



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。

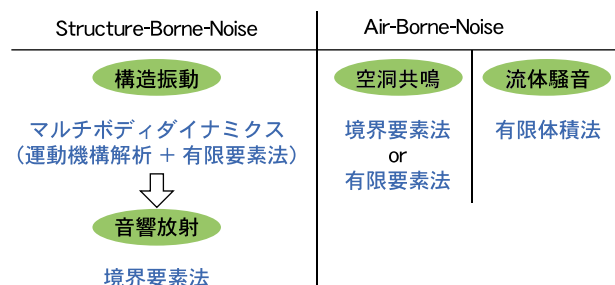


図1 騒音現象の分類と解法

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。

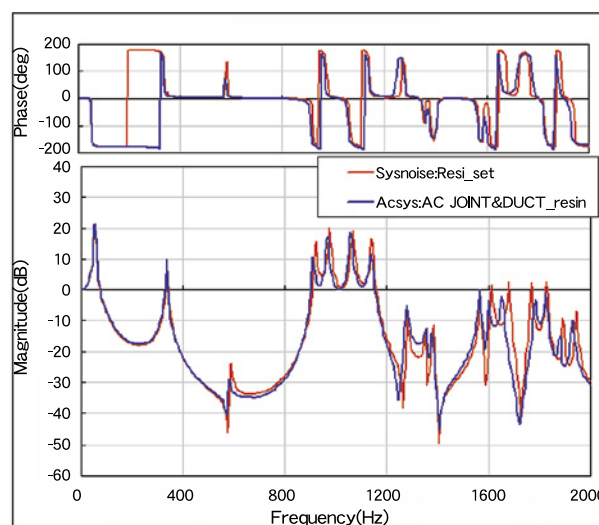


図2 エアクリーナ消音特性
— : 計算、— : 実験

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。

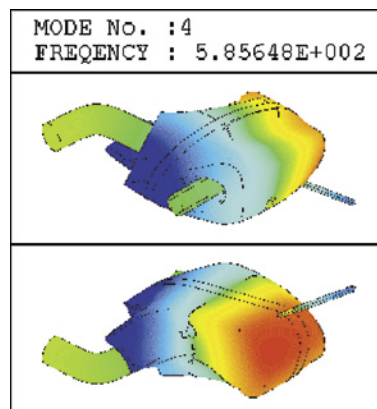


図3 エアクリーナ音圧モード

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。

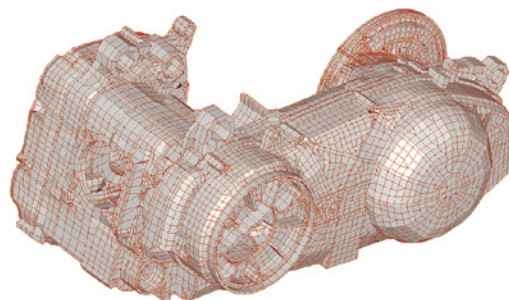


図4 ボイドエンジン構造モデル

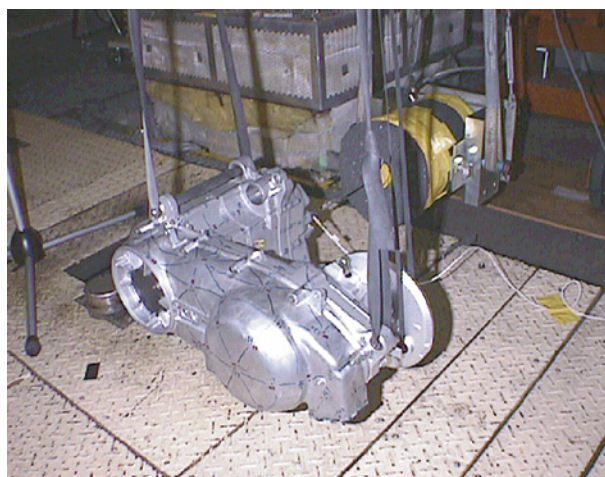
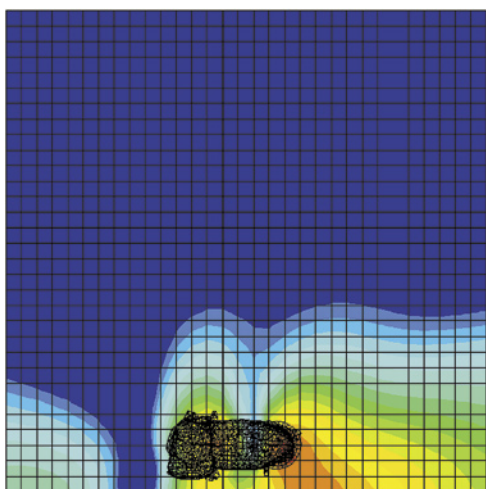
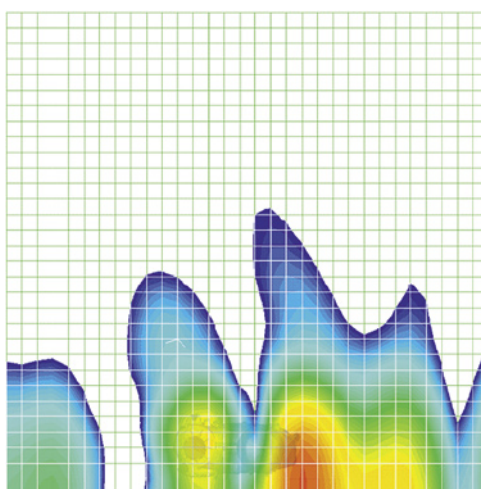


図5 実験：ボイドエンジン Shaker 加振



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。

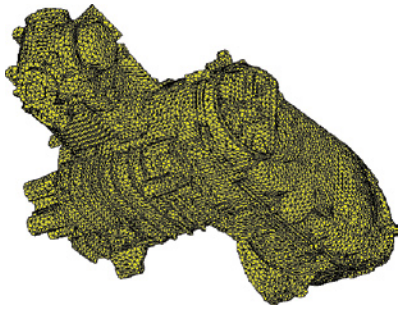


図8 構造メッシュ（振動モデル）

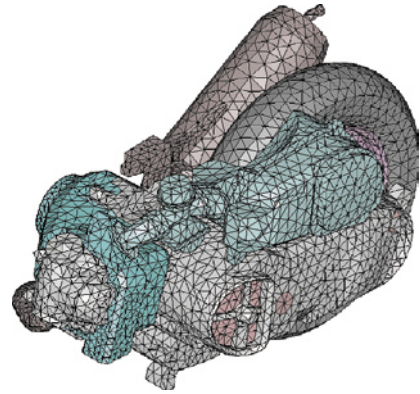


図9 音響メッシュ（音響放射モデル）

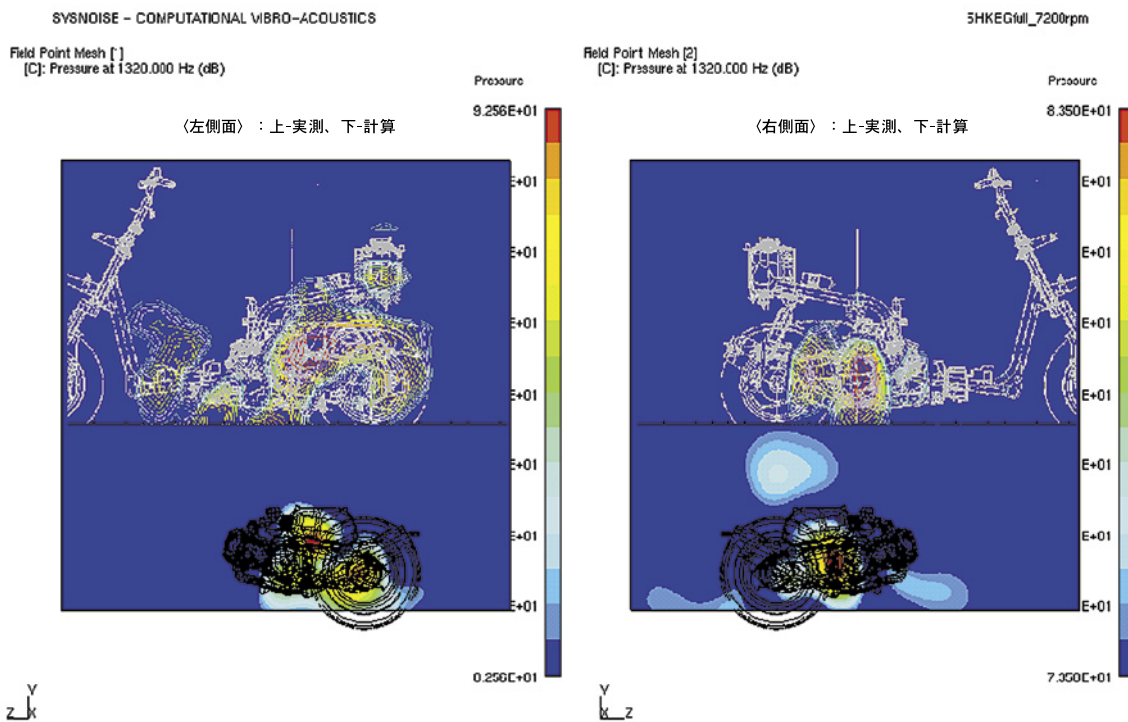


図10 実車両音圧分布比較：実測と計算（計算は爆発圧とパワートレイン系加振力を考慮）

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（特にグロウン音と呼ばれる低・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ている。

● 著者



浅野 俊二