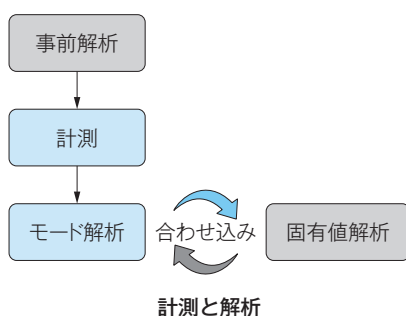


# モータ音振動解析技術

三瀬大海 Taikai Mise

キーワード モータ、音振動

## 概要



近年、地球環境保護に関心が高まり、自動車業界では電気自動車やハイブリッド自動車などの電動化が進んでいる。これらの車両における重要な課題の一つに振動・騒音がある。これまで当社はモータを起因とする騒音<sup>(1)</sup>に対し、解析によって対策してきた。しかし、解析モデルのパラメータの設定には、豊富な知識と経験に基づいた高精度な計測と多くの時間を要するモデルの合わせ込みが必要であった。そこで、専任者でなくても実施できる計測評価手法と最適化手法、さらには騒音の分析手法を導入し、モータの騒音低減と開発期間の短縮を実現した。

## 1 まえがき

当社では、構造設計検証のため有限要素法（FEM：Finite Element Method）を用いて、電磁力を加振力とする振動解析と音響解析を実施してきた。その中で、ステータコアの解析パラメータを変更して実験モード解析の結果に合わせ込む作業<sup>(2)</sup>に対して、以下の課題があった。

- (1) 加速度計の数や配置の検討不足によって、構造体が持つ固有振動モードを十分に抽出できない。
- (2) 解析パラメータの最適値探索に時間を要するため検証が遅れる。
- (3) 要因分析のための専門的な知識と経験不足により適切な対策を施せない。

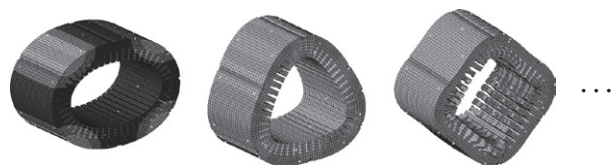
本稿では、上記課題を解決するため、加速度計を適切に配置する方法や解析パラメータ探索にかかる時間を大幅に削減する方法、解析結果を整理して騒

音部位を特定する方法を紹介する。

## 2 精度の良い計測方法の獲得

騒音にかかる固有振動モードの抽出や良いデータの取得には、適切な数の加速度計を適切な位置に配置することが重要である。

第1図にステータコアの振動モードを示す。ステータコアは電磁力を支える重要な構造体である



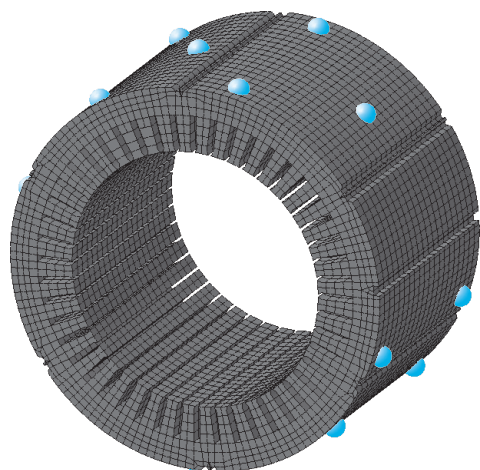
第1図 ステータコアの振動モード

プリテストで決定した加速度計位置で計測したときのステータコアが持つ振動モードの一部を示す。

が、円環の曲げ振動<sup>(1)</sup> ( $n = 2, 3, 4, \dots$ ) に対して加速度計の配置の評価も定性的であった。ここで、 $n$ は固有振動モードの節直径数を示す。

**第2図**にステータコアFEM上の加速度計の位置を示す。解析モデル上に加速度計（青いポイント）を取り付け、配置の評価を定量的に行う手法を獲得したので、以下に説明する。

**第3図**に加速度計配置評価マトリックスを示す。ステータコアの固有振動モードの対応付けを式にしたMAC値<sup>(2)</sup>（モード信頼性評価基準）を示している。二つの固有ベクトルが完全に一致している場合は1（赤で表示）、直交している場合は0（青で表示）である。**(a)**の赤に近い黄や緑が多い場合は、固有



**第2図** ステータコアFEM上の加速度計位置

FEM上の青いポイントが、計測時の加速度計の位置を示す。

振動モードを十分に分離できていない加速度計の配置であることを示している。加速度計の配置を調整すると**(b)**の黄や緑が減ることで適切な配置となり、精度の良い計測ができる。

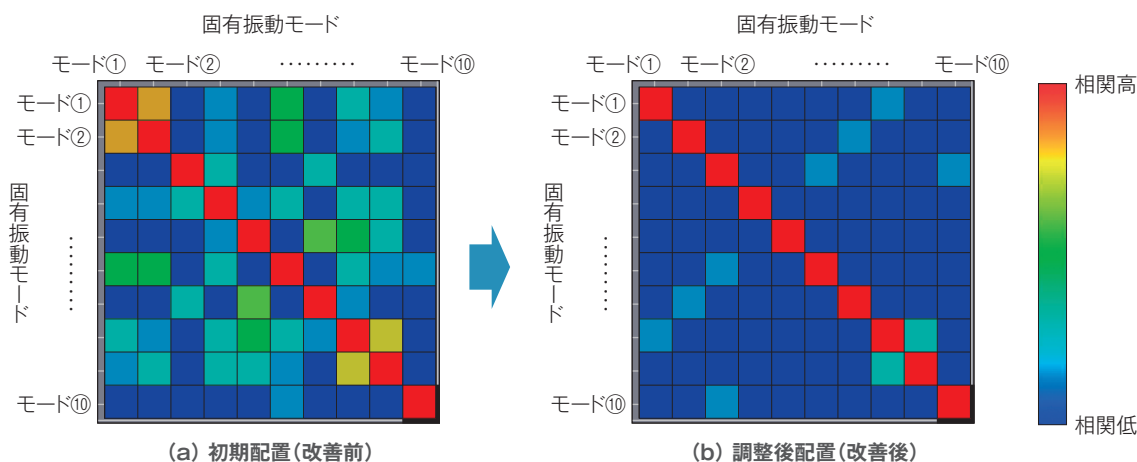
### 3 効率的な解析パラメータの探索方法の獲得

解析パラメータを変更するために、汎用的な最適化ソフトを利用して自動化した場合、初期パラメータの値と最適なパラメータの値に大きな乖離があると解析パラメータの探索にかなりの時間を要する。対策として、以下の方法を組み合わせることで解析パラメータの変更を効率的に進めた。

#### 3.1 実験計画法による解析パラメータの選定

ステータコアの解析パラメータは50個以上あり、全てを合わせ込みの対象とすると莫大な組み合わせとなり時間を要する。実験計画法（DOE：Design of Experiment）を利用し、解析パラメータの探索にかかる時間を短縮した。

解析パラメータの中で、固有値解析結果の固有振動数や固有振動モードに対して感度の高いパラメータを選定する。**第1表**に解析パラメータと固有値解析結果の関係を示す。解析パラメータが固有値解析結果に高い感度がある場合は青、そのほかは感度



**第3図** 加速度計配置評価マトリックス

(a) 加速度計の初期配置、(b) 配置を調整した結果の評価結果を示す。

### 第1表 解析パラメータと固有値解析結果の関係

DOEを実施した後の解析パラメータ（縦弾性係数・横弾性係数・ポアソン比）と固有値解析結果（周波数・MAC）の関係を示す。

	周波数1	周波数2	MAC1	MAC2
縦弾性係数1	0.01	0.01	0.2	0.3
縦弾性係数2	0.4	0.3	0.7	0.8
横弾性係数1	0.3	0.2	0.2	0.2
横弾性係数2	0.01	0.01	0.25	0.2
ポアソン比1	0.01	0.8	0	0
ポアソン比2	0	0.01	0	0

### 第2表 解析と計測のMAC値と周波数差

合わせ込みした解析パラメータで固有値解析を行い、解析と計測のMAC値と周波数差を比較した表を示す。

振動形状	MAC値	周波数差 (%)
1	0.98	0
2	0.98	-1.6
3	0.85	-0.3
4	0.72	-0.6

※振動でのMAC値は完全一致で1

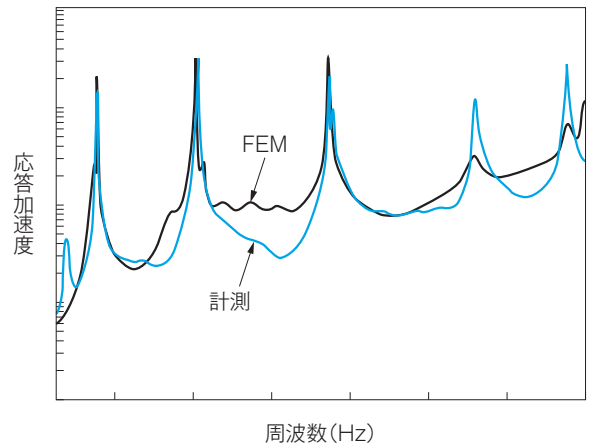
が低い場合である。ステータコアの多くの解析パラメータの中から感度の高いものを合わせ込み対象のパラメータとして選択し、その解析パラメータを変更することで、初期パラメータの値を最適なパラメータの値に近づけた。これにより、汎用ソフトによる最適化にかかる時間を2/3削減した。

## 3.2 汎用ソフトによる最適化手法

上記の方法で初期パラメータを選定した後、汎用ソフトの最適化手法を利用して合わせ込みを行う。第2表に解析と計測のMAC値と周波数差を示す。MAC値は0.7以上、周波数差は5%以内で、精度の良い解析パラメータを取得できたことを示している。第4図にFEM解析結果と計測結果の応答加速度を示す。FEMによる解析結果と計測の伝達関数を比較し、固有振動数のピークの位置を再現している。

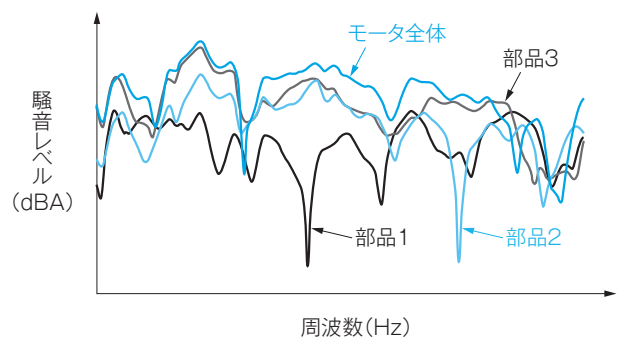
## 4 騒音部位を特定する方法の獲得

騒音にかかる不具合の対策には、騒音部位を特定



### 第4図 FEM解析結果と計測結果の応答加速度

FEM解析結果と計測の伝達関数を比較したグラフを示す。



### 第5図 モータ全体と各部品から生じる騒音グラフ

モータ全体と各部品の周波数と騒音レベルの関係を示す。

することが必要で、寄与解析を実施する。ここでの寄与解析とは、モータを構成する各部品で発生する騒音レベルを算出し、同じグラフに並べて分析する方法である。第5図にモータ全体と各部品から生じる騒音グラフを示す。周波数と騒音レベルの関係を示し、モータ全体と各部品（部品1, 2, 3）の騒音を比較することで、騒音が発生する部位とその周波数を特定できた。

## 5 むすび

電気自動車のモータを対象として、解析モデルの高精度化によって精度の良い音響解析を実現した。また、効果的に解析パラメータを獲得することで、解析にかかる時間を大幅に削減した。

今後は簡易化と高速化によって、設計の上流段階で適用していく。

- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

#### 《参考文献》

---

- (1) 石橋文徳・野田伸一：「モータの騒音・振動とその低減対策」, pp.25-31, pp.97, 2011
- (2) 一文字正幸・見村勇樹・池田和徳・永田寿一・平手利昌・平井匡平・平野俊夫・淵本遼・塩飽宜貴・荒川雅生：「多目的最適化手法を用いた構造物の動的問題における実験同定」, 日本機械学会論文集 Vol.83, pp.2-4, No853, 2017

#### 《執筆者紹介》

---



三瀬大海  
Taikai Mise

基盤技術研究所  
音振動解析技術の開発に従事

---