

アクセルペダル位置の改良でスピードアップ

電気回路と電磁界のシミュレーションにより、インダクションセンサーアプリケーションのエンジニアリング期間を3ヵ月から2週間に短縮

Lingmin Shao (カナダ リッジタウン, KSR International, テクニカルスペシャリスト),
Ryan Elliot (カナダ リッジタウン, KSR International, センサー部門チームリーダー)

電子スロットル制御システムは、アクセルペダルの位置に関係なくスロットルを動作させなければならない各種自動車システム（横滑り防止システムのほか、自動ブレーキシステム、クルーズコントロール、トラクションコントロールシステム、プリクラッシュシステムなど）の機能をスムーズに連携させ、排出量の低減と燃費の向上を実現します。

電子スロットル制御システムは、アクセラレーターとスロットル間の機械的連結を排除し、その代わりに電動機を利用してスロットルを制御する機能を備えています。また、電子スロットル制御システムでは、電子制御ユニット（ECU）が、アクセルペダルの位置を追跡する2つのセンサーで収集したデータを利用して、スロットルの正しい位置を決定すると、スロットルを制御する電動機がECUによる閉ループ制御によって所要の位置に駆動される仕組みになっています。

KSR International社は、アクセルペダルの位置を検出して、電動機がスロットルを

制御できるようにする機能を搭載したインダクションセンサーを提供する大手企業です。同社では、通常の設計で対応できるインダクションセンサーだけでなく、検出範囲やパッケージが異なる様々なアプリケーションで使用できるインダクションセンサーの開発にも取り組んでいるため、カスタム設計を行わなければなりません。

KSR International社では当初、試行錯誤で設計を行っていたため、特定用途向けのインダクションセンサーの設計開発に約3ヵ月間を要していました。しかし最近では、電気回路シミュレーター「Nexxim」とANSYS社が提供している有限要素法ベースの3次元フル・ウェーブ電磁界シミュレーションソフトウェア「HFSS」を使用して、インダクションセンサーの動作を評価しています。当然ながら、試作品を作成してテストするよりも、ソフトウェアプロトタイプを評価した方が時間がかかりません。このため、特定用途向けのインダクションセ

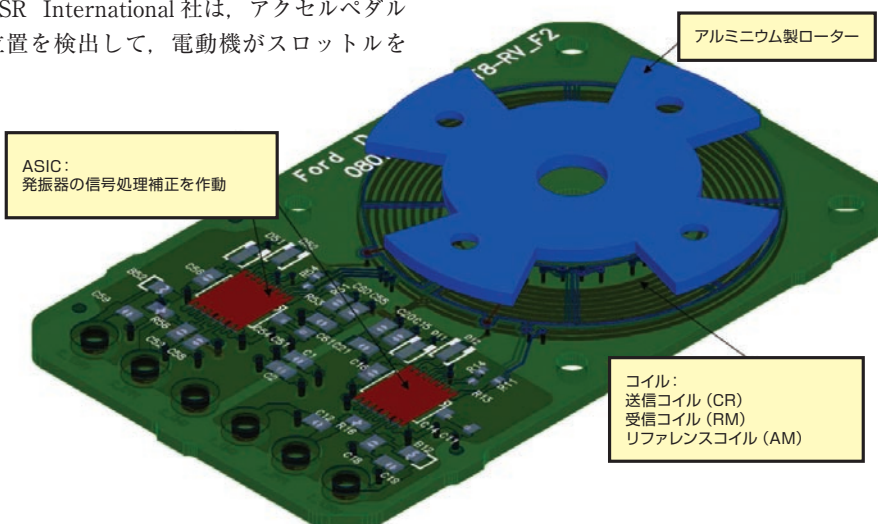
ンサーアプリケーションの設計期間を2週間に短縮することができました。

電子スロットル制御システムには、ドライバーがアクセルペダルを踏んだときにこのペダルの位置を正確かつ確実に検出できるセンサーを組み込む必要があります。1つの選択肢としてホール効果センサーがありますが、このセンサーは、時間の経過とともに磁気が弱まる永久磁石を使用しており、アクセルペダルの位置を正確に検出できないことがあります。もう1つの選択肢としては、インダクションセンサーがあります。このセンサーでは交流電流を固定された送信コイルに流し、このコイルによって電磁場が発生すると、アクセルペダルなどの装置に接続されている金属製ローターに渦電流が生じると同時に、受信コイルに交流電流が発生します。なお、この交流電流の大きさと位相は、金属製のローターの位置によって変わります。この受信コイルからの信号を分析してアクセルペダルの位置を検出する役割を果たすのが、送信コイルを励起する特定用途向け集積回路（ASIC）です。

一般的なインダクションセンサーの場合には、金属製ローターと送信/受信コイル間の空隙のばらつきなどの避けられない製作公差によってインダクションセンサーの感度が影響を受け、不正確な測定値を表示することがあります。この問題を克服しているKSR International社の革新的なインダクションセンサーは、空隙にばらつきがあっても送信コイルとリファレンスコイル間の相互インダクションへの影響を一定に保つように設計されたリファレンスコイルを搭載しています。また、受信コイルからの信



資料提供: © iStockphoto.com/Okrea

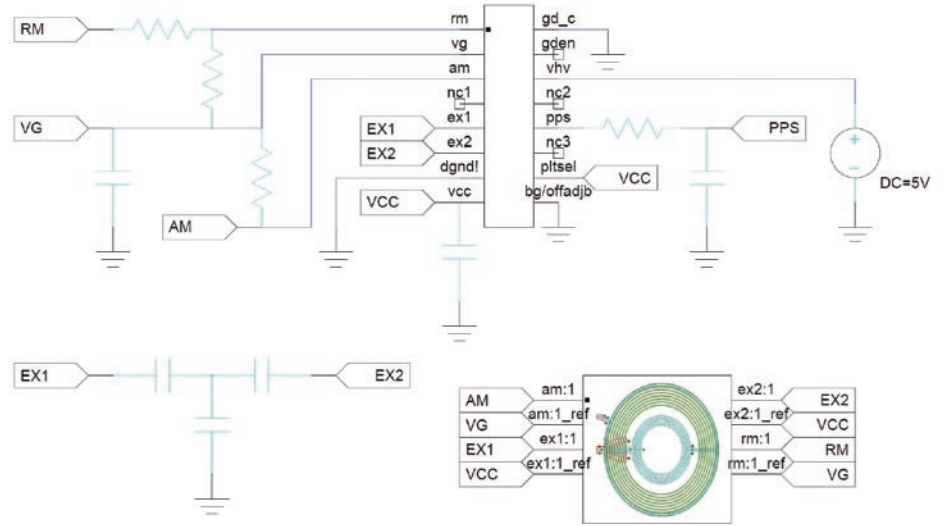


インダクションセンサーの構造

号を処理して、送信コイルと受信コイル間の相互インダクションを、送信コイルとリファレンスコイル間の相互インダクションで分離することによって、空隙に左右されない回転角測定を実現しています。

KSR International 社では、特定用途向けのセンサーアプリケーションの設計に取り組んでいますが、大きな問題に直面しています。一般に、こうしたアプリケーションの可動域はそれぞれ異なり、送信コイルの駆動、受信コイルに発生する電圧の測定、回転位置が測定対象となるアクセルペダルなどの装置の位置計算を行う場合には、新しいタイプのコイルと特定用途向け IC が必要になることがあります。また、インダクションセンサーの設計では、製品に使われている他の部品からの干渉に注意を払わなければならないこともよくあります。たとえば、隣接する金属製部品は、送信コイルやローターが発生させる磁場に影響を与える可能性があります。

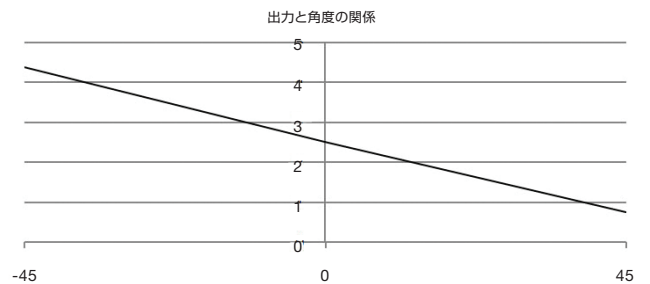
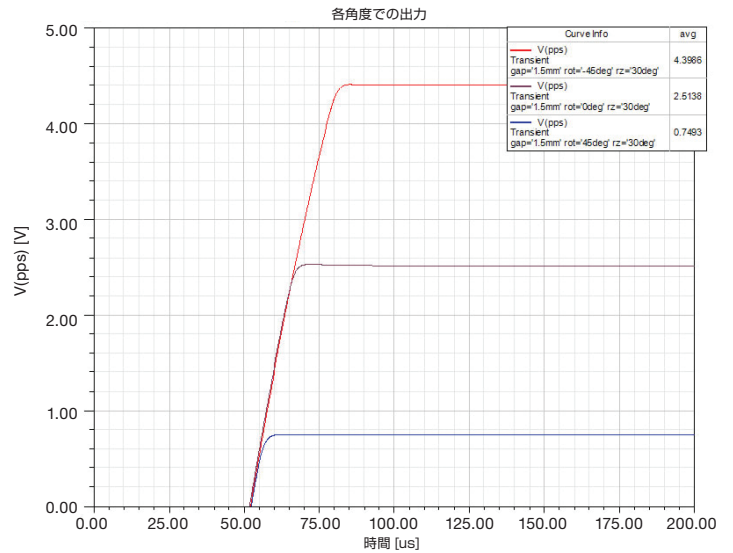
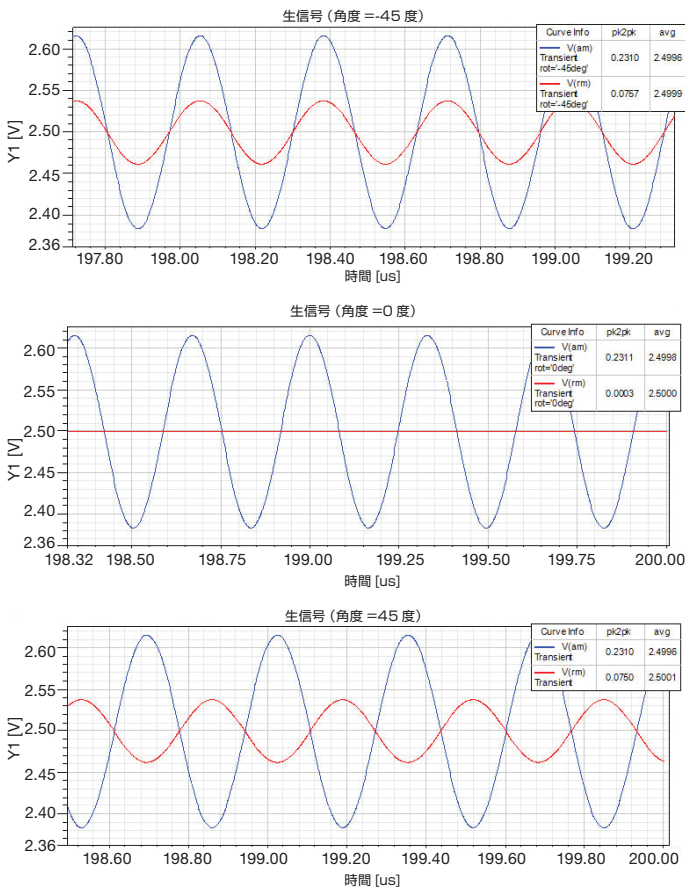
KSR International 社のエンジニアはこれまで、経験と直感に頼って初期のコンセプト



電気回路シミュレーションの設定

ト設計を作成してからプロトタイプを構築していたため、性能が基準を満たさないことがありました。また、物理テストでは、十分なデータポイントが得られず、根本原因の特定が困難になることがよくあり、顧客の要求に対応し最適な設計を実現するには、設計-試作-テストサイクルを何度も繰り返す必要がありました。こうした時間のかかる手法は、エンジニアのスキルと献身がなければ成り立ちません。

しかし、最近では HFSS と Nexxim を使用しているため、試作品を作成する必要性が減りました。このプロセスでは、最初に、初期設計の形状データを CAD ファイルからインポートしてから、材料の電気特性（誘電率、誘電正接、浸透率、磁気損失正接、バルク導電率、磁気飽和など）と、表面に電磁界現象を指定する際に必要となる境界条件を定義します。HFSS では、まずすべ



設計案の伝達関数を示した電気回路シミュレーション出力

でのポートの伝搬モードを解析してから、構造体全体の電磁界解析を行います。そして解析結果として得られた3次元の電磁界現象から、高周波回路モデルとして使用できるSマトリックスを導出します。

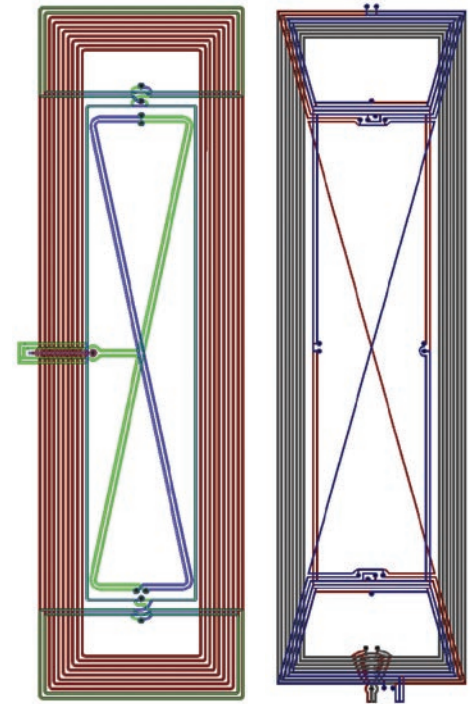
また、Nexximを使用した回路シミュレーションでは、HFSSで作成したモデルを回路ブロックとして使用して、電磁界と回路の両方を高精度かつ迅速にシミュレーションすることができます。なお、Nexximは、アナログ/ワイヤレス高感度フロントエンド回路をシミュレーションするのに必要なトランジスターレベルの精度と、最新のミックスドシグナル集積回路を設計する上で必要なロバスト性とキャパシティを兼ね備えています。

インダクションセンサーの性能は、発振器によって決まります。Nexximを使用して電気回路を完全にシミュレーションすれば、この発振器の波形や消費電流を簡単に確認することができます。その他にも、ローターの角度が変わったときの信号の状態など重要な設計情報を得ることができます。また、Nexximには、完全なASICモデル（暗号化モデル/非暗号化モデル）を直接インポートすることができます。

寸法、材料特性、状態変化の観点からモデルを解析する場合には、パラメトリックシミュレーションを行うことがよくあり、HFSSモデルの解析では、パラメータ空間と周波数の範囲を定義してHFSSモデルをパラメータ化します。電気回路シミュレー

ションに際しては、電気回路シミュレーターで必要となるSパラメータを多次元補間法で求めることで、このモデルのパラメトリックなインスタンスを特定することができます。たとえば、KSR International社のエンジニアの多くは、ローターと送信/受信コイル間の空隙を対象にしてパラメトリック解析を行い、避けられない製作公差がセンサーの精度に影響を及ぼしていないかを確認しています。また、空隙にばらつきがある場合は、タンク電流のレベルを変えて生の信号強度の変化を抑える必要がありますが、これによって前述したリファレンスコイルの機能が働き、出力が空隙のばらつきの影響を受けなくなります。

KSR International社のエンジニアチームが、実際のアプリケーションで発生する避けられない問題を解決する際には、こうした完全な電気回路モデルを利用しています。たとえば、センサーの近くに配置され、副次的な渦板としての役割を果たす鋼製のブラケットは、出力に大きな影響を及ぼすことがあります。先ごろ、あるアプリケーションに鋼製のブラケット、シャフト、ボルトを追加しましたが、これが原因で出力電圧が11.6%も低下してしまいました。これは、許容範囲を超える大きな低下率です。そこで、各部品を分離した一連のHFSSモデルを作成して確認したところ、シャフトとボルトが原因でそれぞれ1.3%、0.1%低下した出力がブラケットだけで10.2%低下することが分かりました。このため、ブラケットに重点を絞っていくつかの設計変更を行い、ブラケットに20mmの穴を追加してみた

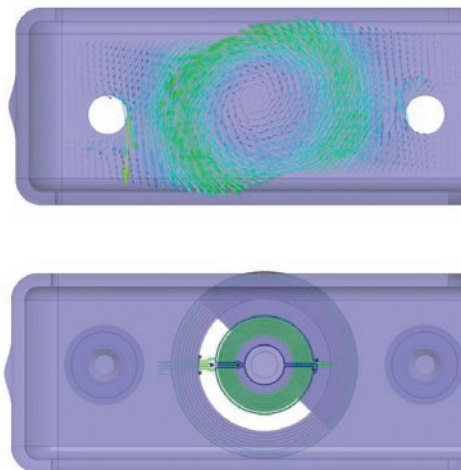
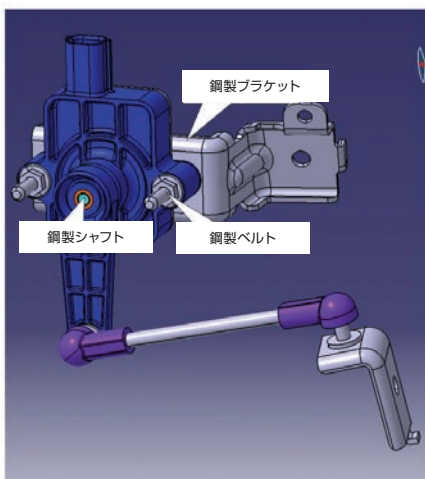


コイルの初期設計(左)と改善後の設計(右)

ところ、ブラケットの影響が小さくなり、出力が0.7%増加しました。なお、この設計にボルトとシャフトの影響を加えても、出力電圧への影響はごくわずかでした。この程度なら、最終段階の一般的なプログラミング調整で簡単に補正することができます。

もう1つのアプリケーションで実施したパラメトリック解析では、インダクションセンサーの温度変化によって出力がばらつくことが分かりました。そこで、KSR International社のエンジニアチームがコイルとASICの温度変化を別々に解析して、この根本原因を分析したところ、コイルがセンサーの温度変化の大きな要因になっていることが判明したため、出力の変化率を2%から0.5%に低減する新しいコイルを開発しました。

KSR International社のエンジニアチームはシミュレーションを行ったことで、プロトタイプを作成する前にインダクションセンサーの設計を最適化することができました。この新しい手法は、顧客の用途に適合する製品の設計時間を大幅に短縮し、エンジニアリングコストの削減と市場投入期間の短縮を実現します。■



ブラケットに穴を追加したところ、出力電圧への影響が低減された。