

PAS 用磁歪式トルクセンサのめっきシャフト 量産技術開発

Development of Mass-Production Shaft Plating Technology
for Magneto-Striction PAS Torque Sensors

小林 秀之 鈴木 康祐 鈴木 康秀 萩原 拓也 小柳津 奨太 神谷 格
堀内 慎高 井口 大輔 新村 英梨



PAS CITY-C (2017年モデル)

Abstract

Yamaha Motor launched the world's first electrically power assisted bicycle (PAS) in 1993. Since then, the PAS riding experience has become increasingly refined thanks to greater battery performance and the drive units becoming more compact and lightweight.

The core of the PAS system is the drive unit, which is made up of the motor, controller, and torque sensor. The torque sensors used in early electrically power assisted bicycles used a planetary gear mechanism installed on the same axle as the crank to detect the rider's pedaling effort. However, an issue with this method was pointed out - that the pedaling effort required increased due to transmission loss. Since 2003, magneto-striction type torque sensors have been used, which eliminate mechanical loss through direct detection of pedaling effort by a sensor installed on top of the crank axle^[1].

This report introduces how - aiming for further cost reductions in magneto-striction torque sensors - Yamaha Motor succeeded in mass production of torque sensors featuring a high-sensitivity magneto-striction membrane created with alloy plating.

1 はじめに

電動アシスト自転車 PAS は、1993 年にヤマハ発動機から世界で初めて販売された。その後、ドライブユニットの小型軽量化やバッテリー性能の向上に加え、乗り心地の熟成が重ねられてきた。

その心臓部であるドライブユニットは、モータ、コントローラ、トルクセンサから構成されている。初期の電動アシスト自転車に搭載されたトルクセンサは、クランク軸と同軸上に設置された遊星歯車機構を用いて踏力を検出していた。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点が課題として指摘されていた。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知することにより、機械的なロスのない「磁歪式トルクセンサ」が採用されている^[1]。

本稿では、「磁歪式トルクセンサ」のさらなるコストダウンを目指して、合金めっきにより高感度な磁歪膜を付与したトルクセンサの量産化に成功したので、その概要について紹介する。

2 開発の狙い

「磁歪式トルクセンサ」は、磁歪効果を持つシャフト、検出用コイル、検出された電気信号を増幅してデジタル信号

化する制御基板で構成される（図 1）。従来品は、シャフトの磁歪効果による透磁率の変化が微小であった。そのため、それを検出するコイルが高価となっていた。そこで、検出用コイルのコストダウンを狙い、電気めっき工法を利用してシャフトに磁歪膜を成膜した高感度なシャフトの量産化を目指した。

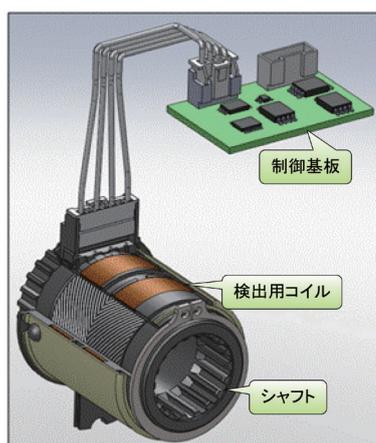


図1 磁歪式トルクセンサ構造

3 高感度化への取り組み

電気めっき工法を利用した磁歪膜の成膜において、高感度および高品質を実現するためには、合金めっきの成分比率を高精度にコントロールする必要がある。コントロールするパラメータを絞り込むために、特性要因図を作成し要因の抽出を行い、それぞれに対する影響度の検証を行った。

3-1. めっき条件のコントロール

絞り込んだパラメータに対する影響度を検証した結果、それらを高精度に管理できる設備開発が必要であることがわかった。めっき処理時に、パラメータを高精度にコントロールするには、めっき処理条件のリアルタイム監視とめっき液状態の見える化、およびそれに基づく薬剤の自動補給システムが必要となる。これらの設備は、ヤマハ発動機の生産技術部門およびヤマハモーターエンジニアリング(株)と共同開発した（図 2）。

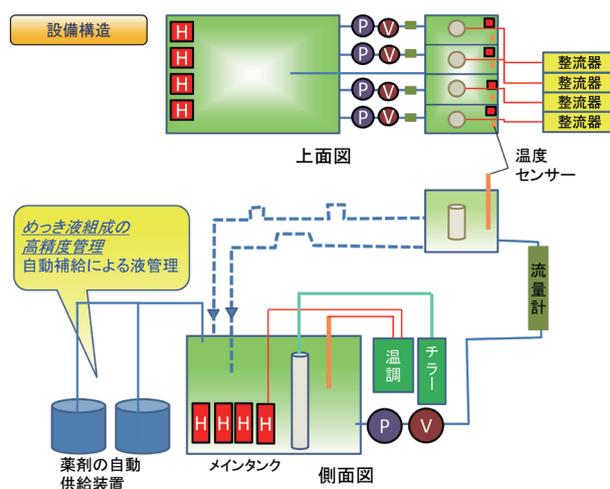


図2 めっき設備構造

3-2. めっき成分比率の測定精度向上

合金めっきの成分比率の管理においては、測定に蛍光 X 線分析装置を用いる方法を採用した。しかし、X 線のビーム径が測定部位のめっき面積に対してほぼ同じサイズであるため、めっき境界の成分濃度不均一部を測定してしまい測定精度が悪かった。そこで、めっきパターンを変更し、測定用のランドを付加し、その部位を測定することで測定精度を向上させる対策を行った（図 3）。

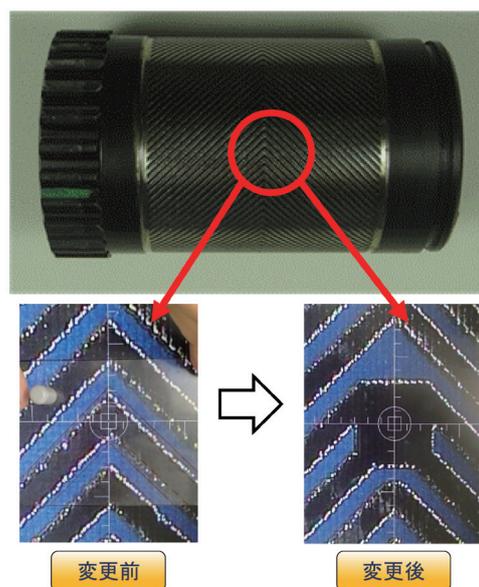


図3 合金めっき成分比率測定部位

3-3. 製造データの一元管理

高品質・低コスト化への取り組みとして、部品に関するデータ、製造条件に関するデータ、検査データ等を自動収集するシステムを構築し、各種データを一元管理、解析する仕組みを導入した（図4）。これにより、従来は紙管理であった帳票類や閾値判定しかしていなかったデータを数値でモニタリングすることが可能となった。さらに、このシステムを活用し、ラインに設置したモニタで、製造中の条件データを見える化した。これによる傾向管理を、製造中の製品や設備に関する不具合の未然防止や改善につなげている。また、製造不良等の発生時には、関連データを迅速かつ詳細に分析できるようになっている。

今後は、集まったデータから製品品質に対する影響を解析することで、コントロールするパラメータの最適化によるさらなる高品質・低コスト化を目指していく。

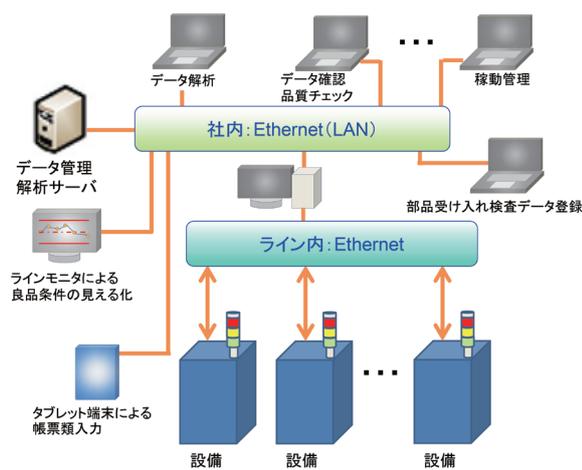


図4 構築したデータシステム

4

量産設備について

4-1. 自動搬送を用いた高品質・省力化ライン

人による作業では、落下・汚れ等の不良を発生させる可能性がある。また、めっき工程は化学物質を取り扱うため、暴露対策が重要である。そこで、作業の安全性向上、手扱いを減らした品質の均一化、省力化を目的として、「めっき前シャフトの洗浄」、「めっきパターン形成」、「パターンの検査」を自動搬送により連結した。さらに、自動めっき設備においても、「水洗」、「前処理」、「めっき処理」の各工程を自動で搬送・処理する設備を開発した。

4-2. セル型設備

自動めっき設備は、「水洗」、「前処理」、「めっき処理」、「各工程間の搬送機構」、「めっき液ストックタンク」を一つの設備に集約したセル型設備とした。このセル型設備の利点は、1セルごとの製造履歴管理と、個別の条件設定が可能なことによる条件の最適化等ができることである。また、1セルごとで設備設置ができるため、他設備を停止させることなく、フレキシブルに能力増強等が可能となる（図5）。

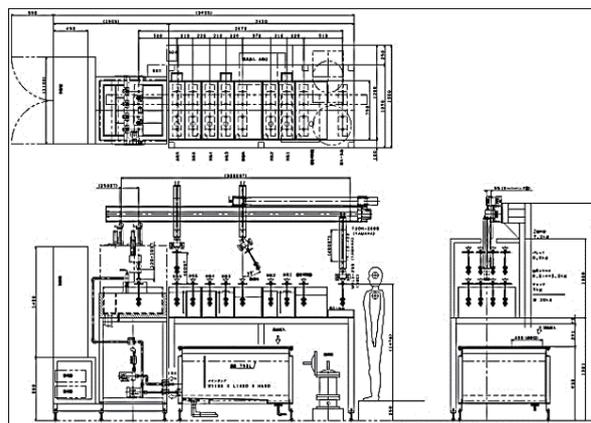


図5 セル型自動めっき設備

5

おわりに

今回、量産化に成功した磁歪膜の成膜技術により、高感度なシャフトが得られ、トルクセンサの製造コストの低減を図ることができた。しかし、量産安定化への挑戦はまだ始まったばかりである。今後も継続的な作り込みを通して、顧客満足度の高い製品開発にチャレンジしていく。

最後に、ヤマハモーターエレクトロニクスにおいて、初めてとなる電気めっき工程の立ち上げに多大な協力をいただいた社内外の多くの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

■参考文献

[1] 松井太憲ら：PAS用「トルクセンサ」の開発（ヤマハ発動機技報 No.49 2013）

■ 著者



小林 秀之 (下段右から3番目)

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

鈴木 康祐 (下段右から2番目)

Kousuke Suzuki
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
品質統括部

鈴木 康秀 (上段左から2番目)

Yasuhide Suzuki
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
製造部

萩原 拓也 (上段左から1番目)

Takuya Hagiwara
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
製造部

小柳津 奨太 (下段右から1番目)

Shota Oyaidu
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
製造部

神谷 格 (下段左から1番目)

Itaru Kamiya
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 (下段左から2番目)

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

井口 大輔 (上段右から1番目)

Daisuke Iguchi
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部

新村 英梨 (上段右から2番目)

Eri Shinmura
ヤマハモーター
エレクトロニクス株式会社
開発統括部