

スピーカー筐体設計の高効率化 ～楽器・音響機器設計への構造最適化適用検討～

研究・開発機関 : ヤマハ株式会社
 利用施設 : 自社設備 (Intel Xeon w9-3495X 56コア112スレッド、メモリ:1TB)
 計算規模 : 最適化繰り返し回数50回で数日程度
 利用ソフトウェア : OPTISHAPE-TS

Before

●楽器・音響機器設計は振動特性をはじめとする多くの物理特性間のバランス調整が複雑なため、数値解析や試作実験の繰り返しで設計期間が長期化する問題があります。

After

○構造最適化を適用することで、効率良く複数の物理特性を調整できるようになりました。
 ○設計の初めに結果形状の方向性を調べ、それを参考に初期形状を設定することで、高性能な最適化形状を得られるようになりました。

背景と目的

楽器・音響機器の設計では、音質に影響を与える振動特性を適切に調整することが大切です。図1に示すように、音は主にスピーカーユニットから出ますが、筐体からも出ており、筐体振動による音の色付けも大事な設計の要素です。筐体振動の音が大き過ぎる場合には、スピーカーユニットからの音を妨げるため、筐体に振動を抑える対策をします。さらに、筐体設計では容積と質量の調整も重要です。容積は内部の空気ばねの強さを決めるため、スピーカーユニットの振る舞いに影響します。一方で、質量は運搬や設置のし易さに影響します。このように音質を重視する設計においては、振動の周波数や振動形状、筐体の内部容積や質量など数十個を超える物理特性を考慮しながら設計する必要があります。それらのバランス調整は難しく、数値解析や試作実験を繰り返すこととなり、設計期間が長期化する課題がありました。そこで、複数の物理特性を同時に調整できる構造最適化の手法を用いることで、より効率的な設計を目指しました。スピーカーの筐体設計では、筐体振動の制御の観点で振動特性(固有値、モード形状)に着目し、内部容積と質量を一定にする条件下で最適化計算を適用した事例を紹介し、また、本稿の最後では、楽器の事例としてエレキギター設計への適用検討にも簡単に触れます。



図1 スピーカーシステムの構造

利用成果

□構造最適化を適用した設計

本検討では、ノンパラメトリック形状最適化が初期形状の影響を強く受けるため、初めに単純な形状の初期案を検討し、次に詳細形状へと具体化する二段階のアプローチを採用しました。まず、スピーカーユニット取り付け部がない箱形状の最適化から楕円体を予測しました(図2)。その後、予測形状を基に、取り付け部を含む形状(図3(a))を初期形状とした最適化を行いました(図3)。図5は、楕円体と比較対象の直方体の最適化形状(図4)の固有値を比較したものです。どちらの最適化形状でも直方体初期形状より固有値が高くなり振動特性が優れていますが、楕円体の方がより優れています。

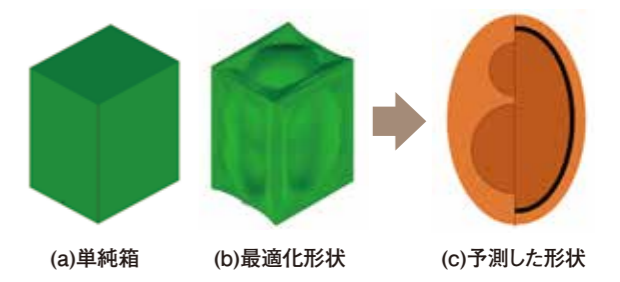


図2 単純箱最適化による結果形状の予測

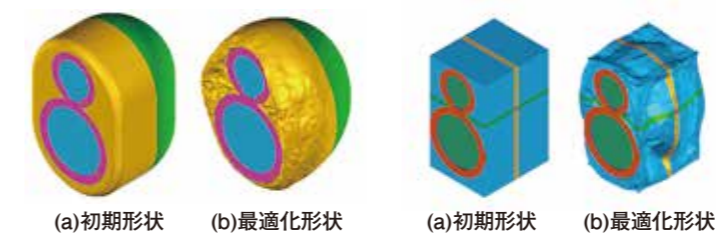


図3 楕円体の最適化

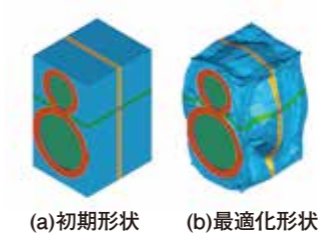


図4 直方体の最適化

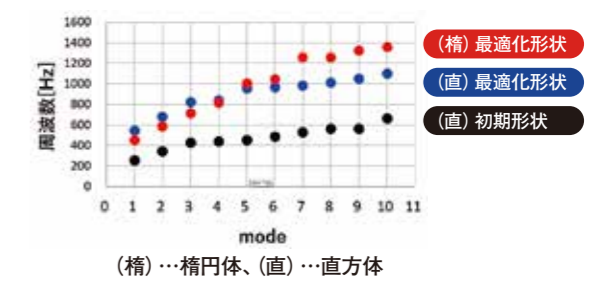


図5 固有値の比較

□実測による構造最適化適用の効果検証

3Dプリンタを用いて試作を行い、上下ユニット間を加振する振動実験を行いました(図6)。図7はレーザードップラー振動計(LDV)で計測した側面の加速度応答です。直方体初期形状に比べて楕円体最適化形状では振動が抑制されています。以上により、構造最適化の適用が、スピーカーユニットへの影響と質量をも考慮しながら振動特性を調整できる有効な手段であると確認できました。

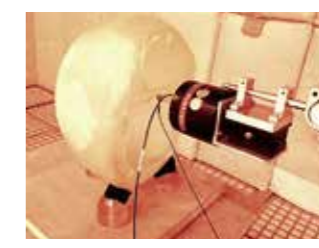


図6 振動実験の様子

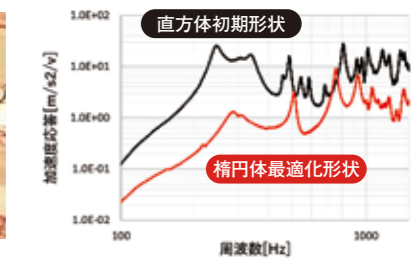


図7 筐体振動振幅の比較

□構造最適化適用のポイント:異なるモード形状への飛躍

楕円体と直方体の初期形状のモード形状を比較すると、両者は全く異なります(図8)。これが直方体初期形状から楕円体最適化形状を得ることが困難であった要因と考えます。本案件においては、二段階アプローチを採用し単純形状での最適化を経由することで異なるモード形状へ飛躍できたことが、高性能な構造を得られたポイントと言えます。

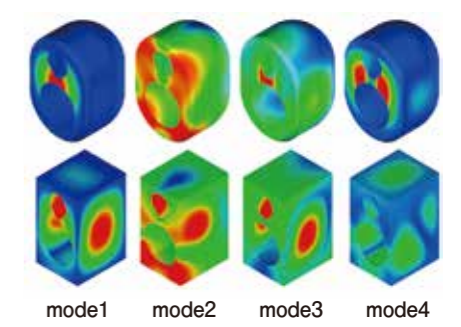


図8 初期形状のモード形状比較

■エレキギター設計の高効率化検討

本手法をエレキギターの設計に適用した最適化事例です(図9)。音色調整のために固有値とモード形状を目標値へ合わせ込みながら、演奏性向上のための軽量化と重心位置調整を行っています。特徴の1つはモード形状を維持するための補強部材です。2つ目は、ネックから遠ざかるにつれて段階的に増加するボトム部の質量です。質量増加を抑えつつ、ネックの質量とのモーメントのバランスを取って重心位置を調整しています。

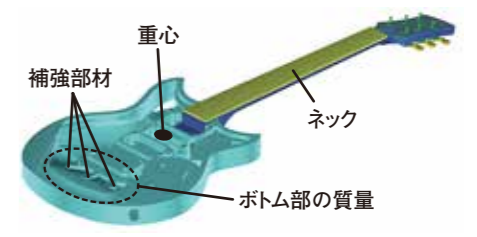


図9 最適化形状(内部構造)

出典:野見山洋子, Japanese Patent Application No. 2024-225995