

パワーエレクトロニクス技術で実現した ハイブリッドホイールローダ

石田 一雄
Ishida Kazuo

日暮 昌輝
Higurashi Masaki

自動車業界においては、エンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッド車が普及し、その優れた省エネルギー技術が広く認知されている。建設機械においても油圧ショベルをはじめとしてハイブリッド化が進みつつあるが、ホイールローダにおいては、その走行系の構造が自動車に酷似しているにもかかわらず、ハイブリッド機が量産化されてい

ないのが現状である。日立建機は過去にハイブリッドホイールローダのコンセプト機や限定発売機を開発した経緯があり、それらの技術蓄積を基盤とし、さらに日立グループのパワーエレクトロニクス技術を活用することで量産型ハイブリッドホイールローダZW220HYB-5Bを開発した。

1. はじめに

エンジンの排出ガスによる地球温暖化などの環境影響や石油の枯渇の問題から、化石燃料を使用する自動車などの移動体に対する省エネルギー技術が注目されている。自動車業界では、エンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッド車(HEV: Hybrid Electric Vehicle)の優れた省エネルギー技術が認知されて広く普及しており、さらには電気自動車(EV: Electric Vehicle)や燃料電池自動車(FCV: Fuel Cell Vehicle)の量産段階に入っている。一方、建設機械においては、油圧ショベルやブルドーザにおいてハイブリッド機が普及しつつあるが、ホイールローダにおいてはハイブリッド機が量産化されていないのが現状である。

ホイールローダは、タイヤ式のトラクタ系建設機械に分類される。作業装置としてバケットとリフトアームを有しており、主に土砂、砂利、岩石などを掘削し、バケットに積載した土砂などを自走で運搬して、ダンプトラックなどの運搬機械に積み込む作業に用いられる。現在、日立建機株式会社は標準バケット容量0.3~6.1 m³(運転質量1.9~46 t)の製品群を量産機としてラインアップしており、バケット容量が1.3 m³未満を小型機、1.3 m³以上5.0 m³未満を中型機、5.0 m³以上を大型機とそれぞれ位置づけている。

3.0 m³以上の中大型機の走行系は、エンジンの動力がトルクコンバータとトランスミッション、および車軸を介し

てタイヤに伝達(四輪駆動)される構造となっており、その構造は自動車と酷似している。

日立建機は、自動車と同様に、走行系としてエンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッドシステムの開発を行い、2003年にコンセプト機として中型ハイブリッドホイールローダLX70(バケット容量1.3 m³)を発表したのち、2008年に超大型ハイブリッドホイールローダL130(バケット容量13 m³)を限定発売した経緯がある(図1参照)。これらの技術蓄積を基盤とし、さらに日立グループのパワーエレクトロニクス技術を活用することで、燃料消費量



LX70(コンセプト機)

- バケット容量: 1.3 m³
- エンジン出力: 71 kW
- 2003年発表



L130* (限定発売機)

- バケット容量: 13 m³
- エンジン出力: 735 kW
- 2008年発表

注: *当時、日立建機株式会社の連結子会社であったTCM株式会社(現 ユニキャリア株式会社)が開発した。

図1 | ハイブリッドホイールローダの開発経緯

2003年にコンセプト機としてLX70を発表し、2008年に限定発売機としてL130を発表した。

リーズ方式ハイブリッドはその制約が緩和され、車体コントローラによる自動制御によってエンジンの燃費効率の悪い回転数を避け、かつ可能な限り低回転数で動作をさせることができるため燃費向上が図れる。

(3) キャパシタを備えているため、減速時に走行電動モータを発電動作させることで回生電気エネルギーを効率よく蓄電し、加速時に再利用できる。その結果、従来よりも出力が小さく、燃費のよい小型エンジンの採用が可能になる。また、小型エンジンを可能な限り低回転数で運転することで、周囲騒音の低減にも寄与する。

2.3 ハイブリッド化の課題

建設機械の省エネルギー化の手段としてハイブリッド化は大きな技術動向であるが、課題となるのは、電気系部品のコスト、従来機の車台に搭載可能な形状と容積、そして信頼性・耐久性である。

電気系部品は大量生産によるコスト低減効果が大きいいため、自動車業界と比較して需要台数の少ない建設機械においては大きな不利がある²⁾。シリーズ方式ハイブリッドはトランスミッションが不要であるため部品点数が少ないメリットはあるものの、運転質量が18 tもの車体を高速移動させる動力を伝達するためには大型の電動モータやインバータが必要であり、コストを抑えつつ高出力でエネルギー密度の高い電動機器を開発することが大きな課題であった。走行電動モータを2モータ方式としたが、走行電動モータを1個にすると、掘削作業のために大きな駆動トルクを必要とするホイールローダの場合は極端に容積の大きな電動モータと、それを制御する高出力のインバータが必要になる。汎用部品が流用できないため製作コストが高いことから、車台に搭載するには容積が大きすぎて不向きであったことから、部品点数は増えるものの、2モータ方式の採用はコストと搭載性のバランスを両立した一例である。

建設機械は過酷な環境下で稼働するため、電動機器の信頼性・耐久性が課題となる。電動モータやインバータは耐水性、耐塵（じん）性を考慮した高気密構造とし、従来のトランスミッションと同等以上の信頼性を確保した。また、建設機械特有の振動にも十分耐えられる耐久性を確保するため、細部にわたって構造の強化を行った。

さらに、安全性についても重点的に配慮した。走行系が完全な電動となるシステムであるため、制御系については入力デバイス信号の二重化や、コントローラの相互監視、監視マイコンの搭載などの対応を行い、異常を検知した場合は速やかに駆動力を遮断することで不正な駆動力を発生しない、すなわち危険状態に遷移しない制御として構成している。



図4 | ZW220HYB-5Bのパワートレイン透視図（イメージ）

従来機と車体外観・寸法を同等としてハイブリッドシステムを搭載した。

3. ZW220HYB-5Bの燃費低減効果と特徴

前述のハイブリッドシステムを搭載したホイールローダ ZW220HYB-5B の燃費低減効果と製品の特徴を以下に述べる（図4参照）。

3.1 燃費低減効果

ZW220HYB-5B は、走行系のハイブリッド化による動力伝達効率の向上に加え、油圧系のエネルギー損失の低減、掘削作業時の出力の適正化などを行っている。その結果、日立建機の社内評価基準に基づいた作業燃費試験では、トルクコンバータ機の従来機（ZW220）比で31%の燃費低減を達成した。

ただし、ホイールローダは、その汎用性から碎石、農畜産、産業廃棄物処理、除雪、港湾荷役などさまざまな業種で使用されるため、作業形態によって燃料消費量の差が大きい。走行系がハイブリッド化されたZW220HYB-5Bは、基本的に走行頻度が高いほど燃費低減効果が大きくなる傾向がある。走行頻度が少ない場合や、アイドリング時間が長い場合は燃費低減効果が十分に発揮されないことがあるため、当該機の燃費特性を発揮できる作業形態の現場への導入を提案することが重要であると考えます。

3.2 製品の特徴

燃費低減に加えてZW220HYB-5Bは以下の特徴を有する。

(1) 周囲騒音の低減

ハイブリッド化によって小型エンジンの採用が可能となり、周囲騒音の大幅な低減を実現した。国土交通省の超低騒音型建設機械の指定基準を満足する騒音値を標準仕様で達成している。

(2) 無段変速によるストレスフリーの走行操作性

トランスミッションを廃止し、電動モータによる無段変速を実現した。掘削作業や登坂作業において変速操作が不要となり、また、変速ショックが発生しないためオペレー

タの疲労軽減に寄与する。

(3) 走行・作業の独立制御による省エネルギー運転の提案

従来機は、アクセルペダル操作でエンジン回転数を増減することで走行速度と作業機速度が連動して動作していたが、ZW220HYB-5Bは、アクセルペダルは走行速度、作業機レバーは作業機速度を制御するデバイスとして、独立制御が可能なシステムに改めた。ダンプトラックへの積み込み動作を一例とすると、作業機（バケット）は速く上昇させたいが、ダンプに接近するため走行速度は遅くしたいという場面がある。従来機はアクセルペダル操作によって作業機速度と走行速度が連動するため、フルアクセル操作をしながら走行速度を減速するためにブレーキペダル操作が必要となり、走行動力をロスする操作となっていた。

ZW220HYB-5Bは、作業機速度と走行速度を独立で操作できるため、所望する作業機速度は維持したまま、アクセルペダルを緩めることで走行速度を減速できる。したがって、最小限のブレーキ操作で積み込み作業ができるため、動力のロスを低減するとともに、ブレーキペダル操作量が減ることからオペレータの疲労軽減にも寄与する。

4. おわりに

ここでは、ZW220HYB-5Bのハイブリッドシステムの概要と、燃費低減効果の検証結果、ならびに製品の特徴について述べた。

化石燃料を使用する移動体の省エネルギー化技術は、自動車業界に代表されるように電動化が大きな流れとなって

いる。電動技術を利用したハイブリッドシステムは、今後、蓄電装置の蓄電容量の高密度化が進むにつれてロスエネルギーの回収量が増加し、さらなる燃費低減効果の拡大が期待される。また、ZW220HYB-5Bのシステムはエンジンを燃料電池に置き換えられる可能性もあり、将来的には環境に配慮したゼロエMISSIONの達成も期待できる。

日立建機は、日立グループのパワーエレクトロニクス技術を最大限に活用し、さらなる省エネルギー化を実現した建設機械を提供していく。

参考文献

- 1) 御堀：ハイブリッドカーのしくみがよくわかる本，技術評論社（2009.11）
- 2) 枝村，外：電動・ハイブリッド化による建設機械の省エネルギー化，日立評論，94，5，390～393（2012.5）

執筆者紹介



石田 一雄
日立建機株式会社 開発本部 建設車両システム事業部
開発設計センタ 所属
現在、ハイブリッドホイールローダの車体開発業務に従事



日暮 昌輝
日立建機株式会社 開発本部 制御システムセンタ 所属
現在、ハイブリッドホイールローダの制御システム開発に従事