



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。

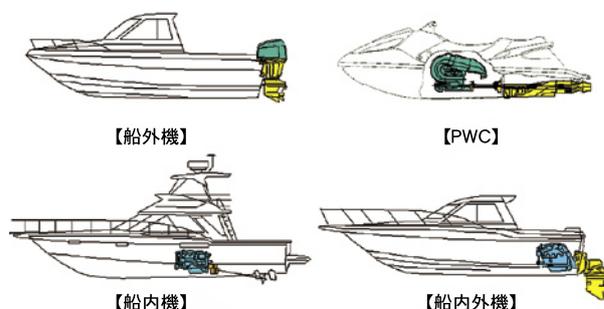


図1 三信工業の製品

## 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

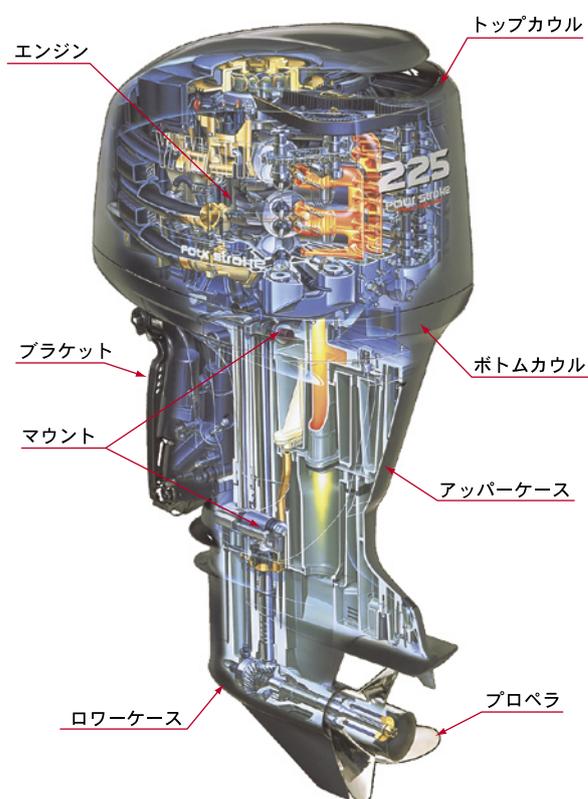


図2 船外機の各名称

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下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。

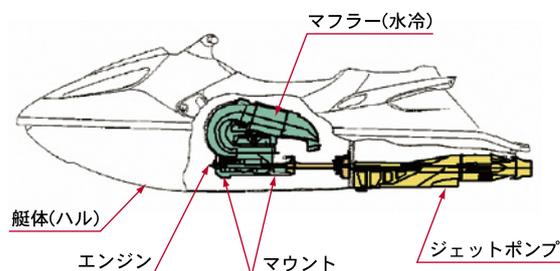


図3 PWCの構造

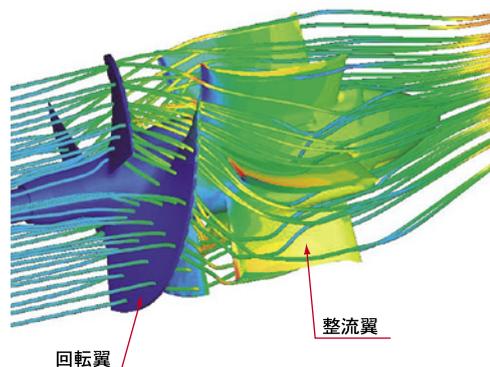


図4 ジェットポンプのCFD

## 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、マリンギヤや熱交換器、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）。

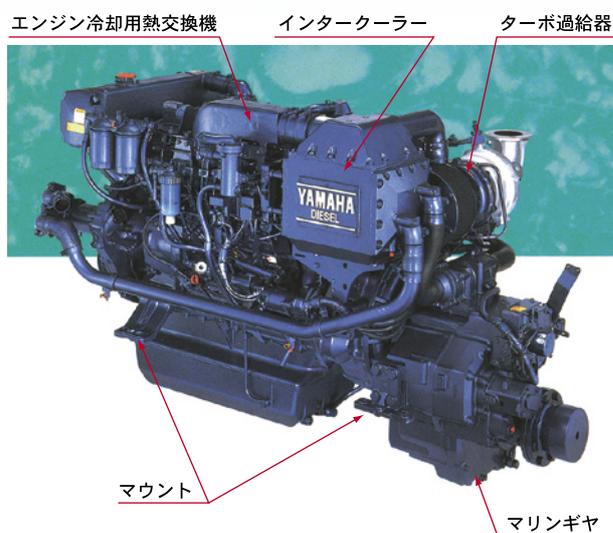


図5 ディーゼルエンジン

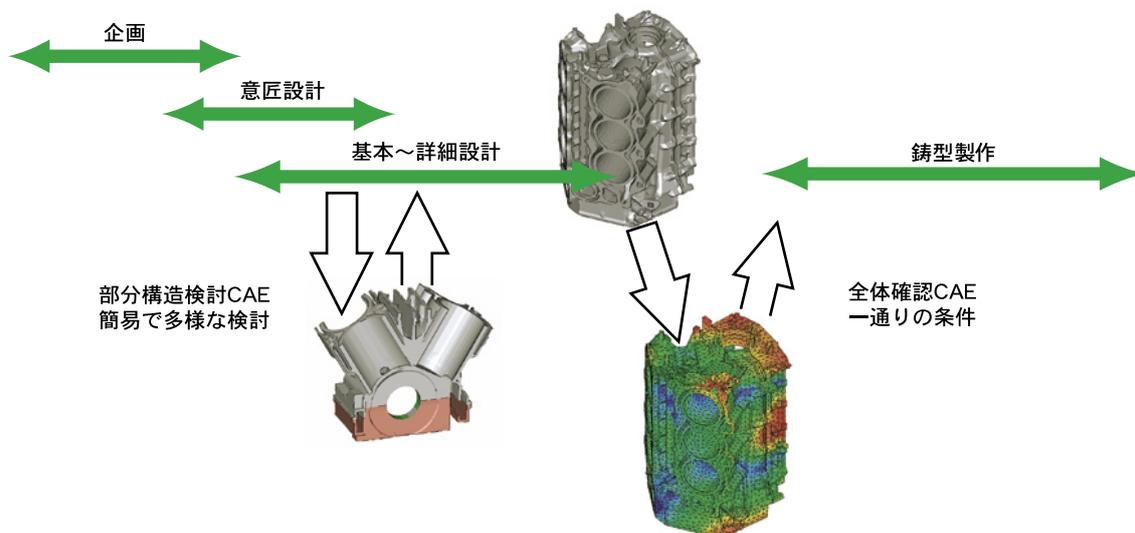


図6 二段階のCAE

## 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事を考えていく。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