

アイドリングストップシステム向けエンジン再始動制御技術

和知 敏*

Control Technology of Engine Re-start for Idling-stop System

Satoshi Wachi

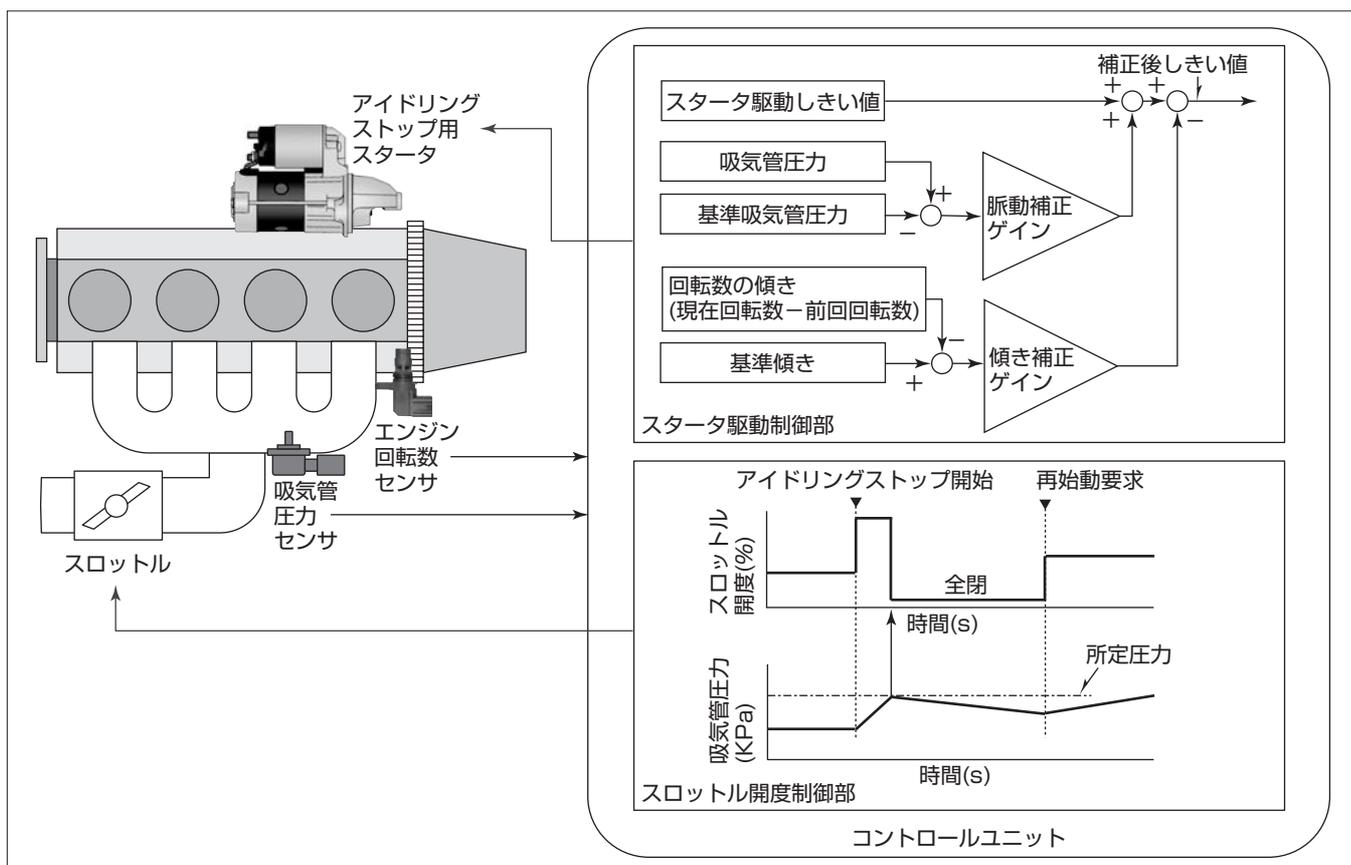
要旨

自動車の燃費向上への要求が強まる中、信号待ちなどで車両が一時的に停止しているときに自動でエンジンを停止するアイドリングストップシステムを搭載した車両が普及している。更なる燃費向上への取組みとして、車両がまだ減速している状態でエンジンを止めるシステムも実用化されている。これに伴い、発進時などエンジンを自動的に再始動させる際に、従来よりも迅速に再始動する技術が強く要求されるようになった。

三菱電機では、この要求に応えるために始動装置であるスタータを改良するとともに、スタータを確実にエンジンに嚙(か)み合わせてクランキングを開始させること、再始

動時のエンジンの燃焼性を向上させることに取り組んできた。さらに、様々な条件下でも常に安定してエンジンを迅速に再始動する、いわゆるロバスト性の高い制御技術開発に取り組む、エンジン停止時に惰性で回転している状態でのスロットル開度の制御の改良と、エンジン回転数の状態に応じてスタータの駆動タイミングを変化させることで最適なタイミングでスタータを駆動する制御を構築した。

これらの制御によって、再始動に必要な時間を最大約50%短縮し、再始動時の燃焼不良や回転数上昇のもたつきがなく迅速かつ安定したエンジンの再始動を実現した。



アイドリングストップシステム向けエンジン再始動制御システム

スタータでの再始動性能と再始動時のエンジンの燃焼性能を向上させ、なおかつ、ロバスト性の高い制御を実現するために、エンジン停止中のスロットル開度を制御することで、スムーズな停止と再始動時の燃焼性確保を両立させてエンジン挙動(エンジンの吸気管圧力と回転数)に基づいた最適なスタータ駆動制御を構築した。これらの制御によって、再始動時間を最大約50%短縮でき、再始動時の燃焼不良の発生もなくした。

1. ま え が き

燃費向上の手段として、車両停止中などでアイドリング状態にあるエンジンを自動で停止して発進前に自動でエンジンを再始動するアイドリングストップシステムが普及している。更なる燃費向上への取組みとして、車両が減速している状態でも条件が整えばエンジンを止めるシステムも実用化されている。このようなアイドリングストップ機能の拡大に伴ってエンジンを迅速に再始動させることの重要性が増し、アイドリングストップ実施直後の惰性でエンジンが回転している状態からでも再始動できるスタータが開発されている⁽¹⁾。エンジンが回転している状態でスタータでの再始動を実現するには、エンジン回転数に応じてスタータの駆動タイミングを適切に制御することが重要であり、エンジン制御と協調したスタータの駆動制御を行うことが必要になった。

本稿では、アイドリングストップシステムでの、エンジンを迅速に安定して再始動させるエンジン制御とスタータ制御について述べる。

2. アイドリングストップからの再始動制御

2.1 エンジン再始動制御の重要性

アイドリングストップ車では、アイドリングストップを実施する条件が成立して車両が停止状態になるとエンジンを自動的に停止させて、運転者の発進操作に伴ってエンジンを自動的に再始動させる。エンジンを再始動させる際には、スタータを駆動してスタータの回転力でエンジンを回転させ、回転しているエンジンに適切な燃料と空気を供給して、その燃料と空気(混合気)に適切なタイミングで点火することでエンジン回転数を上昇させて車両を走行可能な状態にしている。つまり、アイドリングストップからの再始動の際は、スタータを適切なタイミングで駆動するとともに、エンジンへ供給する燃料と空気も併せて制御することが重要になる。現在のアイドリングストップシステムでは、車両が減速中でもそのまま停車する可能性が高いと判断した場合はエンジンを停止させるようになっており、特に、エンジンを停止させた直後に運転者がブレーキを離して再加速する場合などは、エンジンが完全に停止する前でも迅速にエンジンを再始動させる技術が必要である。

2.2 エンジン回転数低下中の脈動抑制

エンジンの惰性回転中にスタータでの再始動が可能なエンジン回転数は図1に示すような範囲となる。また、エンジン停止の際には逆回転が発生する場合もあり、この逆回転中にもスタータでの再始動ができない領域が有る。このため、再始動時にスタータを駆動する際は、エンジン回転数を測定して再始動可能な回転数の範囲でスタータを駆動することが求められる。さらに、スタータの駆動を指示し

てから実際に再始動可能な状態になるまでに数十msの動作時間がかかるので、エンジン回転数が再始動可能な範囲に入る前に駆動指示を出すが必要になるとともに、エンジンが逆回転して始動可能な範囲外に出てしまう場合は、スタータの駆動を中止することも必要になる。

エンジンは、図1に示すとおり回転数が上昇と低下を繰り返しながら(脈動しながら)停止する。このように脈動しながら低下していくエンジン回転数に合わせてスタータを駆動するタイミングを判断するのは難しく、脈動が大きい場合は特に難易度が高くなる。また、脈動が大きい場合は逆回転も大きくなる傾向があり、脈動の抑制が良好な再始動実現への有効な対策となる。エンジン回転数の脈動は、エンジンが吸入した空気の圧縮・膨張に伴って発生するため、スロットルを絞ってエンジンが吸入する空気を少なくすることでエンジン回転数の脈動を抑制できる(図2)。

実際にスロットルを閉じて脈動を抑制して回転数が低下するタイミングに合わせてスタータを駆動すると、図3に示すとおり再始動が可能な回転数の範囲内でスタータがエンジンに噛み合うという結果が得られた。このことから、良好な再始動性能の実現を期待できる。

2.3 エンジン再始動直後の良好な燃焼の実現

しかし、実際に再始動が完了するまでの時間を計測すると、再始動完了までにかかる時間が長い場合があった。エンジン回転数の挙動を見ると、スタータ駆動後のエンジン回転数が上昇する過程でもたつきが発生して、再始動完了が遅くなっていることが分かった。回転数の上昇がもたついている部分を更に詳細に調査した結果、スタータでエンジンを回転させた後の最初に燃料が燃焼するタイミングで燃焼不良が発生していることが判明した。回転数の脈動を抑制するためにエンジンの停止過程での吸入空気を少なくしたことで、再始動後の最初に吸気する気筒へ流入する混合気の量が不足して、点火してもうまく燃焼しない、又は、燃焼しても発生するトルクが不足して回転数が上昇しないという現象が発生していた。再始動後のエンジン回転数を素早く上昇させるには、スロットルを開いて空気量を増やして燃焼に必要な所定の吸入空気量を確保することが課題となる。つまり、一方ではスタータでの再始動性向上を目的にスロットルを閉じて空気量を少なくしてエンジン回転数の脈動を低減したい、他方では再始動後の良好なエンジン回転数の上昇を目的にスロットルを開けて空気量を増やして燃焼性を確保したい、という背反の課題を両立させる技術が要求される。

この課題に対して、図4に示すようにアイドリングストップ開始直後に一旦スロットルを開いて所定の空気量を確保した後、スロットルを閉じてそれ以上の空気の増加を防止するようにスロットルの開度制御を改良して、燃焼に必要な空気量の確保と回転数の脈動低減との両立を図った。

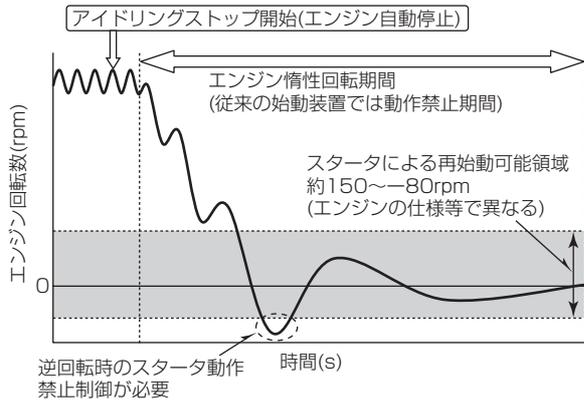


図1. エンジン停止過程でのスタータ制御の課題

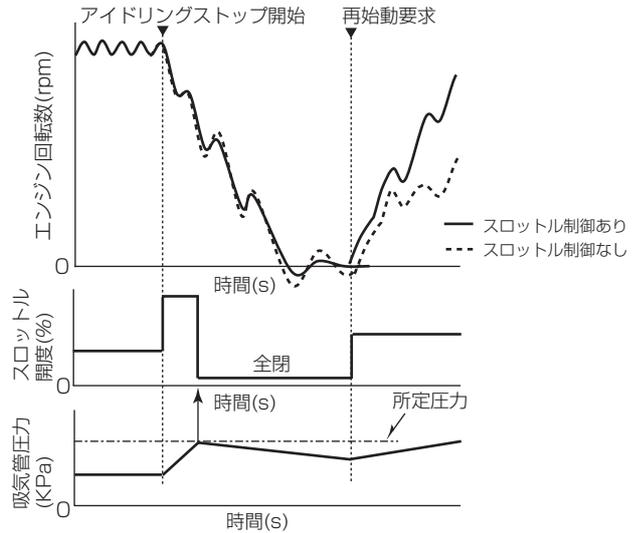


図4. アイドリングストップ時のスロットル制御

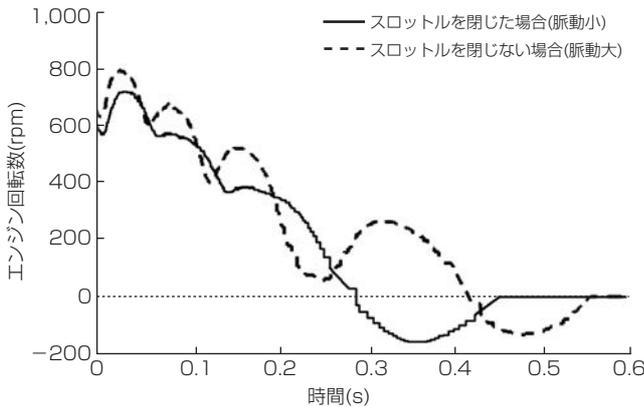


図2. エンジン回転数脈動の抑制

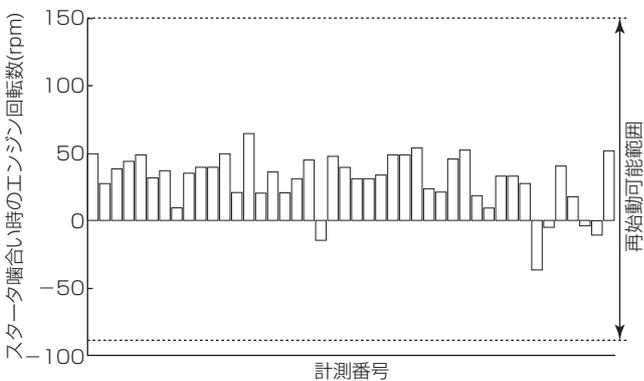


図3. スロットル全閉時の再始動性確認結果

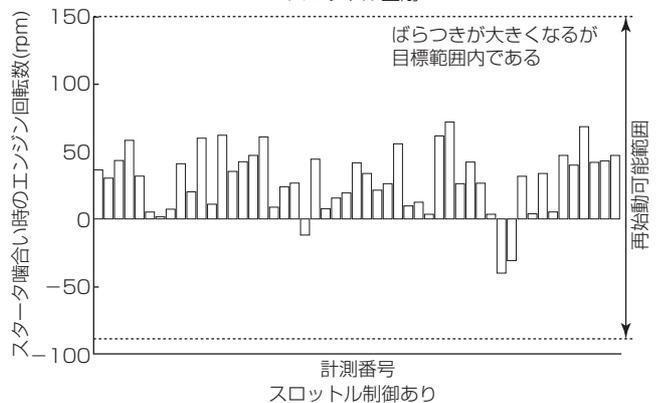
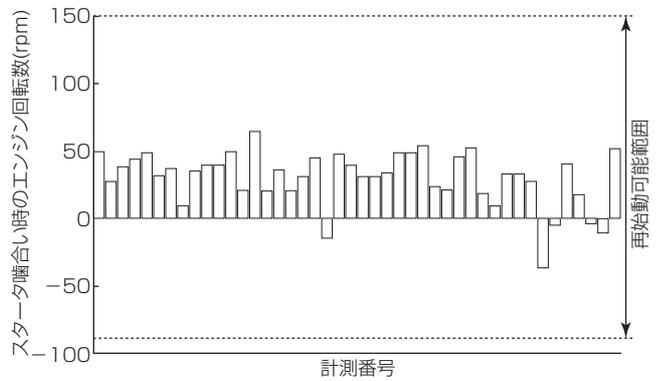


図5. スロットル制御時の再始動性確認結果

その結果、スロットルを全閉としたときに比べて若干の脈動増加が見られてスタータがエンジンに噛み合った時のエンジン回転数にばらつきが増加しているものの、再始動可能な範囲内となった(図5)。また、再始動後の燃焼に必要な空気量も確保したことで燃焼不良の発生や回転数上昇のもたつきも見られなくなり、再始動性能が大幅に改善した。

2.4 ロバスト性の向上

迅速な再始動のためには、スタータでの再始動を良好に開始させることと再始動直後の燃焼を良好に保つことの2つが重要であり、これらを両立させるスタータ制御とエンジン空気量の制御を実現した。これを量産車両へ採用するに

は、いろいろな条件下でも常に安定して迅速に再始動する制御、いわゆるロバスト性の高い制御が必要となる。特に、エンジンが惰性で回転しているときは、エンジンの状態だけでなく車両の減速の強さなど様々な要因で回転数が変動することが分かっており、このような変動に左右されずに安定してスタータで再始動するにはスタータの駆動タイミングを制御することが非常に重要となる。この課題に対して、惰性回転中の挙動の変動を主に2つの要素に分解して、それぞれの要素が変動した場合の対策を実施するという方針で解決を図った。第1の要素はエンジン回転数の脈動の

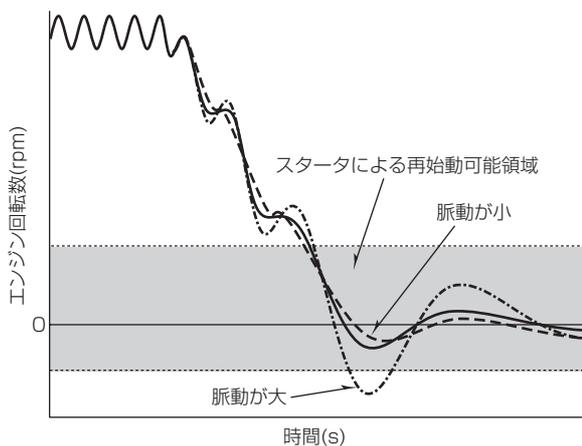


図6. エンジン回転数脈動のばらつき

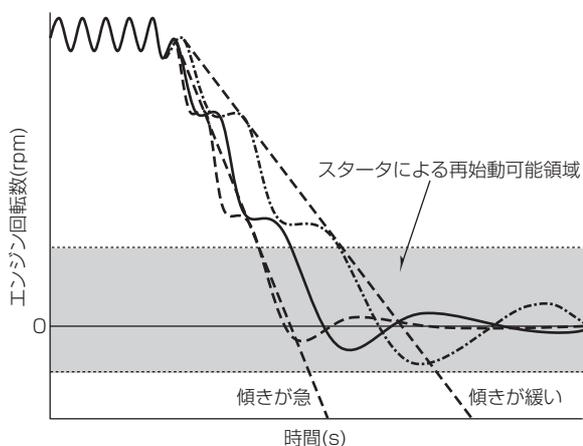


図7. エンジン回転数低下の傾きのばらつき

大きさが変動することであり(図6)、第2の要素はエンジン停止過程での回転数低下の傾きが変わることである(図7)。

エンジン回転数の脈動がエンジンの吸入空気量によって変化することは先に述べているとおりであり、脈動の大きさが変動する要因として吸入空気量の変化が大きく影響している。スタータの駆動を判定するしきい値を脈動の大きさに応じて補正することがスタータの駆動タイミング制御に必要であり、その補正量を決定するパラメータとして吸入空気量の指標となる吸気管圧力を使用することにした。スタータ駆動を判定するしきい値を設定した時の吸気管圧力を基準にして、実際の吸気管圧力との差分に応じてスタータ駆動を判定するしきい値の補正量を決定する構成として、吸入空気量の変動に伴ってエンジン回転数の脈動が変化しても適切なタイミングでスタータを駆動できるようにした(図8)。

エンジン回転数低下の傾きについては、エンジンの状態だけでなくエンジンで駆動しているオルタネータやエアコンなどの作動状態や車両の減速度など様々な要因があり、その中の特定の要因を指標として選定することが難しいので、エンジン回転数低下の傾きを算出して、傾きの大きさに応じてスタータの駆動タイミングを変化させるようにし

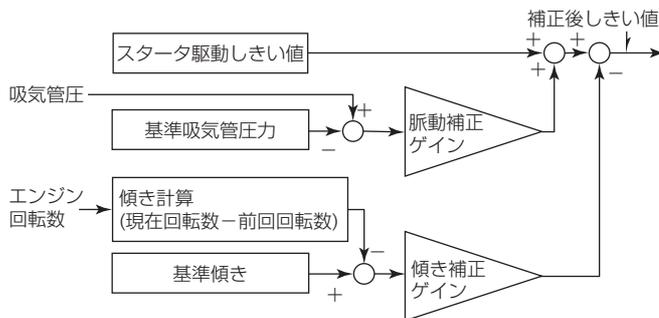


図8. ロバスト性確保のための制御概要

た。脈動の変動への対策と同様に、しきい値を設定した時のエンジン回転数が低下する傾きを基準にして、実際の回転数低下の傾きとの差分に応じてスタータを駆動するしきい値の補正量を決定する構成として、エンジン回転数低下の傾きが大きい場合はスタータの駆動が早く、傾きが小さい場合はスタータの駆動が遅くなるように補正した(図8)。

3. 迅速で安定した再始動の実現

エンジンの停止過程で発生するエンジン回転数の脈動の抑制とエンジンの燃焼に必要な空気量の確保という背反する要求に対して、エンジンの停止過程で一旦スロットル開度を大きくして吸気管圧が所定の圧力に達した後にスロットルを閉じるという制御を行い、スタータでの再始動性能と再始動時のエンジンの燃焼性能とを向上させるという課題を解決した。また、停止過程のエンジン挙動(エンジンの吸気管圧力と回転数)に基づいてスタータを駆動するタイミングを補正するようにスタータの駆動制御を構成したことで、ロバスト性を向上させ安定して良好な再始動を実現した。これらの制御によって、再始動に必要な時間を最大約50%短縮して、再始動時の燃焼不良や回転数上昇のもたつきがなく良好なエンジンの再始動が可能になった。

4. む す び

自動車の燃費向上を目的としたアイドリングストップシステムの普及に伴い、従来よりも迅速にエンジンを再始動する技術が強く求められるようになった。これに応えるために、エンジン制御とスタータの駆動制御とを協調させることでアイドリングストップからの迅速で安定したエンジン再始動を実現して車両の燃費向上に貢献できるようにした。

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) 亀井光一郎, ほか: アイドリングストップシステム用スタータとエンジン制御の紹介, 自動車技術会No09-14シンポジウム『ガソリンエンジンの進化を支える最新技術』