

Agri-carbon neutrality with electric agricultural machines: investigation of
electrification specifications for low-torque agricultural management machinery
Daiki UENO

1. はじめに

農林水産省は、温室効果ガスゼロエミッション化の実現に向け 2021 年に「みどりの食料システム戦略」を策定した。それに基づき、当研究室では農業機械における電動化を高トルク農機、低トルク農機、トルク分散農機、小型農業ロボットの 4 種類に分類し、それぞれの電動化につながる研究を行っている。本研究では低トルク農機の電動化を図り、化石燃料からの切り替えによるカーボンニュートラル化への貢献を目指している。電動化の課題として連続作業時間の延長があげられる。そこで、消費エネルギーの削減を目指した低トルク農機電動化のための基本仕様を明らかにするため、電動乗用管理機の試作を行った。また、電動化の有効性の確認と機械負荷制御による効率的な制御方法を明らかにするために、走行実験と作業機を装着して圃場実験を行った。

2. 電動化仕様

供試機として、ディーゼルエンジンを搭載した乗用管理機 (ISEKI、JKB23H2U) を使用した (以下、エンジン式)。電動乗用管理機 (以下、モータ式) は前方のエンジンを取り外して前輪用モータを取り付け、車体の下側に後輪用モータ、椅子の下に作業機用モータを取り付けた (図 1)。モータ式は、コントロールユニットによってモータの回転数を制御し、前後輪のタイヤの回転速度や作業機の回転数を制御することが可能である (図 2)。(図 2) 上の①、②、③で車体の前進・後進、作業機の ON/OFF を操作し、④、⑤で車体速度と作業機の回転数を設定できる。また、走行中の前輪、後輪の走行速度と作業機の回転数、モータ電流値をモニターに表示するとともに SD カードに記憶できる。なお、設定速度は 0.1 km/h 単位、作業機回転数は 1 rpm 単位で制御可能であり、各モータ電流値のサンプリング間隔は 100 ms から 500 ms まで設定できる。

3. エンジン式とモータ式の消費エネルギー比較実験

3. 1. 実験方法

エンジン式との性能比較をするためにモータ式で走行実験を行った。測定項目はバッテリー電圧 (V)、モータ電流 (A)、走行時間 (s)、走行距離 (m) で、設定速度は低速 (1.0 km/h)、中速 (1.5 km/h)、高速 (2.0 km/h) で行った。バッテリー電圧はデータロガー (GL980 midi LOGGER) で測定した。実験場は愛媛大学先端農業 R&D センターの外周 191.8 m で行い、低速、中速、高速の各速度で 1 周走行し、500 ms 間隔でバッテリー電圧、モータ電流をサンプリングした。サンプリングしたバッテリー電圧とモータ電流から消費電力 (kw) を求め、走行距離 1km に必要な消費電力量 (kWh) を算出した。エンジン式の消費エネルギーは従前の研究結果を用いた。

3. 2. 実験結果

実験結果を表 1、表 2 に示す。消費エネルギーは設定速度が低速で 3.435 kWh、中速で 2.477 kWh、高速で 2.021 kWh であった。エンジン式における消費エネルギーの算出結果を表 3 に示す。ギア速度が低速 (2.5 km/h) で 8.386 kWh、中速 (3.0 km/h) で 5.744 kWh、高速 (5.0 km/h) で 1.346 kWh であった。

消費エネルギーを算出した際のエンジン式とモータ式の平均走行速度が異なるため、性能比較をするために算出した消費エネルギーと車体速度の関係から近似曲線を求め、同一速度における消費エネルギーを算出した。車体速度 1 km/h の時における消費エネルギーは、エンジン式で 10.883 kWh、モータ式で 2.110 kWh となり、モータ式のほうがエンジン式よりも消費エネルギーが小さかった。これは、モータ式ではモータのエネルギー効率が低い定格回転域で作動していることに対し、エンジン式では軽油のエネルギー量のうち駆動系に使用される割合が 30% 以下であることによると考えられる。

4. 機械負荷制御の検討

4. 1. 実験方法

機械負荷制御は、乗用管理機の作業効率と精度の向上を目的としている。圃場で作業機を動かしたとき、土壌状態によって作業機にかかる負荷は変化する。機械負荷制御は作業機用モータの電流値の変化から、負荷に対して効率的な作業を行うために、車体の速度や作業機回転数の制御を自動で行う。本実験では、機械負荷制御による効率的な制御方法を検討するために 2 種類の作業機、野菜用ロータリカルチ (CR33-BR)、マルチロータリ (MR93-BR) を用いて圃場で走行実験を行い、消費エネルギーを算出した。測定項目はバッテリー電圧 (V)、モ

ータ電流(A)、走行時間(s)、走行距離(m)であり、低速(1.0 km/h)、中速(1.5 km/h)、高速(2.0 km/h)のそれぞれで作業機回転数を200 rpm、300 rpm、400 rpm に設定して走行実験を行った。バッテリー電圧はデータロガー(NR-HV04、キーエンス)で測定した。実験は愛媛大学附属高校農場で行い、野菜用ロータリカルチでは18.6 m、マルチロータリでは9.0 m の直線で行った。

4. 2. 実験結果

実験結果を表4、表5に示す。野菜用ロータリカルチ、マルチロータリの両方で車体速度が上がれば消費エネルギーが下がった。また、作業機の回転数を変化させても消費エネルギーの変化は少なかった。結果から、消費エネルギーの変化が大きい車体の設定速度ではなく、消費エネルギーの変化の小さい作業機回転数を制御することで、エネルギー効率が向上すると考えられた。また、車体速度が一定に保たれるため、作業効率も良いと思われた。

5. まとめ・展望

乗用管理機を電動化することで消費エネルギーを小さくすることができた。作業機回転数を機械負荷制御することで、消費エネルギーが減少し、作業時間の延長が可能であると考えられた。

今後は、さらに消費エネルギーを減らすため、車体重量の削減を図るほか、作業機の機械負荷制御アルゴリズムの開発を目指し、作業機および土壌条件ごとの回転数とエネルギー効率との関係を明らかにする予定である。



図1 モータ式乗用管理機

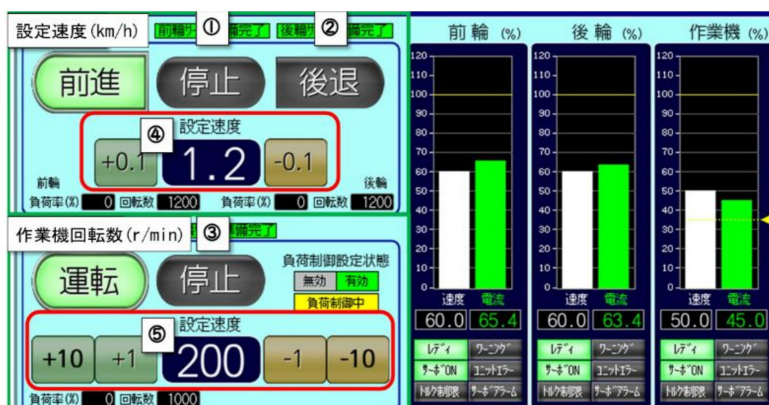


図2 モータ式の操作方法

表1 測定結果

設定速度 (km/h)	前輪モータ 消費電力 (kW)	後輪モータ 消費電力 (kW)	1 周走行 時間 (分)	1 周走行 距離 (m)	周回数 (周)
低速 1.0	1.391	0.397	22.1	191.8	1
中速 1.5	1.642	0.313	14.6	191.8	1
高速 2.0	1.751	0.383	10.9	191.8	1

表2 モータ式消費エネルギーの算出

設定速度 (km/h)	前後輪モータ 消費電力量 (kWh)	消費エネルギー (kWh)	平均走行速度 (km/h)
低速 1.0	0.658	3.435	0.52
中速 1.5	0.475	2.477	0.79
高速 2.0	0.388	2.021	1.06

表3 エンジン式消費エネルギーの算出

ギア速度 (km/h)	消費燃料 (g)	消費エネルギー (kWh)	平均走行速度 (km/h)
低速 2.5	365.3	8.386	2.28
中速 3.0	434.9	5.744	2.69
高速 5.0	101.9	1.346	4.83

表4 野菜用ロータリカルチの消費エネルギーの算出 (kWh)

設定速度 (km/h)	作業機回転速度 (rpm)		
	200	300	400
低速 1.0	8.323	7.032	7.357
中速 1.5	4.903	5.192	5.188
高速 2.0	3.891	3.985	4.005

表5 マルチロータリの消費エネルギーの算出 (kWh)

設定速度 (km/h)	作業機回転速度 (rpm)		
	200	300	400
低速 1.0	7.320	5.982	6.485
中速 1.5	5.245	5.126	5.118
高速 2.0	4.498	4.340	4.676