

高機能EPS用電動モータの開発

黒川 芳輝

1 はじめに

KYBは日産自動車(株)殿のINFINITI Q50^{注1)}に搭載されるダイレクトアダプティブステアリング^{注2)}(以下DAS)向けEPS製品の量産を開始した。

ここでは、2ピニオン-2モータで高出力・冗長性を持つSteering Angle Actuator (以下ステアリングギヤボックス)と、DASの特長とも言えるステアリングギヤボックスとステアリングホイールの機械連結がない状態において、走行状態・路面状況に応じ操舵反力を与えるSteering Force Actuator (以下、反力モータ)について述べる。

なお、システム概要とECUについては、本号の高機能EPS用ECUの開発(P49)を参照されたい。

注1) Q50の国内向け販売名称はスカイライン。ハイブリッドエンジン搭載モデルはDAS標準装備。スカイライン、INFINITI、Q50は日産自動車(株)殿の商標。

注2) ダイレクトアダプティブステアリングは日産自動車(株)殿の商標。当社では高機能EPSと呼ぶ。

2 開発背景

DASのシステム概要についてはECUの製品紹介で説明がなされているので、本章では割愛するが、当社が日産自動車(株)殿からDASのユニット開発引合を頂いたのは2009年に遡る。1ピニオン式のラック&ピニオンEPSギヤボックスの試作受注が開発の始まりである。当時、当社では hidroリックコンポーネツ事業本部の製品であるミニモーションパッケージ用のブラシ付き電動モータを電子機器事業部にて内製・量産をしていた。しかし、車載用となるDAS用モータは信頼性及びサイズ要求も厳しく、ブラシレスモータ(以下BLM)の搭載が必須要件であった。更には、通常のEPSには存在しないステアリングホイールとつながる操舵反力を発生させる反力モータも加わるなど特殊性が高く、専用設計が必要であり市場購入品での対応は難しいものであった。

また、かねてより社内電装品技術の向上・内製化を図るため、AC事業本部の協力を得ながら、基盤技術研究所においてEPS用BLMの内製化研究・開発を進めていた。厳しい要求に対応すべくこれまでの研究・開発成果を基に、ステアリングギヤボックス用モータ(以下、転舵モータ)と反力モータの2つのモータの製品化を実現した。

各々モータの概要について次節で説明する。

3 転舵モータ

3.1 製品仕様

本開発品のステアリングギヤボックス搭載位置を図1、構造を図2、主要緒元を表1に示す。

ステアリングギヤボックスは必要ラック推力の確

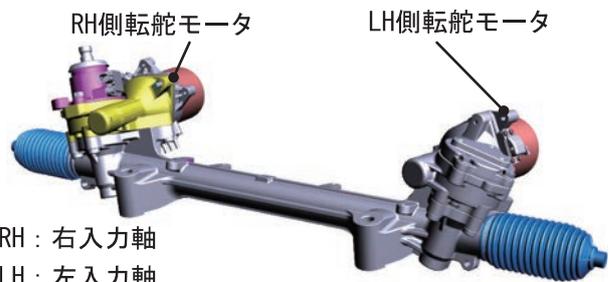


図1 DAS用ステアリングギヤボックス

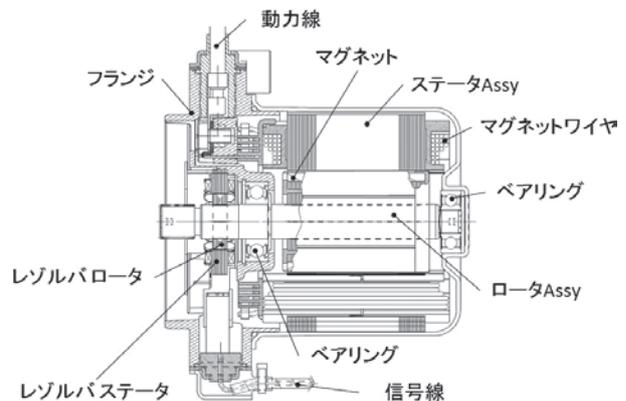


図2 転舵モータ構造

保と車両への搭載性から、2つのモータが搭載されている2ピニオン式のラック&ピニオンEPSギヤボックスであり、電気的にも冗長系構成としている。

表1 転舵モータ主要緒元

項目	仕様
駆動電圧	12V
定格電流	80Arms
トルク	4.5N・m at 80Arms
回転数	1050 rpm at 80Arms
モータ形式	SPM-BLM
極数&スロット数	6P-9S
サイズ	φ80×L97.2 (本体)
磁極角度検出	レゾルバ (VR型)
動作保証温度範囲	-40℃~100℃
保存温度範囲	-40℃~120℃

3.2 特長と構成

モータ形式は、インナーロータ^{注3)}で表面に永久磁石を張り合わせた、回転界磁形式の一般的な磁気回路構成をもつSPM (Surface Permanent Magnet) BLMである。

永久磁石には希土類ネオジウム焼結磁石を採用し、モータサイズの小型化を図っている。

小型化の実現にはステータAssyのコイル高密度巻線が欠かせない。今回のDAS用モータの共同開発・製造委託先である(株)TOP殿の高占積ボビン巻線の巻線技術により、φ1.4mmの太線径マグネットワイヤの高密度巻線を可能にし、小型・高出力を実現した。

ステアリングギヤボックスは、対象車種がハイブリッド車、ターボエンジン車で、右ハンドル車、左ハンドル車、2輪駆動車、4輪駆動車と多彩であり、かつエンジンルーム内の搭載スペースが限られることから、モータフランジは3種類の形状を使い分け、ステアリングギヤボックス全6仕様に対応する。

動力線Assy、信号線Assyはステアリングギヤ

ボックスの種類毎に長さ、コルゲートチューブ^{注4)}やクリップ実装位置などの外装が異なり、動力線6仕様、信号線9仕様と多仕様となっている。しかし、フランジと動力線、信号線Assy以外の部品は全て共通部品で構成され、多仕様化によるサブAssyの発生は抑制している(表2)。

注3) ロータが内側配置、ステータが外側配置された構造。

注4) 電線の保護、集束に使用する蛇腹チューブ。

4 反力モータ

4.1 製品仕様

本開発品の外観を図3、構造を図4、主要緒元を表3に示す。

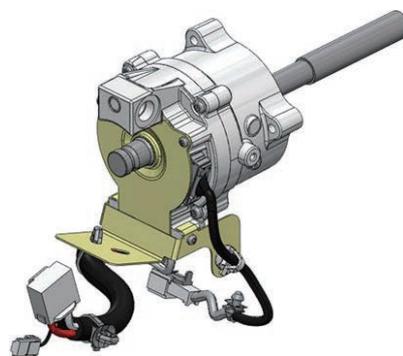


図3 反力モータ概略図

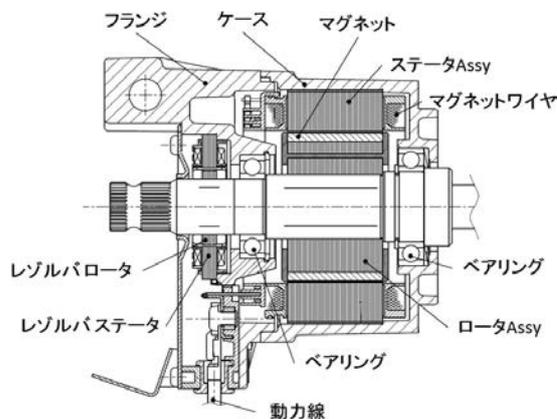


図4 反力モータ構造

表2 転舵モータの構成Assyの種類

ステアリングギヤボックス種類	I		II		III		IV		V		VI		仕様数
エンジン・駆動方式	A				B				C				
ハンドル形式	LHD (左ハンドル)		RHD (右ハンドル)		LHD (左ハンドル)		RHD (右ハンドル)		LHD (左ハンドル)		RHD (右ハンドル)		
転舵モータ配置側	LH	RH											
ロータ Assy	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	1
ケース Assy	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	2
フランジ Assy	a	b	a	b	a	c	a	c	a	b	a	b	3
動力線 Assy	a	b	a	b	c	d	c	d	e	f	e	f	6
信号線 Assy	a	b	c	d	e	f	g	f	h	i	h	i	9

表3 反力モータ主要緒元

項目	仕様
駆動電圧	13V
最大電流	43Arms
トルク	8.6N・m at 35Arms
モータ形式	SPM-BLM
極数&スロット数	14P-12S
サイズ	φ90×L85.9 (本体)
磁極角度検出	レゾルバ (VR型)
動作保証温度範囲	-35℃~70℃
保存温度範囲	-40℃~85℃

4.2 特長と構成

転舵モータと同様なSPMモータであるが、ステアリングホイール軸がそのままモータ軸となっていることが特長である。これは、操舵反力に関するガタや遅れがないダイレクト感を重要視した客先要求仕様である。モータ軸はコラムAssyを介してステアリングホイールに直結されるため、モータのトルク脈動がそのままステアリングフィーリングとして運転者に伝わることから、反力モータは多極化を採用し、ステアリングフィーリングを損なわないようにトルク脈動の低減を図った。

また、多彩な運転シーンにおいてのステアリングインフォメーションに対応、伝達するため低回転・高トルク型モータである。

本製品の搭載位置はステアリングコラム部であり、スペース制約も厳しく小型でなければならない。転舵モータよりも高磁束密度磁石の採用と、細線マグネットワイヤによりターン数を稼ぐことで高トルクを確保しながら小型化を実現した。

5 共通課題

5.1 トルク脈動の抑制

先にも述べたが、反力モータはステアリングホイール直結がゆえにトルク脈動を抑制することが必要とされる。転舵モータも同様に位置制御の使われ方から滑らかに駆動するように音・振動の抑制のため通電時のトルク脈動を抑制することが重要である。

本製品の磁気回路は品質工学の手法を取り入れ、トルク脈動に影響度の高い因子を抽出し通電時の発生トルクの低下を回避しながら、トルク脈動を抑制する形状最適化を行っている。図5に解析モデル、表4に選定因子、図6に解析結果を示す。

この最適化により得られた磁石形状については特許取得済みである (特開2012-210033)。

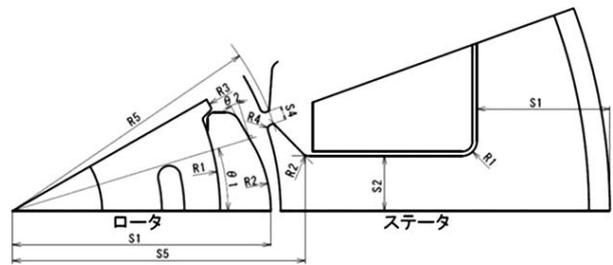


図5 解析モデル

表4 選定因子

分類	記号	部位
ステータ	S1	ヨーク側厚み
	S2	ティース幅
	S4	オープンスロット間距離
	S5	ティース先端厚み (根元部)
	R1	ティース隅部R (ヨーク側)
	R2	ティース隅部R (先端側)
	R4	ティース先端角部R
ロータ	R1	マグネット内側R
	R2	マグネット外側R
	R3	コア突起部高さR
	S1	マグネット頭頂部高さ
	θ1	マグネット片落ち起点角度
	θ2	マグネット片落ち角度

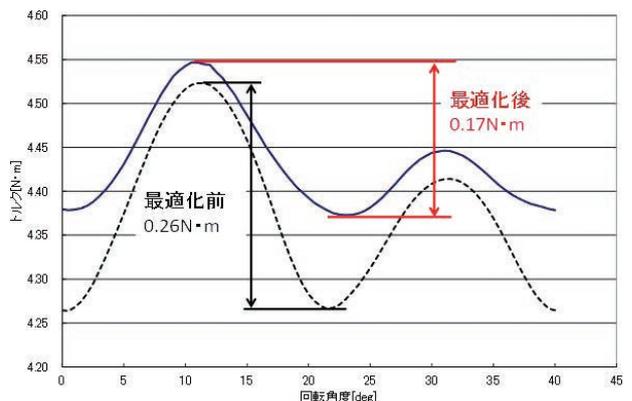


図6 解析結果 (通電時トルク波形)

5.2 組立ライン

この2つのモータは、先にも説明したが本製品化に向け共同開発を行った(株)TOP殿に製造を委託して生産している。

開発当初は転舵モータのみの引合で、反力モータは開発途中から客先要請の引合に対応し、受注と

なった経緯がある。転舵・反力モータはモータのサイズ・構成部品数が異なり、かつ車両当りの搭載数も異なるため（転舵モータは2台、反力モータは1台）、各々モータの組立ラインを専用ライン化すると高額な設備投資が必要となる。モータのサブAssy構成が同じとなるように反力モータを設計し、組立工法を同一とすることで、段取り替えて両モータを組立可能な共用ラインとして投資抑制を図った（写真1）。



写真1 電動モータ組立ライン風景（株TOP殿提供）

6 おわりに

今回、当社は日産自動車(株)殿、世界発のステアリングシステムの市場投入に貢献することができた。本製品の開発は、他ユニット製品と同様に当社を中心として(株)TOP殿との社内外横断的チームを構成したプロジェクト活動を通して、開発から生産まで一貫した技術構築を果たした成果である。

その成果を生かし今後、本製品の原価低減と更なる性能向上、新規モータの開発に努めていきたい。最後になりましたが、本開発にあたり、日産自動車(株)殿のプロジェクト関係者をはじめ、社内外の関係各位より頂いた多大なるご支援、ご協力に本誌面をお借りして厚く御礼申し上げます。

著者



黒川 芳輝

1996年入社。技術本部電子技術センター開発室。電動モータの設計・開発に従事。