

松井 太憲 永田 俊彦 小林 秀之 堀内 慎高 竹山 弘晃 佐藤 和生 高野 行康
片渕 喬大 久木野 史宣 辻村 拓 渡邊 俊幸 大谷 晋哉 鈴木 康祐



図1 今回開発したトルクセンサを搭載した PAS Ami (2013 年モデル)

Abstract

In 1993, Yamaha Motor developed the “PAS” electrically power assisted bicycle, the world's first product that provided a power assist for a human pedaling from an electric motor. Since then, development work has focused for the drive units more compact and lightweight, improving the performance of the battery and achieving higher levels of maturity in the feeling of the ride. In this report, we discuss the development of the torque sensor component of the “triple sensor system” adopted for the first time in Japan that provides a more natural feeling to the power assisted ride.

1 はじめに

人のこぐ力を「電動モータ」がアシストする自転車として、1993年に世界で初めて電動アシスト自転車PASを開発・発売して以来、ユニットの小型軽量化やバッテリー性能の向上に加え、乗り心地の熟成を重ねてきた。今回、国内初の自然な乗り心地を実現した「トリプルセンサシステム」に搭載されている「トルクセンサ」について紹介する。

2 開発のねらい

初期の電動アシスト自転車に搭載されていた「トルクセンサ」は、クランクと同軸上に設置した遊星歯車機構を用いて踏力が検出されていた。しかしこの方法では、伝達ロスによりペダル踏力が増加するというウィークポイントが指摘されていた。

そこで、2003年より、クランク軸上に備わったセンサでペダル踏力を直接検出することで機械的なロスがない「トルクセンサ」が採用された。さらに2013年モデルでは、乗り心地を向上させるために、トルクセンサにスピードセンサとクランク回転センサを加えたトリプルセンサシステムが搭載された(図2)。

本稿では、トリプルセンサシステムを構成するトルクセンサの改良について紹介する。本トルクセンサは、以下3点に狙いを絞って開発された。

- ① 軽量化
- ② 耐ノイズ性の向上
- ③ 長時間の安定した動作



図2 PASトリプルセンサシステム

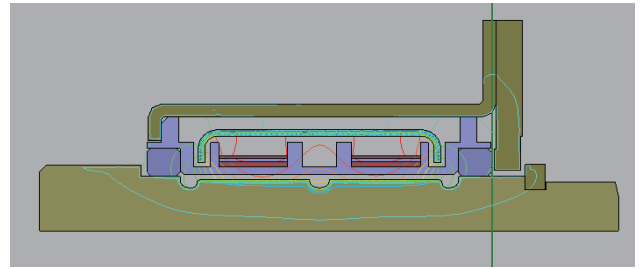


図4 電磁気解析例

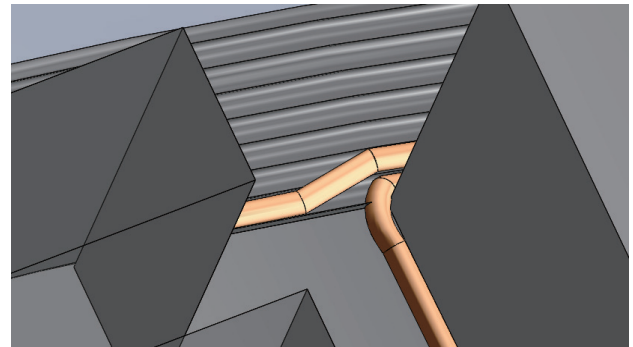


図5 コイル巻き線仕様開発例
整列巻き線と巻き溝 干渉検討

3 製品の特徴

基本的な「トルクセンサ」の構成は、2003年からの方式と同じとなり、図3のように、磁歪効果を持つ「シャフト」と「検出用コイル」、検出された電気信号を増幅かつノイズを除去して、デジタル信号化する「制御基板」で構成される。



図3 新トルクセンサ外観

3-2. 耐ノイズ性の向上

「制御基板」の電子回路部を変更し、「検出用コイル」に以前より多くの電力を印加することで、センサ全体の耐ノイズ性を向上させた(図6)。

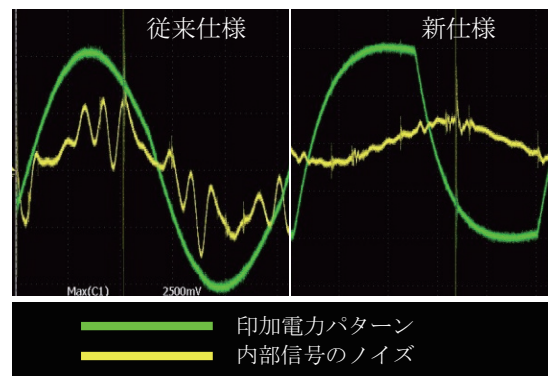


図6 印加電力仕様差とノイズ性向上例

3-1. 軽量化

軽量化を実現するために、シャフト肉厚と全長とのバランスを検討した上で磁界解析を用いて最適化し、さらにその理想状態に近似したコイル内の巻き線仕様を検討することで構成部品を簡素化し、重量を25%低減させた(図4、5)。

ただし、電力強化、電子部品的高速化による電圧降下や新たなノイズ発生等が懸念されるため、電源インピーダンスの解析を用いて電子部品配置、接続方法を最適化した(図7)。

この結果、「検出用コイル」を構成する部品削減につながり、さらなる重量低減が図られた。

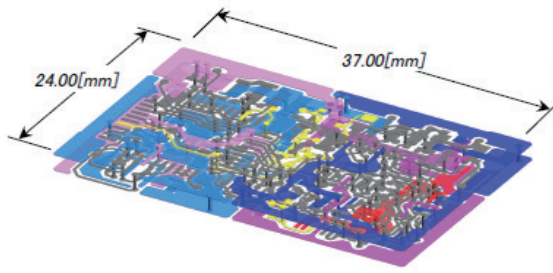


図7 制御基板解析イメージ

3-3. 長時間の安定した動作

電力を強化するために、従来と比べ50倍以上の速度で印加でき、かつ損失の少ない電子部品を選択することで、印加指令に対する遅延を無くした。

そのため、新たな開発手法を取り入れつつ、各構成部品ごと目に見えない磁歪効果によるペダル踏力検出機能を向上させ、激坂と呼ばれる負荷の高い登坂や信号待ちなどの様々な走行環境下でも長時間、安定して動作させる設計手法や評価条件、評価装置等の開発環境も並行して開発を行った。これらのプロセスは、2011年に市場投入した「電動モータ」の開発を通じて得られた技術を適用している。

4 開発への取り組み

形状が大きく変更されることから、従来センサを並行し生産しながら段階的に切り替えていくことが困難なため全社横断のコンカレントな開発体制を要素開発段階から推し進め、

森町・大須賀町と2つの工場間で連携を取りながら取り組んだ。

また量産段階での更なる生産性向上のため、サイクルタイムの50%短縮と平滑化を狙った工法を採用した。

5 品質への取り組み

「トルクセンサ」の品質を評価するためにQFD(Quality Function Deployment)を活用した。トルクセンサは機能構成部品であるため、部品単品で品質を担保する部分と組み合わせで担保する部分を明確にした上で、図8に示すように各階層ごとに評価した。

また、FMEA(Failure Mode and Effect Analysis:故障モード影響解析)を、仕様・工程設計段階から実施し、2003年から新たにわかった課題に対しては、新規に評価方法や目標値を設定した。

さらに、予想される量産時の不具合に対し、今回の開発で知り得た結果を整理して作成した特性要因図を用い、部品レベルの重要項目を抽出して、図9のようにX-R管理で可視化することで不良低減を図った。

これらの取り組みの結果、「トルクセンサ」の品質向上だけでなく、現在、オートバイ電装品を含めた新たな製品開発にて、横展開を計画または着手しつつあり、他製品領域において、有効な活用ができると考えている。

No.	構成部品名 (部位)	変更点と 変更内容 (変更目的)	YES/JPとしての 新規性	機能	変更に関する心配点 (故障モード)		心配点はどうな場合に生じるか		お客様への 影響	重要度	心配点を無くすに どんな設計をしたか (設計遵守事項、 設計例準、 シミュレーション等。)
					変更がもたらす 機能の障害、 真偽性の欠如	他に心配点は あるか (DFB/FM)	要因・原因	他に考えるべき 要因はないか (DFB/FM)			
1	トルクリング	ユニレート板 付の円筒状部品 からSPOM(射出 成形品)に変更	実施済み	ボビンと シャフトの 軸方向位置 関係を保つ(クリ アランス維持)	破損によりボビンを保持できなくなる		クリープ破損		7/8出力の零 点が変化しア シスト閉路電 圧を越え、自 走する	異常でトルクセンサの出力電 圧を21μm以上破損	
							衝撃破損		「	バリにより出力電圧が減少す るため、 バリが出やすいE.P.部を、 出力電圧に関係しない位置に 配置した。	衝撃荷重250Gに対し、引張 強度に対する安全率14倍 確保

図8 QFD実施例

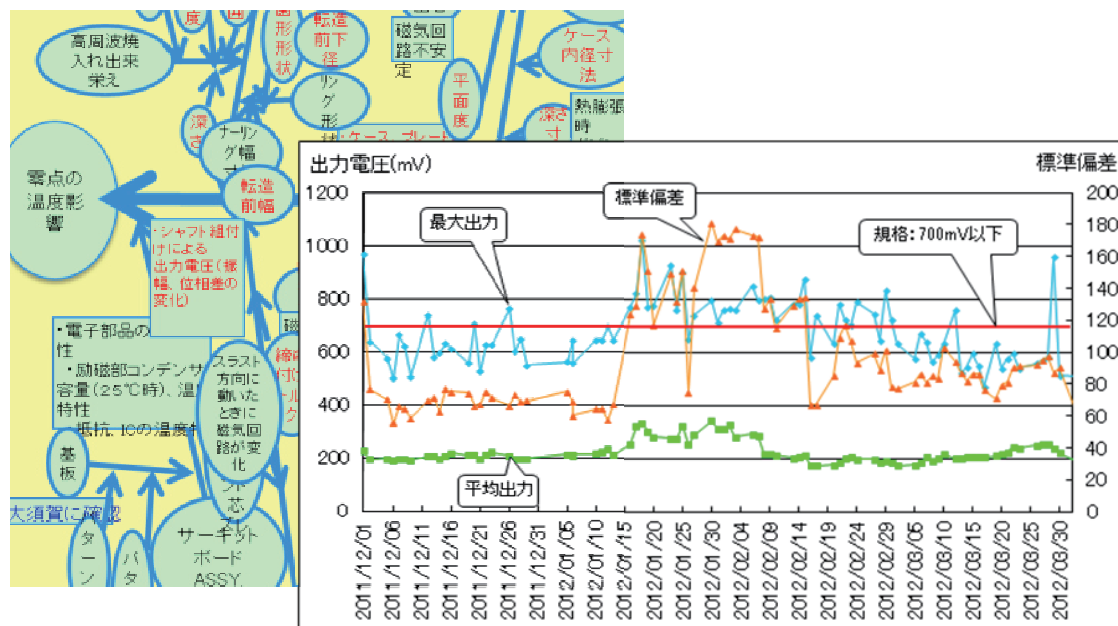


図 9 特性要因図と X-R 管理例

6 おわりに

今回の新「トルクセンサ」は、従来品に比べ、より自然な乗り心地の実現に寄与できたと確信している。

また、多数の若手技術者や作業者が、取引先・関連部署とのコンカレントな開発プロセスを体験できたことは、PAS製品開発者育成の面からも非常に効果があった。今後も国内外で、競争がいつそう厳しくなると予測される電動アシスト自転車市場の中で、その経験を活かし、顧客満足度の高い製品開発にチャレンジしていきたい。

■著者



松井 太憲
Taiken Matsui
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



永田 俊彦
Toshihiko Nagata
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



小林 秀之
Hideyuki Kobayashi
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



堀内 慎高
Noritaka Horiuchi
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



竹山 弘晃
Hiroaki Takeyama
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



佐藤 和生
Kazuo Satoh
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



高野 行康
Yukiyasu Takano
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



片瀬 喬大
Takahiro Katabuchi
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



久木野 史宣
Hitonori Kukino
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



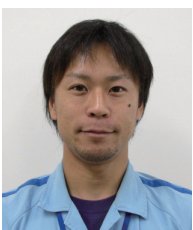
辻村 拓
Taku Tsujimura
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



渡邊 俊幸
Toshiyuki Watanabe
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部



大谷 晋哉
Shinya Ootani
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
調達部



鈴木 康祐
Kousuke Suzuki
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
品質保証部