

27. ハイブリッドシステムを搭載するロータリ除雪車の開発

(株)日本除雪機製作所

○ 林 千尋
平山 英樹
西田 佳緒理

1. はじめに

近年、世界的に環境意識が高まっており、地球温暖化の防止、CO₂の排出量削減、さらには燃料価格の高騰を背景とし、ハイブリッド車や電気自動車などの低燃費、環境性能を特徴とした乗用車が相次いで実用化されている。

産業用車両においても例外でなく、車両台数の多い油圧ショベルやフォークリフトなどではハイブリッド仕様が既に市場に投入されている。¹⁾²⁾³⁾

これらの状況をふまえ、ロータリ除雪車の燃費向上を主目的とし、ハイブリッドシステムを搭載したロータリ除雪車の開発を行い一定の効果を得ることができたため、本稿にて報告する。

2. ロータリ除雪車の運転モード

2-1 除雪作業時

ロータリ除雪車の除雪作業は、車両前方に取付けたオーガによって雪塊を崩して掻き込み、その後方のブロワの遠心力によって他の場所やダンプトラックに投雪することにより行う。

150馬力クラスの小型ロータリ除雪車の除雪作業時の負荷変動と回転数の一例を図-1に示す。エンジンの出力は5~90%の間で大きく変動しているが、平均では35%程度である。

作業時の車速は1~5km/hとごく低速のため、エンジンの出力は除雪による負荷が大半を占める。

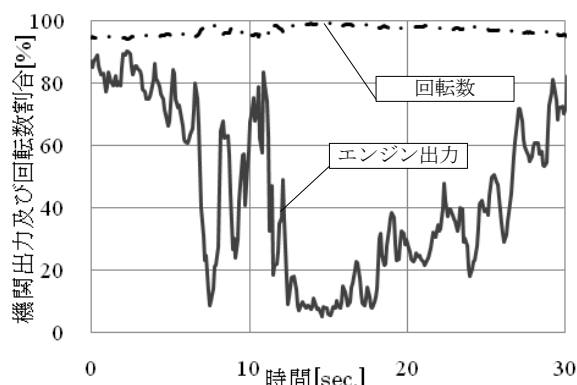


図-1 除雪作業時の負荷変動の例

また掻き込む雪の量によりその負荷が大きく変動するため、通常は最大負荷に対応できるようエンジンをフルスロットル付近に固定して作業を行っている。

2-2 回送時

図-2に回送時の負荷変動の例を示す。図は、停止状態から最高速度まで加速して定常走行に移行したときを表している。

加速時に一時的に最大出力を必要とするものの、定常走行に移るとエンジンの出力は30%程度まで減少している。また、小型ロータリ除雪車では最高速が低く高回転域を多用する事になるため、回送走行時はほとんどの時間エンジンを軽負荷・最高回転数で使用することになる。

以上より小型ロータリ除雪車は、作業時、回送時ともに最大出力が必要になるのは一時的であり高回転・軽負荷で運転する時間が非常に長いといえる。

3. 燃費の向上

前述のとおり、小型ロータリ除雪車の平均的なエンジンの負荷は、定格の30~35%程度にとどまる。一般的にディーゼルエンジンの効率は高負荷のほうが高いため、通常の運転状態では燃費の悪い領域を多用しているといえる。

また、最大出力が必要な状況が一時的であるこ

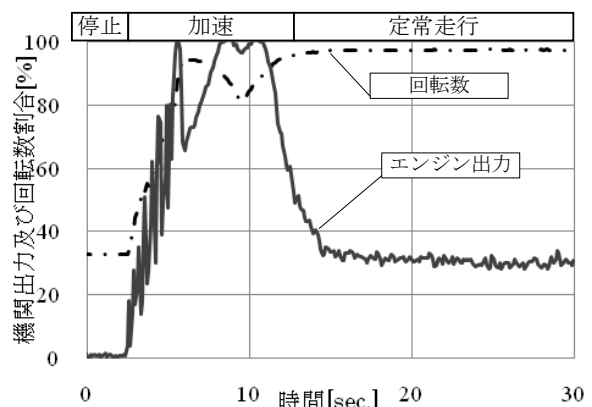


図-2 回送時の負荷変動の例

とに着目し、車両クラスよりも小型のエンジンを使用し、不足する出力を大容量バッテリーで補うことで、従来車両と同等の最大出力を確保しつつ燃費を向上させることが可能となる。

以上のことをふまえて、次のことを主眼におき、燃費の大幅改善を目的としたハイブリッドシステムの開発を行った。

- ・エンジンの負荷制御による高効率運転
- ・エンジンの小型化による低燃費化
- ・回生機能による減速エネルギーの回収

4. 開発車両の概要

図-3に開発車両の外観、図-4に機器レイアウト、表-1に主要諸元を示す。

150馬力クラスの小型車両をベースとし、インバータや電動機、大容量バッテリーなどのハイブリッド機器を車両後部の機関室内に搭載した。

また従来車両のエンジンを駆動電動機に置き換えた構成とし、この電動機によって除雪装置の駆動と車両の走行はもとより、ステアリングやブ



図-3 開発車両外観

表-1 開発車両主要諸元

			開発車両	ベース車両
全長	mm		6,070	5,680
全幅(除雪幅)	mm		1,800	
全高	mm		2,640	2,620
車両重量	kg		8,640	6,510
定員	名		2	
機関	定格出力	kW	70.1※1	112.1
駆動電動機	最大出力	kW	110	-
	定格出力	kW	55	-
	種別		IPMSM※2	-
発電電動機	定格出力	kW	75	-
	種別		IPMSM※2	-
バッテリー	エネルギー容量	kWh	16.2	-
	種別		ニッケル水素	-

※1.発電専用
※2.埋込磁石同期電動機

レーキの油圧も発生させている。エンジン以外の車両機器構成を従来通りとしたことにより、ベース車両からの変更を最小限にとどめ、開発期間とコストを抑えることができた。

電動機、インバータやバッテリーなどの機器は空冷仕様であるが、これらは電子機器のため雨や雪は故障の原因となる。そのため、機関室は密閉構造とし、前面の冷却空気の吸気口にはフィルターを設置して、雨や雪をシャットアウトする構造とした。発電用エンジンのファンによる空気流が、駆動・発電電動機、各インバータを冷却したあと機関室最後部のラジエータを通過して外部に放出される。

バッテリー室については熱のこもりを防止するため、吸気口近くの電動ファンからダクトを通して冷却風を送り込む構造とした。

5. ハイブリッドシステムの概要

5.1 機器構成

図-5に開発車両の機器構成を示す。

開発車両では、エンジンの動力と駆動電動機の動力が機械的に分離されたシリーズハイブリッド方式を採用した。この方式ではエンジンは発電専用であり、駆動用電動機の状態に関わらずエンジンの回転数と負荷を意図的に自由に設定できるた

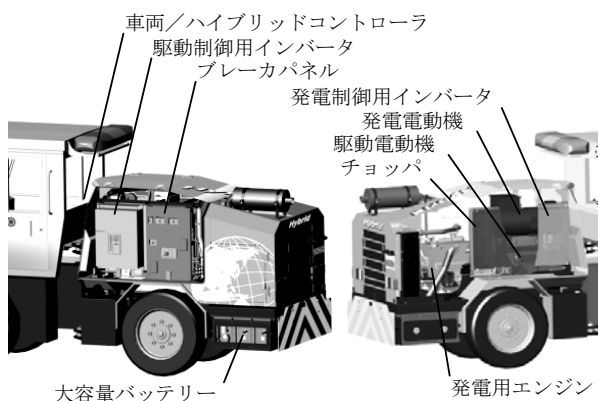


図-4 機器レイアウト

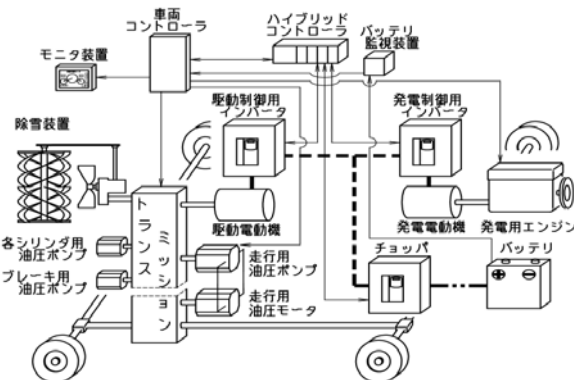


図-5 ハイブリッドシステムの構成

め、高効率領域での運転時間を飛躍的に延ばすことが可能となる。

さらに、発電用エンジンは従来の 112kW のディーゼルエンジンに替えて 70kW のものを採用し、約 37%の小型化を行った。

また、駆動電動機と発電電動機には埋込磁石同期電動機を採用し、インバータと組み合わせて制御することで高効率運転を実現した。駆動電動機においては、最大出力の必要な時間は短時間であることに着目し、定格 55kW の電動機を最大 200% 運転することで、寸法、重量、価格の低減を図った。

車両全体の制御は従来通り車両コントローラが行い、回転数指令を受け取ったハイブリッドコントローラが各インバータとエンジンを制御する。ハイブリッドコントローラは、回転数指令、必要駆動電力、バッテリー電力、充電量（以下 SOC）、インバータの状態、モータ温度、エンジンの状況などの情報を複合的に判断し、各機器を制御する。

5-2 システムの動作

5-2-1 車両停止時

SOC が規定値以下の場合、発電した電力をバッテリーに充電する。図-6(a)

5-2-2 負荷<最大発電量の時

SOC が規定値以下の場合、発電電力を駆動電動機の出力よりも多くなるよう制御し、余剰分をバッテリーに充電する。図-6(b)

逆に SOC が既定値以上の場合、発電電力を下げてバッテリーから放電を行う。これにより燃料消費を低減する。図-6(c)

5-2-3 負荷>最大発電量の時

発電電力を最大にし、不足分をバッテリーからの放電で補う。図-6(c)

バッテリーの放電が続く SOC が制限値以下になった場合、過放電をしないよう駆動電動機の出力を制御する。

5-2-4 エンジン停止時

開発車両では、SOC が十分なときオペレータが任意にエンジンを停止させ電気自動車として運用することが可能になっている。このとき駆動電動機の出力上限値は、バッテリーの許容出力に基づき制御される。図 6(d)

5-2-5 車両減速時

駆動用電動機に逆トルクを発生させて運動エネルギーを回生し、バッテリーに充電する。図 6(e)

本システムはシリーズハイブリッドを採用しているため駆動用インバータの容量が大きいことと、バッテリーの許容充電電力が高いため、強力な回生ブレーキが利用できる。よって、フットブレーキをほとんど使わずに減速できるため、従来捨てていたエネルギーの大部分を回収可能である。

また、従来車両と同等なフィーリングを得ながら最大限回生できるよう、走行用油圧ポンプ流量と回生トルクの協調制御を行っている。この制御を行うことで、さらに約 5%回生電力をアップすることができた。

5-3 エンジンの制御

図-7 に、車両搭載状態で実測したエンジンの効率マップを示す。この図より、開発車両では 50~60kW、負荷率 100%（全負荷）に近い領域がもっとも高効率なことがわかった。

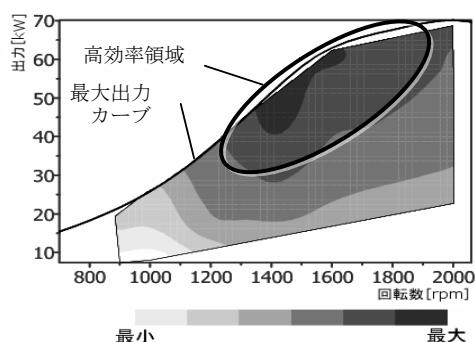


図-7 車両搭載状態での効率マップ

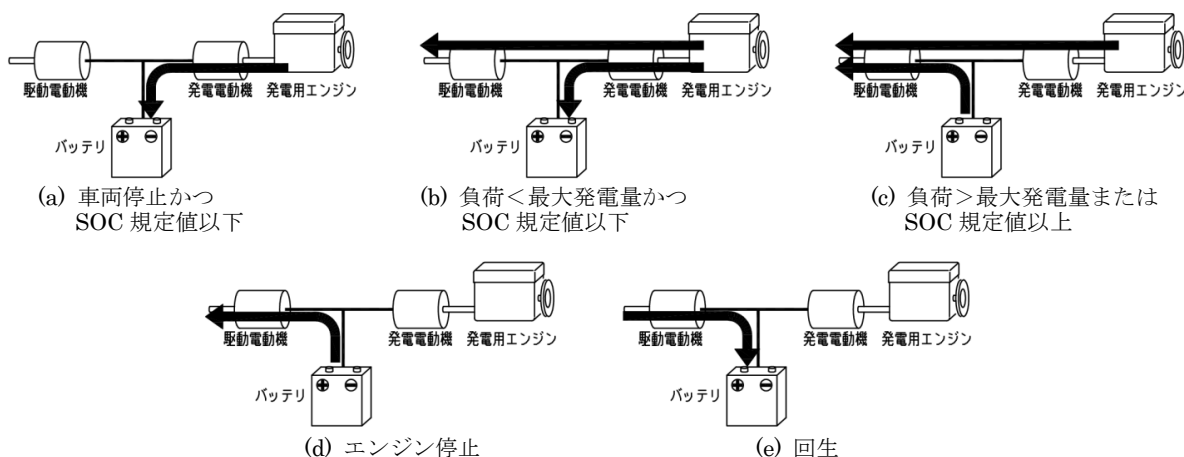


図-6 エネルギーの流れ

以上をもとに、必要な発電量から最適なエンジンの回転数を求め、発電電動機のトルク制御によりエンジンの負荷率を変えて、常に全負荷運転になるよう制御している。

4-4 モニタリングシステム

開発車両では、従来の機械式メータに代えて大型タッチパネル式モニターを採用した。表示内容を切替えることで、必要な情報を的確に把握できるようにした。

図-8 に表示画面の例を示す。画面上には、回転数、走行速度など従来の内容に加え、電動機の出力、バッテリー残量のほか、電力の流れをリアルタイムに確認できるエネルギーモニターや、エラー表示を可能とすることで、車両の状態をいち早く正確に確認することができる。

6. 燃費低減効果

燃費削減効果を確認するため、市街地と郊外の回送を想定した走行試験を行った。

6-1 エンジンの高効率運転による効果

図-9 に、従来車両を 100 としたときの燃料消費率（燃料使用量÷放出エネルギー量）の比較を示す。開発車両では、エンジンの小型化と高効率運転により、従来車両よりも約 37%の燃料消費率削減を達成することができた。

なお、2 項で述べたとおり回送時と除雪作業時



図-8 モニター表示画面

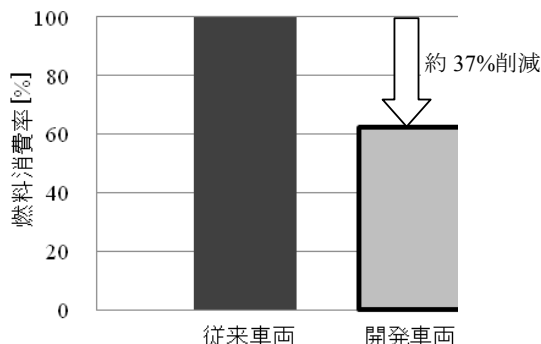


図-9 燃料消費率の比較

の平均出力が大きく変わらないことから、除雪作業時も同様の傾向になるものと考えられる。

6-2 減速エネルギーの回生による効果

表-2 に、走行試験を行ったときの回生率（回生エネルギー量÷放出エネルギー量）を示す。

市街地パターンでは発進停止の回数が多く回生の機会が多いため、約 8%のエネルギーを回生出来ている。市街地パターンと郊外パターンを同等の割合で走行した場合では、約 6%のエネルギーを回生できることがわかる。

表-2 回生率	
	回生率[%]
市街地	8.3
郊外	4.0
平均	6.3

6-3 アイドリングストップ

走行試験の結果を元に開発車両のエンジンがアイドリングの時間を算出したところ、市街地では約 40%、郊外では約 25%であった。

この間の燃料消費量を算出すると、全体の約 1 割に達し、アイドリングストップ機能によりさらに大幅に燃料消費を抑えられる可能性がある。

現時点では、自動でアイドリングストップを行ってはいないが、条件等の詳細を検討中である。

7. おわりに

今回開発した小型ハイブリッドロータリ除雪車では、従来機と同等の最大出力を確保しつつ大幅な燃費向上を達成することができた。

アイドリングストップ機能の詳細や最適な SOC 管理方法の策定など、まだまだ改善点も多いため、今後基本技術を完成させるとともに、さらなる燃費向上に向け開発を続けたい。

参考文献

- 1) 鹿児島昌之：ハイブリッドショベルSK80H，建設の施工企画，'11.1，pp.39～43，2011
- 2) 小川清光，二橋謙介ほか：世界初のエンジン式ハイブリッドフォークリフトの開発，産業車両，'10.4，pp.1～5，2010
- 3) 内田喜康，長坂一郎ほか：3.5トン積みエンジン式ハイブリッドフォークリフトの開発，産業車両，'10.4，pp.6～10，2010