

防水型ホール IC 式トルクセンサの開発

Development of Waterproof Hall IC Torque Sensor

堀田健作 K. HOTTA 石原繁晴 T. ISHIHARA

JTEKT introduced Hall IC torque sensor on its electric power steering systems in 2006 as a noncontact type torque sensor and has steadily expanded application since then, but in recent years there have been demands for further cost reduction and higher performance. To meet these demands, we developed a new Hall IC torque sensor with a waterproof construction enabling low cost and high reliability as well as improved sensing characteristics.

Key Words: electric power steering, torque sensor, Hall IC, waterproof construction, temperature compensation

1. はじめに

当社は、1989年から電動パワーステアリング（以下、EPSと称す）用として非接触式の2ボビン式トルクセンサの量産を開始し、2006年にはEPSシステムへの組付けが容易な構造で、フェールセーフのために冗長性を高めた新しいトルク検出方式のホールIC式トルクセンサを開発し、量産を始めた。

しかし、近年トルクセンサのさらなる性能向上やコスト低減が求められるようになってきた。そこで、これらの要求にこたえるため、従来のホールIC式トルクセンサを改良した新型ホールIC式トルクセンサを開発したので、以下に紹介する。

2. EPS用ホールIC式トルクセンサの概要

2.1 EPSシステムの構造

EPSシステムの構造を図1に示す。EPSシステムの主要な電気部品はトルクセンサ、コントロールユニット、およびモータである。

ステアリングホイールからの操舵力は、トルクセンサで検出され、そのトルク信号がコントロールユニットに送られる。コントロールユニットは、トルク信号と車からの車速信号に応じた電流をモータに流すように制御することで、操舵力の適切な補助を行う。

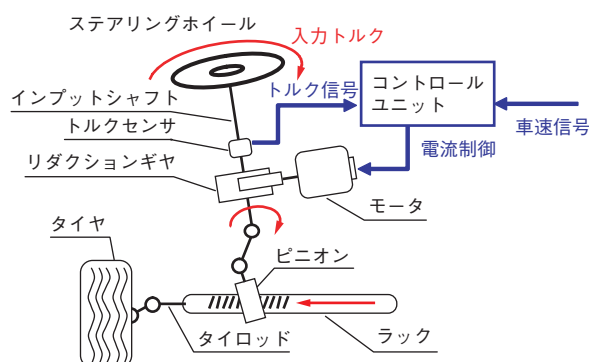


図1 EPSシステムの構造
Structure of EPS system

2.2 ホールIC式トルクセンサの動作原理

ホールIC式トルクセンサの構造を図2に示す。ステアリングホイールが操舵されていないときは、ヨーク歯部がマグネットのN極とS極の表面磁束を短絡しており、ホールICに磁束が伝わらない（図3上）。

操舵力が加わると、トーションバーで連結されたマグネットとヨーク歯部に角度差が生じ、マグネットの磁束が磁気ヨークからリングコアに伝達される。リングコアの突起部に挟まれたホールICにトーションバーのねじれ角に比例した磁束が伝わることで操舵トルクを検出する（図3下）。

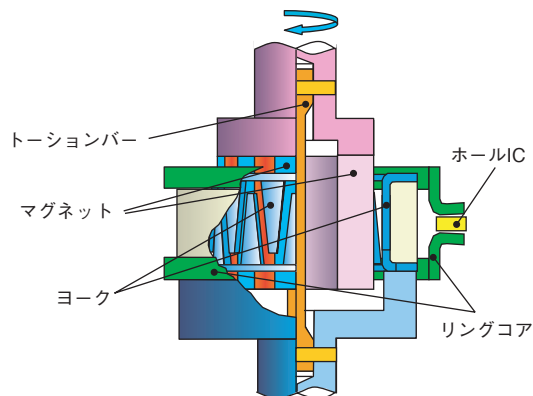


図2 ホールIC式トルクセンサ構造
Structure of Hall IC torque sensor

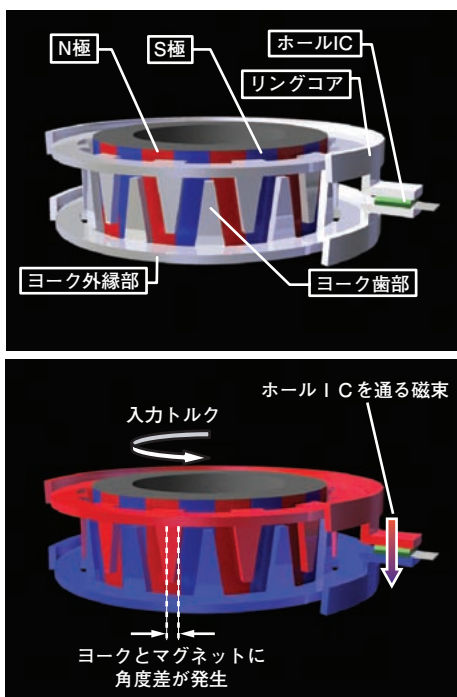


図3 ホールIC式トルクセンサ検出原理
Hall IC torque sensor's detection principle

3. 開発の目的

量産中の従来型ホール IC 式トルクセンサは、2 ボビン式トルクセンサと比べ性能が大きく向上しており、多くの車種に使用されているが、トルクセンサは EPS システムの基幹部品であり、高性能化と低コスト化の両立を追求し続ける必要がある。そこで今回、以下の点を目標として新型ホール IC 式トルクセンサの開発に着手した。

- ・新防水構造の採用による高い信頼性の確保とコスト低減
- ・新型ホール IC の採用によるセンサ出力性能の温度特性の向上

4. 防水構造技術について

4.1 センサ本体とケーブル間の防水原理

新型ホール IC 式トルクセンサを図4に示す。EPS システムを自動車のエンジンルームに搭載する場合、全部位の防水性を確保する必要がある。

防水の方法として O リング、熱収縮チューブや防水コネクタの方法が一般的であり、信頼性も高い。しかし、製品本体とそのケーブルの間の防水(図4 A 部)については、生産性と信頼性を両立できる方法が少なく、コスト増加の要因となっている。

新型ホール IC 式トルクセンサでは基板アッセンブリ(以下、ASSY と称す)本体にナイロン材を、ケーブルシースにはポリウレタン材を採用し、基板 ASSY 本体(ナイロン)の樹脂成形時の熱によりナイロンとポリウレタンを溶融させ、お互いの溶融による接合により防水性を確保する構造とした(図5)。この方法により、新たに特別な工程や設備を導入することなく、容易に生産ができ、その上材料の溶融接合によって信頼性の高い防水性を確保でき、生産性と信頼性の両立を可能とした。

また、この部位の接着強度はナイロンとポリウレタンの溶融時の温度に依存するため、十分な強度が確保できるよう、溶融状態を確認し、樹脂の成形条件を最適化することで対応した(図6)。

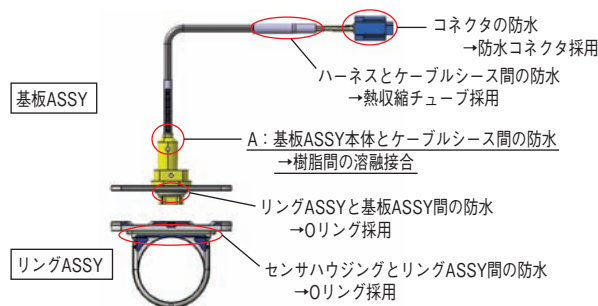


図4 トルクセンサ防水部位
Torque sensor waterproof parts

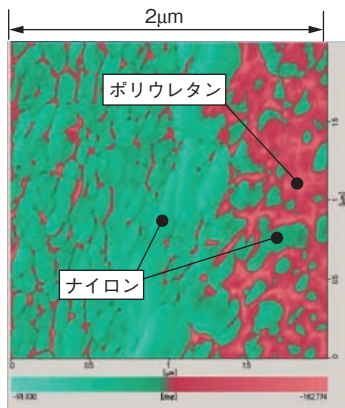


図5 ナイロンとポリウレタンの熔融状態
(走査型プローブ顕微鏡の位相測定結果)
Melting state of nylon and polyurethane (Result of phase measurement in scanning microscope)

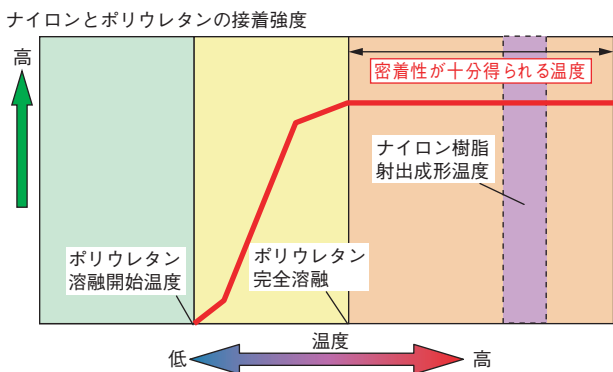


図6 基板ASSY本体とケーブルシースの成形温度による接着強度
Bonding strength between circuit board assembly and cable sheath vs. molding temperature

4.2 評価結果

耐久試験の結果を表1に示す。試験条件は自動車メーカー各社の仕様を基に検討した当社の社内スペックに基づいて実施した。その結果、すべての評価項目に合格し、高い信頼性が確保できていることが確認できた。

また試験後サンプルの断面観察においてもケーブルと樹脂本体のすきまはなく、十分な防水性を確保していることも確認できた(図7)。

表1 信頼性試験結果
Reliability test results

No.	試験項目	試験方法	結果
			防水性
1	高温放置試験	125℃ / 720h	○
2	低温放置試験	-40℃ / 164h	○
3	熱衝撃試験	-40 ~ 125℃ / 500 サイクル	○
4	高温高湿通電	85℃ / 85%RH / 1 000h	○
5	リード線 引っ張り強度	98N / 1min	○
6	複合サイクル試験	-40 ~ 125℃ / 44.1m/s ² X, Y, Z 方向 / 各 10 サイクル	○
7	温湿度サイクル試験	-40 ~ 100℃ / 95%RH / 30 サイクル	○

○ : 合格

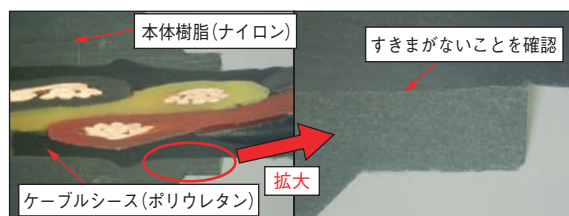


図7 基板ASSY本体とケーブルシース接合部の断面状態
Cross section of circuit board assembly and cable sheath bonding part

5. 温度特性向上

防水型トルクセンサは、自動車のエンジンルーム内への搭載を想定しているため、車室内に搭載される非防水型に比べて厳しい環境下で使用される。このため防水性の他に、広範囲における温度変化、特に高温環境下において製品の性能が変化しないことが求められる。

トルクセンサの温度特性は自動車の操舵感に影響を及ぼすため、優れた特性が要求される。特に最近では欧州メーカーの要求が厳しくなっており、さらなる温度特性の向上が必要となっている。

そのため、ホール IC 式トルクセンサは温度補正機能を用いることにより、温度による影響を受けないトルク検出機構を実現している。特に新型として採用したホール IC には、ジャンクション温度が測定できる温度センサを内蔵し、デジタル信号で補正しているため、従来型ホール IC よりも温度特性が良好である(表2)。

表2 ホール IC 温度特性比較

Comparison of Hall IC temperature characteristics

		従来型 IC	新型 IC
磁界オフセット	仕様	+/-0.5mT	+/-0.4mT
	75mV/mT	± 37.5mV	± 30mV
磁界オフセットドリフト	仕様	+/-10μT/℃	+/- 5μT/℃
	75mV/mT	± 75mV	± 37.5mV
温度補正手段		ホール素子の バイアスに依存	ジャンクション 温度センサ

温度変化による製品の性能への影響は、構成する各部品の材質固有の温度特性が主な要因として考えられている。たとえばホール IC 式トルクセンサの場合では、構成部品となるマグネット、ヨーク、リングコア、およびホール IC 素子自体の温度変化による特性の変動の和が、その温度におけるトルクセンサ性能の変動として現われる。

ホール IC 式トルクセンサの持つ温度補正機能は、各温度における変動の傾向を打ち消すように補正をかけ、保証温度範囲において、常温 (25℃) と同等性能を実現することができる。

エンジンルーム内へ搭載したホール IC 式トルクセンサの温度特性の測定結果を示す (図8)。

従来型および新型ともに温度補正を実施しており、保証温度範囲 (-40℃~125℃) において、操舵に影響を与えない保証性能レベルを満足している。

また新型は従来型に比べ温度特性の向上が確認でき、欧州メーカーの要求性能に対して、従来型から安全率を高めることができた。

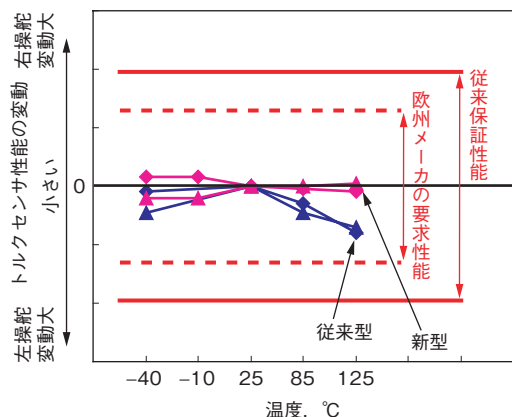


図8 温度補正による特性改善効果

Improvement achieved by temperature compensation

6. その他の構造

① PPS 樹脂

エンジンルーム内に搭載される製品は、厳しい環境下において基本性能を維持することとさらに部品の腐食や経年劣化に対して耐性を持つ必要がある。前項でも記述したが、欧州メーカーでは近年特に要求仕様が厳しくなってきたおり、耐環境性の向上が必要となっている。

そのため新型のリング ASSY の樹脂は従来型の PBT よりも耐環境性に優れた PPS を採用し、良好な結果を得ている (表3)。

表3 耐環境性比較

Comparison of environment-resistant performance

内容	従来型	新型
耐高低温性	○	○
耐湿性	○	○
寿命 (気圧, 温度, 湿度を組み合わせた複合条件)	○	◎
耐腐食性 (塩水腐食)	○	○
耐酸性	○	◎
耐アルカリ性	△	◎
耐油性	○	◎
総合評価	○	◎

◎: 優, ○: 良, △: 可

②コスト低減

従来型のホール IC 式トルクセンサは、基本設計が非防水型である。これに防水機能を付加するために非防水型 (ベース) + 追加部品という構造にした結果、高コストになった経緯がある。

一方、新型は当初より防水型仕様を目標として新たに採用した基本設計に防水構造を盛り込み、また部品の内製化を進めることで、従来型と比較して低コスト化に成功した (図9)。

また分割構造 (図4) の採用により、基板 ASSY を防水型と非防水型で共通設計とした。これにより車種ごとに異なる部分はコネクタの形状とハーネスの長さのみに限定できたことも、コスト低減の1つの要因となっている。

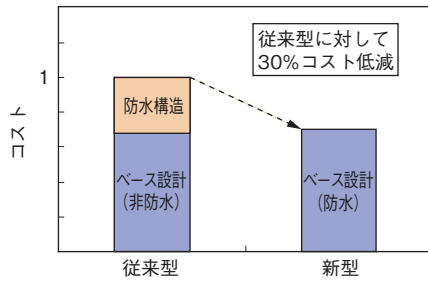


図9 コスト比較
Cost comparison

7. おわりに

ホール IC 式トルクセンサは量産を始めてからまだ間もないが、今回のように継続して性能面、コスト面での改善を進めており、サプライヤとしてより幅広い要求にこたえられるよう活動している。

また、現在の自動車の省エネルギー、コンパクトカー志向の要求に対しても、搭載される EPS からの要求を満足させるように軽量化、省スペース化にも取り組み、実用化に向けて開発を継続していく。

筆 者



堀田健作*
K. HOTTA



石原繁晴**
T. ISHIHARA

* ステアリング事業本部 第1 電子技術部

** ステアリング事業本部 実験解析部