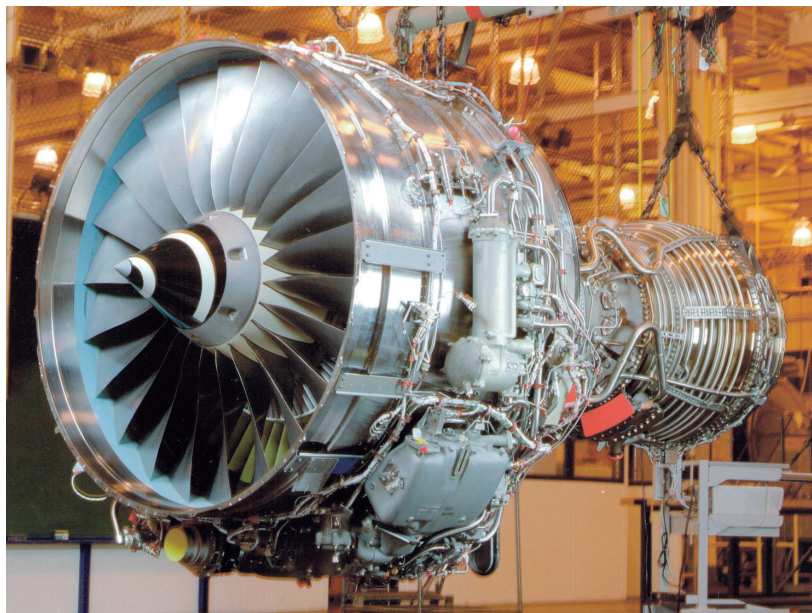


前人未踏の解析技術への挑戦 —世界最高難度の航空エンジンのオイルマネジメントに成功—



航空機のエンジン効率を高め、小型軽量化を実現する。
それは航空機製造における永遠の命題。
その一環としてスタートした、日本の航空ギヤ技術を
世界トップクラスにするために立ち上げられた国家プロジェクトの
成否の鍵を握ると考えられたのが、オイル挙動の解析技術。
いまだかつて世界で解き明かされたことのない真理をつかみ、
それをマネジメントへと活かす——。
不可能とされていた高難度な技術への軌跡をご紹介します。



有澤 秀則
Hidenori Arisawa

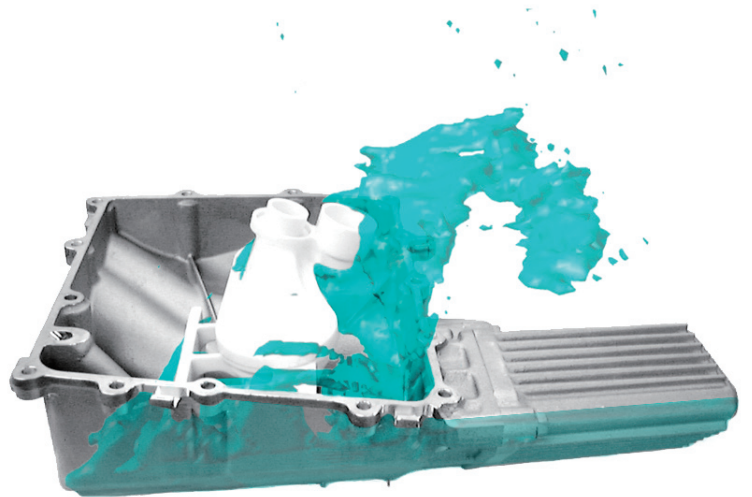
技術開発本部
技術研究所
熱システム研究部 研究二課
基幹職

製品性能を左右する オイルマネジメント

航空機や船舶など当社の多くの製品では、動力伝達部品として「ギヤ」を使用しています。大きな動力を確実に伝えたり回転数を変えたりと重要なパーツですが、摩擦による損失は避けることができません。この損失を減らすためにオイル潤滑などを活用しますが、オイル挙動のコントロール次第で、製品の性能が大きく変わるといっても過言ではありません。

この「オイルマネジメント」は、製品の耐久性に関わる技術ですが、解析はそのコアとなる重要な技術です。この解析技術によって「今ここで起こっている現象を把握」することで、起こりうる現象を予測し、設計に活かすことができるようになります。

その一例が、モーターサイクルエンジンのオイルパン内オイル挙動解析です。オイルパンとは、エンジン部分に付



モーターサイクルのオイルマネジメントの事例
(オイルパン内オイル挙動解析)

けられた底蓋のようなもので、エンジン内の各部品へ供給するオイルを溜めておく機能を果たします。課題は、モーターサイクルが急加速・急減速した際でもオイルが適切量供給されるように設計することでした。それも、非常に短い期間内に解析を終了させ、オイル挙動を予測できるようにした上で、それに基づいた設計改良案の提出が求められました。

一般的な解析手法では、多様な部品が複雑に入り組んだエンジン内のオイル挙動を評価することは極めて難しく、また計算量が膨大なため、要求された期日に到底間に合いません。そこで、過去に培ったLNG船のタンクスロッシング解析の知見から、現象の支配的な挙動はオイルパン付近のスロッシング挙動であると見極め、オイルパン付近のみに限定して解析モデルを作成し、周辺の影響については境界条件として適切に与えることで、解析精度を犠牲にすることなく検討期間を短縮する解析方法を試みました。つまり、無数に存在する変数の中から必要なものみに絞り込んで検討したわけです。この取捨選択こそ、解析技術において極めて重要かつ高度な知見が求められる技術です。

このようにして提示したオイルパン設計の改良案は、一度の試作で、目標とする信頼性をクリアし、従来手法では達成できなかった高い精度でオイル挙動現象を予測することにより、製品（初期型ZX-10R）に採用されました。

航空機開発に係る国家プロジェクトに参加 不可能とされた解析手法への挑戦

モーターサイクルエンジンで培ったオイルマネジメント技術は、次に、航空エンジンのギヤボックス差別化に貢献

し、より重要性を認識されることになりました。当社の航空エンジンの競争力強化のために、日本の航空ギヤ技術を世界トップクラスにするための国家プロジェクトに参加しようとしていた、ガスタービンビジネスセンターの部長(当時課長)から技術支援の要請を受けたのです。

ギヤボックスとは、メインエンジンに接続された、文字通りギヤがぎっしり詰まった箱のようなもので、発電機などの補機類にエンジンからの動力を伝える役割を果たします。このギヤボックスの「損失を低減する」すなわち「さらなる高効率化を図って低燃費を実現する」ことが、本プロジェクトのミッションでした。

鍵を握るのは、損失の主要因となるオイル挙動です。ギヤボックス内で、各パーツの潤滑・冷却用に供給されるオイルの無駄な動きを極限までなくすことによって、高効率化を図るのです。しかし、この解析技術は世界最高難度とされ、NASAですら解明できていない謎に満ちた世界でしたので、当然、社内でも不可能と考えられていました。それでも、声をかけてくれたカンパニーの役に立ちたいとの一心で、開発への取り組みを引き受けました。

解析を困難にしている主要因は2つありました。1つは、高速気液二相流が発生していることです。航空機のエンジンはモーターサイクルに比べてはるかに高回転であることから、ギヤボックス内の空気とオイルも秒速100mという高速で混ざり合い、二相の「流れ」を作り出します。この極めて複雑な高速気液二相流をモデル化して解析することが求められました。もう1つは、ギヤのかみ合いによる影響です。2つのギヤがかみ合う際、それぞれの歯の間には極小の隙間が生まれ、かつその間隔はギヤの回転に応じて微細に変化していきます。この高速回転ギヤのかみ合



航空機に搭載されたターボファンエンジン

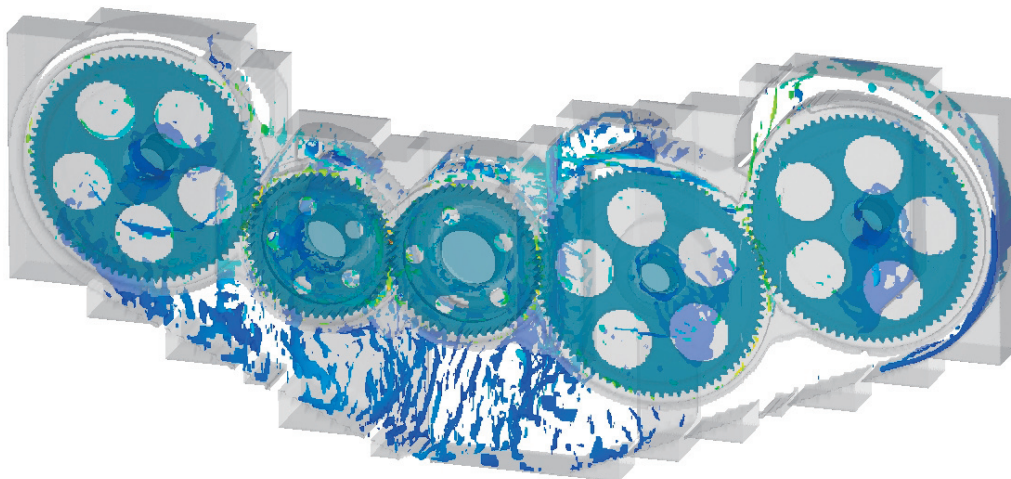
いが「流れ」にもたらす影響もモデル化する必要がありました。

カンパニーの経験知を 解析技術の力で可視化する試み

一般的に、解析技術で重要なのはモデル化です。つまり、解析モデル上で予測した挙動と、実際の挙動とが合致するよう、各種の現象を解析に折り込むことです。そのため、ギヤボックス内でいかなる現象が起こっているかの仮説を立てては解析モデルを変更し、実験結果と解析結果の合わせ込みに全力を注ぎました。ところが、起きている現象がわからないため、仮説の検証作業は困難を極めました。

現象の本質を探る中で道標となったのは、カンパニーの設計部門が30年以上にわたるものづくりを通して積み上げた経験知でした。カンパニーと協力して試行錯誤を繰り返す中で、駆動システムの技術者から得た「ギヤが空気をかき混ぜ、その空気がさらにオイルをかき混ぜているのではないか」という推察です。それが正しければ、空気のオイルに対する挙動を解析に折り込めばいいということになります。こうしたカンパニーの経験知を活用するとともに、技術開発本部が蓄積している解析技術も役立てることにより、高速気液二相流のモデル化を大きく前進させることができました。

残る問題は、ギヤのかみ合いです。前述したように、解析のポイントはモデル化すべき現象の取捨選択です。通常



航空エンジンのギヤボックスにおける複雑な挙動のオイル攪拌現象

なら、ギヤの回転がもたらす複雑で微細な空気流に着目しがちですが、これまでの知見から、主にギヤのかみ合い前後の空気圧差にのみ着目したモデル化を試みました。つまり、重要なのはオイル挙動であって、空気流については、大ざっぱなモデル化でも現象の本質は十分捉えており、求める精度を担保できると判断したのです。そうした考えに基づく解析手法によって、ギヤのかみ合いについてもモデル化の目処がつかしました。

エネルギー損失40%改善という快挙 世界最高権威の論文賞を受賞

こうして、精度と時間的制約の両方をクリアする解析モデルの開発に成功しました。解析上でさまざまな試行錯誤を行える環境を整えたことにより、実験による確認回数を激減させ、開発期間の大幅短縮を実現しました。そして、プロジェクトのミッションであった「高効率化による低燃費の実現」についても、解析によって導き出したギヤボックス内の構造設計変更によって、エネルギー損失を40%改善するに至りました。これは、機体燃費0.1~0.3%向上に相当する非常に大きな値です。一連の開発技術を記載した

技術論文は、当該分野では世界最高権威とされる ASME（米国機械学会）の航空エンジン部門で、2009年最優秀論文賞を受賞し、世界中のエンジンメーカーが当社の高度な技術を改めて認識することになりました。

航空機用ギヤは、低燃費を実現するギヤードターボファンなどの登場により、ますますその重要性が増しています。それに伴い、オイルマネジメントの重要性も増す傾向にあります。今回のオイルマネジメント技術開発の成功は、当社の航空エンジンギヤ技術の国際的なプレゼンス向上に寄与するもので、国際共同開発においても有利な立場での推進につながると考えています。

引き続きオイルマネジメントに係る解析技術の高度化を進めるとともに、今後は、オイルから熱へと解析の対象範囲を広げ、発熱や冷却をマネジメントすることによって、製品の信頼性・耐久性向上に貢献していく予定です。

川崎重工の技術開発・製品開発においては、カンパニーが持つ経験知に基づく「技術の蓄積」と、技術開発本部が研究開発活動を通じて築いた「技術の蓄積」との両方が、重要な競争力創出やブレークスルーの原動力となっています。今後も、製品開発における本質の課題に対応すべくカンパニーと一体となって取り組んでいきます。



開発者たち