

ハイブリッドカー「インサイト」用 薄型DCブラシレスモータの開発

Development of the Ultra-thin DC Brushless Motor for Hybrid Car – INSIGHT

嶋田 明 吉* 小 川 博 久*
Akiyoshi SHIMADA Hirohisa OGAWA
中 島 稔* 島 田 裕 央*
Minoru NAKAJIMA Hiroo SHIMADA

要 旨

超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の補助駆動用として、軽量・高効率の薄型 DC ブラシレスモータを開発した。本モータは、エンジンとトランスミッションの間に挟む配置構造上の制約を薄型化することで克服している。薄型化は、分割ステータでの突極集中巻きと集中配電バスリングで達成した。これらの技術の採用により、電磁気回路部分の幅をわずか 60mm としながらも、最大トルク 83.3N・m、最高出力 10kW の性能を実現した。またモータはその配置からクラッチ室と同等の水および塵あいにさらされるため、チャンバ構造とラビリンス構造を併用したドレイン、およびステータカバーと回転センサディスクによる異物侵入防止構造で耐環境性を満足するモータとした。

ABSTRACT

We developed an ultra-thin DC brushless motor for use as the auxiliary drive of the ultra-low-fuel-consumption hybrid car, “INSIGHT”.

Use of an ultra-thin design for this motor overcomes restrictions on the layout construction between the engine and the transmission. The ultra-thin design was achieved using a concentrated winding for the salient-pole of the split stator and a centralized distribution bus ring. Utilization of these technologies resulted in a maximum output performance of 10 kW at a maximum torque of 83.3 N·m while keeping the width of the electromagnetic motor circuits to mere 60 mm. In addition, since the use of this arrangement for the motor subjects it to the effects of water and dirt just as with the clutch compartment, a joint chamber and labyrinth construction is used to form a drain. Meanwhile a stator cover and disk sensor are employed to prevent foreign matter from entering. This design achieves a motor capable of withstanding a harsh ambient environment.

1. まえがき

地球温暖化やオゾン層破壊などの環境問題に対し、自動車の低燃費化およびエミッション低減の要求がますます高まってきている。その一つの回答として、35km/L(10・15モード)の超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」を開発した。同車に搭載したIMA(Integrated Motor Assist)システムは、エンジンを主動力、モータを補助動力として使用するパラレルハイブリッド方式を採用し、モータを始めシステム全体の小型・軽量化を可能とした⁽¹⁾。

モータ開発にあたっての技術課題は、車両要求性能を満足しつつ、1.5L クラスのエンジンルームに IMA システムのパワートレインを横置きするための薄型化、およびエン

ジンと同等の耐環境性の確保であった。本稿では、これらの技術について述べる。

2. モータの機能と課題

Fig.1 に IMA システム のエンジンとモータを、Fig.2 にシステム構成を示す。本システムはパラレルハイブリッド方式であり、モータは走行状態に応じて、主動力源のエンジンを補助駆動(アシスト)する機能、制動エネルギーを電力として回生する機能、12V 負荷分を発電する機能を有している。また、アイドル停止後のエンジン再始動も本モータで実施している⁽²⁾。

これらの機能を満足し、かつ燃費 35km/L(10・15 モード)を達成する車両とするために、パワートレイン全体を小型・軽量化する必要があった。そのためにモータはエンジンと直結構造としトランスミッションとの間に挟む配置とした。モータ開発においては薄型化および耐環境性に重点を置き、技術課題を下記の通り設定した。

- (1)コンパクト：1.5L クラスのエンジンルームにパワートレインを横置きできる薄型モータとする
- (2)耐環境性：エンジンとトランスミッションの間の環境における耐久性を有する



Fig.1 IMA power unit

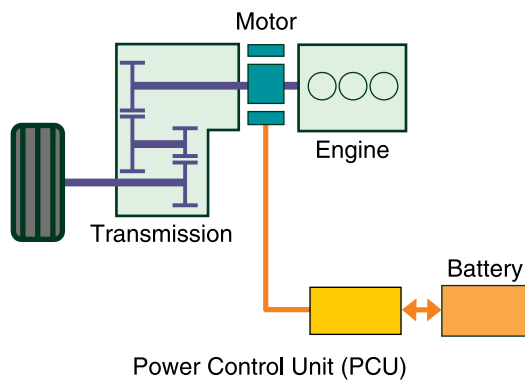


Fig.2 IMA system construction

3. モータ薄型化の技術

Fig.3 にステータの構成を示す。ステータは突極集中巻きの分割された磁極と集中配電バスリング、およびステータホルダで構成されており、この構造が薄型化技術の核となる。以下にその技術の詳細を述べる。

Fig.4 に従来の巻線方式の例と、今回開発した巻線方式を示す。通常、ステータは一体で成形される事が多く、巻線方式としては波巻き方式もしくは突極集中巻き方式とするのが一般的である。それぞれの方式にはモータの薄型化に対し次の課題が挙げられる。

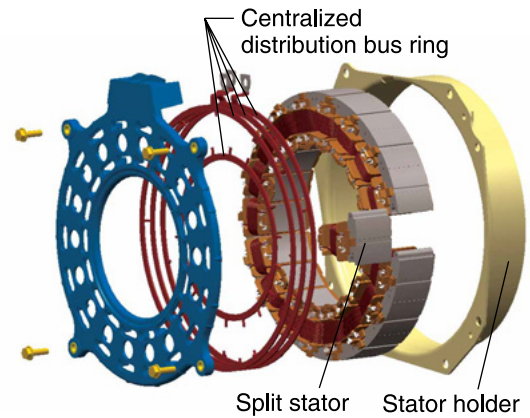


Fig.3 Stator construction

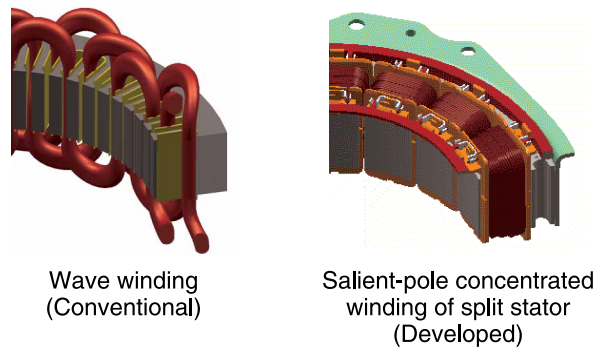


Fig.4 Comparison of winding

波巻き方式を採用した場合は、巻線渡り部の幅寸法の増加と巻線工程時間の増加が問題となる。また、一体型ステータで突極集中巻き方式を採用した場合は、Fig.5 に示す巻線ノズルの移動スペースを確保するため、巻線可能範囲が減少する。この課題を次の構造技術で解決した。

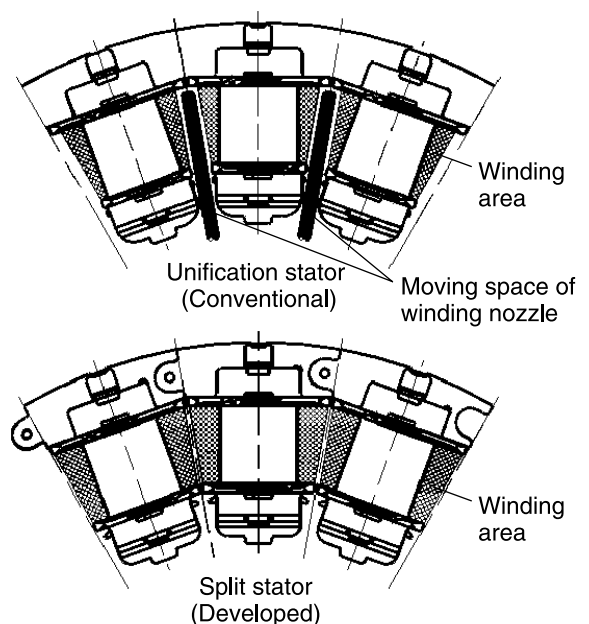


Fig.5 Comparison of winding area

3.1. 分割ステータでの突極集中巻き

Fig.6 に今回採用した分割ステータでの突極集中巻きの巻線状態を示す。巻線可能範囲は、分割ステータを採用する事で巻線ノズルの移動スペース確保が不要となるため、一体ステータに対し約 70%の拡大を実現した。更に突極集中巻きで整列性を維持し、巻線の占積率を上げることと集中配電バスリングとの組み合わせにより、電磁気回路部分の幅を狭くし、車両要求トルクを満足するモータを実現した。

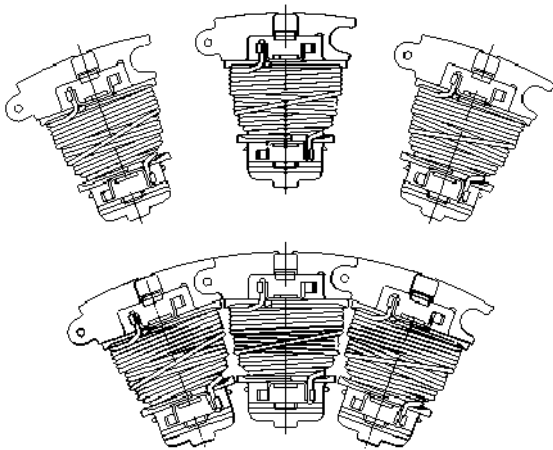


Fig.6 State of winding with split stator

また一体ステータに比べ、本方式は生産性も向上している。第一に、珪素鋼板の歩留まり向上が挙げられる。歩留まりを向上するために、Fig.7 に示す通りステータを分割して抜いている。第二に、型内かしめによる積層・固定工程の簡略化が挙げられる。また、ステータの分割により一極ごとに巻線作業を行う事ができるため、設備の小型化も可能とした。

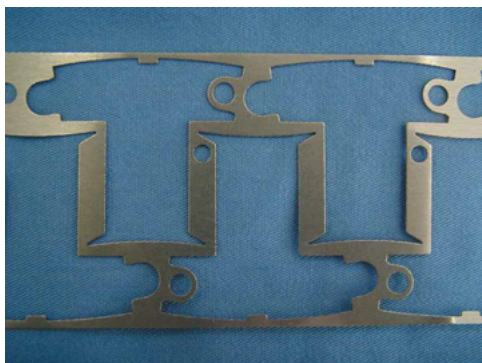


Fig.7 Blanking of flat rolled silicon steel

3.2. 集中配電バスリング

本モータは三相モータであり、Fig.8 の等価回路に示すように、各相に巻線を6個、並列接続している。

同図の赤色の部分が集中配電バスリングに相当する。この部品は、銅板より打ち抜きで成形したもので、各巻線を結線している。従来の方式では各相で6本の巻線を渡り線として配線と固定をしていたため、生産性が問題となっていたが、集中配電バスリングの採用により、ターミナル部でヒュージングするのみとし作業の簡略化を可能とした。Fig.9 に集中配電バスリングを使用した場合としない場合の実態配線図を示す。集中配電バスリングを使用することで、渡り線部が簡略化されていることが分かる。

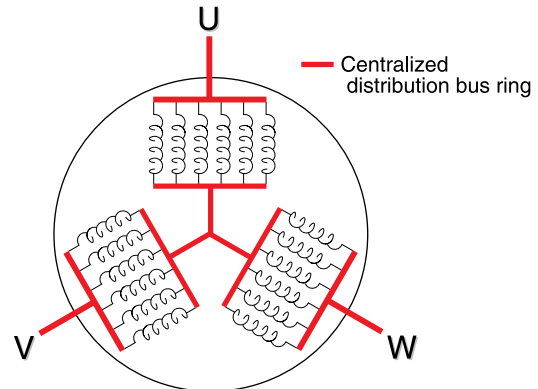


Fig.8 Equivalent circuit of the motor

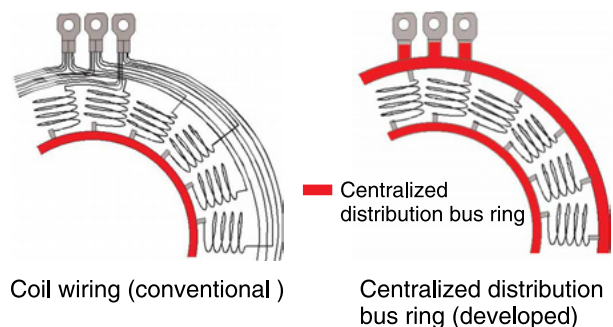


Fig.9 Comparison of wiring

また、薄型化のために、三相の集中配電バスリングはFig.10 に示すように重ねて配置した。重ね構造では相間の絶縁方法が課題となるが、実用時に要求される、熱、振動、塵あい等の耐環境性を満足させるため、絶縁コーティング材料としてフッ素を選定した。フッ素コーティングの厚さの設定は、Fig.11 のデータを判定基準の指標とし耐久信頼性のテストを実施した上で、要求性能を満足する膜厚とした。更に冷熱加振と塵あいの複合条件で評価テストを実施する事により、実用時に発生する振動レベルではフッ素コーティングが摩耗しないことも明らかにした。これらの技術により、従来技術に対しモータの幅を約 40%低減し、厚さ 60mm の薄型モータを実現した。

Fig.12 に小型・軽量化を達成したパワートレインを、Table 1 および Fig.13 にモータの仕様と性能を示す。

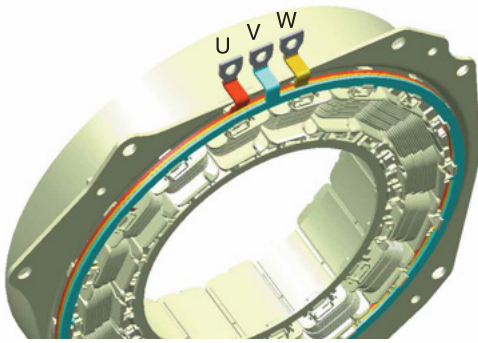


Fig.10 Layout of centralized distribution bus ring

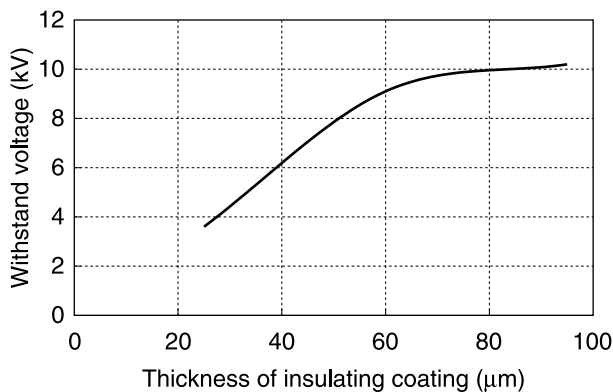


Fig.11 Isolation performance curve

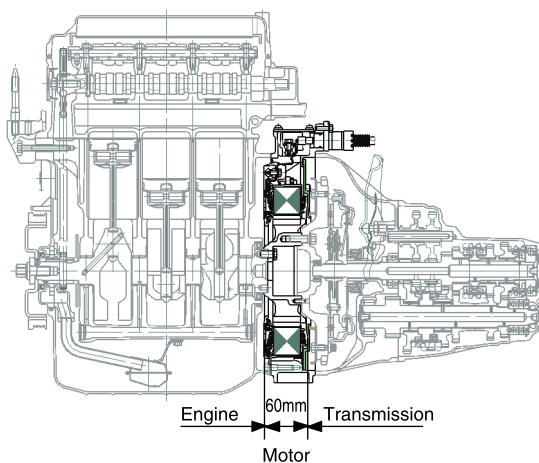


Fig.12 Cross section of hybrid power train

Table 1 Specifications of motor

Motor type	DC brushless	
Number of phase	3 phases	
Number of pole	12 poles	
Number of slot	18 slots	
Weight	18.6kg	
Maximum output power	Starter	83.3N-m/2kW
	Assist	49.0N-m/10kW
	Regeneration	83.3N-m/10kW

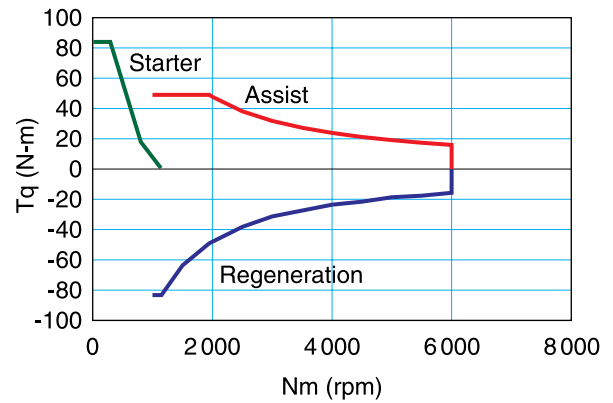


Fig.13 Motor power performance curve

4. 耐環境性技術

本モータは、エンジンとトランスミッションの間に挟まれておりクラッチ室内にモータが配置されるため、水密構造にすることが困難である。従って水等が入り難く、かつ、浸水した場合は速やかに排出されることを開発目標とした。またクラッチ摩耗粉等の磁性体を含む異物とモータが共存する構造となっているため、モータの電磁気回路への異物侵入を防ぐ必要がある。これらの課題を以下の手法で解決した。

4.1. ドレイン構造

水等が入り難く、かつ、浸水した場合は速やかに排出されるように本モータはドレインとブリーザを備えた。特に車載レイアウト上、モータ下端がほぼ最低地上高となるため、ドレイン構造に留意した。水溜まりを走行した場合、タイヤで跳ね上げられた水は圧力がかかった状態でモータハウジングにぶつかるため、ドレインは穴を開けただけでは、その穴から水がモータ内部に噴出してしまう。

Fig.14 は開発初期のドレイン構造である。ハウジングにパイプを圧入し、進行方向を避けてパイプの口を設置したが、水圧が高いため、パイプからモータ内部に浸水が見られた。

そこで、Fig.15 に示す構造を採用することでこの問題を解決した。これは排出口とモータ内部に通じる穴を分離しチャンバ構造とすることで容量を付加し、さらにチャンバ内にラビリンスを設けることで浸水を防ぐものである。

4.2. クラッチ摩耗粉等の異物侵入防止構造

モータが配置されるトランスミッションのクラッチ室は、基本的に大気開放である。よって塵あいを含めた異物がクラッチ室に侵入する。またクラッチの断続によりクラッチ摩耗粉も発生しクラッチ室内に浮遊する。これらがモータの巻線やマグネットに多量付着するとモータ性能に影響を及ぼすためダストシール構造とした。

ダストシール構造は Fig.16 に示すように、ステータカバーと回転センサディスクでラビリンス構造を形成しクラッチ室からの異物侵入を抑制するものである。本構造の採用により、モータ部への異物侵入を防ぐことができ、車両の耐用年数を満足するモータとなった。

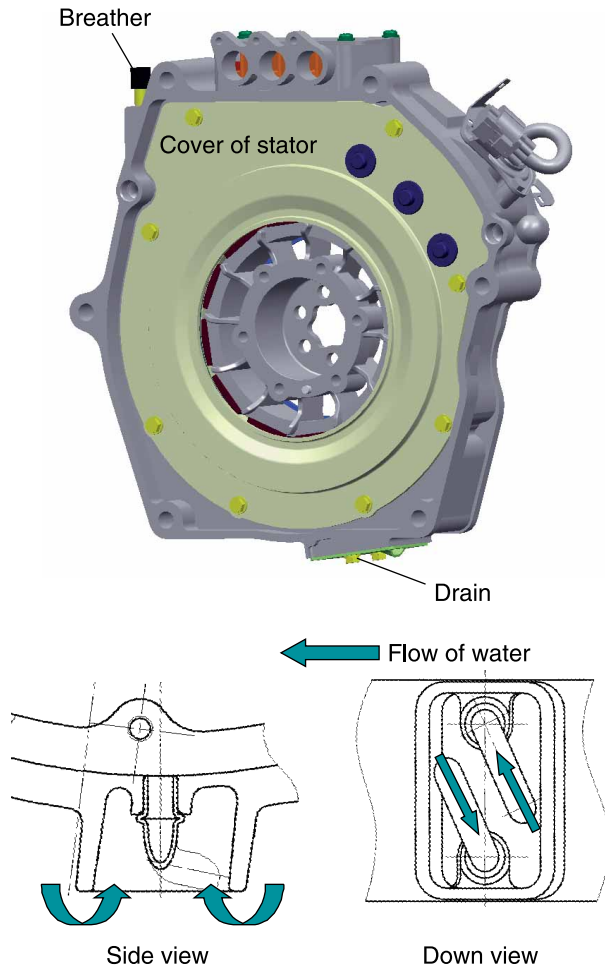


Fig.14 Prototype of drain construction

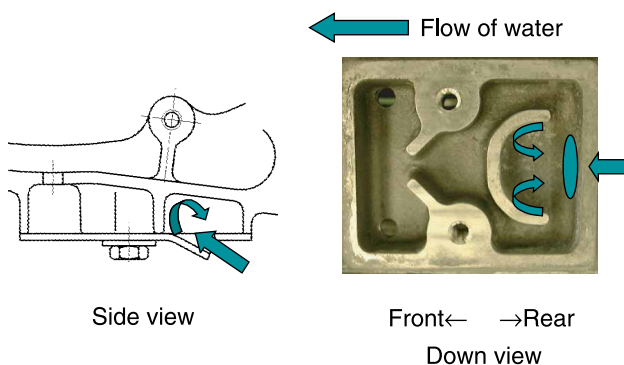


Fig.15 Production model of drain construction

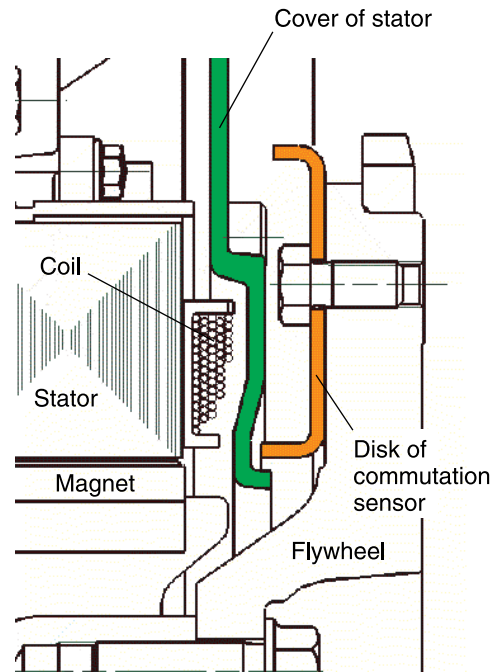


Fig.16 Enlarged cross section of motor & transmission

5. まとめ

以下の薄型化技術と耐環境性技術により、コンパクトなハイブリッドパワートレインを成立させる薄型モータを完成した。

(1) 分割ステータでの突極集中巻き

従来の一体ステータに対し巻線可能範囲を約 70%拡大した。

(2) 集中配電バスリング

従来の巻線渡り線部の配線・固定工程を、ヒュージングのみの作業とし簡略化を図った。

(3) ドレイン構造の最適化

チャンバ構造とラビリンス構造を併用した。

(4) クラッチ摩耗粉等の異物侵入防止構造

ステータカバーと回転センサディスクでラビリンス構造を形成した。

参考文献

- (1) 堀尾幸一, 藤村 章, 斉藤政昭, 角田和彦, 瀧口士郎: 超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.1-8 (1999)
- (2) 落合志信, 内堀憲治, 原 一広, 鶴見隆史, 鈴木実: ハイブリッドカー「インサイト」用モータアシストシステムの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.1, p.7-14 (2000)

■著 者■



嶋田明吉



小川博久



中島 稔



島田裕央