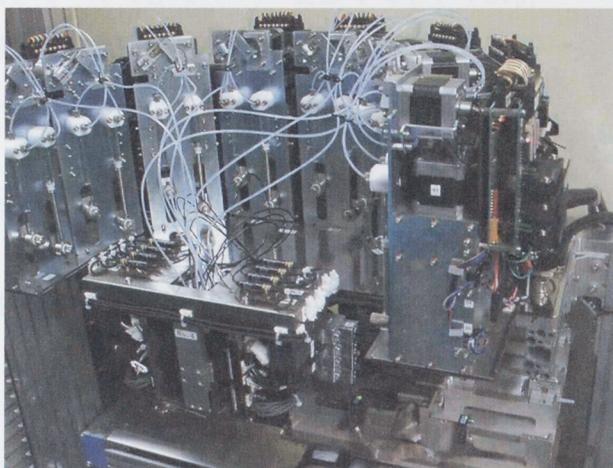


図4 分注装置

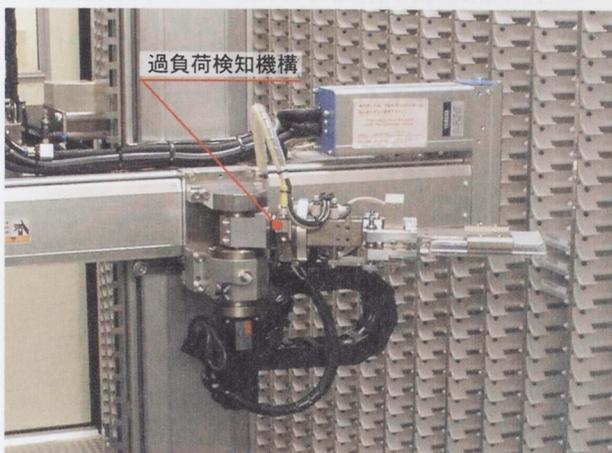


図5 保管棚&ハンド機構

4 品質への取り組み

創薬研究用自動倉庫を開発するに当たり、当社にとって『品質』は重要な課題であった。

それは、製造ライン等の設備導入の経験はあっても、医薬業界への設備導入の経験はなく、ましてや貴重な研究品を扱う創薬研究用ロボットの開発ということで品質については十分な配慮が必要であった。また、開発に当る担当メンバーは4名と少なく、開発期間においても8ヶ月間と短いことから、社内・社外の協力が不可欠であり、各開発担当者と品質について議論を行った。

取り組んだ項目

1. 開発の品質

- ・ フロントローディングの取り組みを行った。特に、顧客との仕様すり合わせ等を十分議論し、要求項目の洗出しを実施。
- ・ 受注商品ではあるが、2輪車開発のプロセスに準拠したプロセス開発の展開と遵守。特にデザインレビュー、プレゼンテーションを積極的に主催。
- ・ ソフト開発においては、CMM（能力成熟度モデル）レベル2をイメージし、モデルケースとして位置付けプロセス開発を重点的に取り組んだ。

2. 日程の品質

- ・ 社内、社外の日程の管理と定期的に進捗会を開催し、やりなおしゼロを目指した。

3. 評価試験の充実

- ・ 機器、制御、電気各開発における評価項目の洗出しと評価実施。
- ・ 十分な評価期間の確保。

4. アフターフォローの充実

- ・ 研究者からの問い合わせ、依頼には迅速に対応。

以上の点に取り組んできた。いずれも重要なことではあるが、ロボット設備の知識の少ない創薬研究者にとってアフターフォローの良し悪しが製作メーカーを判断する中でウエイトが大きいようだ。幸いにも相手先より当社アフターフォロー対応については良い評価を得ることができた。

5 おわりに

本システムは2001年8月に納入し、現地調整後10月より本稼動を開始した。

稼動状況が安定し、初期の目的が充足された時点で相手先より感謝状を戴くことができた。本来ならば、異業種のニーズも定かでない我々に懇切な指導を頂いたことに対して、当社が謝辞を申し上げなくてはならない立場ではあるが。

また、引きつづき2号機のリピートオーダー及び他製薬会社向け自動保管システムも受注することができた。2号機は2002年11月の納入予定で、現在、他社向けシステムと同時進行にて製作中である。

●著者



鈴木 信成



佐藤 睦比呂

製品紹介

NOUVO

ASEAN Model NOUVO

中畑 巖 Iwao Nakahata 石原 靖朗 Yasuo Ishihara 神ノ門 裕之 Hiroyuki Kaminokado
 ● HL YAMAHA MOTOR RESERCH CENTER SDN. BHD. (マレーシア) / MC 事業本部第 3PM 室
 / エンジン SyS 統括部開発室



図 1 NOUVO

In the ASEAN market, “moped” type motorcycles with a centrifugal clutch and underbone frame are well integrated into the societies and daily life of each country as “commuter” vehicles that people use to commute to work and school. Here we introduce the project that developed and introduced the new model “NOUVO” for the ASEAN market as a comfortable and enjoyable type of new commuter bike with added value to attract new demand without cannibalizing existing products on the market.

1 はじめに

ASEAN 各国では、通勤通学等のいわゆるコミュータとして、通称モペットと呼ばれている遠心クラッチ付きアンダーボーン型モーターサイクルが社会性をもって市民生活に確実に根付いている。ヤマハ発動機はかかる市場に対し、既存商品と共生も出来、なおかつ新しい付加価値でより快適なコミュータを提案すべく、NOUVO を市場投入したのでその概要をここに紹介する (図 1、図 2)。



図 2 NOUVO フィーチャーマップ

2 商品コンセプト作り込み

ASEAN 諸国で圧倒的に支持されている既存モペットや南欧で評価の高いスクータを、現地で開発チームが乗り比べ、品質機能展開の手法に則り徹底的に議論、分析した結果、モペットの持つ“足”とスクータの“快”の機能融合パッケージングがASEANの二輪通勤ユーザーに対して新しい付加価値提案が出来ることを確信し、商品コンセプトは“通勤快足”とした(図3、図4、図5)。

コンセプトのブレークダウンは全ての目標項目の数値化を行い、縮尺モデルを使用しての市場調査も合わせて行うことで、スタイリングの方向性検証も実施した(図6)。



図3 ジャカルタでの試乗



図4 品質機能展開議論



図6 縮尺モデルを使用しての市場調査
(タイ、チョンブリの高校生への調査)

5LW QFD RESULTS: MUST ITEM COMPARISON CHART

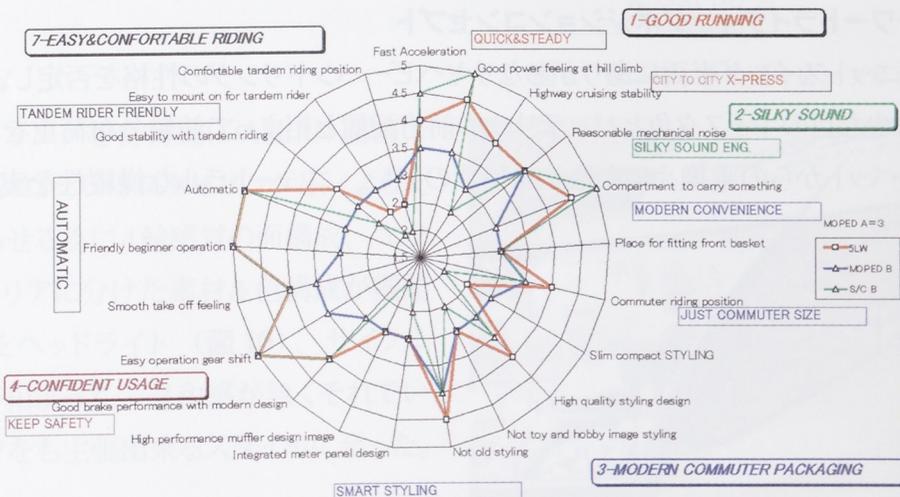


図5 品質機能展開結論

3 開発の狙い

高速走行も含む中距離通勤と男性市場のマレーシア、女性比率が高く独自の美意識を持っているタイ、分析には更に時間が必要なインドネシアと夫々の3ヶ国での使用実態は大雑把に言えば通勤用であることは既知なるも、実走行で得られた体験からは夫々微妙に異なった味付け要求も理解できた。従って開発主眼は前記通勤快足コンセプトを当然ながらカスタマー最優先のパッケージングに落とし込むことで「モダンアセアンパッケージング」とし、細部で各々の販売国の仕様としている。又ややもすると開発サイドからの一方的な伝達になりがちな生産準備を、よりコミュニケーションの円滑なコンカレントな進めかたも主眼に、現地サイドと一緒にの新しい開発～生産準備スタイルを試してみた。

4 仕様概要

4.1 車両基本計画

要求された基本走行機能から大径ホイール+車両概寸、快適機能からはユニットスイング CVT（無段変速機）+シート下ラゲッジの融合が創造され、比較的小柄なマレーシア人男性の最も素直な乗車姿勢の追求を中心に凡その部品配置を施し、更に既存商品群との共生と一方ある程度の距離感も考慮し、車体固定前照灯、手操作ブレーキ、造形タイプレッグシールド、フットボード+センタートンネル、二本リヤクッションを基本諸元とした。

4.2 モダンアセアンパッケージング

直進安定性を実現するロングホイールベース、フルフェイスヘルメット収納の装備という前提条件の下、比較的小柄である ASEAN ユーザーの使い勝手を考慮する為、低シート高、既存モペット並の車格を実現する必要があった。これを具現化する手法として前後ホイールサイズを16インチにすると共に、吸気レイアウトをエンジン前方配置とした。更にはエンジン懸架マウントのアライメントと加減速時のスイング挙動に着目することで、違和感の無いダイレクトな操作感となった。

4.3 マンフォワードライディングポジションコンセプト

一般的なユニットスイング車両にありがちなややヘビーハンドリングの性格を否定し、着座位置をより前方に設定、少な目のキャスト角とバッテリーの前方配置と相まって前輪分布荷重を増加させたことにより、既存モペットからの乗換えにも殆ど違和感の無い、ニュートラルな操縦性を実現させることが出来た。

製品紹介

4.4 新形態フレーム

二輪のみ無料の高速道路網の発達しているマレーシアでは、当然のことながら操縦安定性に対する市場の評価は厳しい。二人乗りをも含めた高速時の安定性をも要求されるこの使用環境に合わせ、アンダーボーンとクレードル型の利点を併せ持つ新形態の高剛性フレームを目指し、同クラススクータ比20%超の振り剛性の向上を達成したことにより、極めて高い安定性が得られた（図7）。

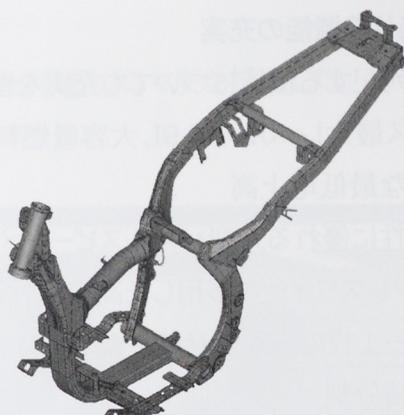


図7 フレーム外観

4.5 利便性

手元操作のシートロックオープナーを装備したシート下17L大容量収納ボックス（図8）、自由度のあるフットボード、操作し易く十分に余裕のあるφ130リヤドラムブレーキなど、スクータ並の機能を網羅した。



図8 大容量収納ボックス

4.6 パッセンジャ快適性

日常的に行なわれるタンデムライディングに合わせて、必要十分なシート長を確保すると共に、タンデムライダーのヒップサポート機能を兼備したハンドルシートを採用した（図9）。またフットポジションについても実機検証を繰り返し、疲労を低減出来る緩い膝角度を実現できるフットレスト位置を見出した。

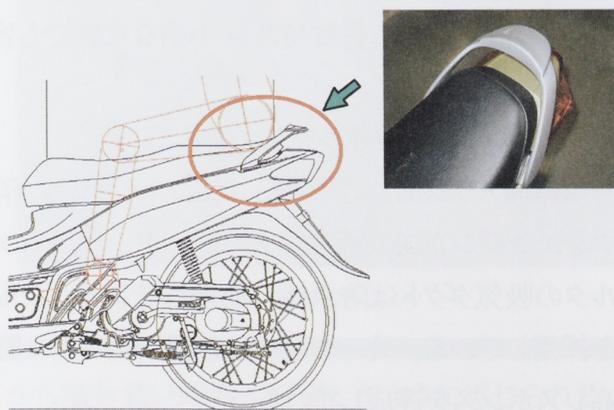


図9 タンデムライダーヒップサポート機能

4.7 スタイリング

スマートスタイリングを合言葉に ASEAN 諸国で普遍的なスリム&コンパクトスタイリングと、より上級イメージを合わせる為に4輪感覚の面構成、エクステリアとインテリアに分けた素材&色構成が機能追及から創られたヘッドライト（図10）、サイクルフェンダなどが相まって、違和感が無くそれでいて独自のモチーフをも主張出来るスタイルに至った。



図10 ヘッドライト

製品紹介

4.8 当り前機能の充実

以下列記する機能についても充実を図った。

- ・クラス最大レベルの 4.9L 大容量燃料タンク
- ・充分な最低地上高
- ・視認性に優れた大型パネルスピードメーター
- ・ステンレスワイヤを多用した高信頼性ケーブル類
- ・カバー 1 枚のみを外せば主要なメンテナンスが出来る外装分割



図 11 エンジン

4.9 エンジン概要

品質機能展開での目標を受け、新型のユニットスイングエンジンを開発した。小型、軽量、高性能、低コストを狙い、強制空冷 OHC 2バルブ単気筒 115cm³ の原動機に、スクータで実績の有る CVT を組み合わせた。又ホイールサイズやスリムコンパクトな車両目標に対し、長い軸間（クランク軸～後車軸）と、クラス最小幅への挑戦、ベルトケースの小型化に主眼をおいた基本設計とした。また、Vベルトの温度上昇を押さえるため、Vベルト室の中に冷却風を取り入れる換気構造を採用した。同時にVベルトの信頼性、耐久性を損なわないよう、防水防塵性も確保した。汚水が入り込まないように冷却風の吸入口は高い位置に配置した。冷却風の通路には汚水が入っても途中で抜けるような工夫を施した。尚、排風カバーはタンデムライダーの乗り込み用ステップの機能も併せ持ち、小柄な女性でも容易に乗り込める様、配慮した（図 11）。

4.10 エアフィルタボックス/キャブレタ

車体のスリム化、さらに、エアフィルタの大容量確保及びキャブレタ整備性等を留意し、エアフィルタをエンジン前方に配置する（ヘッドシリンダの前側に固定）独自の吸気レイアウトとした。エアフィルタの吸気ダクトは防水性、防塵性を留意した配置とし、エレメントは細かい埃にも優れた乾式ろ紙製を採用している。キャブレタは新設計のミクニ製 BS25 を採用し、スムーズなアクセル操作と高性能、高レスポンスを達成している。

4.11 潤滑系

スリムな幅を実現させる為に、オイルポンプを小型化し、エンジンセンター寄りに配置した。また、遠心式オイルフィルター一体クランクを採用した。

4.12 排気系

スクータの一般的な外観と排気サウンドを敢えて否定し、ハギレ良く心地良いサウンドを実現させる為、胴径φ100のクロムメッキの外観を持つマフラーとした。塗装された樹脂プロテクタの装着と相まってデザイン上のアクセントとなっている。

4.13 φ111エコマグ

高効率と低ロス及び燃費の向上を狙ってジェネレータにはモリック製エコマグを採用した。

5 新しい取り組み

商品コンセプトの作りこみにおける現地での徹底的な品質機能展開の議論をはじめ、本格的なASEAN生まれの本プロジェクトを現地に軸足を置きつつ進めるべく、組織をブレークスルーしたCE（コンカレントエンジニアリング）特別プロジェクトチームを発足させた。又現地における前線基地として、マレーシアに2年間の暫定期間ながらIT（情報技術）環境にも考慮した活動拠点を設け、3名の駐在員と現地スタッフが、開発と製造の情報共有、原価低減、2次試作実施、部品補完推進、品質作り込み等に努めた（図12、図13）。



図12 マレーシアでの2次試作



図13 現地CEメンバー

6 おわりに

コンセプト立案のためにマレーシアで活動を始めてから随分長い時間が経過したように感じられる。立案直後から全ての販売国から歓迎されたことでもなかったし、部品補完の議論やCE活動も決してスマートな進めかたではなかったと記憶している。しかし、多くの関係者の努力や信念、或いは言語も宗教も違う多くの仲間や外注企業の皆様のお陰をもって、この4月から順次発売が開始されている。果たしてNOUVOはASEANのコミュニータとして認められながら成長出来るだろうか？関係各位のたゆまぬ支援、継続的なご協力をお願いする次第である。

製品紹介

鉛フリー対応クリームはんだ印刷機 YVP-Xg

The Lead Free Cream Solder Compatible Printer YVP-Xg

墨岡 浩一 Kouichi Sumioka
● IM カンパニー 技術チーム



図1 YVP-Xg クリームはんだ印刷機

Along with the remarkable advancements in mobile devices such as cell phones and laptop computers, automobile control systems and other electronic products that have furthered the IT revolution and its remarkable diffusion in society, have come an accompanying demand for more compact, higher performance electronic components for these products as well as denser mounting of them on circuit boards. Given the exceptional situation in recent years with the economy exhibiting deflationary tendencies, there have also been strong demands for cost reductions.

The integrated circuits (ICs) to be mounted have also evolved from QFPs to BGAs and CSPs. And, since it is often impossible to verify many of the solder points by conventional external visual methods because they become covered by such electronic parts after they have been mounted, visual inspection equipment that has been used up to now is no longer viable. Consequently, demand has emerged for an inspection function to verify the condition of the solder before the parts are mounted on the printed circuit boards. Furthermore, as one measure for addressing the environmental issues of recent years, the capability to use lead-free solders has become a pressing need.

Given these changes in the market, there have been strong calls for surface mounter production line equipment with high productivity, the capability to accommodate a wider range of electronic parts and a higher degree of precision.



製品紹介

While YMC has been selling the "YVP" cream solder printer since the summer of 2000, the new "YVP-Xg" lead free cream solder compatible printer was developed in order to answer these expanded market needs.

1 はじめに

携帯電話や携帯型パソコン等の各種携帯端末機器、自動車制御機器、IT 革命を担う電子機器製品の進歩、社会への浸透はめざましく、それらを支える電子部品には、さらなる小型高機能化、高密度実装化が要求されている。併せて、近年のデフレ経済下において、コスト削減も強く叫ばれている。

搭載される電子部品の IC は、QFP (Quad Flat Package) から BGA (Ball Grid Array)、CSP (Chip Size Package) に進化し、電子部品実装後では、はんだ付け部が部品で隠れしまい、今までの外観検査機では検査できなくなっている。そのため、部品搭載前の印刷状態を検査する機能が要求されている。また近年、環境問題対策の一環として鉛フリーはんだ実装への対応が急務となってきた。

このような市場の変化により表面実装ライン装置には高い生産性、多様な電子部品への対応が可能な汎用性、高精度化が強く求められている。

ヤマハ発動機(株)では、2000 年夏から「YVP」クリームはんだ印刷機を販売してきたが、さらなる市場要求に応えるため、鉛フリー対応のクリームはんだ印刷機「YVP-Xg」(図 1) を新たに開発したので紹介する。表 1 に仕様諸元を示す。

表 1 仕様諸元

基板寸法	Min L50xW50 Max L330xW250 (M サイズマスク) L380xW330 (L サイズマスク)
基板搬送方向	右→左、U ターン
印刷ヘッド	印刷速度：2～200 mm/s 印刷圧力：5～200 N (ロードセルによるフィードバック制御) ウレタンダブルスキージまたは 密閉型ヘッド (オプション)
検査	2次元印刷後検査 (オプション)
ラインタクト	20 秒 または 16 秒 (搬入コンベア使用時)
精度 (3 σ)	繰返し印刷位置精度： $\pm 25 \mu\text{m}$ 繰返し位置合わせ精度： $\pm 5 \mu\text{m}$
対応マスク	L サイズ：L736xW736、L750xW650 M サイズ：L650xW550、L600xW550 L550xW650
外形寸法	L1500xW1840xH1850
本体重量	約 1700kg

2 クリームはんだ印刷機とは

表面実装基板は、図 2 の状態の後にリフロー炉 (オーブン炉) に入れ、クリームはんだを溶かして部品と基板を固定&導通させたものである。

クリームはんだは、はんだボール (粒径 25～45 μm) とフラックス (松脂) を混ぜ合わせたものであり、形状を保持できる程度の粘度 (200Pa・S) と部品を仮固定できる程度の粘着性を持っている。

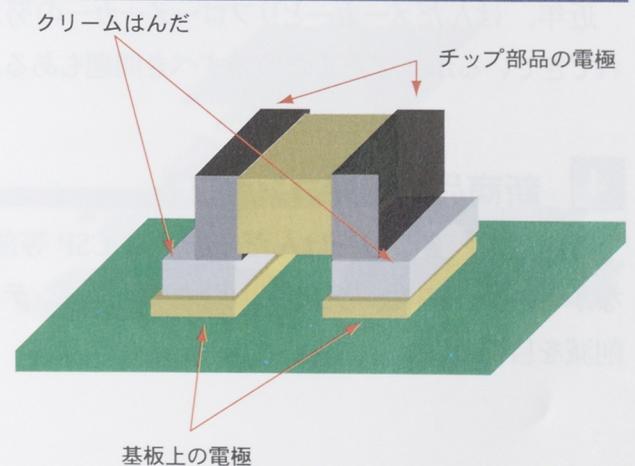


図 2 リフロー前の表面実装基板

製品紹介

クリームはんだ印刷機は、チップ部品搭載前に基板の電極上に精度良く、クリームはんだを厚さ約 $150 \mu\text{m}$ で搭載する装置である。

印刷には通常、メタルマスク（厚さ $t0.15\text{mm}$ で、印刷したい場所が開口になっている）とスキージ（ヘラでクリームはんだをマスク開口に押し込み、掻き取る）が必要となる。

通常の印刷工程は、下記のようになる（図3）。

- (1) 基板とマスクの対角にあるマーク（ $\phi 1.0\text{mm}$ ）をカメラで認識し、それぞれの位置を取得。
- (2) (1) のデータを基に基板を上昇させ、マスク開口部と基板電極部が一致する位置に、精度よく基板を密着させる。
- (3) スキージに設定印圧を与えた状態で、マスク面上のクリームはんだをスキージで反対側に移動させ、マスク面にはんだを押し込み、掻き取る。（充填工程）
- (4) 基板をゆっくりマスク下面から下降させ、クリームはんだをマスク開口から抜き取る。（版離れ工程）

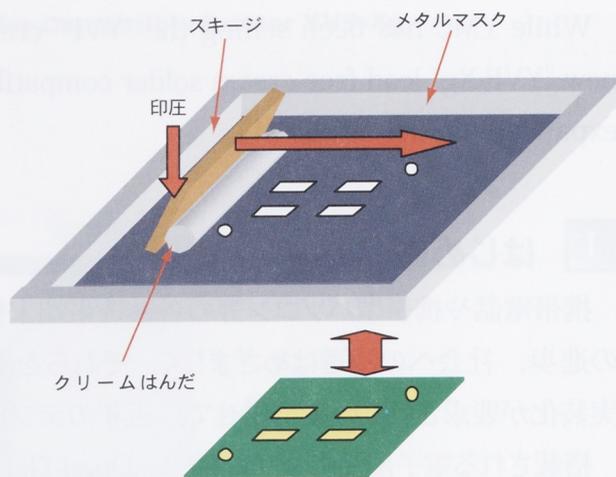


図3 印刷工程

3 鉛フリーはんだ

鉛フリーはんだは、従来の Sn-Pb 系共晶はんだの Pb を廃止したものであり、Sn-Ag-Cu 系と Sn-Zn-Bi 系に大別され、現在はんだメーカーが開発中である。

Sn-Ag-Cu 系が主流であるが、従来の Sn-Pb 系共晶はんだに比べ、融点が約 34°C 高く、濡れ性が悪く、はんだボールが発生しやすい。そのため、印刷や搭載の位置ズレをカバーするセルフアライメント性が期待できなくなり、より一層の精度向上が求められている。

さらに、酸化しやすく、粘度の経時変化が大きく、単価が高いという問題点を持っている。図3のように、はんだが絶えず空気に触れていて、生産終了時に、マスク上面に無駄なはんだが残るような印刷工法は不適切となってくる。

近年、はんだメーカーとリフローメーカーの努力により、鉛フリーはんだの問題点は、かなり改善されてきているが、まだまだ改善すべき問題もある。

4 新商品の開発コンセプト

新商品は、鉛フリーはんだ及び BGA、CSP 等部品への対応をメインとし、最大基板サイズを拡大しながらも、生産性、汎用性、段取り性、メンテナンス性及び操作性を向上。同時に原価 12% 以上の削減を目標とした。

5 鉛フリーはんだ対応

鉛フリーはんだ対応として、

- (1) はんだの酸化を抑制し、無駄なはんだを出さない密閉型ヘッドの採用。
- (2) 通常のダブルスキージと密閉型ヘッドの1分間交換により、過渡期に対応するフレキシビリティを確保。

を行った。

5.1 密閉型ヘッド

密閉型ヘッドは、**図4**のようにはんだがスキージとメタルマスクとヘッド中に密閉された状態で印刷する新しい印刷方式である。イギリスのDEK社がライセンスを持っているはんだカセット（**図5**）を使用した新しい印刷方式である。

常にはんだが空気と遮断されているため、はんだの酸化が抑制される。無駄なはんだがマスク上にはみ出し難いため、はんだの使用効率が高い。さらに、はんだカセット内にはんだが入っているため、脱着性がよい。そして、広い範囲で制御されたペースト圧を加圧できるため、マスクへの充填力が均一で、制御することができる。その結果、微小開口部への印刷にも有効である。など、多くの利点を持っている。

YVP-Xgでは、この方式をライセンス契約し、DEK社の欠点であるヘッド連結部の剛性不足と作業性を改善させた密閉型ヘッドを開発した。

しかし、はんだを攪拌する機能を持っていないため、はんだによっては、ヘッド内部ではんだが固まる。はんだ種類変更時、ヘッド内の清掃性が悪いなどの問題点も抱えており、すべてのはんだに対応できる状態ではない。YVP-Xgでは、この問題を通常のダブルスキージと密閉型ヘッドを1分間で簡単にワンタッチ交換可能（**図6**）のように工夫して、対応させている。

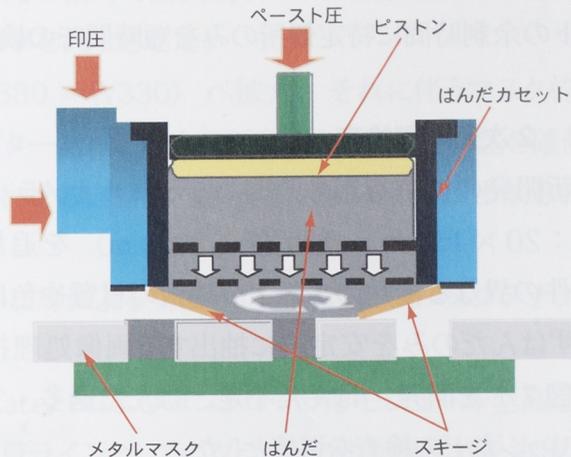


図4 密閉型ヘッド



図5 はんだカセット

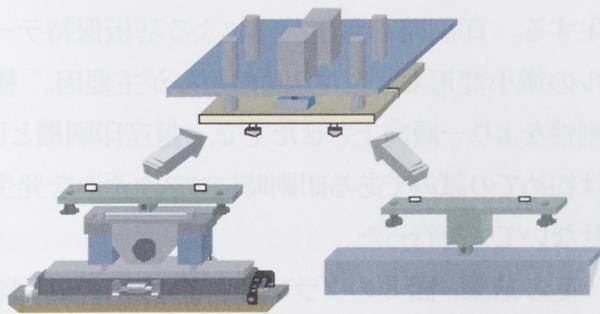


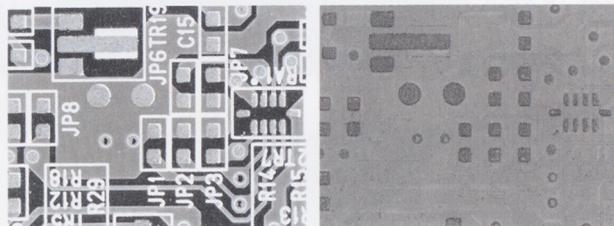
図6 ヘッドのワンタッチ交換

6 BGA、CSP への対応

BGA、CSP 等の対応として、広視野 2 次元印刷検査機能（オプション）を低コストで提供。ラインタクトの余剰時間に特定箇所のみを短時間での検査を可能とした。

6.1 2次元印刷検査

新開発の検査専用の照明、デジタルカメラ（視野：20 × 15mm、分解能：20 μm）を追加し、条件の異なる複数の画像より基板の材質や色によらずはんだのみを安定的に抽出する画像処理技術（図 7）を開発。はんだ不足、はんだ過多、ズレ、ブリッジなどの検査を可能とした。



通常画像 はんだ抽出後画像

図 7 はんだ抽出前後の画像

7 品質への取り組み

YVP-Xg より、マウンタの部品搭載精度補正用に開発した MACS (Multiple Accuracy Compensation System) を印刷機にも展開した。

これにより、印刷時の精度品質を大幅に向上することが可能となった。

印刷機版 MACS は、マウンタと同様にマーク認識時の絶対精度を向上させた上で、印刷方向による印刷位置ズレと基板内の場所による位置ズレの抑制を行っている。据付時に威力を発揮するパラメータの自動調整方法も印刷機版を開発し、印刷位置の自動調整を可能にしている。

印刷機においては、基板とマスクの位置を一致させても、印刷されたはんだの位置は、ズレが発生する。印刷時の印圧荷重による基板保持テーブルの微小変形およびマスクの歪みが主要因。機械剛性をより一層向上させた上で、量産印刷機としては初めての試みである印刷時にマスク歪みを発生させない工夫を行った。

その結果、図 8 のグラフに示すように繰り返し印刷位置精度を 10 μm 前後にすることが可能となった。

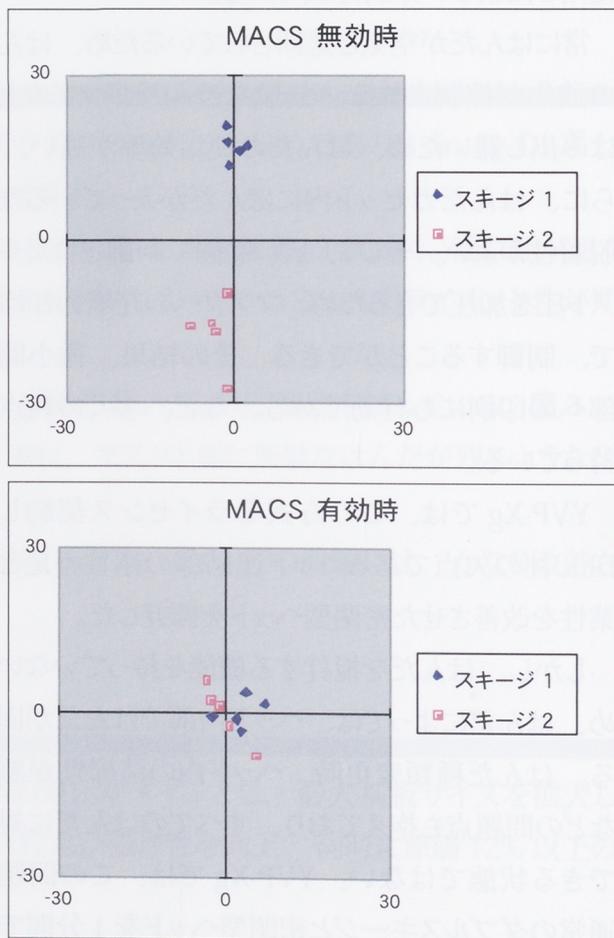


図 8 MACS による印刷位置精度向上

8 その他の特徴

連続生産時に不可欠なマスクの自動清掃装置に新開発の相対可動式吸引ヘッドを採用。常に新しい紙フィルター部にて吸引清掃を行うことにより、清掃効率を向上させた。

最大基板サイズを M (L330 × W250) から L (L380 × W330) へ拡大。それに伴うマスク枠サイズ変更も M サイズ 3 種類、L サイズ 2 種類にアダプター無しで即時変更可能なフレキブル性を確保。

スキージの脱着時間削減、メインストッパー位置合わせの自動化、操作性のよい目合わせ専用ボタンの追加等により段取り性を格段に向上。

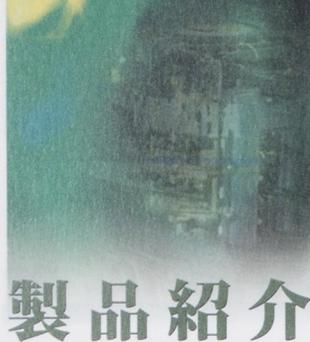
搬入出扉および背面扉の追加、消耗部品の容量アップ等による交換頻度削減により、メンテナンス性を向上。

マシン外観と操作画面 GUI (Graphical User Interface) およびコントローラをモジュール型高速マウンタ「Xg-シリーズ」と共通化させることにより、一貫ラインとしてのグラフィカルな操作性を実現。

9 おわりに

YVP-Xg は、短期間でマシン性能アップとコスト削減（結果的には、20% の原価削減）を当初の目標以上に達成することができた。ひとえに開発スタッフと関連スタッフの努力の賜物である。この場を借りて、感謝の意を述べたい。

しかし、世の中には、様々な種類のクリームはんだがあり、クリームはんだの印刷は、非常に奥の深いものである。今後も、より深い印刷メカニズムの解析を行い、印刷ノウハウの追及をしていきたい。また、海外の印刷機メーカーから、日本メーカーの半値以下のマシンが発売された。この価格差にどう対抗していくのかは、今後の大きな課題である。



4ストローク船外機 F2.5A

F2.5A 4-stroke outboard motor

新井 秀人 Hideto Arai 北島 和幸 Kazuyuki Kitajima
●三信工業(株) 第1技術部

製品紹介

Enactment of environmental regulations in countries all over the world meant that the present lineup of 2-stroke outboard motors for recreational purposes could no longer be offered, so supplements to the outboard lineup that meet those environmental regulations became necessary. This was the springboard for the development of this lowest horsepower motor in the Yamaha line-up. MBK in France began producing the 4-stroke F2.5A outboard in April, 2002.

1 はじめに（開発の背景）

各国の環境規制の施行に伴い、プレジャー用途での船外機は、2ストロークから4ストロークへのラインナップ展開が進んでいる。今回4ストローク最小馬力船外機であるF2.5Aの開発を行い、2002年4月よりフランスのMBKにて生産が開始されたので紹介する。図1にF2.5Aの外観を、表1に主要諸元を示す。

表1 主要諸元

エンジン形式	4ストローク 単気筒
ボア×ストローク	54mm × 31.5mm
排気量	72cm ³
プロペラシャフト出力	1.8kW (2.5馬力)
気化器形式	1 キャブレタ
潤滑方式	スプラッシュ潤滑方式
ビルトイン タンク容量	0.9L
冷却方式	水冷
点火方式	TCI
始動方式	手動式スタータ
シフト	中立-前進
チルトアップ方式	メカニカル 4段
ステアリングシステム	360° フル ピボット
トランサムハイト	S, L
乾燥重量	S: 17kg L: 17.5kg



図1 4ストローク船外機F2.5A

2 開発の狙い

船外機最小馬力モデルであることから、小型軽量は当然のことながら、使い易さの面でヤマハ小型船外機としての基本機能を装備することを目指した。

また、排ガス規制施行による、MBK生産2ストロークモデルの生産台数減少への対応および、主要市場である、欧州地域内生産によりコスト削減、為替リスク軽減の手段として、船外機としては初めての、MBK生産立ち上がりを目指した。



3 仕様概要 (技術的特徴)

3.1 小型軽量化

2.5馬力船外機として、他社に負けないコンパクトサイズおよび低重量を達成するために、排気量72cm³の単気筒、鋳鉄スリーブ鑄ぐるみアルミダイカストブロックの新エンジンを開発した。図2にクランクレイアウトを示す。

動弁系は汎用機等で広く採用されているシンプルなOHV (Over Head Valve) 構造を採用することで信頼性を確保し、またシリンダをクランク軸に対し10mm オフセットさせることで軽量、コンパクトエンジンとする事が出来た。

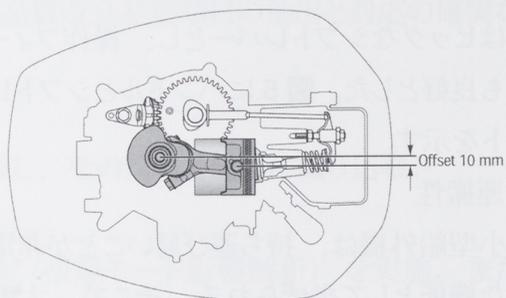


図2 クランクレイアウト

3.2 航走性能

2.5馬力と非常に小さな馬力のため、船のサイズ、形状、また操船者の体重、移動等によってその航走性能が大きく左右される。そこで、競合他社が2馬力であるのに対して0.5馬力性能をアップさせ、さらにプロペラのサイズを3仕様設定することで明確な差別化を実現した。

3.3 低振動

すでに生産されている上位機種F4 (2.9kW (4馬力)) にて採用されているハンドル取り付け部の低振動ダンパーを採用し、上位機種同等以上のハンドルの低振動化を達成している。図3にダンパーレイアウトを示す。

また、船体振動を抑えるために、航走時のエンジン保持部にマウントラバーをレイアウトし、船への振動伝達を低減している。

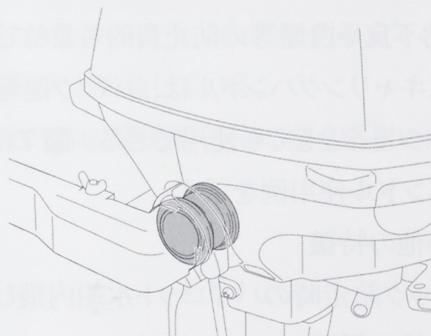


図3 ダンパーレイアウト

3.4 使い易さ

F2.5A は家族で使って頂くことを想定している。そのため、現行の2ストローク2馬力には無い装備を織り込み、クラストップの使い易さを追求した。

(1) 始動性

始動のし易さとして、子供からお年寄りまで、簡単にスタータ操作ができる様にオートデコンプレ機構を採用し、スタータ荷重を低減した。図4にデコンプレレイアウトを示す。

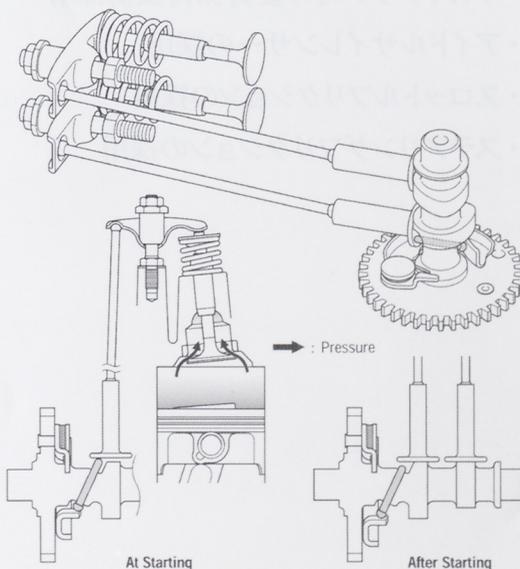


図4 デコンプレレイアウト

(2) ハンドルおよびシフト操作性

操作性を容易にするために、上位機種同等のストップスイッチ付きツイストハンドル（スロットルグリップ一体型）を採用。さらに中立と前進の切り替えシフト機能を採用。切り替えレバーはビッグなシフトレバーとし、操作フィーリングも良好とした。図5にハンドルとシフトレイアウトを示す。

(3) 運搬性

小型船外機は、持ち運び易いことが非常に重要な機能として挙げられる。そこで、大型キャリングハンドルを採用し、さらに保管しやすいように大型エンジン台座（図6）を採用した。また、このキャリングハンドルとエンジン台座は、船外機特有の問題である、運搬および保管時におけるエンジン燃焼室へのオイル流入による始動不良や白煙等の防止目的も兼ねている。さらにキャリングハンドルは、バック運転時のオペレーションとしても使用できる。図7にキャリングハンドル使用例を示す。

(4) その他の特徴

- ・バック航走時のパイロット水船内飛び散り防止機構の採用
- ・チルトアップ時の姿勢保持機構採用
- ・アイドルサイレンサーの採用
- ・スロットルフリクションの採用
- ・ステアリングフリクションの採用



図5 ハンドルとシフトレイアウト

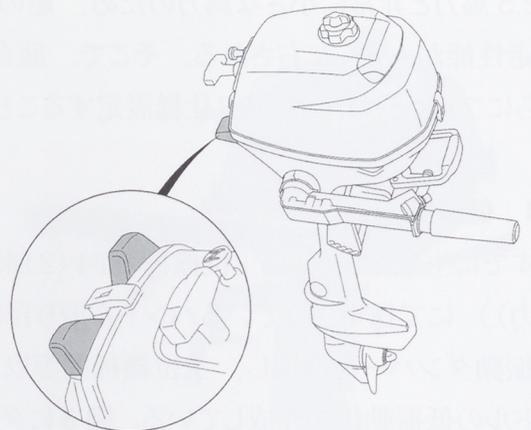


図6 大型エンジン台座

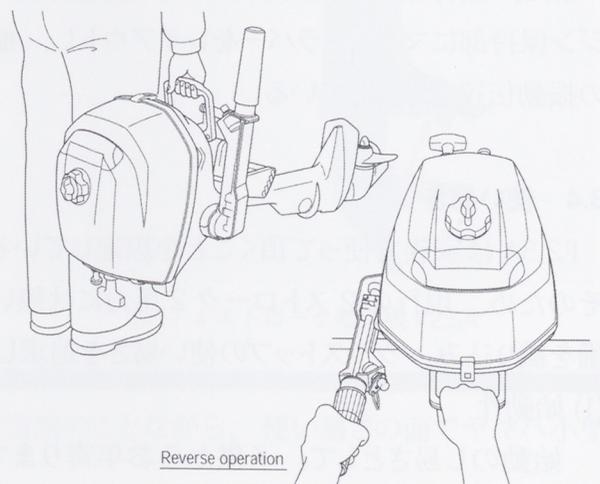


図7 キャリングハンドル使用例

4 品質への取り組み

本開発においては、市場要求品質の作り込みを目的とし、関係部署の協力のもと下記の2項目を重点課題として取り組んだ。

(1) 開発品質の作り込み

基本構造が類似している既存小型4ストロークモデルの品質改良必要項目の抽出と対応の確実な織り込み。

(2) 製造品質の作り込み

製造工場であるMBKモデルの品質改良必要項目を調査し、その対応を確実に織り込む。

この他、新構造に対する信頼性確保を目的としてFMEA（故障モード影響解析）を実施。また重点管理部品を設定し、三信工業㈱品質マスタースケジュールに基づく社外メーカーを含めた要求品質の作り込みを実施し、品質向上への取り組みを行った。

5 おわりに

F2.5Aは基本性能の高さと多くのフィーチャーを持った、クリーンで小さい上質な船外機として完成した。ヤマハ4ストローク船外機の最小馬力モデルとして、子供からお年寄り、女性に至るまでの多くの方々に使って頂き、期待に応えることが出来る船外機に仕上がったと自負している。

最後に、今回の開発製造にあたり、協力をいただきました社内外の関係者各位に深く感謝いたします。

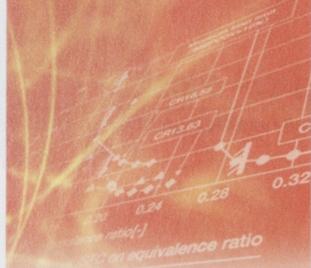
●著者



新井 秀人



北島 和幸



技術紹介

ヤマハ発動機 災害時社員安否確認システム

Emergency Communication System for Yamaha Motor Employees

名畑 哲郎 Tetsuro Nabata 内山 勝 Masaru Uchiyama 神崎 哲 Satoshi Kanzaki
鈴木 雅美 Masami Suzuki 中村 英一 Eiiichi Nakamura
●経営 SG eCRM 戦略チーム / 総務室 総務グループ / (株)アルファ情報システムズ NC 事業部

Abstract

With the recent expansion of the earthquake disaster preparedness area for the Tokai region of Japan and predictions of increased degree of occurrence possibility, society's preparedness to respond to an earthquake disaster has become a highly relevant and practical problem to be dealt with.

Under YMC's existing earthquake response system, verification of employee safety was to be conducted with the normal public telephone system as the primary vehicle of communication. However, the probability of extremely high public use rate during an earthquake emergency meant a high possibility that contact could not be made via the existing phone system. Other problems such as the great amount of time that would be required to compile and verify information about employee safety by telephone were also identified.

As a measure to improve these conditions, we developed an employee safety confirmation system utilizing personal computers and cellular phones (i-mode) that took its hint from the recent development of the Internet environment for personal use (in private homes). In an employee safety confirmation drill held on December 1, 2001, some 70% of the people involved used this new system. Recognizing this to be a model for a new type of safety confirmation system with a high possibility of future commercial exploitation, we applied for a business-model patent on it in October 2001.

要旨

最近の東海地震の被害地域の拡大や、発生危険性の高まりの予想など地震発生時における会社としての対応はきわめて現実的な課題である。

従来、ヤマハ発動機(株) (以下、当社という) の地震発生時における安否確認は、電話による連絡を前提とし訓練を行ってきたが、電話回線の混雑などの理由により連絡が取れない可能性が高いと予想されること、また安否情報を電話で受けた後の集計作業や確認に多大な時間がかかるなどの問題を抱えていた。

このような状況の改善策として、最近の個人(家庭)のインターネット環境の普及に着目し、パソコンや携帯電話(i-mode)を利用した社員安否確認システムを開発した。2001年の12月1日に実施した安否確認訓練では対象者の7割がこのシステムを利用した。尚、当システムは新しい安否確認のモデルでありシステムの販売につながる可能性も高いとの判断で、ビジネスモデル特許の申請を2001年10月に行っている。

1 システム開発の背景と目的

昨今、東海地震の被害地域の拡大およびその発生の危険性が新聞やテレビなどの各メディアを通じて頻繁に報道されている。情報ソースも、政府や県の機関、学識者の調査によるものなどさまざまである。報道の内容を見ると、「地域に関するもの」と「時に関するもの」の大きく2つに分類される。前者では、これまでの調査結果と比較して被害地域が拡大し、発生地域も西側すなわち静岡県西部へずれ、広がっている。当社の事業所はすべてがその地域に含まれることになった。後者は、20数年前に地震発生の危険性が叫ばれて以来、幸いにもこれまで地震発生には至らなかったが、いよいよ、いつ地震が起きても不思議ではないところまできている、といった内容である。

このような背景の中で、当社はこれまでさまざまな地震対策を行ってきた。その中でも、地震発生の70%以上の可能性がある休日や夜間の社員の安否確認方法については、電話を使用するいわゆる“連絡網”式の方法を取ってきた。この方式のメリットは、職制を通じて作成されるため、派遣社員等も含めた全社員を比較的簡単に網羅でき、コストもほとんどかからないことである。逆にデメリットは、電話回線を使用して“人”のみに頼って行うため、電話回線の圧迫や連絡網の切断、横連絡のしにくさや集計作業に多くの時間を要するなどがあげられる。また、組織変更が行われるたびに連絡網を見直しする必要性も発生する。

そこで今回、急速に普及しつつある個人（家庭）のインターネット環境に着目し、これまでの“連絡網”式に替わる新たな安否確認方法として、インターネットに接続できるパソコンや携帯電話を利用した独自の“安否確認システム”の開発に着手した。

システム開発の主要目的は次の3点である。

- (1) 社員と会社がダイレクトに連絡を取り安否確認がスムーズに行えること
- (2) 連絡された社員の情報が素早くデータ化され、地域別・部門別の被害状況の把握や個人情報の検索により、事業の早期復旧に役立つこと
- (3) 当社からのメッセージを地域社会やお客様に発信できること

2 機能概要

安否確認システムの機能概要について述べる。

機能的には大きく安否情報の登録検索系と防災本部の検索機能に分かれる。概要のフローとしては図1を参照されたい。

2.1 対象者情報管理

事前に安否確認対象者情報をデータベース化しておくことで対象者からの安否報告時における項目の簡素化を図った。当社の人事情報システムから定期的に対象者の社員番号、所属部門、住所、生年月日などの項目を取り込んで更新している。

災害時安否連絡システムの詳細

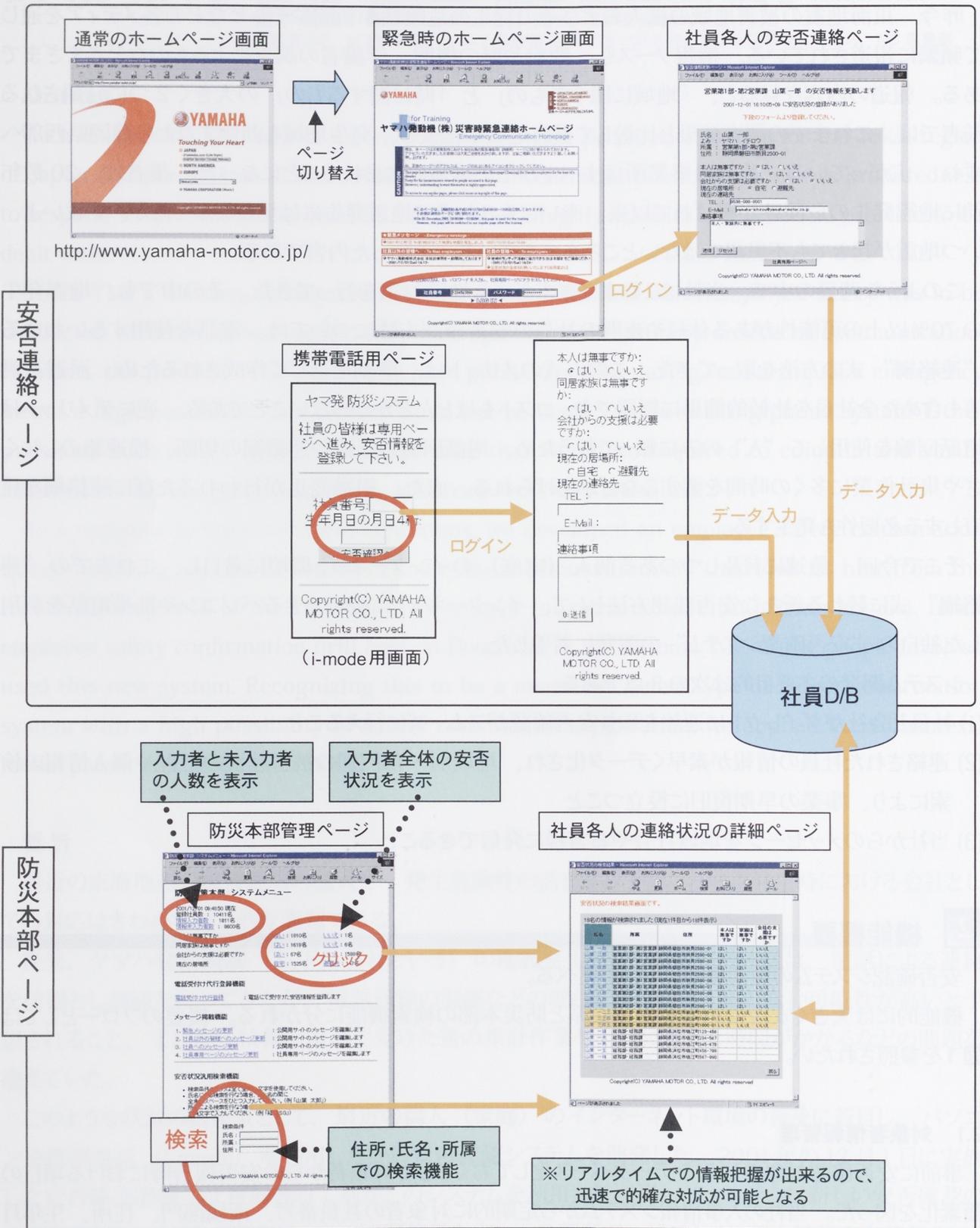


図1 安否確認システム機能概要

2.2 地震発生時のホームページ切り替え

地震発生時には図2のような画面にヤマハ発動機のホームページを切り替える。最終的には地震センサーによる自動切換え機能を考えているが2001年12月の訓練においては手動による切り替え方式をとった。この画面の下段より各社員が自身の安否登録を行う。登録時の認証は社員番号、生年月日の照合によっている。

2.3 安否状況の登録

安否状況登録は社員がWEB画面から実施する。画面の種類としては一般のパソコン用画面(図3)、携帯電話用画面(図4)の2種類を用意した。携帯電話のキャリアとしては、NTT DoCoMo 以外にJ-PHONE、au、TUKAなどの機種にも対応できるようにした。なおインターネット接続環境が無い社員に対して、コールセンターを電話で呼び出し、代行入力を行うための画面も用意した。コールセンターは電話で社員からの社員番号およびパスワードを聴いて、パソコンから社員に代わって登録する形式を想定した。

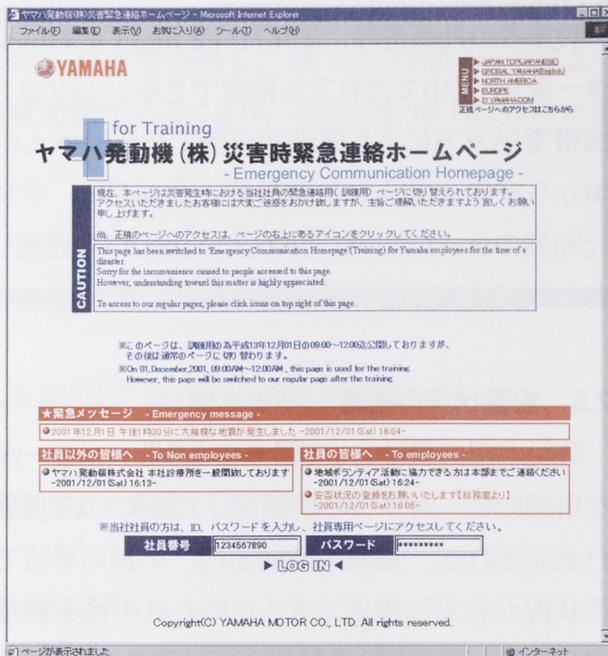


図2 地震発生時切替後ホームページ

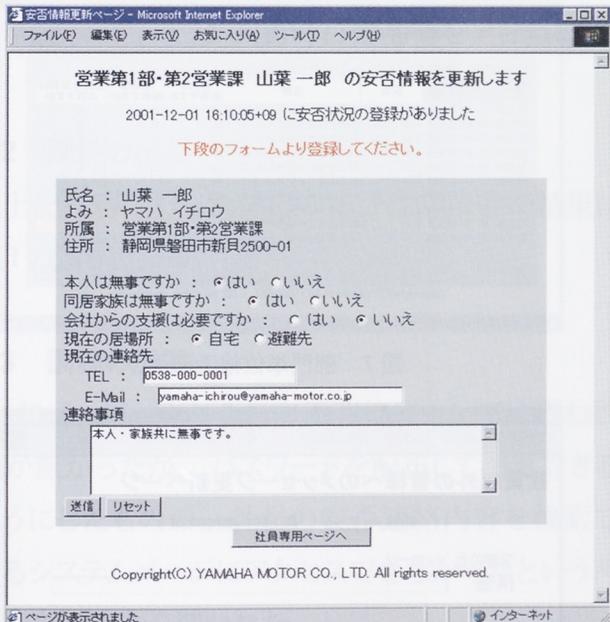


図3 安否登録画面 (パソコン)

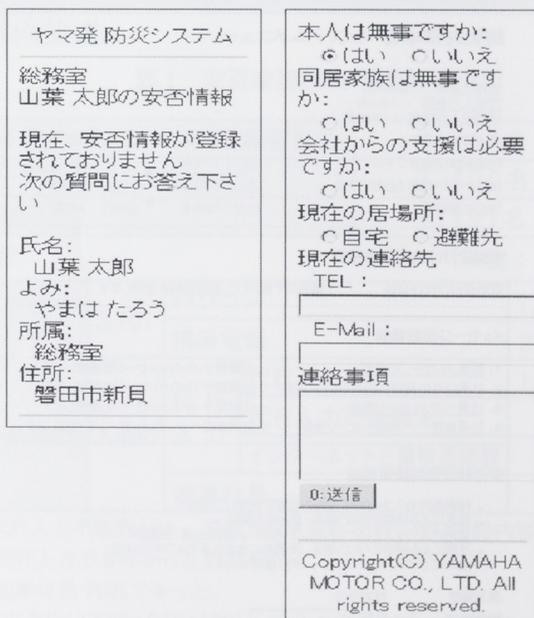


図4 安否登録画面 (i-mode)

技術紹介

2.4 安否状況の検索

対象者の社員番号、生年月日を知っていればインターネット経由でだれでも検索できる。パソコン、携帯電話双方による検索が可能である。本人が日頃から家族、知人に社員番号、生年月日、ヤマハ発動機のホームページアドレス（URL）を連絡しておくことを想定している（図5）。

2.5 安否状況の検索（防災本部）

防災本部の機能として図6のようなメニュー画面を用意した。対象者の情報がリアルタイムで更新され表示される。地域や所属部門、名前での単位で安否状況が容易に検索できるための汎用検索機能も用意した。検索による結果画面は図7のように表示される。

またヤマハ発動機のホームページ上から、メッセージを表示する機能として、社員向けのメッセージ欄のみでなく地域住民への会社としての支援なども想定したメッセージ登録画面も用意した（図8）。

なお今回のシステムのコンピュータ設置場所は(株)アルファ情報システムズの浜松本社とした。遠州インターネットサービスのネットワークインフラ環境のもとに設置してある。

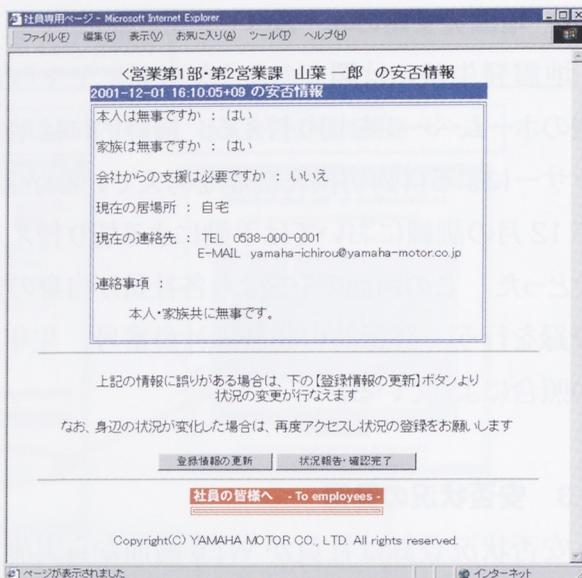


図5 安否確認画面（パソコン）

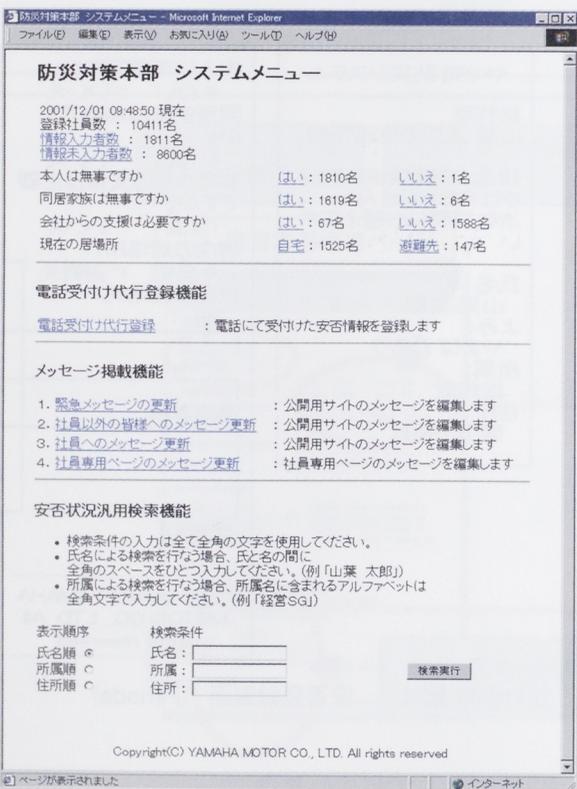


図6 防災本部システムメニュー

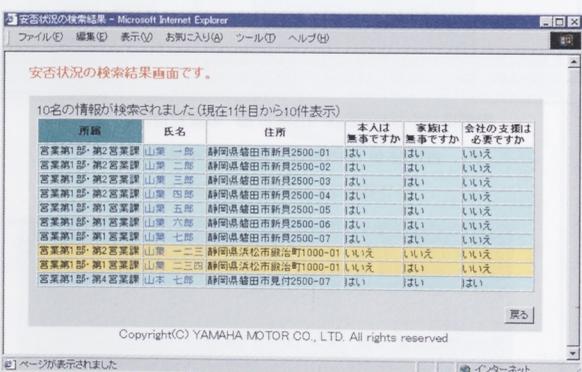


図7 部門単位検索画面

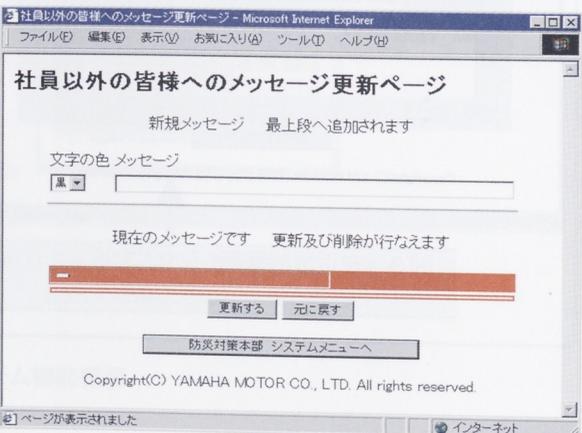


図8 メッセージ登録画面（地域向け）

3 ビジネスモデル特許申請

今回の安否確認システムは新しいビジネスモデルであり、総務室総務 G、(株)アルファ情報システムズ、IT センター、知的財産 G の支援のもと、経営 SGeCRM 戦略チームにより、2001 年 10 月に特許申請を実施した。

4 防災訓練の実施

4.1 訓練の内容

2001 年 12 月1日（土）に、この安否確認システムを利用して休日の安否確認訓練を行った。その内容および結果は以下の通りである。

- (1) 訓練の目的： 安否連絡の方法、本部における情報収集等の確認、安否確認システムの社員への周知徹底
- (2) 訓練の日時：平成 13 年 12 月1日（土） 9:00 ~ 12:00
- (3) 訓練の対象： 派遣社員を含む全社員
- (4) 訓練の方法： インターネットを利用して、社員が直接会社へ安否連絡を行う。また、インターネットへの接続環境が無い社員は一般電話から安否連絡を行う（本部側でシステムに代行入力する）
- (5) 連絡の内容： 本人の安否情報、家族の安否情報、会社支援の要否、連絡先など
- (6) 周知方法： 業務連絡の発行、安否確認システム利用マニュアルを全社員に配布、防災マニュアル災害時行動基準を全社員に配布、社内放送

表 1 安否確認訓練の結果

4.2 訓練の結果

上記内容で行った休日の安否確認訓練の結果は表 1 の通りである。

4.3 訓練の反省

インターネットからの安否連絡については概ね問題が無かったが、パスワードを配布して閲覧できるようにしたもの、社員の安否連絡内容を検索できるシステムページにアクセスできなかったという声の一部の方から聞かれた。

一方、インターネットへの接続環境がない方の一般電話からの連絡は、最初は留守番電話へ録音する方法をとったが、機器の不具合や案内音声小さくて聞こえない等の問題が発生し、結局約半数は“人”が直接電話に出て対応した。実際の災害時には今回のように“人”が対応できるとは限らない。これに替わる方法が早急に必要であり、現在検討中である。

インターネットからの連絡者数	3,701名
一般電話からの連絡者数	2,490名
合計	6,191名

内訳 (単位：人)

インターネット	3,701	パソコン	1,508
		携帯電話	2,193
一般電話	2,490	代行入力	1,525
		代行入力不能数*	538
		インターネットと重複連絡数	248
		派遣社員	179

* 代行入力不能数とは、電話を聞き取れなかったり連絡内容違いで代行入力できなかった数をさす。
参加率は約 70%であった。

$$: (3,701+1,525+538+179) \div \text{約 } 8,400 \times 100 = \text{約 } 70\%$$

5 おわりに

訓練の反省を踏まえ、今後下記内容について継続検討課題として取り組んでいく予定である。

- (1) インターネットによる連絡の手段を持たない人への対応
電話対応に代わりうる手段の検討を進める。
- (2) 安否確認システム設置場所の移設
地震発生想定地域以外へのシステム設置によるシステムのインフラ環境の安全性の向上を図る。
YMUS（ヤマハ発動機米国現地法人）やYMENV（ヤマハ発動機ヨーロッパ現地法人）など海外拠点の利用も有力な候補である。
- (3) 防災本部機能の充実
安否情報の状況を表だけでなく、グラフなどを利用してよりビジュアルに確認できるようにする。



技術紹介

連載：開発工学（その2）

問題予測と評価

～予測精度の向上と評価への結びつけ～

Problem Prediction and Verification
Improving prediction accuracy and extending to Validation

宝泉 誠 Makoto Housen
●製品保証推進室

In the past we had the opportunity to see the results of a questionnaire of people involved in product quality concerning the problems that occur in quality control. The responses from people in development and people in manufacturing are shown in Fig. 1. Many of the quality problems were caused by "noise" (conditions of use, deterioration, variation in part specifications, etc.), resulting in responses like "I never considered that category of problem," or "I thought of it but didn't believe the problem would reach that level."

Just looking at the eventual problem, it is easy to say, "Why couldn't this have been anticipated and prevented before it occurred?" but in actual development and manufacturing it is quite difficult to predict and evaluate these kind of "unexpected" problems.

In this study we took these present problems as a point of departure for considering ways to improve the accuracy of problem prediction and modifications in current programs so that they render more certain identification of potential problems.

1 はじめに

以前、品質問題に関する当事者側のアンケート結果を拝見したことがあります。それは、ある開発部門、製造部門において、**図1**に示すものでした。その品質問題の発生原因については、多くがノイズ（使用条件、劣化、もののバラつき）に起因し、「その項目は考えなかった。」、「考えたが、そこまでのレベルになるとは思わなかった。」などでした。

結果だけから「なぜ、未然に防止できなかったのか？」と言うのは簡単ですが、実際の開発、生産の中で、思わぬ(?)問題を予測し、評価で確認するのは、なかなか困難なものです。

今回は、「問題予測と評価」について、現状の課題点を踏まえて、問題予測の精度向上を図り、評価で確実に確認をとるための工夫、改善点を考えてみることにします。

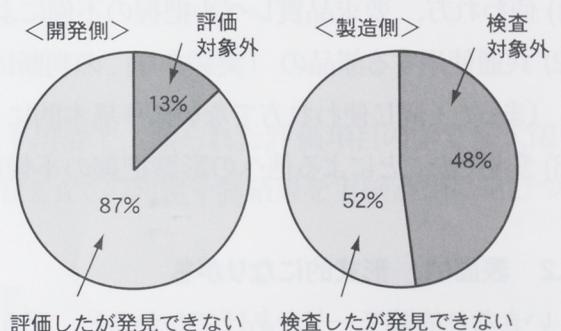


図1 品質問題の発見できない理由
(品質問題の当事者側のアンケート結果より)

2 FMEA について

問題予測の方法で一番なじみ深いのはFMEAです。これは、皆さんよくご存知の「Failure Mode and Effect Analysis」の略で、「故障モードと影響解析」になります(図2)。

FMEAは、対象の知識と経験があれば簡単にでき、問題予測に欠かせない方法です。「FMEAした?」と動詞で使うくらい広く普及しています。それだけに、開発、生産準備プロセスの中で、また取引先との契約の中でFMEAの実施を義務づけている企業も多く見受けられます。

The diagram shows a table representing an FMEA worksheet. The table has columns for 'システム' (System), '機能' (Function), '故障モード' (Failure Mode), '原因' (Cause), '影響' (Impact), '評価' (Evaluation), '対応' (Response), and '対応評価' (Response Evaluation). The '影響' column is further divided into 'システム' (System) and '商品' (Product). The '評価' column is divided into '頻度' (Frequency) and '深刻さ' (Severity). The '対応' column is divided into '要否' (Necessity) and '策' (Strategy). A callout bubble points to the table with the text: 'この世の中にそんなうまい方法が少ない中でFMEAは有用な方法である。' (In a world where there are few such good methods, FMEA is a useful method.)

システム	機能	故障モード	原因	影響		評価		対応		対応評価
				システム	商品	頻度	深刻さ	要否	策	

図2 FMEAワークシート

3 活用上の課題

FMEA自体は有用な方法ですが、今一つうまく活用されていないように思われます。その主な理由として、以下の点があげられます。ここでは、設計段階の設計FMEAのケースで述べます。

3.1 そもそもFMEA対象外

冒頭のアンケート結果に「評価の対象外」がありましたが、初めから「FMEA対象外」で問題予測のまな板にのらない場合があります。その代表例が以下の通りです。

- (1) 使われ方、要求品質レベル把握の不備によるもの
- (2) 共通使用する部品の「実績あり」の判断によるもの
(まったく同じ使われ方でない限り基本的に「実績なし」)
- (3) 変更したことによる他への影響把握の不備によるもの

3.2 表面的、形式的になりがち

いきなり故障モードをあげてかかると、どうしても「壊れる」、「外れる」のありふれた問題予測ばかりで表面的になりやすく、設計者がそれなりに考えた設計になっているだけに、形式的になりがちです。

3.3 設計者だけに留まりがち

3.2の理由にもよりますが、せっかくの問題予測が設計者だけに留まり、実験評価まで結びつかないことがあります。あとになって、「早い段階からその兆候は見られた。」、「言ってくれば、そのような評価をしたのに。」などと聞かれます。

4 効果的活用の工夫

ここは各社で、活用の段階により、また対象により、さまざまな工夫をしています。

4.1 何をどの範囲でFMEAするか？

一般に、この議論、検討が簡単に済まされているように思います。以下に示すことなどは、事前のワークシートに整理して議論、検討すべきです。FMEAが発散して膨大にならないためにも大切です。

- (1) 新機構、新材料、新工法など変更点、変更したことによる他への影響の検討
- (2) 使われ方、要求品質レベルから対象の検討
- (3) FMEAの段階（設計/工程、計画/詳細）と範囲

4.2 もう一步踏み込んだ問題予測を

先ず故障モードをとり上げ、次にその原因を考える進め方では、もう一步踏み込んだ問題予測をするのは難しいと思います。そこで、以下のように機能的に、考えやすい順序で、予測しやすい切り口を与えて問題予測をしたいものです（図3）。

- (1) 機能は何で、
- (2) その機能を発揮するためにどんな作用力が働き、
- (3) そして、さまざまなノイズ（使用条件、劣化、もののぼらつき）の中で、
- (4) どんな不具合現象が起こり、どんな故障につながるか？

4.3 実験評価に結びつけて

実験評価では、お客さまの使用条件すべての評価は不可能で、限られた評価項目の中で最大限の評価結果が求められます。そのためにも、以下のようにFMEAでの問題予測結果を実験評価に結びつけ、確実に評価で確認したいものです。

- (1) どのような評価条件（対象の状態も含めたノイズ）で、
- (2) どのように評価すべきか。

注目すべき評価は、兆候を見逃さないためにも、

- (3) 単にOK、NGではなく、どの程度OK、NGの度合いから評価の信頼性向上を図る。

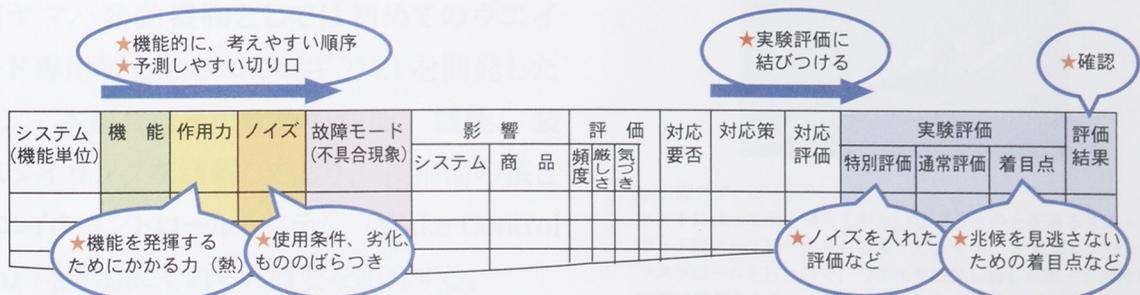


図3 もう一步踏み込み、実験評価に結びつけたFMEAワークシート

5 おわりに

世の中にうまい方法が少ない中で、FMEAは対象の知識と経験があれば簡単にでき、問題予測に欠かせない有用な方法です。技術開発度の高い課題は、早い段階から問題予測し、評価に結びつけ、確認をしっかりとりたいものです。

そのためには、ふだんの仕事の中でFMEAが当たり前を実施されるよう、図4に示す開発、生産準備プロセスのしくみに落とし込み、しくみの運用とマネジメントの中で継続的な改善が大切になります。ぜひ、FMEAしましょう。

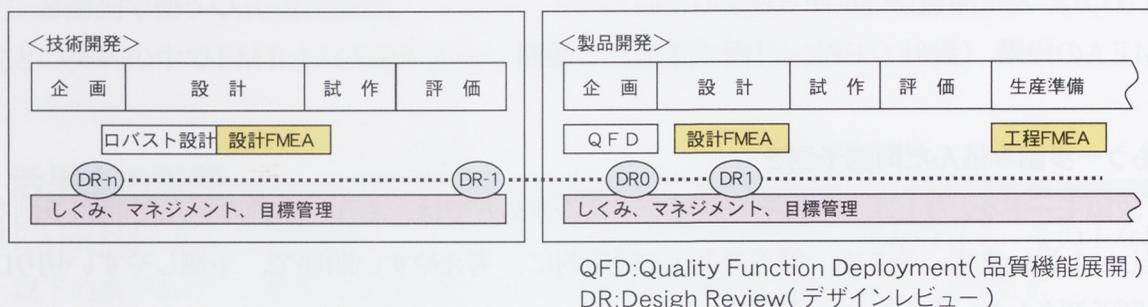


図4 開発、生産準備プロセスの中のFMEA

ご意見、ご要望などありましたら、製品保証推進室までお気軽にお寄せください。

次回、最終回の開発工学（その3）のテーマは、＜要求品質と開発目標＞を予定しています。ご期待ください。

●著者



宝泉 誠

技術紹介

エアロギア 21 の開発 / ウェイキコントロールシステム

AERO GEAR 21 Development - Wake Control System

市川 尚友 Hisatomo Ichikawa 門田 律 Ritsu Kadota
●舟艇事業部 製品開発室



図1 AEROGEAR-21SP

Within the overall slump in the domestic recreational boating sector in recent years, the enthusiasm that young people in their twenties and thirties have shown toward wakeboarding has been a noticeable exception. Some 35,000 people were wakeboarding in 1995, this population grew to the 300,000 level in 2000; even marinas that are ordinarily deserted in winter are now often seen thronged by groups of young people enjoying themselves on wakeboards.

YMC developed the AERO GEAR 21 as its first boat developed expressly for wakeboarding. The boat is packed with performance, functions and equipment in addition to its distinctive styling; the Wake control system forms the core of its technological side.

1 はじめに

近年低迷している国内ボートレジャー分野において、20代から30代の若年層を中心にウェイクボードが盛り上がりを見せている（図2）。1995年に3万5千人だったその人口は2000年には30万人規模にまで増え、通例であれば閑散とする冬季のマリーナでも、ウェイクボードの若者グループだけは活気をもって楽しんでいる姿をよく目にする。

今回ヤマハ発動機株式会社としては初めてのウェイクボード専用艇であるエアロギア21を開発した（図1）。本艇にはそのための性能、機能、装備、スタイリングを満載しており、技術面の核となるウェイキコントロールシステム（Wake Control System）を筆頭にそれらの概要を紹介する。



水上版スノーボード。
ボートによって引っ張ってもらいながら水の上を滑るスポーツ。
ボートによって造り出される波（ウェイキ）を利用してジャンプ
やスラロームを行うので、ウェイキの善し悪し＝ボートの性能が
非常に重要となる。

図2 ウェイクボード

2 開発の狙い

ウエイクボードに使用されるボートは、国産では既存のプレジャー艇を部分改良したレベルのものしかなかった。必然的に 500 ~ 700 万円以上もするトップエンド層向けの高価な輸入専用艇ばかりが羨望の的になってしまっており、その現況に対して日本のマリンレジャーシーンに合わせた新しいスタンダードとして国産初の専用艇の開発に着手した。以下を開発のポイントに掲げた。

- (1) 一目でウエイクボード専用艇とわかるヤマハらしい洗練されたスタイリング
- (2) 初級者から上級者まで幅広くコントロール対応できるウエイキ (=wake、曳き波) 性能
- (3) 居住性が高く後ろを観やすいデッキレイアウトと、充実した専用装備
- (4) 国内マリン事情（保管形態、荒い海況、低ランニングコスト要求等）への適合
- (5) 若者数名がグループ購入できる 300 万円台前半の割安感のある価格

3 ウエイキコントロールシステム

一般のボートや水上スキーではウエイキは小さい方が良くとされるのに対して、ウエイクボードではウエイキで多種のトリッキーな技を楽しむスポーツであることから全く逆の要求がある。ウエイキサイズが大きいことはもちろん、形状がきれいで崩れが少ないことなど、我々の技術ノウハウがほとんど無い課題に取り組むことになった。

これから述べる開発内容は、机上での検討に加え、実機でのプロボダーを含む社内外のスペシャリストによるプリ評価での徹底的な作り込みを経て、商品化できたものである。以下に説明する3つの要素がうまく融合し、ドライバーが意のままに好みのウエイキサイズ、形状をコントロールできるシステムとして機能することになる（図3）。



図3 ウエイキコントロールシステム概念図

3.1 基本船型とその改良

性能の基本となる船型（ハルの形状）は、我々の既存艇の様々な船型ストックの中から、市場でのウエイクボードユースで特に評判の高かったFR21のものをベースとした（図4）。この船型を、よりウエイクボードに適したものとすべく、以下の項目に改良を加えた（図5）。



図4 FR-21

技術紹介

- (1) ウエイキに乱れを発生させていた船底左舷後端のウエッジの廃止
- (2) 重荷時の加速性能を向上させるために後部チャイン幅の拡大
- (3) 旋回時、直進時の操縦安定性を向上させるために大型スケグを追加
- (4) 低くシャープな外観フォルムを実現するために船首ステム角度を変更

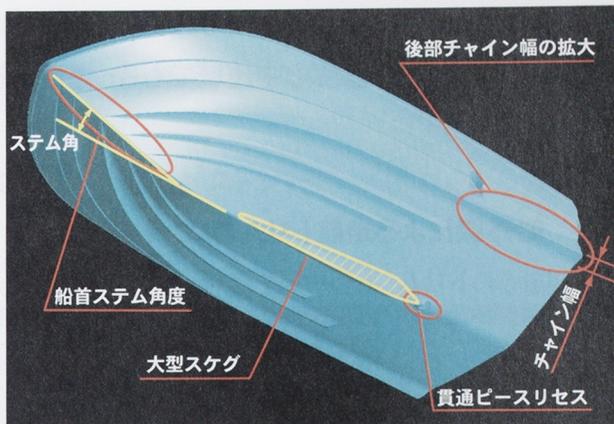


図5 船型概念図

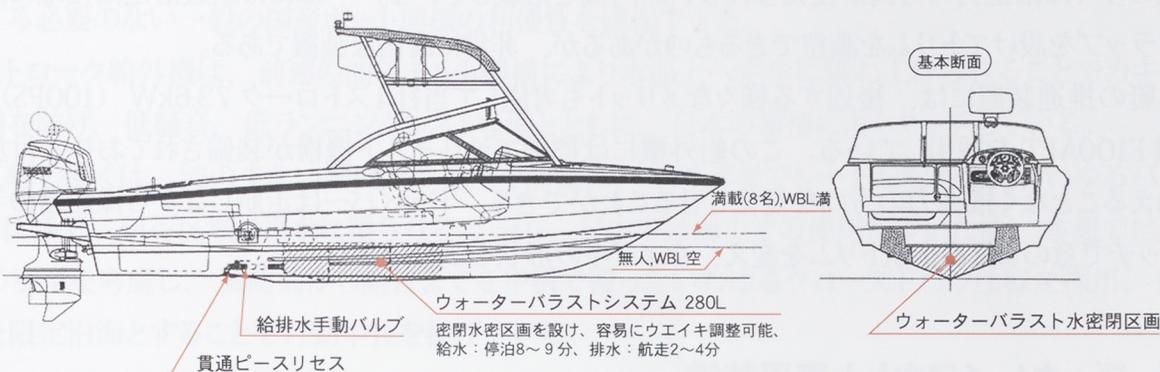


図6 ウォーターバラスト構造概略図

3.2 ウォーターバラストによる排水量のコントロール

ボートの排水量（総重量）は、ウエイキの大きさに直接影響を与える重要なファクターである。一般のボートをウエイクボードに使用する際、ユーザーは毎回ポリタンクで砂や水を積み降ろしするなどして乗員数や技量に応じた排水量の調整を行っていた。しかしその調整量は数百 kg にも及ぶことがあり、大変な重労働であった。輸入艇では電動ポンプを用いて船内の水袋に 200L 程度の海水を給排水するものがあるが、複雑な装置であるが故の信頼性、水袋の収納に大きなスペースを要するなどの短所があり、給排水には各 10 分程度の時間がかかる。

本艇では、船体中央部の床下に船体構造一体の水密閉区画を形成し、低重心かつ高いスペース効率で一般的な釣りボートのイケスの 2～3 倍に相当する 280L の大容量を確保している。この区画はボールバルブと船底貫通ピース等のシンプルな配管部品のみを介して水中へ接続されており、製造過程においては工程内での 2 回の圧力リーク検査と完成時水張り検査の、合計 3 回の厳格な品質管理によりその水密信頼性を確保している（図 6）。

機能面は、静止状態でバルブを開くと 8～9 分で満水となる。貫通ピースの船外側周囲は図 7 の



図7 貫通ピースのリセス形状（プリ評価での造り込み写真）

技術紹介

ように特殊なリセス形状になっており、走航すると負圧を発生する。排水はこの負圧を利用して行い、20kt (37km/h) 程度の中速域でも3~4分、全速 30kt (56km/h) 前後では2分強の早さで完了できる。

3.3 船外機による走航トリムのコントロール

走航時のトリム（ボートを真横から見たときの水面に対する姿勢角度）が変わると、ウエイキの形状が変わる。走航トリムを決めるファクターは主に、重量重心の前後位置、船底滑走面形状、推進力の方向である。これらを任意に変化させればウエイキの形状を調整できることになる。重量重心を変化させるには重い物（バラストや人間）を前後に移動調整するのが早いですが、労力を要する。また輸入専用艇の多くは推進力の方向が変えられない船内機を搭載している。一部には船底滑走面後端に油圧可変フラップを設けてトリムを調整できるものがあるが、非常に高価な装置である。

本艇の推進装置には、後述する様々なメリットも考慮して当社4ストローク 73.6kW (100PS) の船外機 F100AET を採用している。この船外機には標準で油圧チルト機構が装備されており、付加装置を加えることなく推進力の方向を変化させることができる。ドライバーは走航しながら操船席の手元のスイッチで意のままに走航トリムを変え、ウエイキの形状を調整できる。

4 デッキレイアウトと専用装備

デッキレイアウトを図8に示す。船外機=非常にコンパクトというメリットを生かして圧倒的に広いスペースを確保し、定員8名がくつろげる居住性を狙っている。輸入専用艇の多くはデッキ中央に巨大なガソリン船内機を搭載しており、それを包むケーシングが居住性を阻害している。最新スペックの輸入艇には通称Vドライブと呼ばれる動力伝達装置を採用してエンジン本体を船体後部にレイアウトしているものもある。格段に居住性が向上しているが、エンジン本体が巨大な分、本艇の広さには及ばない。

上記に加え、本艇では以下のようなウエイクボード向け専用装備を折り込んだ。

- (1) 日除けオーニングを一体折り込みしたスタイリッシュかつ機能的なトーイングゲート
- (2) ドライバーの十分な後方視界を確保する大型バックミラー
- (3) 常用スピード領域の19kt (35km/h) 付近の指針が上を示すオプション2連スピードメータ



図8 デッキレイアウト

- (4) ウェイクボードを履く際に板が安定するように上面形状を湾曲させた大型トランサムステップ
- (5) 長時間の操船をサポートするバケットタイプのドライバーズシートと、風防効果の高いウインドシールド
- (6) 仲間のトリックを観やすいよう後ろ向き、横向きにレイアウトしたゲストシート

5 日本のマリン事情への適合

日本での小型ボート保管形態は、欧米で陸上保管が多いのに比較して係留保管が多い。これに対して本艇はフロアを水面より上へレイアウトし、フロア後部側方に排水溝を設けたセルフベ어링（自動排水）を採用した。全高を低く抑えたスタイリングとの両立に相当苦勞したが、これにより使用毎に上架する必要のない一般の国産ボート同様の利便性を確保できた。

4ストローク船外機は、前述の油圧チルト機構により水面上へ完全に跳ね上げられることでカキなどの付着を防ぎ、低騒音、低ランニングコストな面とともに、日本の事情によくマッチしている。

輸入艇の多くは、波の少ない湖面での使用を前提に、船首部までシートを配置したいわゆるバウライダー仕様で、航行区域は平水に限られる。一方、日本では海上での使用が多いため、本艇では万一の際の安全を考慮し、風防前から船首までを甲板で覆ったいわゆるクローズドバウ仕様を採用、航行区域を限定沿海とすることで行動半径を拡げている。

6 おわりに

本製品は、2001年3月の発売以来、多くの国内ウェイクボードファンの支持を得、またロー&ワイドなフォルムは2001年秋にグッドデザイン賞を受賞、現在も好調な販売を継続している。

開発にあたっては社内外の多数の方々にご参画いただいたが、特にプロや愛好者の方々のウェイクボードへの愛着と、情熱に満ちたアドバイスには心打たれるものがあった。紙面を借りてここに深く感謝申し上げると共に、微力ながら本艇がウェイクボード文化発展の一助となることを切に願う。

●著者



市川 尚友



門田 律



技術論文

FRP 製プール「水夢 21」での 水中音響解析

Analysis of Underwater Acoustics in the FRP Pool "Swim 21"

山田 潤 Jun Yamada
●研究開発センター コア技術研究室

Abstract

Underwater acoustics is an important element for synchronized swimming. And, since a temporary installation FRP pool was to be used for the first time ever for this competition at the World Swimming Championships in Fukuoka, we were expected to produce a pool with acoustics equal or superior to that of an RC pool. In the World Swimming Championships the effect of the pool walls was eliminated as much as possible by positioning the underwater speakers in the center of the pool. We also developed a new underwater acoustics system that employs an actuator. With this system we achieved results in the maintenance of sound volume, sound quality and evenness of sound distribution that were superior to conventional systems. By using this system in combination with the underwater speakers, we were able to provide high-quality underwater acoustics.

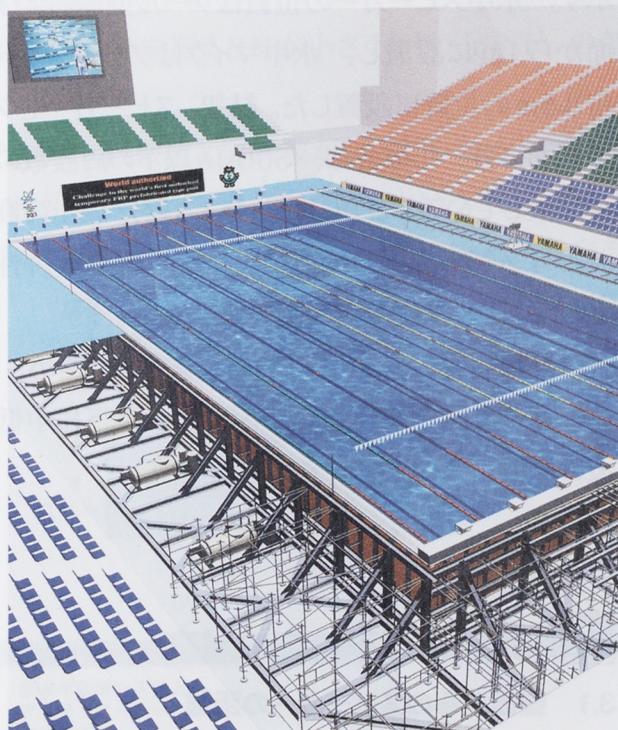
要旨

第9回世界水泳選手権大会（2001年7月福岡、以下世界水泳）前に、FRPプールとコンクリートプール（RCプール）の水中音響の違いが指摘された。シンクロナイズドスイミングは、音楽に合わせて演技し、その美しさを競うスポーツであり、競技中、選手は空中および水中に流れる音楽を聞いてタイミングを計っている。したがって、水中音響は競技に影響を与える重要な要素であり、初めての仮設FRPプールによる開催にあたって、RCプールと同等以上の環境が求められた。そこで、プールの水中音響計測を実施し、現象を把握した。結果、音源自体の問題（水中スピーカーの出力、周波数特性）、プール材質と音源設置場所による影響、遮断周波数の影響があることが分かった。世界水泳では、壁の影響を避けるため、水中スピーカーをプール中央へ配置した。

また、アクチュエータ駆動の新たな水中音響システムを開発した。新音響システムは、音量の確保、音質、音場分布の均一性において既存のシステムをしのぐ性能が得られた。世界水泳では、水中スピーカーと共に使用することにより、高品質の水中音響を提供することができた。

1 はじめに

国際水泳連盟が主催する世界水泳は 2001 年より隔年で開催されるようになった。以前は 4 年に 1 度の開催であった。大会サイクルを短くすることにより、水泳への関心を高め、選手のレベルをあげることが狙いである。しかし、開催のためのプール建設費やその後の維持費などの経費がかかり問題となっている。これを仮設プールで行うことができれば、大幅な経費削減が期待され、発展途上国での開催の可能性も出てくる。2001 年 7 月の福岡の大会では当社の FRP プール（**図 1**）を用いて行われ、そのモデルケースとして位置付けられていた。当社はメインプール、ウォームアッププール、水球プールを受注し、メインプールでは競泳とシンクロナイズドスイミング（以下シンクロ競技）が行われた。しかし、大会前、シンクロ関係者より「FRP プールは水中音がコンクリートプールと違う」との情報提供があった。世界中が注目する「世界水泳」において、水中音響の悪さから競技不成立は避けなくてはならない状況であり、水中音響特性の改善を行う必要がでてきた。そこで、プールの水中音響特性を計測し、現象を把握し対策を行った。



水中音響計測

第 9 回世界水泳選手権福岡 2001
開催・マリンメッセ福岡、他
主催・国際水泳連盟 (FINA)
期間・2001 年 7 月 16 日～7 月 29 日
FRP 製仮設プール
工期・設置 5 日、撤去 1 日

図 1 仮設 FRP プール（世界水泳メインプール）



一般的な
FRP 製プールでの
音を聞く



一般的な
コンクリート製プールでの
音を聞く

2 FRP プール水中音響特性

水中音の計測には特殊なマイクロホンである水中マイクを使用した。この水中マイクから出力される信号を通常の音と同様に分析した。ただし、音圧レベルの計算に空中音での基準（ $20 \mu \text{Pa}$ ）を使用しているため、値が大きくなるが聴感上は 120dB でも水中では程よい大きさで聞こえる。（水中音の最小可聴音の計測が望まれる。）

水中音の出力には水中スピーカーを使用した。大きさは直径 200mm、厚さ 60mm、重さ 4.5kg の円盤型のものである。このスピーカーに、プールの周波数特性を計測するために、ピンクノイズの信号を入力した（**図 2**）。

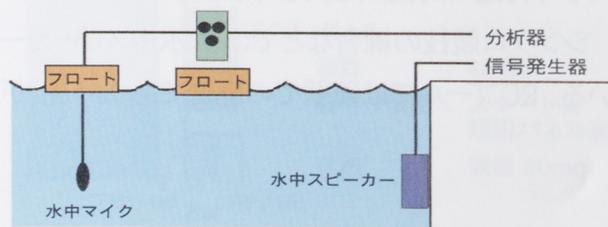


図 2 水中音響計測

FRP プールでの周波数特性の実測結果を図3に示す。水中スピーカーの位置はプール壁面および壁面から1mに設置し、水中マイクはプールサイドから3.5mの位置に設置した。結果、スピーカーをプール壁面に置いた場合は、500Hz以下の周波数の音が減衰していることが分かった。1kHz以上の高周波ではスピーカーの位置によらず、周波数特性の乱れがあり、聴感上でも歪を確認できた。

周波数特性の乱れは、場所によらないため、スピーカー自体の特性と考えられる。以下に中低周波の減衰について検討する。

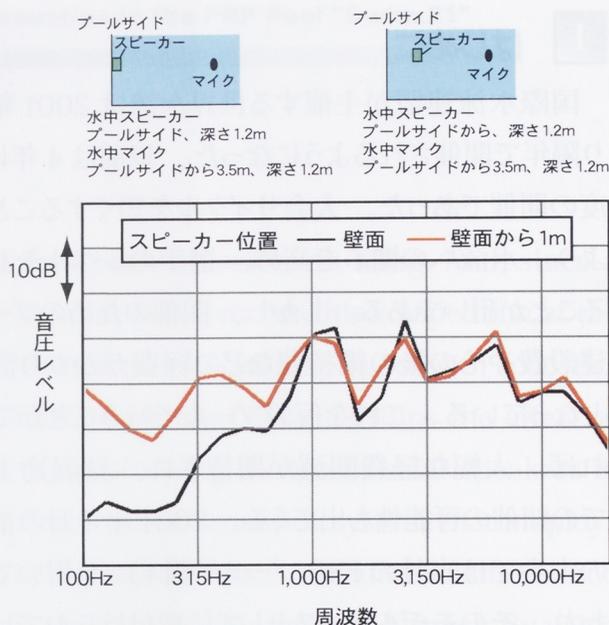


図3 FRP プール水中音響周波数特性

3 500Hz以下の音の減衰

3.1 壁面からのスピーカーの距離

FRPの音響インピーダンスは水と同程度であるため、FRP壁と空気の境で反射している。したがって、軟壁での反射であり、音圧の位相は反転して反射している。図4のようにプール壁面の外側に負の音源を置いて考えると分かり易い(鏡像原理)。

スピーカーがプール壁にある場合 ($l \approx 0$)、位相反転した音源が直ぐ近くにあるため、スピーカーから出た音と反射音が打ち消しあい、音が小さくなってしまふ。特に波長の長い低周波の音が打ち消され易い。スピーカーが壁から離れると、鏡像音源、スピーカー間の距離と半波長が等しくなる周波数 ($\lambda = 4l$) で、音が大きくなる。 $l=1.0\text{m}$ の場合では、 $\lambda = 4.0\text{m}$ となり、水中の音速を $1,500\text{m/s}$ とすると、音が大きくなる周波数は 375Hz になる。

(その付近の周波数も大きくなる。)

シンクロ競技の練習などでは、水中スピーカーをプールサイドからロープなどで吊り下げて、使用している。RCプールでは硬壁での反射であり、位相が逆転しないため、壁面設置で音が小さくなることはない。

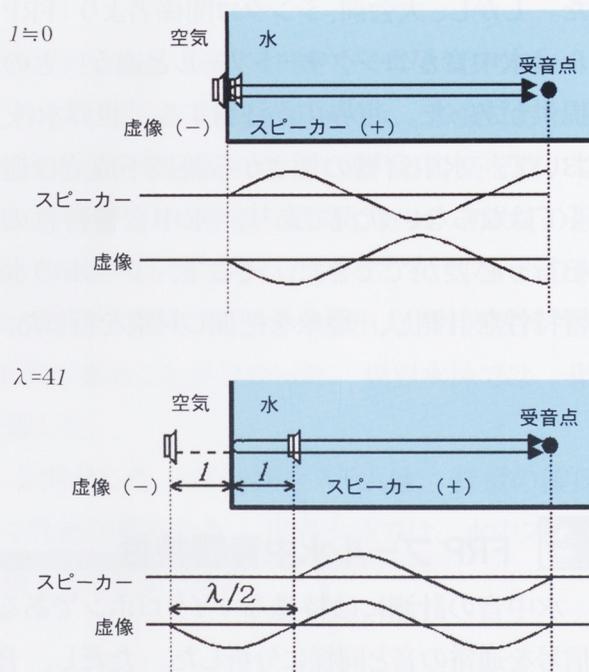


図4 FRP プール壁での反射

3.2 スピーカーの深さ

水面においても負の反射が起こる。スピーカーの深さ d が及ぼす影響は、スピーカーの位置の影響と同様である。 $r \cong r'$ の時、すなわち、水面近くにスピーカーを置くと音が小さくなり、 r と r' の差が $\lambda / 2$ のとき音が大きくなる。

また、受音点が水面付近にある場合も、 $r \cong r'$ となり、直接波と反射波が打ち消しあって、音が小さくなる。これは、スピーカーの位置に関係なく、水面付近はどこでも音が小さいということである。

さらに、反射は上下で無数に行われ、したがって虚像も上下で無数にあり、これらの総和が受音点の音となる。この音には遮断周波数 (f_0) がある。水深 3m、音速 1,500m/s のときの遮断周波数は 125Hz になる。125Hz 以下の周波数の音には減衰があり、距離が離れるほど減衰が大きくなる (図 5)。

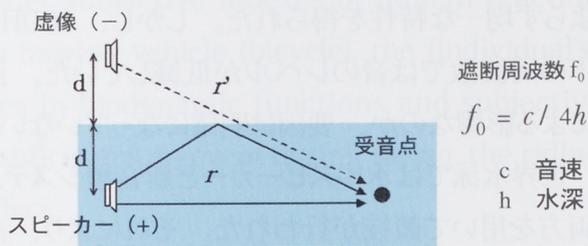


図 5 水面での反射

4 世界水泳での対策

4.1 スピーカー設置位置

鏡像現象の影響を減らすためには、FRP 壁面より離し、ある程度の深さに水中スピーカーを設置する必要がある。ただし、競技に支障が無い位置に設置しなければならない。世界水泳のメインプールの大きさを図 6 に示す。このうち、スタート台から 30m の部分をシンクロ競技の競技エリアとして使用された。実際の水中スピーカーの設置は音響設置業者が担当しており、これらを踏まえて、プール中央である、競技エリアの端の水底に 2 つの水中スピーカーが設置された。

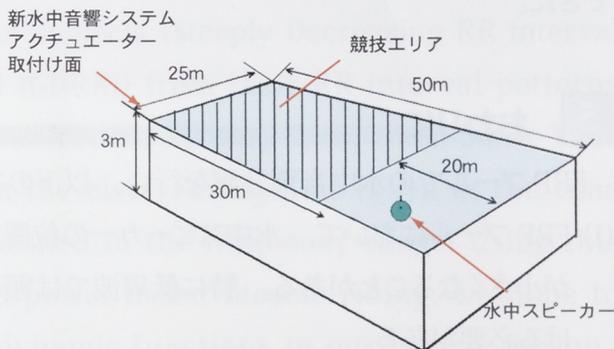


図 6 世界水泳 FRP プール

4.2 新水中音響システム

水中スピーカーでは、周波数特性に歪があり、また、FRP プールでは壁面での反射の影響を受けてしまう。そこで、開発された新しい水中音源は、プール壁面自体を振動させスピーカーとしてしまうシステムである。スタート飛び込み台ユニットの背面に 48 個のアクチュエータを埋め込んだ。アクチュエータの取付け状況を図 7 に示す。アクチュエータの取付けは、放射効率を高めるために、パネルの芯材

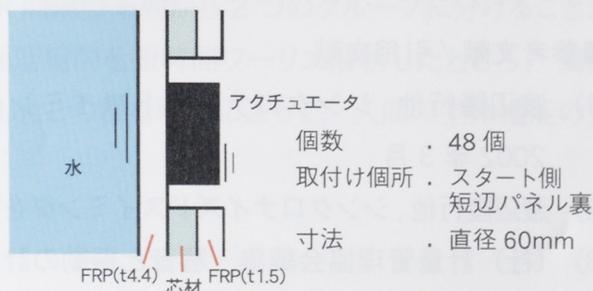


図 7 FRP プールへのアクチュエータ取付け

を除去し、内側の FRP 板に直付けした。

壁面全体から放射されるため、平面波として伝播し、音圧が場所によらない、均一な音場が得られる。また、FRP 壁面での逆位相の反射波の影響を避けることができる。

図 8 に新水中音響システムの周波数特性を示す。水中スピーカーと比較して、1kHz 以上はフラットな特性である。500Hz 以上では距離によらず、レベルは一定である。1kHz 以上は場所、周波数によらず均一な特性を得られた。しかし、300Hz 以下の周波数では音のレベルが低減していた。浅海による影響なのか、要因は明確になっていない。

世界水泳では水中スピーカーと新音響システムの両方を用いて競技が行われた。それにより、高品質な水中音響を提供することができ、選手からのクレームも無く好評で、無事に競技を終えることができた。

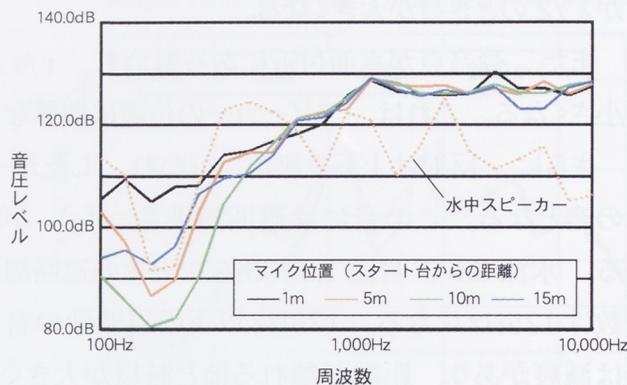


図 8 新水中音響システム周波数特性



FRP 製プール「水夢 21」での音を聞く

5 おわりに

FRP プールでの水中音響計測を行い、以下のことが明らかになった。

- (1) FRP プールにおいて、水中スピーカーの位置により、直接波と反射波が干渉して打ち消しあい、音が小さくなることもある。特に低周波では顕著となる。FRP プールではスピーカーの壁面設置を避ける必要がある。
- (2) 水中スピーカー自体の周波数特性がフラットではない。音響システムやスピーカーの改善が必要である。
- (3) プール特有の問題（遮断周波数など）があることが分かった。

また、既存のシステムより周波数や場所による音圧分布などの特性が優れた、新しい水中音響システムを開発した。

■参考文献 / 引用文献

- 1) 渡辺隆行他, シンクロナイズドスイミングを対象とした水中音場特性と評価, 日本音響学会 2002 年 3 月
- 2) 渡辺隆行他, シンクロナイズドスイミングを対象とした新音響システム, 日本音響学会 2002 年 3 月
- 3) (社) 計量管理協会編集 騒音と振動の計測 コロナ社
- 4) 音響工学概論 日刊工業新聞社



技術論文

予測を伴う場面での 自転車運転時生体機能の変化

Changes in Biodynamic Functions In Situations of Anticipation During Cycling

水野 康文 Yasuhumi Mizuno 守屋 貴於 Takao Moriya 入島 和代 Kazuyo Irishima
木竜 徹 Tohru Kiryu

●研究開発センター コア技術研究室 / 事業開発室 / 新潟大学大学院

Abstract

What we call a Man-Machine System is a way of treating a human being and a machine as one system. In order to develop such a system it is necessary not only to make objective measurements of human action but also to consider subjective indexes of human reaction as well. In this study we found that in operating a moving vehicle (bicycle), the (individual's) riding characteristics have a big effect on changes in biodynamic functions and subjective indexes. In particular, in situations where the rider anticipates an event during riding, the riding characteristics appear to have an especially large effect.

In light of this observation, we measured changes in heartbeat and took surface-muscle electromyograms at points where the incline changed on a riding course and measured the test subjects' subjective indexes at the end of each ride. As a result, we were able to differentiate two distinct groups of subjects (Steeply Decreasing RR interval (SDRR) and Gradually Decreasing RR interval (GDRR)) from their RR interval patterns at the time of anticipation of an event (change in course incline). Also, when Short Time Fourier Transform analysis was conducted on the electromyograms taken at the time of anticipation of an event, changes were identified in the frequency range. Using this kind of analysis in the case of electro-hybrid power assist bicycle riding, we hope to reflect our findings about the changes in biodynamic functions in our vehicle design.

要旨

人間と機械を一つのシステムとして取り扱う考えとしてマンマシンシステムがある。マンマシンシステムの確立には、人間の行動様式を客観的に計測するだけでなく、主観的指標も考慮する必要がある。ここで、移動体の操作では、その制御特性が生体機能の変化、および主観的指標に大きく影響する。特に、運動中のイベントを予測する場面で、制御特性の影響を大きく受けると考えられる。そこで、コースの勾配の変化時における心拍変動、表面筋電図を計測し、走行終了毎に主観的指標を計測した。その結果、イベント予測が発生する場面において、RR 間隔時系列から2つのグループに分けることができた。また、イベント予測が発生する場面での表面筋電図を短時間フーリエ解析したところ、周波数帯域に変化が見られた。アシスト付き自転車を例としたこの様な解析によって、人間の生体機能の変化を移動体の設計に反映させたいと考えている。

1 はじめに

ここ数年、人間の機能を反映させた機械制御に関する研究が徐々に増えつつある¹⁾⁻³⁾。しかし、機械に人間本来の行動様式を反映させようとする設計事例は少ない。従来の機械設計は、主に人間の機能を機械で補助する考え方であり、制御は機構的な側面からのモデリングで済まされている。そのため、人間の機能に合わないケースが見受けられる。また、機械による人間の機能の強化は、むしろ人間本来の自由な行動を拘束するようになってきているとも考えられる。このような背景から、ヒトのこの状態を基軸とした技術開発の重要性が指摘されている。学術的には「人間工学」に分類されるこれら人間中心のモノづくり研究の主体は、平均的なヒトを対象とした問題点解決に向けられている。しかし、多様化した個人の価値や、個人の生体機能の違いなどにきめ細かく対応させるためには、平均的なヒトを対象とするのでなく、個人情報をも積極的に活用することが必要となる。筆者らは、このような考え方を「パーソナルフィット」というコンセプトとして位置付け、生体信号によるヒトの状態センシング技術をベースとしたパーソナルフィット技術の確立を目指している。

筆者らは、主として車両設計に用いられているマンマシンシステム⁴⁾ に関してのパーソナルフィットを実現するための様々な技術をつくりあげることを目指している。マンマシンシステムとは、人間システムと機械システムとの関係を、一つのまとまったシステムとしてとらえ、その間の最適な関係を実現しようとする考えである⁵⁾。本研究では、マンマシンシステムの観点から、人間本来の自由な行動を損なわず、人間の行動様式をうまく反映させる新たなインタフェースを開発するための独自アーキテクチャーの提案を最終目標としている。そのために、本研究ではパワーアシスト付き自転車を対象として、ライダーの生体信号と自転車の制御信号を同時計測することによって、ライダーの行動戦略である意思の生体信号による解釈を試みた。

一般に、移動体などの予測を伴うマンマシンシステムにおけるヒトと外界とのインタラクションプロセスは、Normanの行為7段階理論に基づき、①情報獲得・確認、②予測、③行動計画の3つのプロセスに分けられるとされている²⁾。筆者らは、これら3つのプロセスに加えて、行動の結果としての「こころの状態の評価」がパーソナルフィット実現のための重要な要素と考えている。また、このようなプロセスにおいては、絶えず変化する外界に対処した行動をとる必要があるため、外界が変化してからそれに対応した行動をとる「受動的なインタラクション」ではなく、運転者自らが外界の変化を予測して行動する「能動的なインタラクション」の考え方の導入が必要である。このような考えに基づき、筆者らは「爽快感評価モデル」と名づけたヒトの気持ちをも含むヒューマンインタフェースモデルを図1のように仮定している。すなわち、ヒトは

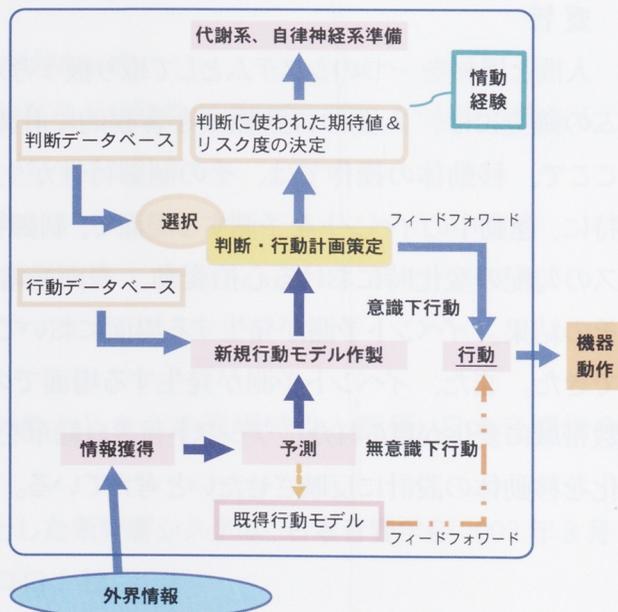


図1 爽快感評価モデル

外界から情報を獲得すると、ここで得られた情報と既に蓄積されている行動データベースに基づいて行動モデルの候補を複数作成する。次に、過去の経験や、体力や個人の能力によって決定される代謝系や自律神経の状態などによって行動モデルが決定される。このシステムの特徴としては、**図2**に示すように時間スケールが異なる様々な信号が存在していることが挙げられる。すなわち、脳からの指令で筋肉を動かす神経筋系は msec、運動を維持するためのエネルギー代謝系や自律神経系は min、結果としてのモチベーション系は day ~ year の時間スケールで変化する。先行研究の多くは、同一の時間スケールの生体信号のみに着目しているが、「爽快評価モデル」では時間スケールが異なる信号を同時に評価することが重要であると考えている。

以上のような考え方にに基づき、生体信号の特徴的变化は、疲労感や爽快感に伴う行動様式の変化を要求するイベント予測が必要な場面において表れやすいと考え、イベント発生時の生体機能の変化を客観的指標と主観的指標から探った。

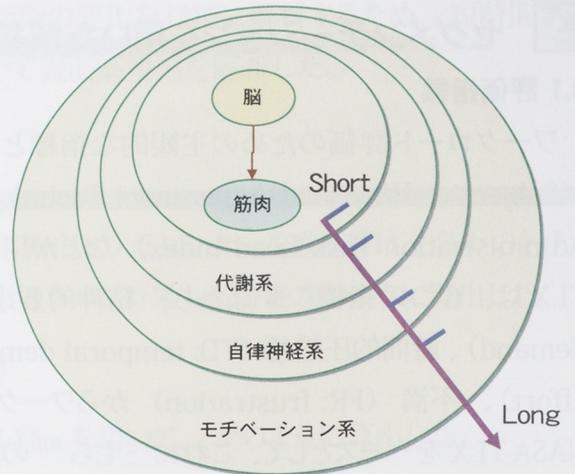


図2 生体制御システムの時間スケール

2 予測を伴う場面における生体機能の評価

従来、運動時の予測に関する研究では、脳内の細胞活動量から予測に関連する指標を定量化する研究⁶⁾やニューラルネットワークを用いて制御モデルを構築する研究⁷⁾などがある。

筆者らは、モチベーションの持続的高揚を維持するためには疲労感や爽快感が重要な要素と考えている。ここで、脳は情報処理の重要なプロセスを担っているため、疲労感や爽快感を議論するには、脳で行われている運動の認知、予測、企画、学習、制御への踏み込みが必要となる。脳では視覚、聴覚、前庭感覚、体性感覚などからの感覚情報を獲得し、脳内モデルに基づいて行動を予測する。実際の行動は筋活動として出現し、移動体に働きかける。筋活動の情報は体性感覚として脳にフィードバックされる。一方、移動体が移動することによって獲得される視覚、聴覚は前庭感覚として脳にフィードバックされる。ここで、コースの勾配の変わり目は疲労感や爽快感に伴う行動様式の変化が現れやすい場面であり、そのような場面では予測プロセスが重要であろうと考えられる。そこで、ひとつのトライアルにおける生体機能の変化と、トライアル数の増加による生体機能の変化をイベント予測が必要な場面で評価した。

一般に、運動時における生体機能はエネルギー代謝、循環器系、神経筋系から評価されており、そのために呼気ガス分析、心電図、表面筋電図、血圧、呼吸などが計測されている。また、心拍変動や血圧変動に着目した自律神経系からのアプローチも見られる⁸⁾。しかし、これら生体信号だけでは必ずしも全ての生体の状態を捉えることができない。そこで、本研究では、客観的評価方法に加え、官能評価技法を用いた主観的方法による評価も合わせて活用した。

3 セグメンテーションを用いた解析

3.1 評価指標

ワークロード評価のための主観的な指標としては RPE (Ratings of Perceived Exertion)、SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) や NASA-TLX (National Aeronautics and Space Administration Task Load Index) などが用いられている⁹⁾。この中でも広く活用されている NASA-TLX は、6つの指標、すなわち、精神的要求 (MD: mental demand) 身体的要求 (PD: physical demand)、時間的圧迫感 (TD: temporal demand)、作業達成度 (OP: own performance)、努力 (EF: effort)、不満 (FR: frustration) からワークロードを評価するように設計されている。本研究では、NASA-TLX をベースとして、これに三宅ら¹⁰⁾の解釈を参考にして、筆者らが独自に開発した評価票 (図3) を用いた。この評価票を使っての評価は、トライアル終了毎に被験者に口頭で回答させた。

一方、客観的データとしては、心拍変動情報である RR 間隔時系列を、休息中も連続して計測を行い、走行中のイベント前後の変化を比較した。さらに、RR 間隔時系列を時間周波数解析し、自律神経評価指標を推定した¹¹⁾。また、筋活動の状態を反映する表面筋電図から振幅情報 (ここでは、ARV: Averaged Rectified Value) と周波数情報 (ここでは、MPF: Mean Power Frequency) に関する指標を求めた。また、車両情報としてトルク、速度、ケイダンス (単位時間あたりの回転数) を計測した。さらに、視点位置をアイマークレコーダで計測した。これらの計測データを勾配の異なるいくつかのセグメントで解析し、比較した。

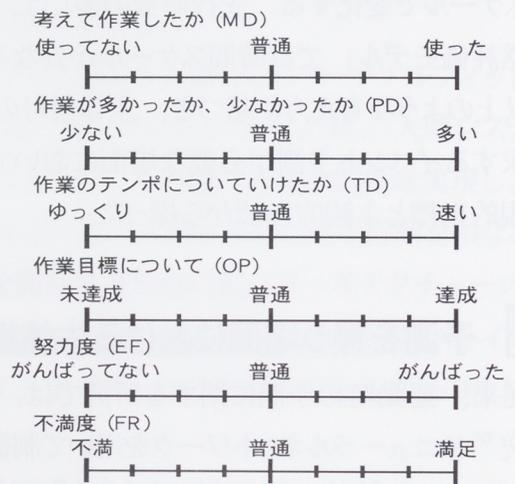


図3 評価票

3.2 セグメンテーション

勾配に伴う生体機能の変化を知るために、勾配毎に走行経路を phase-1 から phase-6 に区切った。コースの勾配図と上から見た俯瞰図を図4に示す。

ここで、運転時における車両と生体の関連性を見るために、車両情報であるトルクと生体情報である ARV との相関係数 $\gamma_{ARV-trq}$ を求めた。また、筋疲労を評価するため、表面筋電図から推定した ARV と MPF との相関係数 $\gamma_{ARV-MPF}$ を求めた。筋疲労に伴う変化については phase-4 に着目した。その上で、走行中に予測が必要な以下の2つのイベントに注目した。

phase-2 から phase-3: 坂を下って左旋回し、登り始める際の最初の2ストローク。

phase-4 から phase-5: 坂を登りきって左旋回し、下り始める直前、直後の2ストローク。

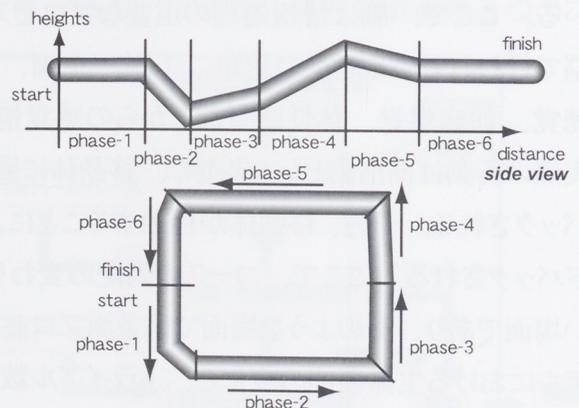


図4 走行経路と各 phase の区切り方 (上から走行経路、俯瞰図)

これらのイベントでは、ペダルを踏み込む動作中の筋活動の変化を詳細に解析するため、短時間フーリエ解析 (STFT: Short Time Fourier Transform) を用いて表面筋電図を解析した。

4 信号処理

ケイダンスと車両速度を測定するために、クランクと車輪にトリガセンターを取り付け、各々のトリガ時刻 t_n 、 t_{sp_m} を計測した。これから、 n th- frame におけるケイダンス $cds(n)$ を次のように算出した。

$$c ds(n)=60 \frac{l}{t_{n+1}-t_n} \quad (1)$$

また、速度 $spd(m)$ は車輪のトリガ時刻 t_{sp_m} とホイール径 r を用いて、次のように算出した。

$$spd(m)=2 \pi r \frac{l}{t_{sp_{m+1}}-t_{sp_m}} \quad (2)$$

ここで、 t_n と t_{sp_m} は、トリガ部位が異なるため、サンプル時刻やサンプル数が異なることに注意する。 n th- frame におけるトルク $trq(n)$ はトリガ時刻 t_n で生体信号の等間隔サンプル時刻 k で求めた。解析区間長 M でのトルク電圧値 $\{v(k)\}$ に対して平均値を推定し、定数 K を乗じて次のように算出した。

$$trq(n)=K \frac{l}{M+1} \sum_{k=t_n}^{t_n+M} v(k) \quad (3)$$

一方、生体信号では、心拍変動に対して、自律神経系関連の情報を得るために、RR 間隔時系列に対して Gabor 関数をマザーウェーブレットとしたウェーブレット変換を行うことによって、RR 間隔変動の高周波数帯域 (HF: 0.22-0.9Hz) 成分と低周波数帯域 (LF: 0.02-0.18Hz) 成分を推定した。

ここで、イベントに関連づけたトライアル毎の生体機能の変化を知るために、phase-2 から phase-3 への移行期の基準時間を t_{p_3} とし、この前後で車両信号との比較を行った。なお、表面筋電図から移行期での筋活動を切り出す基準時間 t_{p_3} を次のようにした。すなわち、筋活動が明らかに見られなかった直前の区間 (区間長 0.2sec) での振幅値の標準偏差 σ に対して

$$\text{if } |emg(k)| \geq 2 \sigma, \text{ then } t_{p_3}=k \quad (4)$$

で求めた最初のサンプル時刻を t_{p_3} とした。

表面筋電図に対してはクランクトリガである t_n を用いて、 n th-frame の $ARV(n)$ 、 $MPF(n)$ を次の式から算出した。

$$ARV(n)=\frac{l}{M+1} \sum_{k=t_n}^{t_n+M} |emg(k)| \quad (5)$$

$$MPF(n)=\frac{\sum_{f=f_l}^{f_h} f \cdot p(n, f)}{\sum_{f=f_l}^{f_h} P(n, f)} \quad (6)$$

ここで $f_h=500\text{Hz}$ 、 $f_l=5\text{Hz}$ とし、パワースペクトル $P(n, f)$ は $ARV(n)$ を求める時と同じサンプル $\{emg(k)\}$ より FFT にて求めた。その後、ARV、MPF、RR 間隔時系列、そしてトルクと速度のサンプル時刻を

あわせるため、クランクからのトリガ時刻 t_n をサンプル時刻とし、これらの時系列をキュービックスプライン補間した後、4Hz の等間隔時系列へとリサンプリングした。その後、筋疲労の指標である $\gamma_{ARV-MPF}$ と生体情報と車両情報との関係を表す $\gamma_{ARV-trq}$ を解析区間長 10sec、シフト長 1sec で求めた。ここで、 $\gamma_{ARV-MPF}$ が負となる区間を筋疲労が発生した区間と定義する¹²⁾。

一方、phase-2 から phase-3 への移行期と phase-4 から phase-5 への移行期で観察された筋活動の各々のストロークに対して、解析区間長 500msec、シフト長 10msec で 10msec のハミング窓をかけ STFT 解析を行った。

5 実験

5.1 計測

実験に用いた車両はタイヤ径 20 インチの電動ハイブリッド自転車 (Yamaha 発動機社製、PX20) である。勾配が最もきつい走行経路におけるトルクのオーバーレンジを防止するため、4 段自動変速機 (SHIMANO 社製、AIS4038) を搭載した。クランク内部にあるトルクセンサから出力されるトルク電圧値からトルク値 $trq(n)$ を算出した。また、後輪とクランク軸に装着した磁石から得られるパルス波から速度 $spd(m)$ とケイダンス $cds(n)$ を算出した。

心電図計測は、直径 5mm の電極面を持つディスプレイ電極を用い、胸部誘導法で計測した。また、表面筋電図は、電極間隔 1cm のバッファアンプを内蔵した 4 線アクティブアレイ電極 (DEM 社製) を、左右外側広筋の皮膚表面に筋線維走行方向に沿って神経支配帯を挟まない位置で貼付し、双極導出法で左右両脚各 1 チャンネル合計 2 チャンネルを連続計測した。使用した計測システムは 6 チャンネルの生体アンプ、車両からの信号 (トルク、速度、ケイダンス) を合流させるためのコネクションボックス、PCMCIA タイプの A/D 変換カード (National Instruments 社製、DAQCard-700)、SubNoteBook PC (TOHSHIBA 社製、Libretto1010) で構成されている。ここで、心電図を利得 42dB、時定数 0.15sec で導出し、表面筋電図を利得 60dB、時定数 0.03sec、5.6Hz- 1000Hz の帯域で導出した。なお、表面筋電図の解析開始時刻はケイダンス計測のためのパルス波のトリガ時刻 t_n を利用した。得られたデータは、サンプリング周波数 5kHz、量子化ビット数 12bit で信号を A/D 変換した後、PC のハードディスクに記録した。

また、走行中の視点を計測するにあたり、視点を動画に含めて計測できるアイマークレコーダ (NAC Image Technology 社製、EMR-8) を用いてアナログビデオカメラ (SONY 社製、CCD-TRV90) に記録した。以上の計測システムを搭載した様子を図 5 に示す。被験者が背負っている計測器が入っているバッグの重さは約 5kg である。



図 5 被験者と計測車両

5.2 実験プロトコル

新潟大学工学部周辺 980m にわたる走行経路で実験を行った。走行経路は 1 周するのに約 2.5min を要した。トライアル毎に 2min の休憩を挟みながら、斜度変化の激しい走行経路を 6 トライアル連続して走行させた。被験者は健康な成人男性 (22.1 ± 0.7 歳) 11 名と成人女性 (21.7 ± 0.3 歳) 3 名である。被験者には、口頭と地図で事前に走行経路を説明した。評価票を用いて官能評価は、トライアル毎の 2 分間の休憩時に行った。なお、被験者の安全のため被験者の意志により運動を終了できるものとした。

6 結果

男性被験者 11 名のうち、データに欠落が無い 8 名を解析対象とした。

6.1 ひとつのトライアルにおける生体機能の変化

ひとつのトライアルにおける $\gamma_{ARV-MPF}$ と $\gamma_{ARV-trq}$ の結果を図 6 に示す。なお、下り区間である phase-2 と phase-5 では、筋活動が見られなかったため検討対象から除いた。 $\gamma_{ARV-MPF}$ は、phase-3 と phase-4 では、トライアル数に関係なく -0.6 から -0.75 を示した。 $\gamma_{ARV-MPF}$ が負に転じた時刻 (58 ~ 80sec) で、 $\gamma_{ARV-trq}$ も 1.0 から 0.6 に減少した。ひとつのトライアルにおけるこの様な変化は、被験者 8 人中 7 人でみられた。

アイマーカーレコーダでひとつのトライアルにおける視点変化の特徴を観察した。下り区間である phase-2 と phase-5 では視点が常に左側の縁石を見ており、視点の移動が少なかった。一方、下りから上りに変化する phase-2 から phase-3 では、視点が進行方向の先に移動した。また、勾配が大きい phase-4 においては、被験者の頭部動揺が大きく、視点の移動も大きかった。さらに、上りから下りに変化する phase-4 から phase-5 では、登りきる手前から進行方向の下り坂に視点移動した。

6.2 各 phase による生体機能の変化

phase-3、phase-4 においては、ひとつのトライアルの生体機能の変化に関連性が認められた。また、勾配が変わる毎に視点が移動した。以上のことから、勾配の変化点、すなわち phase-2 から phase-3 と phase-4 から phase-5 の場面変化に着目した解析を行った。その結果、変化パターンを 2 グループに分けることができた。

ひとつ目のグループは、phase-2 から phase-3 へ変化する際に RR 間隔が大きく減少する特徴が見られた。そこで、このグループを SDRR (Steeply Decreasing in RR interval) と呼ぶことにする (2 名)。

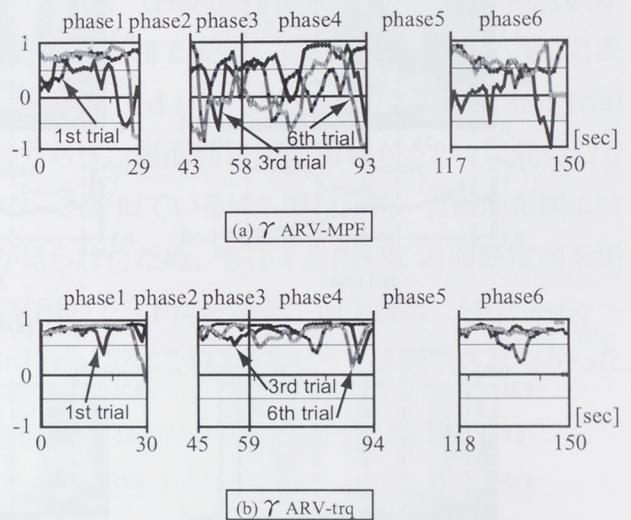


図 6 ひとつのトライアルにおける $\gamma_{ARV-MPF}$ と $\gamma_{ARV-trq}$

もうひとつのグループは phase-2 から phase-3 へ変化する際に RR 間隔が徐々に減少する特徴が見られた。そこで、これらのグループを GDRR (Gradually Decreasing in RR interval) とする (5 名)。なお、どちらかのタイプか判別できなかった被験者が 1 名いた。ここでは、SDRR、GDRR おおのこのグループにおける代表として、被験者 S.K. (SDRR)、被験者 M.S. (GDRR) のデータを用いて各グループの特徴を検討する。被験者 S.K. (SDRR)、被験者 M.S. (GDRR) の RR 間隔時系列と RR 間隔時系列をウェーブレット解析した結果を図 7 に示す。なお、図 7 では表示区内での相対時刻として t_{p3} を 0sec として表示する。

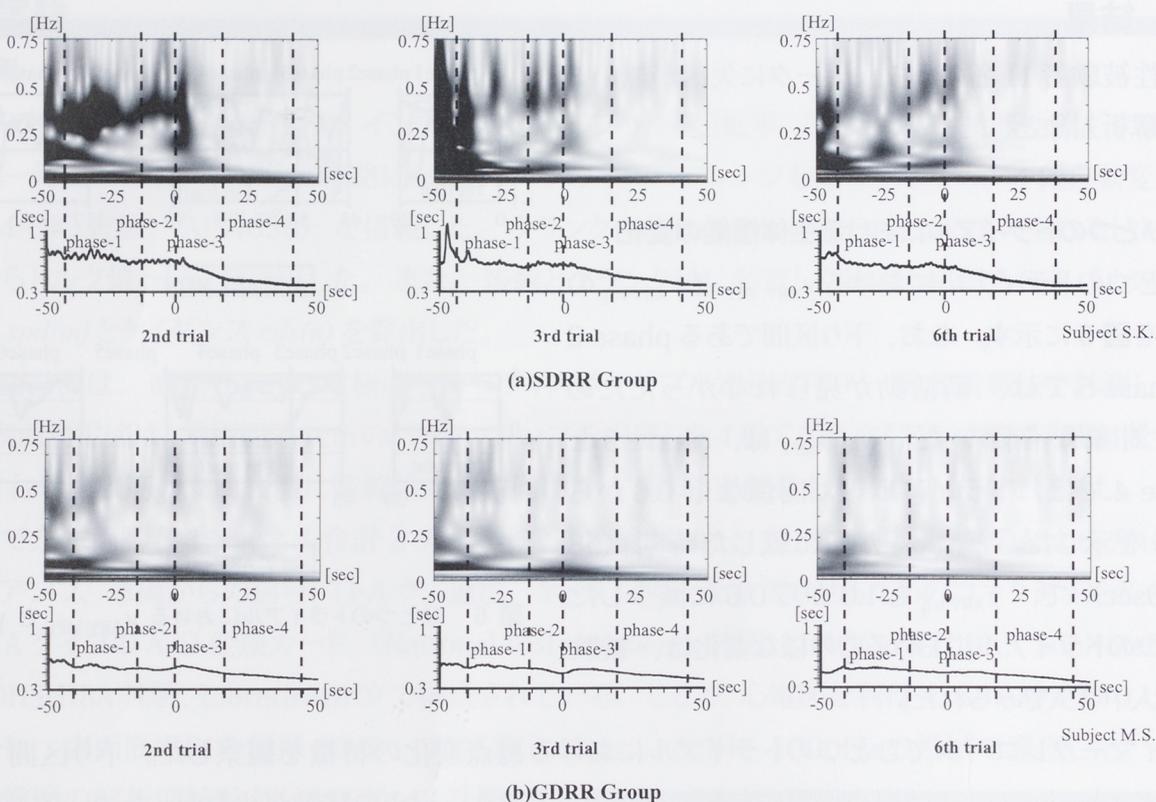


図 7 RR 間隔時系列とウェーブレット変換

6.2.1 SDRR の特徴

SDRR は、コースが phase-2 から phase-3 へ変わる際に RR 間隔が大きく減少したグループである。被験者 S.K. は、3rd trial 以降、急激な RR 間隔の減少が見られなかった。このような現象は SDRR の被験者に共通してみられた。そこで、 t_{p3} 前後の変化を更に詳細に知るために、ウェーブレット解析を用いて周波数帯域の変化を調べた。その際、2nd trial と 3rd trial では、主観的指標の不满項目 (FR) が 5 から 7 に、作業達成度項目 (OP) が 5 から 8 へと大きく変化していることより (図 8)、2nd trial と 3rd trial における心拍変動に着目した (図 7(a))。2nd trial では、 t_{p3} -5sec で周波数帯域の 0.3Hz から 0.5Hz にピークが常に強く出ていた。また、 t_{p3} 以降は、ピークが急激に弱くなった。また、3rd trial では、運転開始直後と phase-2 において、0.4Hz 付近に不連続に強いピークが見られた。

また、phase-2 から phase-3 に移行する場面での筋活動の特徴を見た。図 9 に、phase-2 から phase-3 に移行する場面における漕ぎ始め（登り始め）、すなわち、 t_{p3} から 1sec 後のトルクと表面筋電図とそれぞれの表面筋電図を STFT 解析した結果を示す（STFT 解析は、四角で囲ってある部分の表面筋電図が対象）。

上から順にトルク、左脚表面筋電図、右脚表面筋電図である。トルクは、各トライアルとも約 $60\text{N}\cdot\text{m}$ から、 $80\text{N}\cdot\text{m}$ の範囲で変化していた。また、不満（FR）、作業達成度（OP）の点数が高い 2nd trial では左脚表面筋電図が 0.6mV から 0.8mV の範囲で変化していた。なお、トルクと表面筋電図振幅の変化のタイミングはほぼ一致していた。一方、3rd trial では、トルク変化が 2nd trial とほぼ同じで、右脚表面筋電図の振幅が 0.5mV 前後であり、表面筋電図の振幅がトルクに先行して増加した。2nd trial と 3rd trial ではトルクの変化パターンが似ているにも関わらず、表面筋電図には振幅の違ったトルクが増加する時刻での位相のずれが見られたため、STFT を用いて表面筋電図を更に詳細に解析した。その結果、2nd trial では表面筋電図の 1 ストローク中、前半部分（ $46.62\text{sec} \sim 46.7\text{sec}$ ）に $50 \sim 150\text{Hz}$ で強いピークが見られが、3rd trial ではこのようなピークは観察されなかった。

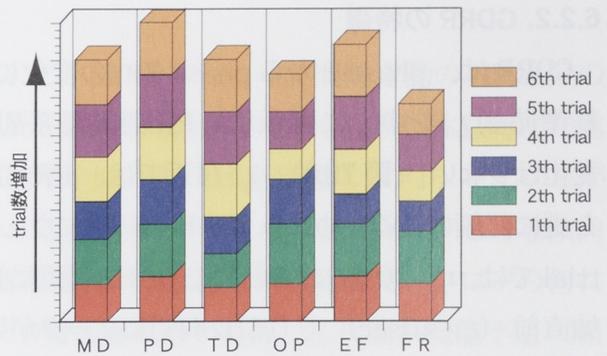


図 8 主観的指標である NASA-TLX の結果
(各項目のラベル名はすでに 2 で定義済み)

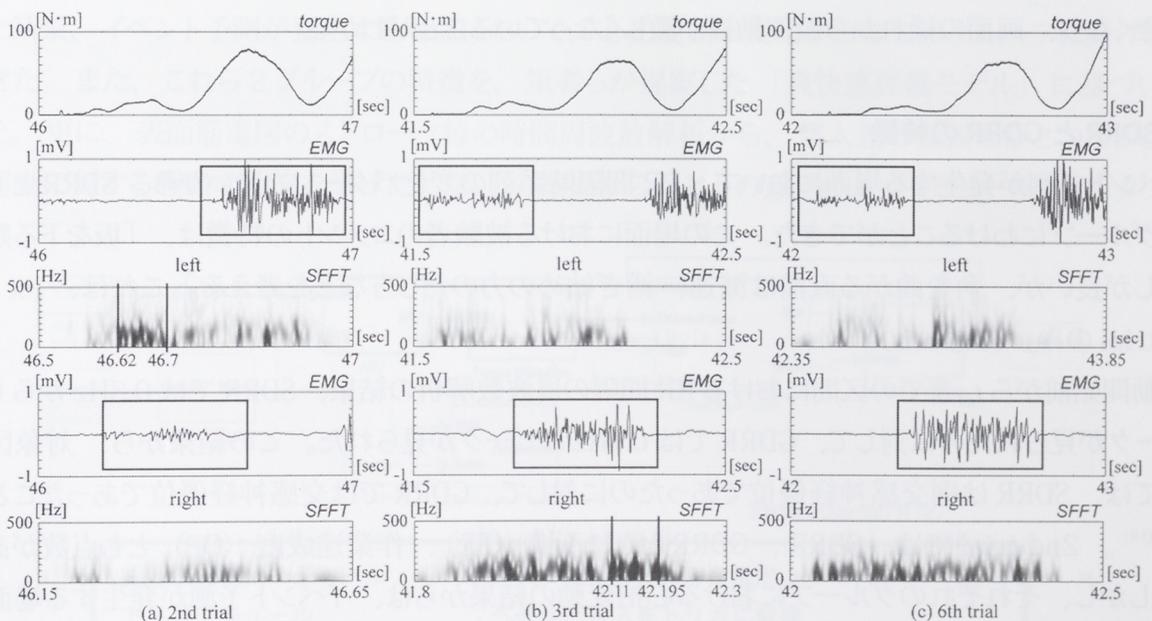


図 9 phase-2 から phase-3 において坂を登り始める時の 1sec 分のトルク、表面筋電図とその周波数解析結果
(上からトルク、左脚表面筋電図、左脚表面筋電図の周波数解析結果、右脚表面筋電図、右脚表面筋電図の周波数解析結果)

6.2.2. GD RR の特徴

GD RR は、phase-2 から phase-3 への変化に対する RR 間隔が、徐々に減少したグループである。基準時刻 t_{p3} を中心に表示した RR 間隔時系列では、1st trial と 2nd trial において全体的に振幅の変化は少ない (図 7(b))。 t_{p3} 付近では、RR 間隔の一時的な上昇が見られた。そこで、 t_{p3} 前後の変化を更に詳細に見るために、SDRR と同様にウェーブレット解析を行った。その結果、2nd trial と 3rd trial では、 $t_{p3}-30\text{sec}$ までの間で 0.1Hz 付近に強いピークがみられた。また、2nd trial では、運動開始直前 ($t_{p3}-40\text{sec}$) で 0.5Hz 付近にピークが見られた。

トライアル毎の筋活動では、トルクの増加と共に左脚表面筋電図の振幅が増加していた。しかし、周波数解析したところ、不満 (FR) が 4、作業達成度 (OP) が 4 と示した 2nd trial では、1 ストローク中、前半部分 (40.74sec ~ 40.86sec) で 100Hz に強いピークが見られた。

7 考察

7.1 ひとつのトライアルにおける生体機能の変化

ひとつのトライアルにおいて、 $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ 、 $\gamma_{\text{ARV-trq}}$ を算出した (図 6)。その結果、上り区間である phase-3、phase-4 において $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ が負に転じたことからこの区間で筋疲労が生じていることが客観的に把握できた¹²⁾。また、 $\gamma_{\text{ARV-MPF}}$ が負に転じたのと同時に $\gamma_{\text{ARV-trq}}$ が減少した。これは、phase-4 では、回転主体からトルク主体のペダルの漕ぎ方に変化したためだと思われる。ペダルの漕ぎ方が変化することによって、一箇所の筋肉に負荷がかかり筋疲労が起きることによって、人間がペダルを漕ぐ力が小さくなってしまったためだと考えられる¹³⁾。また、アイマークレコーダの結果から、phase-4 では視線移動が大きくなり、画面の揺れから頭部動揺が激しくなっていることがわかる。

7.2 SDRR と GD RR の特徴

イベント予測が発生する場面において、RR 間隔時系列の変化パターンの違いから、SDRR と GD RR の 2 グループにわけることができた。この場面における被験者のコメントの特徴は、「坂を下る際には見通しが良いが、角を曲がる直前は減速、漕ぎ始めの力のだし方などを考える。これは、1st trial、2nd trial のみ」であった。

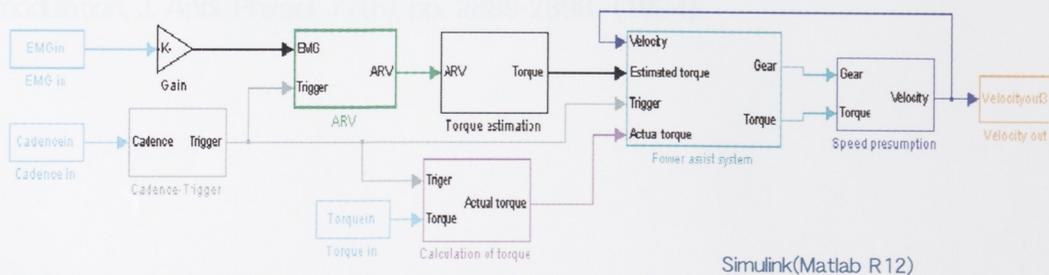
運動開始前から t_{p3} までの区間における RR 間隔の周波数解析の結果、SDRR では 0.3Hz から 0.5Hz にピークが見られたのに対して、GD RR では 0.1Hz にピークが見られた。この結果から、対象区間においては、SDRR は副交感神経優位であったのに対して、GD RR では交感神経優位であったことが分かる¹⁴⁾。2nd trial では、SDRR、GD RR ともに不満 (FR)、作業達成度 (OP) とも点数が高かった。しかし、それぞれのグループにおける心拍変動の結果からは、イベント予測が発生する場面前後の周波数帯域が SDRR と GD RR とで異なっていた (図 9)。また、2nd trial における SDRR、GD RR による表面筋電図の周波数解析からは、両方とも 1 ストローク中の前半部分に強いピークが出ていた (図 7)。また、ピークが強く出ている時間幅が SDRR では 0.08sec で GD RR では 0.12sec と SDRR の方がピークが長く出ている。以上のように、それぞれのグループでは、個人差が見られた。個人の特徴は各人

各様で全て絶対的な評価はできない。

生体に負荷がかかっていない phase-2 (下り) において、SDRR では、RR 間隔変動の HF 成分の亢進がみられるが、GDRR にはみられない。HF 成分は副交感神経活動の度を反映し休息時に亢進する。SDRR は、状態変化に反応して、自律神経系が速やかに応答 (休息状態にシフト) しているが、GDRR では外部環境に応じた速やかな自律神経システムの変化がみられない。GDRR がこのような傾向を示す原因としては、**図 1**の爽快モデルで示された情報獲得から行動計画策定までのフローの何れかのプロセスに問題があるものと考えられる。例えば、①情報獲得の不具合、②代謝系機能不足 (循環器系、筋力不足)、③自律神経系の制御性不良 (スキル不足などによる予測能力不足などによりシステムに矛盾干渉発生) などが考えられる。これらの問題点を解決するためには、①ではバイオフィードバックシステムのような適切な情報フィードバックシステムの投入、②ではパワーアシストシステムの投入、③では、スキルアシストシステムの投入などが挙げられる。このような個人毎に異なる支援を、必要な時に必要な量 (大きさ) だけ実行することによって、ヒトを常に活性化した状態に維持することによって、安全で快適なマンマシンシステムを実現することが筆者らの提案する「パーソナルフィット」の目指す姿であり、機械中心の支援システムとの大きな違いである。

8 おわりに

14 名の被験者を対象として、アシスト付自転車を用いて、走行経路を勾配の異なる 6 つの phase に分けた走行実験を行った。ひとつのトライアルでの車両情報と生体情報との関連性、またトライアル数を重ねることによって筋疲労を伴うことによる影響を、勾配の違いやイベント予測が発生する場面で検討した結果、イベント予測が発生する場面において、心拍変動の変化から 2 つのグループに分けることができた。また、これら 2 グループの特徴を、筆者らが提案した「爽快モデル」に基づいて考察した。更に、表面筋電図のストローク毎の時間周波数解析から、個人差の要因のひとつとして、個人の運動に対する戦略の相違を挙げた。以上の結果から、ヒトの意思の基づくヒューマンインタフェー



- | | |
|----------------|------------------------|
| 振幅成分抽出モジュール | : EMGの振幅成分ARVを推定 |
| トリガモジュール | : ペダルパルスをトリガに変換 |
| ペダル踏力モジュール | : 車両信号より実際のペダル踏力を計算 |
| パワーアシスト制御モジュール | : ARVと速度よりアシストトルクを決定 |
| 速度推定モジュール | : ペダル踏力とアシストトルクより速度を推定 |

図 10 開発中のダイナミクスモデルによるマンマシンシステムのシミュレーションモデル

ス技術を開発するためのベースとなる仮説である「爽快感評価モデル」が検証された。

筆者らは、パーソナルフィットを実現するために、ダイナミクスモデルによるマンマシンシミュレーションも本報で述べたフィールド実験によるアプローチと並行して実施している(図10)。このシミュレーションでは、個人の基礎データに基づいたパーソナルフィットを机上で実現することを目指している。さらに、日常生活における個人情報をも簡単なシステムで収集することを目的としたウェアラブルな生体情報収集システムの開発も進めている(図11)。今後は、これら技術を高度に融合することによって、パーソナルフィット技術の開発を進めていく。

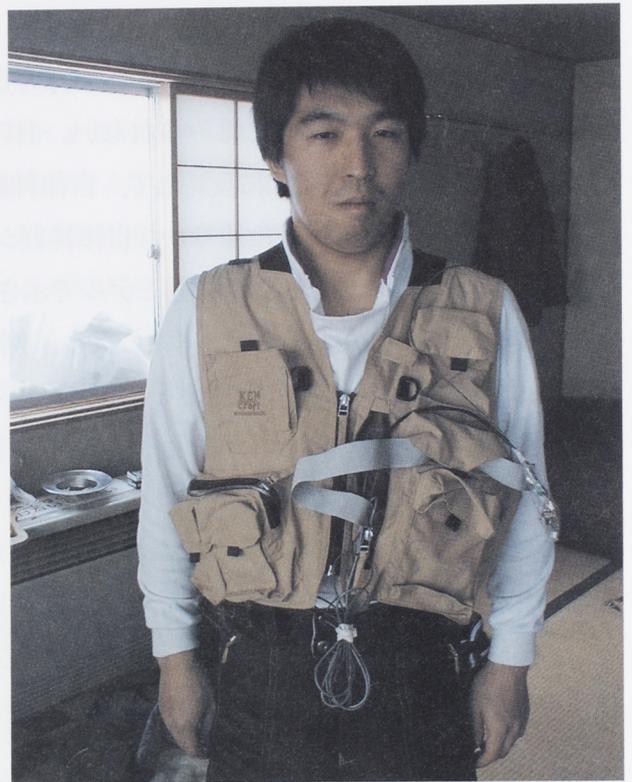


図11 開発中のウェアラブルタイプの生体情報収集システム

■参考文献

- 1) 小池 康晴, 銅谷 賢治: マルチステップ状態予測を用いた強化学習によるドライバモデル, 信学論 (D- II) ,vol. J84-D II ,no. 7, pp. 1870-1877 (1997)
- 2) 蔦田 広幸: 人間の予期プロセスによる生理反応, 信学論 A,vol. J80-A,no. 5,pp. 838-845
- 3) 呉 景龍, 塚本 一義: 現代人間工学, pp. 155-165, 森北出版 (2001)
- 4) 計測自動制御学会 マンマシンシステム部会,
<http://www.tanaka.is.uec.ac.jp/sice-mms/>
- 5) 豊田中央研究所,
<http://www.tytlabs.co.jp/office/technology/tec.html>
- 6) 丹治 順: 脳と運動 - アクションを実行させる脳、 pp. 80-92、 共立出版 (2000)
- 7) 芝井 桂介, 木竜 徹, 佐々木 績, 齊藤 義明: 自転車エルゴメータ運動時での筋活動と心拍からの自覚的運動強度の推定、 信学技報、 vol. 100、 no. 98、 pp. 85- 91 (2000)
- 8) Ingrid K. M. Brenner, S. Thomas, and R. J. Shephard: Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure , Sports Med., pp.85-99 (1998)
- 9) NASA Langley Research Center, <http://chem.larc.nasa.gov/HumanFactors/mworkload>
- 10) 三宅 晋司, 神代 雅晴: メンタルワークロードの主観的評価法, 日本人間工学会, pp.399-408 (1993)
- 11) 木竜 徹, 阿部 岳史, 工藤 誠, 本宮 宣明: スキー運動時運動機能のスナップショット的な計測と評価, 第 13 回生体生理工学シンポジウム論文集, pp.287-290 (1998)
- 12) R. Merletti, L. R Lo Conte, and C. Orizo: Index of muscle fatigue, J. Electromyography and Kinesiology, vol. 1, no. 1, pp. 20-33 (1991)
- 13) 前田 寛, 石橋 健司, 岡内 優明: 自転車と健康, 東京電機大学出版局, pp. 119-125 (1999)
- 14) J. Hayano, J. Andrew, Taylor, S. Mukai, A. Okada, Y. Watanabe, K. Takata, T. Fujimaki: Assessment of frequency shifts in R-R interval variability and respiration with complex demodulation, J. Appl. Physiol. 77(6), pp. 2889-2898 (1994)

近頃、月日の経つのがとても早く感じられる。今年ももう3分の2が過ぎてしまった。

毎日次から次へといろいろなことが繋がっていて、それぞれに対処しながらふと気が付くと、一週間が過ぎ一ヶ月が過ぎている。知人にその話をすると、歳をとった証拠だと言われる。子供と比較して見ると、子供は生活する世界が狭いから、限られた事柄に時間をたっぷり使える。だから子供の一日は長いのだそう。

自分の子供の頃のことを思い出してみると、夏休みの終わりには、次の冬休みまでがとてつもなく遠く思えたり、欲しいものを親にねだって「中学生になったらネ」などと言われたときには、それが一年ほど先のことであっても絶望的な気持ちになったりしたものだ。

時間の過ごし方についても、鷹揚だった。

庭でカタツムリを見つけると、ツノに触ってじっとリアクションに目を凝らす。引っ込めたツノをゆっくり元に戻し、嫌そうに方向を変えて這ってゆくのを飽きずに見送る。

昼間空き地で穴を掘って捕まえてきたセミの幼虫を居間の柱に止らせて、殻を割って成虫になるのをじっと待つ。子供にとっては深夜の時間帯に相当する10時11時まで、眠い目をこすりスケッチをしながらコトの成り行きを見届ける。

そんなことを思い出しながら、今の時間の使い方との違いを考えてみると、楽しんで時間を使っているかどうかが一番の相違点かなと思う。時には子供の頃に返って、時間を気にせずじっくりコトを楽しむことを心がけようと思う。
(秋山 茂)

技報の編集委員を仰せ付かってまだ間も無いですが、編集後記を書くことになってしまいました。編集らしいことはほとんどやってないので、口幅ったいのですが書くのは順番のようです。

一読者のころ技報には、もっと開発秘話を織り込んだり、技術的に突っ込んだ内容にしてもらいたいなど、技術の広報という性格の読み物としては、いまいち物足りなさを感じていました。

ですが社外に出す技報には、機密にかかわる最新のノウハウの部分はやはり載せるのはまずいのは当然のことと思います。

最近『20世紀のエンジン史』(鈴木孝 著、三樹書房)という本を読むことができました。

文字通りエンジンの技術史の本で、ほとんどが(社)外の立場での技術評論ですが、一部に著者が行ったクレーム(失敗)対策の話がありました。

その当時であればその会社の技報には載せられない様な情報であったと思います。

30年ほど前の話だから、もう時効として公表しても構わなくなっているのだと思いますが読者としては興味深い内容でした。(実はもっと前に公表してあるかも?)

プロジェクトXのように、感動するのは失敗し苦勞して成功する課程だと思います。

ヤマハ発動機の技報としては、何年前なら失敗談(=成功談)を掲載可能だろうか。

読み物としておもしろい技報を作るとしたらどんな内容がいいかな、と考えていたら、なんか編集後記でなく読者投稿になってしまいました。
(小野 惣一)

ヤマハ発動機
技報 第34号

印刷
発行
発行所
発行人
編集委員長
編集委員

監修

デザイン
翻訳
事務局

印刷所
お問い合わせ
ホームページ

2002年8月31日

2002年9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 代表取締役副社長

秋山 茂 研究開発C. 企画推進室

鈴木 篤 AM第1技術室 設計グループ

鈴木 晴久 MC事業本部 GEM企画統括部 GEM戦略室

橋本 正喜 MC事業本部 業務改革推進室

澤田 良治 (株)モリック 技術2課

本山 雄 研究開発C. コア技術研究室 パワーソースG

小柳 智義 舟艇事業部 製品開発室

小野 惣一 創輝(株) 技術開発室

堀内 滋 MC事業本部 技術開発室 システム技術G

神戸 庄二 研究開発C. コア技術研究室 ダイナミクスG

高塚 文啓 (株)スタジオコバ

唐沢 幸子 玄(株)

内山 勝 経営SG eCRM 戦略チーム

藤田 嘉久 研究開発C. 企画推進室

三浦 正明 研究開発C. 企画推進室

(株)スタジオコバ 〒437-1196 静岡県磐田郡浅羽町松原2455-2

研究開発C. 企画推進室 TEL 0538-32-1171

http://www.yamaha-motor.co.jp/profile/technical

YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW

木宮 祐三 IMカンパニー 技術チーム 要素技術グループ

望月 範久 MC事業本部 技術管理室

鈴木 昭彦 スカイ事業部 技術開発室

鈴木 隆 (株)ワイ・イー・シー 開発企画室

松下 行男 三信工業(株) 第1技術部

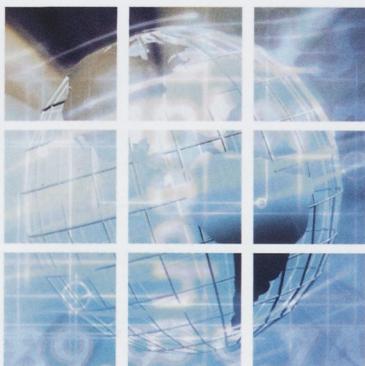
村松 康幸 新事業推進部 浄水器事業室

中村 和郎 特機開発室

吉村 昇一 MC事業本部 技術開発室 システム技術G

田村 力 法務・知財C. 知財戦略G

梶原 さゆ美 研究開発C. 企画推進室



YAMAHA MOTOR CO., LTD.

2500 SHINGAI IWATA SHIZUOKA JAPAN