

電動カート「モンパル ML200」の開発

Development of Monpal ML200 4-Wheel Scooter

市川 勝久*

Katsuhisa ICHIKAWA

山岸 善彦*

Yoshihiko YAMAGISHI

廣瀬 好寿*

Yoshihisa HIROSE

石川 智明*

Tomoaki ISHIKAWA

山本 隆弘*

Takahiro YAMAMOTO

要 旨

「スマートパッケージ」をコンセプトとした電動カート「モンパル ML200」を開発した。

Aアーム式独立フロントサスペンションおよびフローティングアクスル式リヤサスペンションの採用と主要部品の低配置による低重心化により、静的・動的安定性を確保するとともに乗り心地が向上した。

モータコントローラには金属ベース基板を採用し、三次元マップシステム同定速度制御および自社製ブラシレスモータ内蔵一体型トランスミッションにより効率の向上と駆動抵抗の低減を図った。車両としての消費電流値は、従来のモンパル ML100 に対し9%改善し、一充電当たりの走行距離は 34.3 km を達成した。

また、Honda ASV-3 LONG 技術を採用した灯火器類の配置により、被視認性が向上した。

ABSTRACT

The Monpal ML200 4-wheel scooter has been developed based on the “Smart Package” concept.

Increased static and dynamic stability and greater user comfort were realized by adopting A-arm independent front and floating axle type rear suspensions and by reducing the center of gravity by locating the main parts lower down.

A metal base plate was adopted for the motor controller, while the use of a 3D map system identification speed control and a Honda-manufactured brushless motor with an integrated transmission improved efficiency and reduced drive resistance.

The scooter's overall electrical consumption was improved by 9% over that of the current Monpal ML100 model, and a running distance of 34.3 km on a single battery charge was achieved.

Moreover, the arrangement of the lights, based on Honda ASV-3 LONG technology, has enhanced visibility.

1. まえがき

Honda が 1999 年に発売した四輪タイプ「モンパル ML100」⁽¹⁾は、市場の主流を三輪タイプから四輪タイプに移行させる先駆けとなり、その登坂性能の良さから、特に中山間地を中心とした多くのお客様に好評を頂いてきた。

「モンパル ML200」は、より多くのお客様に移動の喜びを提供するため、中山間地はもとより、人口比率が高く今後も増加が見込まれる都市近郊部でも、より安心して、気楽に乗ることができる新しい電動カートをねらいとした。

モニタやアンケート調査から、都市近郊部では、まわりの人を威圧しない適度なボリューム感、保管場所およびエレベータの乗り降りを含めた取り扱い性が要求されている

*汎用開発センター

ことがわかった。

そこで、商品コンセプトを「スマートパッケージ」とし、「安心」「快適」「おしゃれ」を三つのキーワードとおいた。

2. 商品特徴

Fig. 1 にモンパル ML200 の外観を、Fig. 2 にデザインスケッチを、Table 1 に主要諸元を示す。

・デザイン

「QUALITY LIFE —毎日の生活をより豊かにする、安心、快適、おしゃれな乗り物」をデザインコンセプトとし、コンパクトでスリムでありながら、低重心で安定感を与えるデザインとした。

Table 1 Major specifications

Items	Specifications	
Model name	New Monpal ML200 (DX)	Monpal ML100 (DX)
Overall length (mm)	1,190	1,190
Overall width (mm)	595	680
Overall height (mm)	1,045	1,080
Tread (mm)	500	Front: 590/Rear: 530
Vehicle weight (kg)	112	94
Tire size	80/80-6	Front: 3.00-4 Rear: 70/100-8
Batteries	Valve Regulated Lead Acid 12V-35AH × 2	
Motor (30 min. rated output)	DC brushless motor (24V 430W) × 1	DC brush motor (24V 360W) × 1
Drive system	Direct 2-rear-wheel drive system (with differential)	
Brakes	Electromagnetic brake, regenerative brake, manual brake	
Max. speed (km/h)	6	6
Min. turning radius (mm)	1,430	1,470
Max. continuous driving range (Until stopping) (km)	34.3 (6km/h on level surface)	31.6 (6km/h on level surface)
Max. driver weight (kg)	100 (including baggage)	100 (including baggage)



Fig. 1 External view of Monpal ML200



Fig. 2 Design sketch

- (1)「愛着感」を表現したフロントフェイス
- (2)「軽快感」を表現したサイクルタイプのフロントフェンダ
- (3) U字型ピラー風デザインで、乗る人が守られるような「シッカリ感」を表現したフロントパネルとフロアから続くリヤパネル

- ・取り扱い性に優れたパッケージ

モンパル ML100 に対し、85 mm 狭い自転車並みの車体幅 595 mm とし、走行時、保管時、エレベータへの乗り降りにおいても、容易に扱える寸法とした。

また、運転者から、タイヤの向きが容易にわかるフロントフェンダを採用し、優れた取り回しを実現した。

- ・快適な乗り心地

フロントおよびリヤサスペンションの設定により、操縦安定性と乗り心地を両立させた。

- ・安心の走行性能

自社製ブラシレスモータ内蔵の一体型トランスミッションおよび三次元デジタルマップシステム同定速度制御を採用したモータコントローラにより、一充電当たり 34.3 km の走行距離と上り坂でも速度の低下が少ない登坂性能を達成した。

- ・進化した操作系

左右両側走行レバー、電源連動自動リセット付き前後進切り替えスイッチ、一目でわかる大型インジケータ、キャンセル機能付きウィンカの採用により、使いやすさと安心感を追及した。

- ・高い被視認性

Honda ASV-3 LONG 技術を車両側面に取り入れ、灯火器類を車体の低い位置に配置することにより、距離感を向上させた。また、灯火器類の個数増加と車体の高い位置

への配置により、自動車等の運転者からの発見率を向上させた。

本技術紹介では、主な特徴である「スマートパッケージ」「快適で安心な乗り心地」「安心の走行性能」を具現化した車体技術、パワートレイン技術、制御技術について述べる。

3. 車体技術

3.1. 安定性の確保

電動カートと一般的な車両との違いを以下に示す。

- ・車両重量(約 100 kg)に対し運転者の体重が相対的に大きい、運転者の体重移動による安定性向上は期待できない。
- ・運転者の想定体重が 40 - 100 kg と幅広い。
- ・車両寸法は型式認定基準により、全長:1200 mm×全幅:700 mm ×全高:1090 mm 以下に規定される。
- ・相対的に重心高が高いため、傾斜地での荷重移動が大きい。
- ・乗降性、視認性、居住性を考慮すると着座位置を下げるにも限界がある。
- ・使い勝手から要求される旋回半径を 1.5 m 以下とするには、舵角は内輪側で 55° 以上必要である。
- ・駆動、制動が後輪のみに依存するため、安定した駆動力、制動力を得るためには、前輪/後輪の重量比は30/70(%)程度に設定する必要がある。

上記の制限のもとで、モンパル ML100 に対し、車体幅を狭めながらも安定性を確保し、サスペンションの装着により快適性を向上させることが課題であった。

3.1.1. 静的安定性

トレッドを狭くすることによって低下した静的安定性は、重心高を下げることで補った。

具体的には、バッテリー等の重量物の低配置レイアウト、ウレタン封入パンクレスタイヤ、サスペンション、回転シート機構等の装備による重量増加分で、モンパル ML100 に対し重心高は22 mm下がり、傾斜面での静的転倒角は約 5° 向上した。

3.1.2. 動的安定性

電動カートの動的安定性において主として問題となるのは、傾斜地を降坂中にハンドル操作をした場合の横方向への転倒である。

傾斜地で車両が不安定となるのは、原因として Fig. 3 に示す以下の三項目が考えられる。

- (1) 傾斜角そのものが車両の横方向安定性限界を超えてしまう場合
- (2) 傾斜角と定常旋回中の旋回横 G (斜面方向成分)の和が車両の横方向安定性限界を超えてしまう場合
- (3) 旋回横 G によるロールに伴い後内輪が浮き上がり、デフが差動して傾斜による増速で増加した横 G (斜面方向

成分)と傾斜角の和が車両の横方向安定性限界を超えてしまう場合

(1)と(2)は通常想定される路面傾斜で発生することは考えにくい、(3)は車両の特性に依存する部分であり、限界状態ではこのケースで不安定になる場合が多い。

今回、こうした挙動を抑制するために以下の手法を採用した。

(1) リヤサスペンションにロール方向の自由度を与え(後述)旋回時の接地性を向上

(2) 従来からの旋回減速機能に対し、舵角に対する減速タイミングの見直しと急ハンドル時の減速追従性を向上
この二項目と前述の低重心化の効果によりトレッド幅の縮小にもかかわらず、動的安定性が向上した。

3.2. 乗り心地の向上

電動カートの使用環境下には、歩道や縁石の段差、舗装の継ぎ目、補修跡、マンホールのふた、横断歩道のペイントから滑り止め鋼板の表面まで非常に多くの凹凸があり、衝撃や振動としてシートやハンドルに伝達される。これらの衝撃、振動を吸収し、かつ乗り心地を向上する目的で、前後にサスペンションを設定した。

3.2.1. フロントサスペンション

フロントサスペンションは、構造の簡単な、片側各一本の A アームとショックアブソーバによる左右独立の構成とした。対地キャンバ変化が大きくなるが、使用実態(車速、横加速度等)からグリップ変化や偏磨耗への影響は許容範囲内と判断した。

また、ホイールレートを多段とし、運転者が乗り込んだ状態での沈み込みを大きくとることにより、前輪分担荷重が小さい中で、快適な乗り心地と急坂等で前輪から荷重が抜けたときの接地性を確保し安定性向上を図った。

これにより登坂時や低 μ 路での転舵発進時の思わぬ直進方向への走行等の不安定な挙動を抑制し、高齢者でも安心して運転できるハンドリングを実現した。

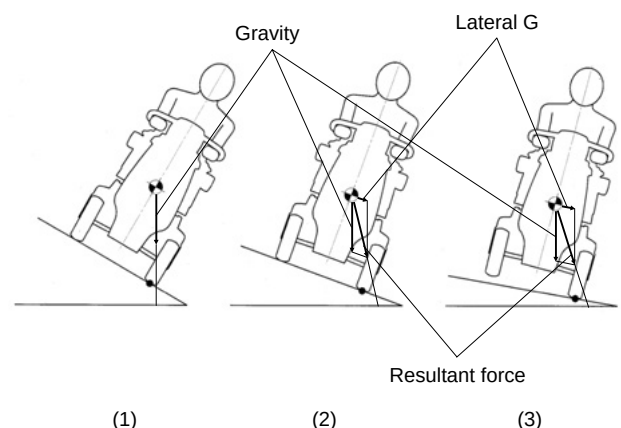


Fig. 3 Unstable vehicle model

また、筋力の小さな高齢者が長時間運転することを考慮し、操舵力を低減するためキャスタ角：2°，キングピン角：7°（モンパル ML100 はキャスタ角：5°，キングピン角：10°）としハンドル復元力を必要最小限とした。

電動カートでは基本的に手放し状態では車両停止となるため、過度のハンドルのニュートラル復元力は不要であり、ハンドル操作の軽快さを優先させたセッティングとした。

Fig. 4 にフロントサスペンションの構造，Fig. 5 にフロントタイヤの荷重と変位の関係を示す。

3.2.2. リヤサスペンション

一般的に、電動カートに用いられているリヤサスペンションは、モータおよびトランスアクスルユニットが左右各一本のトレーリングアームに支持された、上下方向にのみスイングする一自由度のリンクである。

モンパル ML200では、トレーリングアームのフレーム側ピボット一箇所とトランスアクスル側結合部二箇所にゴムブッシュを用いて、ロール方向の動きを与える二自由度のリンクのフローティングアクスル式とした。ラテラルロッドは安定性、乗り心地および強度を検証し省略した。

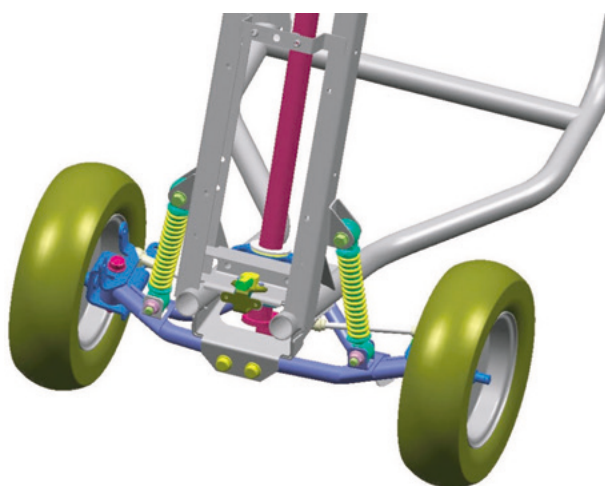


Fig. 4 Front suspension

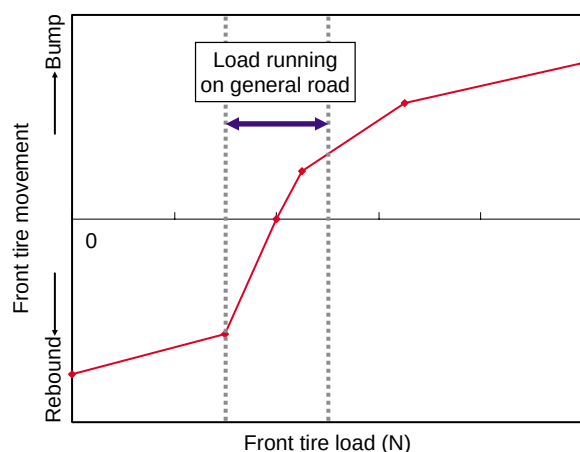


Fig. 5 Relationship between load and movement

ロール剛性は片側三個のブッシュ硬度とショックアブソーバの横方向取り付けスパンで調整した。特にフレーム側のブッシュには、スグリを入れ、ロール方向にたわみやすくすることで、片輪乗り上げ時やロール時の接地性と乗り心地を向上させた。

Fig. 6 にリヤサスペンションの構造，Fig. 7 にフレーム側のブッシュの断面を示す。

3.2.3. タイヤ

従来の空気入りタイヤから発泡ウレタン封入のパンクレスタタイプの専用設計とし、出先でのパンクの不安を解消した。乗り心地と走行抵抗を両立させるための接地面形状やウレタン硬度、路面条件の変化に対し安定した駆動力、制動力を得るためのパターン等を各種テストにより決定した。

Fig. 8にタイヤ構造およびタイヤパターンを示し，Fig. 9 にタイヤとサスペンションの乗り心地への寄与度を示す。

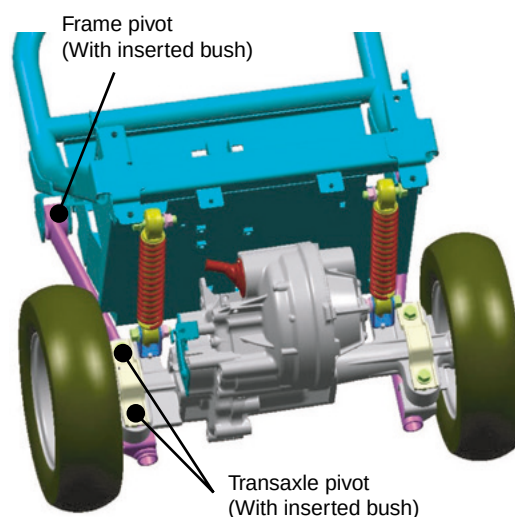


Fig. 6 Rear suspension

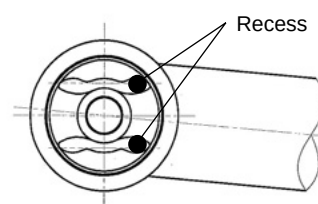


Fig. 7 Frame bush cross section

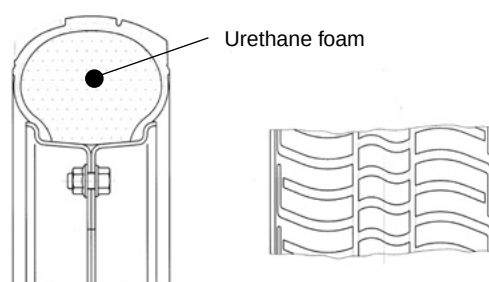


Fig. 8 Tire structure and pattern

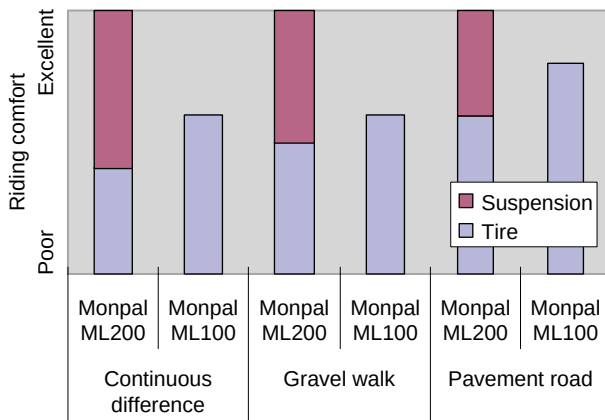


Fig. 9 Contribution to riding comfort

4. パワートレイン技術

4.1. パワートレイン構成

パワートレインは、駆動モータとして自社製ブラシレスモータを採用し、ギヤケースと一体に構成した。この構成により、部品点数の削減とモータとギヤケースとの取り付け誤差によるギヤ音の発生を防止している。

モータ軸上には、電磁ブレーキを装着しており、電源スイッチ、走行レバーの ON-OFF と車軸回転速度を検出して電磁ブレーキの作動を制御し、車両停止時には常にブレーキがかかるシステムとした。これにより、傾斜地等で停止した際にも、自動的にブレーキが作動し車両が静止保持される。

ギヤケースは三軸構造で、二軸目のカウンタシャフトにはクラッチと手動ブレーキを装着している。

クラッチはバッテリー上がりや故障時など、車両を人力で手押し移動する際に、車軸を自由に回転できるようにするもので、カウンタ軸とカウンタドリブンギヤのスプラインをシフトにより断続する構造としている。

手動ブレーキは、ロック機構付のブレーキレバーにより操作され、手押し移動時の制動や駐車時に使用されるもので、一般的な内拡式ドラムブレーキを採用している。

Fig. 10 にパワートレインの構造を示す。

ない磁石量で広範囲な運転を可能としている。

このIPM構造ロータは、このモータを先行して搭載したハイブリッド除雪機 HSS1170i において、Honda として初めて採用し、自社熊本製作所で生産している⁽²⁾。

4.2.2. 半閉スロット構造ステータ

走行用モータとしてモータ自体を滑らかに回転させる手法は、スキュー構造の磁極構成やステータの閉スロット化が用いられるが、どちらも磁石の有効磁束量を下げることになり、同一体格でのパワー密度を減少させることになる。

本モータではステータを半閉スロット構造とし、さらにIPM構造ロータの磁石幅と埋め込み深さの最適化を行うことにより、回転の滑らかさと高出力化を両立させている。

Fig. 11 に半閉スロットステータの構造を示す。

4.2.3. 分割コアステータによる極太巻き線の採用と内径側バスリング構造

分割コアステータにすることで、巻き線機にはボビン型を採用する事が可能となった。また、巻き線に自己融着線を用いることで、一般に行われているワニス工程を廃止することが可能になった。

分割コアステータを採用した場合、コアに集中巻きをした各コイルを集線する必要がある。本モータではコイル端をステータ内径側へ配した。このため集線を行うバスリン

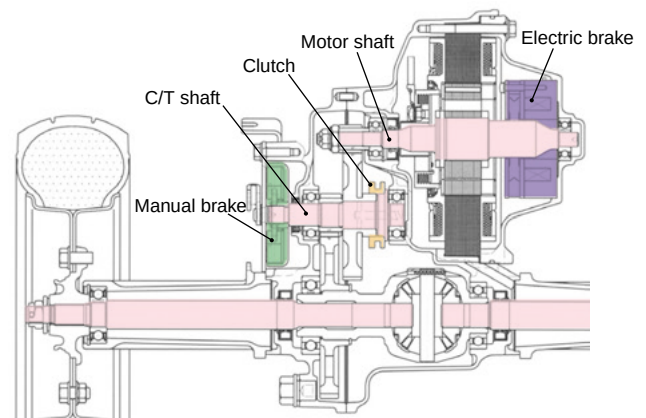


Fig. 10 Structure of power train

4.2. トランсмисシヨーン一体型モータ構造

4.2.1. IPM 構造ロータ

従来のロータは、鉄芯(コア)に磁石を接着することにより構成された Surface Permanent Magnet (SPM) 構造を採用しているため、発生する電機子反作用の影響で高温負荷時の減磁の要因となっていた。

本モータで採用したロータは、平板型の磁石を埋め込む Interior Permanent Magnet (IPM) 構造をとっている。この構造をロータに用いることにより、低速域でのリラクタンストルクの利用、高速域での弱め界磁制御が可能となり、少

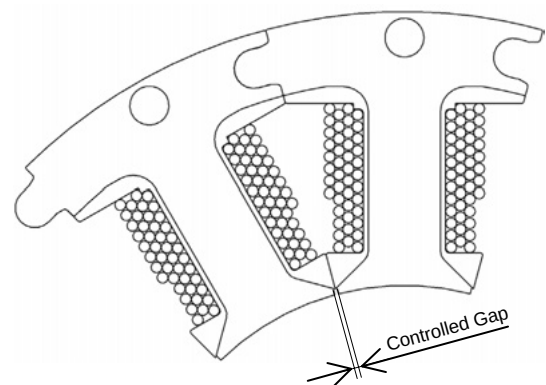


Fig. 11 Semi closed stator

グとコイルを結線する箇所は、ステータ内径に突出可能となりヒュージング結合を行うための溶接電極がステータ内径部を利用して配置することが可能となった。このため電極構造が小型単純化されることにより、配線長が短くなり電気抵抗が低減された。

4.3. 走行駆動系の効率向上

電動カートにおいて、一充電あたりの走行距離は重要な性能指標となる。モンパル ML200 の開発にあたっては、走行距離をモンパル ML100 に対し 5 % 以上向上させることを目標に、走行駆動系の効率向上を図った。

効率向上の手法としては、後述の高効率ドライブシステムを採用するとともに、モータ回転数の最適化、モータ軸に低フリクションタイプのシールドベアリングを採用するなどモータ部の消費電流の低減を図り、6 km/h 平地走行時、0.2 A (モンパル ML100 比) の消費電流値を低減した。

また、トランスミッションオイルには、近年省燃費型のエンジンに使用されている、0W-20 エンジンオイルを採用し、オイルの攪拌抵抗による、消費電流値を 0.1 A 低減した。

電磁ブレーキは、ブレーキ解除後、電圧の Duty 制御 (75 %, 500 Hz) を行うことによって実効電圧を落とし、0.1 A の消費電流値を低減した。

これらの結果、車両全体ではモンパル ML100 に対し、消費電流値は約 9 % 改善し、一充電当たり 34.3 km (DX タイプ実力値) の走行距離を達成した。

Fig. 12 にモンパル ML100 との消費電流値比較を示す。

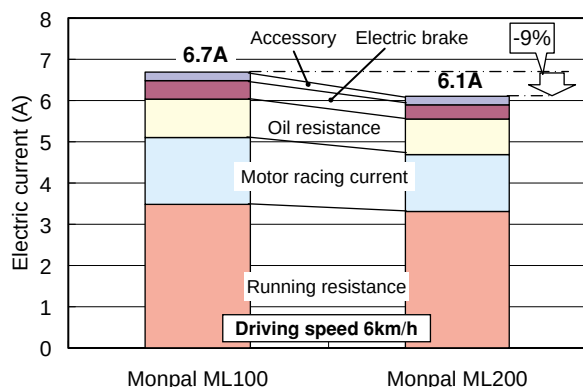


Fig. 12 Comparison of current

5. 制御技術

5.1. 高効率ドライブシステム

金属ベース基板を採用した放熱性の改善、三次元マップシステム同定速度制御による出力特性の改善により、モータコントローラの高効率化を実現した。

モンパル ML100 で採用のブラシモータとモンパル ML200 のブラシレスモータの出力特性の比較を Fig. 13 に示す。

5.1.1. 金属ベース基板を採用したモータコントローラ

モータコントローラの小型・軽量化と大出力化の要求から、ユニット中で発熱が最も大きいドライブ部の放熱性を向上させるため、モータコントローラに厚さ 5 mm のアルミ金属ベース基板を採用した。

また、モータコントローラはシート下にあるフレーム部品の鉄板 (厚さ 1.2 mm) に、放熱シートを介してボルトで締結している。

Fig. 14 にモータコントローラの実機上でのレイアウトを示す。

これにより、モータドライブ部の熱はアルミ基盤で分散され、ダイレクトにフレームに放熱することが可能になり、従来放熱のために使用されていたヒートシンクが不要になった。

この結果、モータコントローラの大出力化および小型、軽量化を両立することが可能となり、モンパル ML100 と比較すると、5 % の効率アップとなった。

車速 6 km/h 走行時のモータドライブシステムの効率の比較を Fig. 15 に示す。

5.1.2. 三次元マップシステム同定速度制御

IPM ロータ構造を採用した DC ブラシレスモータの特性を最大限に発揮させるために、モータの速度・トルクに応じ

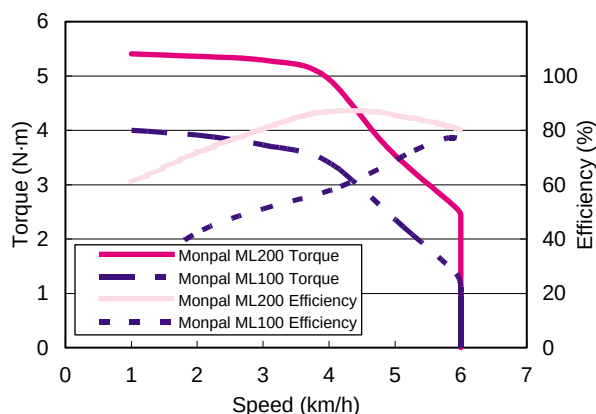


Fig. 13 Comparison of power & efficiency

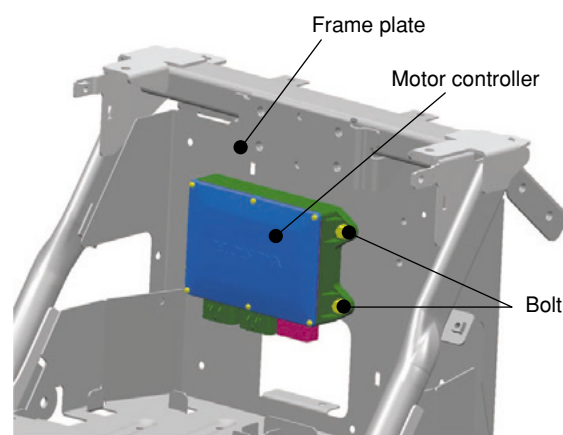


Fig. 14 Layout of motor controller

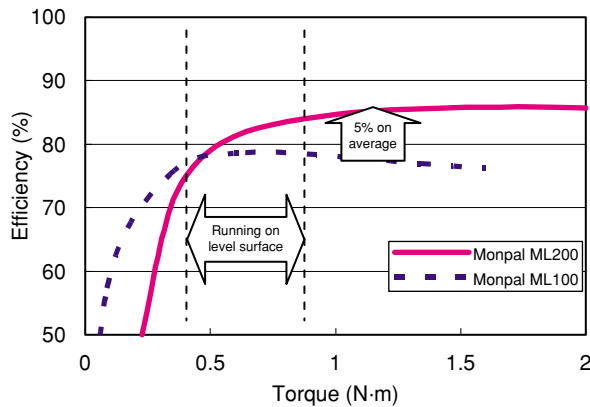


Fig. 15 Comparison of motor efficiency

て最適な通電パターンを与える必要がある。

本システムでは外部から入力される指示回転数と実回転数の差分から出力トルクを推定し、その推定した出力トルクに必要とされる DUTY 値、進角値、通電角値を ROM 上の三次元マップから算出する。この算出演算をリアルタイムに行うことにより、安定した速度制御を実現している。

ところで、本システムのモータは前述の IPM 構造ロータおよび集中巻きステータで構成していることから、最適な速度制御を実現した場合の電磁界モデルが非常に複雑になる。そこで前述の ROM 上の DUTY 値、進角値、通電角値の三次元マップはあらかじめ計算と実測によって求めている。

Fig. 16 に DUTY 値の三次元マップ代表特性を示す。

5.2. その他の制御技術

5.2.1. 旋回減速制御

一般的に、電動カートには旋回時の走行フィーリングと車体安定性向上の目的から、運転者のハンドル操作量に応じて、車体の最高速度を制限する旋回減速機能がある。

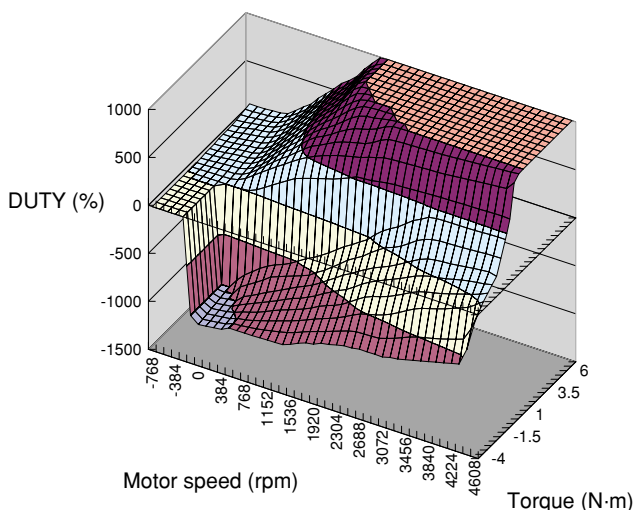


Fig. 16 Three-dimensional map of DUTY

モンパル ML100 ではステアリングシャフトのラジアル方向に取り付けた旋回スイッチの ON, OFF でハンドル操作量を検知していたが、モンパル ML200 ではステアリングシャフトの回転操作量をより正確に検出するためにステアリングシャフトからギア駆動されるポテンシオメータでハンドル操作量を検知している。運転者のハンドル操作量はリニアにポテンシオメータの出力値となるため、これに応じたりニアな減速制御を行うことでスムーズな旋回減速を実現した。

車速設定値とモータコントローラ内のステアリング比との関係を Fig. 17 に示す。車速が 4 km/h 以上出ている場合には、ハンドル操作により最小 4 km/h まで減速させている。これらの関係を(1)式に示す。

$$N_{cd} = N_{cm} \times R_{st}$$

$$N_{set} = N_{iset} - N_{cd} \quad (1)$$

N_{cd} : 最高速度の減速度

N_{cm} : 旋廻減速前の車速度

R_{st} : ステアリングのポテンシオからの旋回比

N_{iset} : ユーザアクセル操作による車速度設定

N_{set} : 実際の車速度設定

5.2.2. CAN 通信の採用

モンパル ML200 では、機能別にコントロールパネル部 ECU とモータドライブ部 ECU の二つの ECU で構成され、ECU 間の情報の交換を Controller Area Network (CAN) 通信により行っている。

操作部の走行レバー、前後進切り替えスイッチ、最高速度設定ボリューム、ステアリングセンサの信号をコントロールパネル ECU が受け、CAN 通信経由で情報を伝達し、モータドライブ部 ECU での最適モータドライブ制御を行うドライブバイワイヤ (DBW) を実現している。

CAN 通信の効果としては下記があげられる。

- (1) 発熱の大きなドライブ部を 1 ヶ所に集約できた。
- (2) 操作部のハーネスを短縮できた。

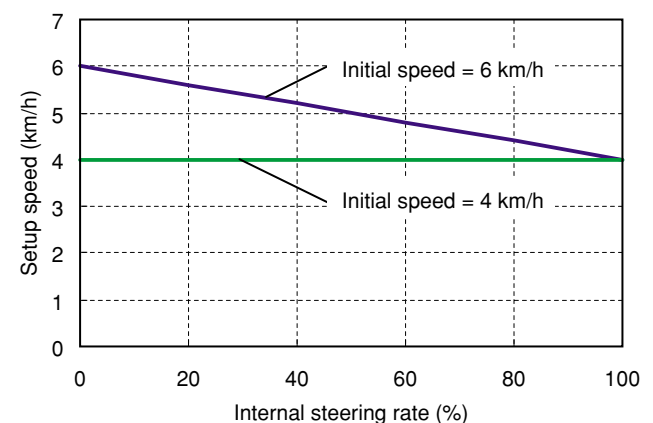


Fig. 17 Relationship between setup speed and internal steering rate

- (3)稼動部のハーネス数を現行モンパルに対して約50%少なくすることができた。
- (4)ECUが機能別に別れているため、高度な故障診断ができた。

6. むすび

サスペンションの設定と低重心化により操縦安定性・乗り心地が向上し、三次元マップシステム同定速度制御・自社製ブラシレスモータ内蔵一体型トランスミッションの効率アップにより車両として一充電あたりの走行距離が向上してきた。

これらの車体技術・パワートレイン技術・制御技術により、商品コンセプトである「スマートパッケージ」、キーワードである「安心」「快適」「おしゃれ」を具現化することができた。

「モンパルML200」は、その結果、従来の電動カートに対して、より使いやすい商品となり、多くのお客様に喜んで使って頂けると確信している。

参考文献

- (1)保坂潤，乾勉，前坂清富：電動四輪車いす「モンパル ML100」の開発，HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No. 1, p.21-26
- (2)脇谷勉，山岸善彦，川上俊明，御菩薩池勉：小型ハイブリッド除雪機における電気制御システムの開発，Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.1, p.63-70

■著 者■



市川 勝 久



廣 瀬 好 寿



山 本 隆 弘



山 岸 善 彦



石 川 智 明