

# ベルト駆動式モータジェネレータ

藤田暢彦\*

*Belt-drive Motor Generator*

Masahiko Fujita

## 要旨

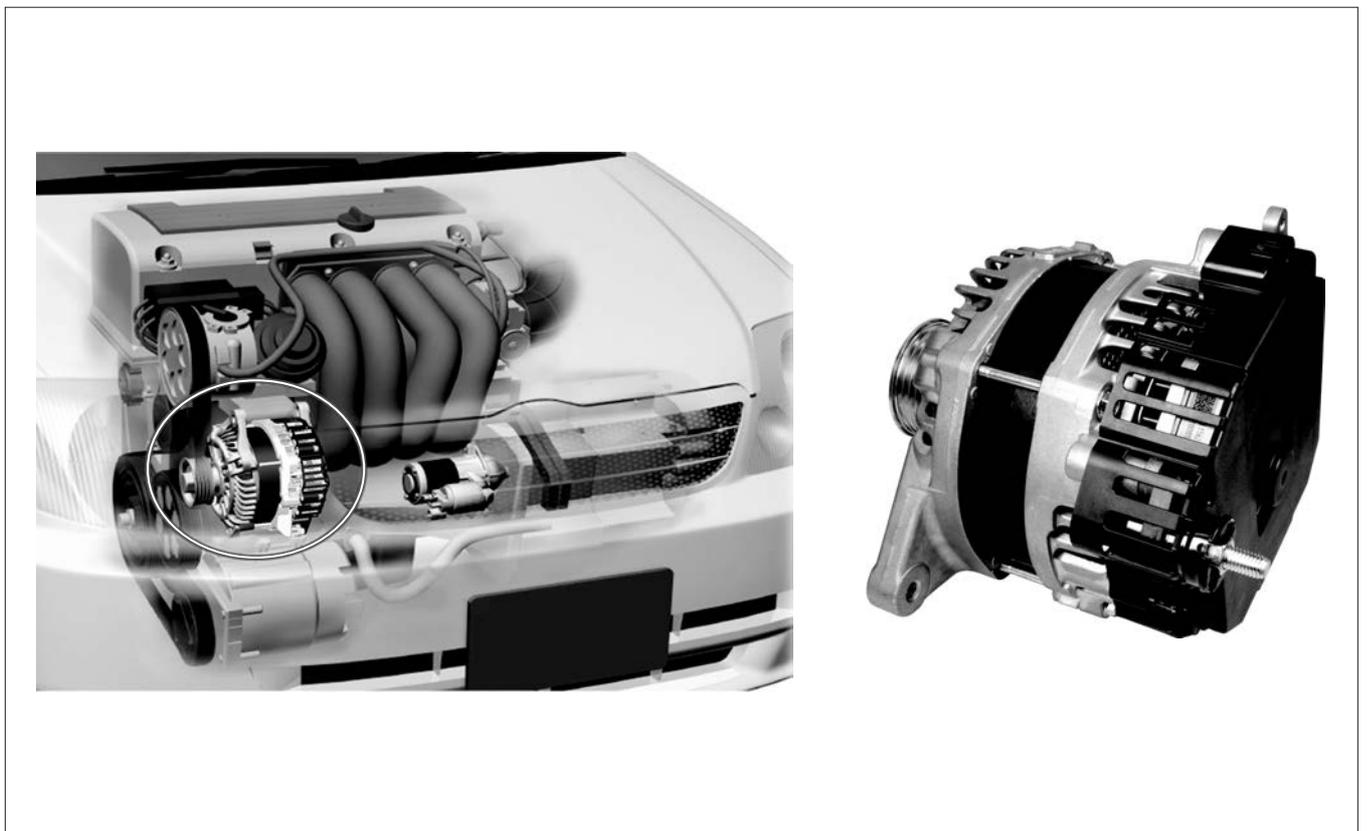
近年、世界的な排出ガス規制強化に対応して、自動車の燃費改善の主力技術としてアイドリングストップが標準装備となりつつあり、スタータによるアイドリングストップシステム<sup>(1)</sup>が普及している。しかし、年々厳しくなる排出ガス規制に対応するために、更なる燃費改善が必要となっている。一方で、100Vを超える高電圧電源システムを搭載したハイブリッド車は燃費改善効果が大きい反面システムコストが高く、適用できる自動車が限定的である。これらの背景から、アイドリングストップに12V電源システムを強化することで減速回生強化と走行時の電動アシストを加えた廉価版マイルドハイブリッドシステムが求められている。

三菱電機は、この要求に対応するため、インバーター一体型ベルト駆動式モータジェネレータ (Motor Generator :

MG) (以下“ベルト駆動MG”という。)を開発して、2014年に量産化した。

このベルト駆動MGは、従来の自動車用オルタネータに置き換えて使用され、ベルトを介してエンジンを始動させる方式であり、再始動時の静粛性に優れ、自動車の加速時にはトルクアシストすることも可能である。減速時には大電力回生発電が可能であり、トランジスタを用いた整流によって発電効率も大幅に改善している。

ベルト駆動MGを用いたシステムは、従来の自動車システムからの変更が小さく廉価で燃費改善が可能であり、なおかつ、始動時の騒音を低減することで快適性にも優れており、当社のベルト駆動MGの普及が期待されている。



## ベルト駆動式モータジェネレータ

排出ガス規制強化に対応してアイドリングストップを進化させた廉価版マイルドハイブリッドシステムが求められており、当社はその主要部品であるベルト駆動MGを開発した。モータジェネレータはオルタネータに置き換えて使用され、アイドリングストップ、走行時トルクアシスト、減速回生発電等への適用で自動車の燃費改善に貢献する。

\*姫路製作所

## 1. ま え が き

近年、欧州を筆頭とした世界的な排出ガス規制強化を背景に、自動車のアイドリングストップが標準装備となりつつある。一方で、100Vを超える高電圧電源システムを搭載したマイルドハイブリッド車やストロングハイブリッド車はシステムコストが高く、自動車部品の大幅な変更を伴うこともあって、自動車全体に対する割合は限定的である。これに対して、12V電源システムの強化でアイドリングストップに減速回生強化と走行時の電動アシストを加えたマイルドハイブリッド車が注目されており、採用拡大が期待されている。当社は、この12V電源マイルドハイブリッドの主要部品であるベルト駆動MGを開発し、2014年夏に量産を開始した。本稿では、ベルト駆動MGとその特徴について述べる。

## 2. ベルト駆動MGシステム

### 2.1 ベルト駆動MGシステムの構成

ストロングハイブリッド車では、エンジンとトランスミッションの間にモータを設けてモータを駆動するインバータや高電圧バッテリーを搭載するなど、システム変更が大きく、コストと開発工数が課題となっていた。ベルト駆動MGは、図1に示すように従来の自動車のオルタネータと置き換えて使用され、従来の自動車システムからの変更をより小さくすることでこれらの課題を解決し、様々な自動車に適用が可能な廉価版ハイブリッドシステムとして普及する可能性を秘めている。図1はベルト駆動MGを適用したシステム事例であるが、鉛バッテリーは短時間に大電流で充電するには不向きなため、自動車の減速時に回生発電して大電力を蓄えるために充電電流の大きなリチウムイオンバッテリーを併用している。一方、エンジン始動時にはバッテリーから大電流を供給するが、放電電流特性は鉛バッテリーの方が優れるため、始動には鉛バッテリーを使用するのが有利である。2つのバッテリーの電圧差をなく

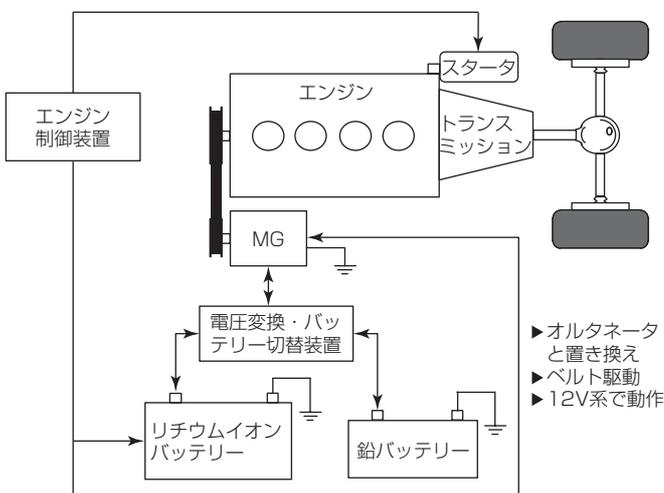


図1. ベルト駆動MGのシステム構成

すために、電圧変換装置及びバッテリー切替装置がMGと2つのバッテリーの間に入っている。

従来のアイドリングストップシステムではエンジンをスタータで始動しているが、ギヤが噛み合う音及び回転時のギヤの摩擦による騒音が大きいことが課題となっていた。また、スタータは氷点下でもエンジンを始動できるようにギヤの減速比を大きくしてエンジン低回転側でのトルクを大きくする仕様となっているため、エンジンを高回転まで回転させることができない。低回転ではエンジン吸気量が少なく吸気行程も長くなるためエンジン始動に時間がかかり、始動応答の悪さと自動車の発進遅れが課題となっていた。ベルト駆動MGシステムでは、ベルトを介して高回転までエンジンを回転させることで、静粛で応答の速いエンジン始動と自動車の発進が可能となり、運転者の満足度を向上できる。

### 2.2 ベルト駆動MGの適用事例

ベルト駆動MGシステムによる燃費改善技術として、自動車の走行時の適用事例を図2に示す。

各燃費改善技術の概要は次のとおりである。

- (1) アイドリングストップ：信号などで自動車が停車したらエンジンを停止する。MGは発進前のエンジン始動に使用される。
- (2) 電動クリープ走行：自動車が停車してアイドリングストップした後、発進時にエンジンを始動させずにMGでエンジンを回転させて自動車をクリープ走行させる。
- (3) トルクアシスト：アクセルを踏み込んで自動車を加速させる際に、MGでエンジンの動力をアシストして燃料消費を抑える。
- (4) 高効率発電：定速走行中に発電する際には、従来のオルタネータよりも高い効率で発電して、動力であるエンジンの負荷を軽減して燃料消費を抑える。
- (5) 惰性走行：高速道路などで自動車が高速走行している際にエンジンを停止して、自動車の慣性で走行することで燃料消費を抑える。慣性走行から通常走行に切換える際にMGでエンジンを始動する。
- (6) 減速回生発電：自動車が減速する際にMGで発電することで、エネルギーを回生してバッテリーに蓄える。バッテリーに蓄えられた電力は、トルクアシスト、電動クリープ

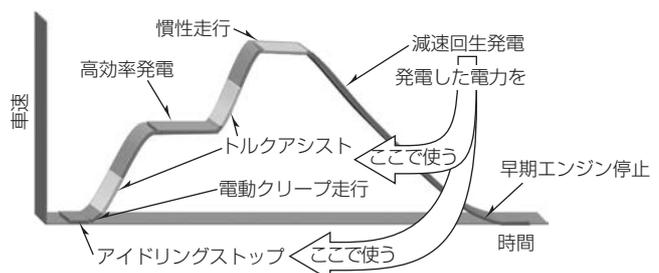


図2. ベルト駆動MG適用例<sup>(3) (4)</sup>

ープ走行，アイドリングストップでの始動に使用される。  
 (7) 早期エンジン停止：自動車が停車する際に車速がある状態でエンジンを停止することで、停車するまでの不要な燃料消費を削減する。停車する前に状況が変わって再加速する場合にはエンジンを再始動する必要があるが、ベルト駆動MGを使えば、エンジンが停止途中の回転状態でも短時間で再始動可能であり、加速するまでの応答性が良い。

スタータ式アイドリングストップ車をベースとして、ベルト駆動MGシステムに、これらの技術の中からトルクアシスト及び早期エンジン停止を追加して、小型車で燃費測定法JC08モードを走行した場合の燃費シミュレーション結果は約8%の改善であり、燃費改善への貢献は高いと言える。

### 3. ベルト駆動MGの特徴と技術

#### 3.1 ベルト駆動MGの構成

ベルト駆動MGは、オルタネータの整流器と電圧制御器をインバータに置き換えた構成で、モータ部分は最新型のオルタネータ<sup>(2)</sup>である“9G”“GXシリーズ”を母体としている。インバータは新規に開発したが、開発開始時にはインバータとモータは別体型であった。しかし、インバータ別体型MGはインバータ搭載場所を新たに設定する課題があり、また、インバータとモータを接続するための端子、コネクタ、ケーブル類が必要になるため、コストが高くなる課題があった。これらの課題を解決するために、インバータ一体型MGを開発し、小型・軽量、高出力・高効率のMGを玉成した(図3)。

インバータ一体型MGでは、インバータをエンジン近傍の高温雰囲気下で使用することになるため、冷却性を改善する必要がある。このため、インバータの中央部に吸入口を設けて冷却風を導入することで、発電時の自己発熱による温度上昇を低減した。冷却性改善の事例を図4に示す。

さらに、発電時の電磁音低減のために3相を2個組み合わせたステータを採用して<sup>(2)</sup>、インバータも3相2個(6相)に対応することで静粛性の向上に成功した。

#### 3.2 ベルト駆動MGの特性

##### 3.2.1 発電特性

ベルト駆動MGは、ロータの巻線を変更することで、連

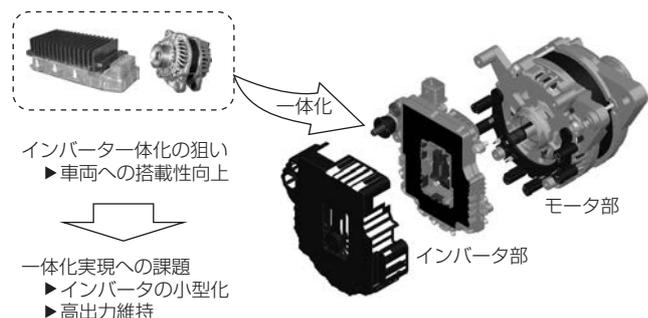


図3. ベルト駆動MGの構成<sup>(3) (4)</sup>

続発電出力がオルタネータと同等のまま短時間発電出力が50%向上している(図5)。

自動車の減速時間は連続ではないことと、バッテリーに蓄えられるエネルギーも有限であることから、減速回生発電は短時間でも実用上問題はない。大電力で発電できるこの特性は減速回生発電への適用を狙ったものであり、ベルト駆動MGシステムでの使い方に適したものとなっている。

##### 3.2.2 駆動特性

先に述べたとおり、スタータはエンジン低回転速度で大きなトルクが出せる仕様となっているが、MGは低回転速度でのトルクは低くても高回転速度でトルクを出せる仕様になっている。スタータとMGの駆動特性の比較とエンジン始動時の波形比較を図6に示す。MGでは高回転速度までエンジンを回すことが可能となり、エンジン始動時間の短縮が可能となる。

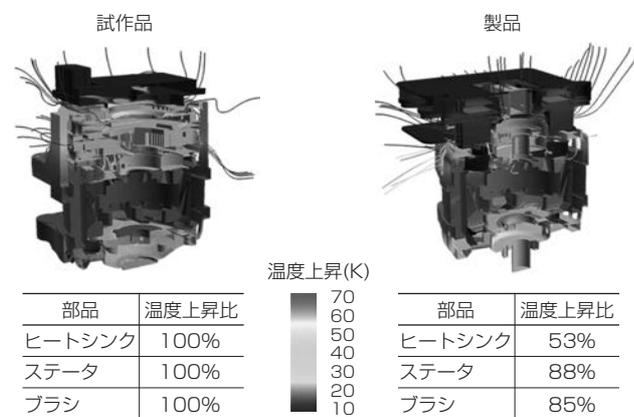


図4. 熱流体解析事例<sup>(3) (4)</sup>

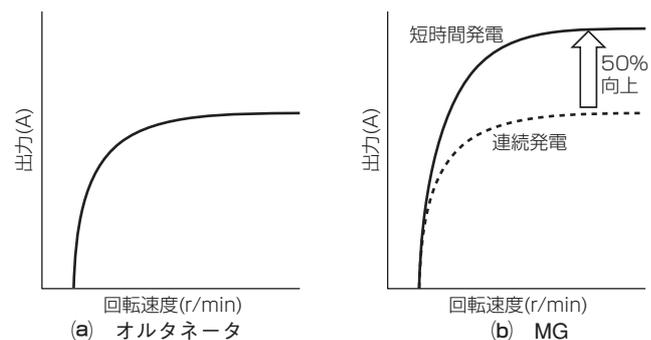


図5. 発電特性の比較<sup>(3) (4)</sup>

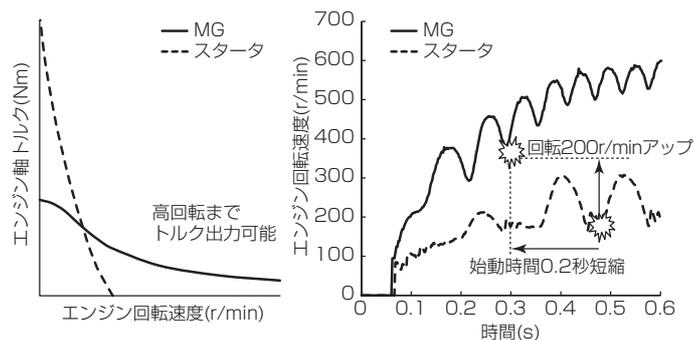


図6. 駆動特性の比較<sup>(3) (4)</sup>

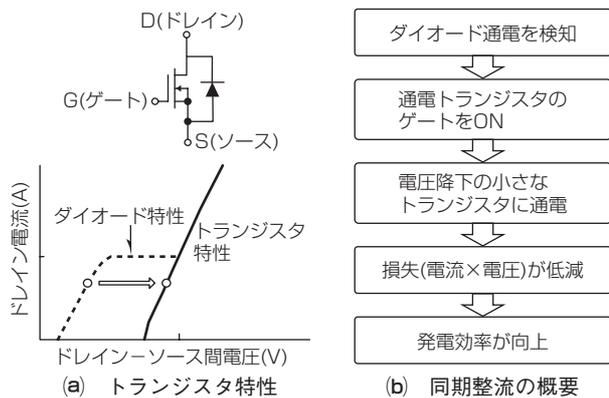


図7. 同期整流 (3) (4)

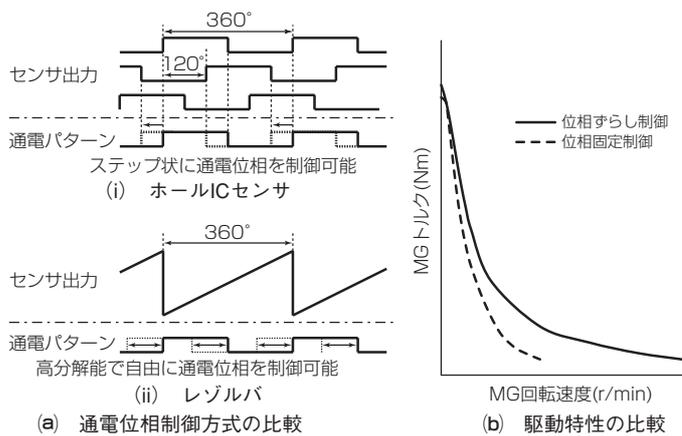


図9. ステータ通電位相制御方式 (3) (4)

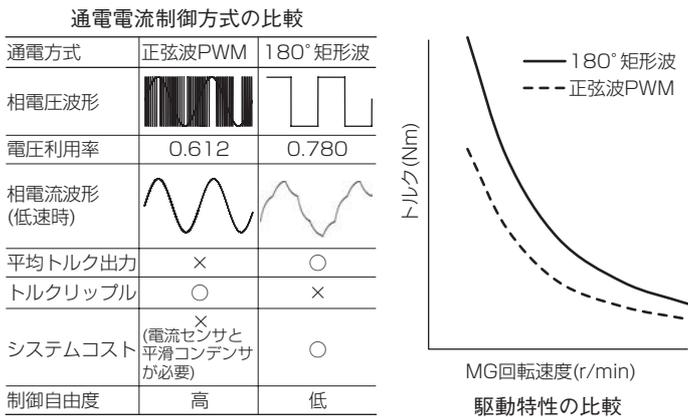


図8. ステータ通電電流制御方式 (3) (4)

### 3.3 ベルト駆動MGの制御

#### 3.3.1 発電制御

オルタネータもMGも、発電時にロータに界磁電流を通电して回転磁束を発生させることで、ステータ巻線に鎖交する磁束変化で電圧を誘起させて発電している。オルタネータでは、ステータ巻線の誘起電圧がバッテリーの電圧を超えると整流器のダイオードに電流が通電し、外部に電流を出力する(ダイオード整流)。MGは、トランジスタに寄生するダイオードでオルタネータと同様にダイオード整流が可能である。ダイオードの通電を電圧回路で検知して、これに同期してトランジスタのゲートに電圧を印加することでON状態にして、電圧降下の小さなトランジスタに通電させる(同期整流)ことで損失を低減させて発電効率を向上させている(図7)。当社で開発したMGでは、同期整流を実施することで最大効率を7%改善することに成功した。

#### 3.3.2 駆動制御

駆動時のステータ通電電流制御方式として、ステータ電流を検出して正弦波となるようにパルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)制御する方式がよく知られているが、今回開発したMGでは電圧が12Vと低いため、電圧を最大利用してトルクを最大化する180°矩形(くけい)波通電方式を採用した(図8)。これによって、電圧利用率がPWM制御に比べて27%向上し、トルクもほぼ電圧利用

率に比例して向上させることが可能となった。

駆動時は、回転速度が高くなるにつれてトルクが最大となる通電位相が変化するため、ステータに通電する位相を固定すると高回転速度でトルクが減少してしまう。このため、トルクが最大となるように通電位相をずらすことで、高回転速度までトルクを出力させることができる。そのためには、ホールICセンサなどの角度分解能が粗い回転角度センサを使わずに、角度分解能が細かいレゾルバを採用して位相ずらし制御を適用することで10,000r/minでもトルクを出力させることが可能となった(図9)。

## 4. む す び

ベルト駆動MGシステムの概要と適用事例、インバータ一体型MGの構成、発電特性と駆動特性の特徴、発電制御と駆動制御技術について述べた。これらの技術を適用することで、小型・軽量、高出力・高効率のMGを開発することができた。今後、ベルト駆動MGシステムの適用拡大に向けて、更なる小型・軽量化、高出力・高効率化を目指して技術開発を行っていくとともに、欧州を中心に拡大が予想されている48V高電圧ベルト駆動MGについても技術開発を推進していく。

## 参考文献

- (1) 亀井光一郎, ほか: アイドリングストップ用始動装置, 三菱電機技報, **87**, No.8, 456~459 (2013)
- (2) 宮地若木, ほか: 新世代(9G)オルタネータ, 三菱電機技報, **81**, No.9, 577~580 (2007)
- (3) 藤田暢彦: ベルト駆動MGの技術動向, TECHNO-FRONTIER 2015 第35回モータ技術シンポジウム (2015)
- (4) 藤田暢彦: ベルト駆動式モータジェネレータ, 自動車技術会2015年度講習会「車体部品(要素技術)による低燃費技術」(2015)