All Rights Reserved. CopyRight(C)2012
Shin-Kobe Electric Machinery Co., Ltd.

リチウムイオン電池搭載 5 人乗りゴルフカート「キャリーECO5ML-Z」

Golf Cart "CARRY ECO5ML-Z" Installed Lithium Ion Batteries

加納祥博＊ *Yoshihiro Kanou*　真田吉男＊ *Yoshio Sanada*
吉岡達矢＊ *Tatsuya Yoshioka*　越田佳男＊ *Yoshio Koshida*　白鷹　優＊ *Masaru Shirataka*

ゴルフ場のサービス向上策として，カート専用道路のみの走行からフェアウェイへの乗り入れを要望する傾向が強くなってきている。このような顧客要望があるが，鉛蓄電池搭載のゴルフカートでは質量が重く，芝を傷めやすいため，フェアウェイへの乗り入れはあまり行われていない。今回，車体質量の軽量化等によりフェアウェイ乗り入れを可能とすることを目的に，当社開発のリチウムイオン電池を搭載した 5 人乗りゴルフカート「キャリーECO5ML-Z」を開発した。

「キャリーECO5ML-Z」は従来カートの「安全」「快適」「高性能」の技術を継承しながら，当社開発の大容量リチウムイオン電池を搭載したことにより，軽量・ハイパワーを実現し，1回の充電で2ラウンドの走行が可能となった。

The recent growing interest in environmental matters at golf courses may promote replacing the golf cart from gasoline type to battery type. At the same time, responding to golfers' demands, many golf courses are tending the cart driving into fairway from golf cart pavement. However because of heavy batteries, conventional cart equipping lead-acid batteries is easy to damage the grass on golf course fairway, and quite few courses allow battery cart driving on fairway. For the purpose of being drivable on fairway, "CARRY ECO5ML-Z", 5 passengers lightweight cart with lithium-ion batteries, has been developed.

"CARRY ECO5ML-Z", not only inheriting conventional cart technologies of "Safety" "Comfort" and "High Performance" but also equipping large capacity lithium-ion batteries developed by Hitachi, having the feature of lightweight and high power, enables to play 2 rounds a day as well.

〔1〕緒　言

現在，日本には約 2,400 ヶ所のゴルフ場があり，その 90% 以上はゴルフカートを導入している。

当社は早くから環境問題に着手し，バッテリーメーカとしての優位性を生かして，1999 年に業界初のバッテリー式電磁誘導乗用カート「キャリー ECO5」[1] を発売，2009 年にはフルモデルチェンジの「キャリー ECO5-Z」[2]（以下，現行品と記す）を発売し，「安全」「快適」「高性能」のキーワードのもと，市場から好評を得ており，17,000 台以上のゴルフ場への納入を達成した。

しかし，ここ数年で見るとゴルフ場入場者数は増加傾向にあるもののプレー料金の価格競争による厳しい経営状況の中，経費削減策としてカート使用年数を長期化させ，買い替えを控えるゴルフ場が増加しているため，市場におけるカートの販売台数は横這いの状態となっている。ただし，バッテリー式のゴルフカートは，エンジン式に比べて音が静かであり，排気ガスの発生もないという特長を有することから，地球温暖化防止のため世界規模で「CO_2削減」が推進されている状況において，今後，エンジン式カートからバッテリー式カートへの買い換えや移行が進んでいくと思われる。

市場では，セルフプレーへの移行が進み，ゴルフ場側の

＊ Li 事業本部　SE 事業統括部

All Rights Reserved. CopyRight(C)2012
Shin-Kobe Electric Machinery Co., Ltd.

サービス向上策としてフェアウェイ乗り入れを検討するゴルフ場が多くなっているが，エンジン式に比べ，従来のバッテリー式カートは質量が重いため芝を傷めやすく乗り入れはあまり行われていない。

このような背景のもと，当社開発の大容量リチウムイオン電池をカートに搭載し，フェアウェイの乗り入れを可能とした5人乗りゴルフカート「キャリーECO5ML-Z」（以下，「ECO5ML-Z」と記す）を開発した。以下にその技術内容を報告する。

〔2〕「ECO5ML-Z」の概要と特長

「ECO5ML-Z」は，ハンドルとアクセルペダル，ブレーキペダルの操作によるマニュアル式で，運転手による手動運転により走行する。

動力源は当社で開発したリチウムイオン電池で，これをカート中央に搭載して，駆動用モータ，ブレーキ用モータなどを駆動させ，最大20度の登降坂能力と，1回の充電で2ラウンドの手動走行を可能としている。

「ECO5ML-Z」の主な特長は，

【軽量】リチウムイオン電池搭載により5人乗りゴルフカートとしてフェアウェイ乗入れの可能性を拓く軽量化を実現

【パワフル】上り坂のスピードアップ

【快適】ハンドルが軽く，静かに走行，発進はソフト発進でスムーズな加速

【経済性】電池の消費電気量低減，1回の充電で2ラウンド走行可能

表1に「ECO5ML-Z」の仕様，**図1**に「ECO5ML-Z」の外観写真を示す。

〔3〕車体構造

3.1 フレームと懸架構造

フレームは，車両全体を支える梯子形のパイプフレームを骨格構造とするメインフレームと，後輪車軸を支えるサブフレームの二つに分割した。メインフレームとサブフレームの主要部に材料強度の高い丸パイプを使用して強度を確保し，たわみを抑えた。

サブフレームは，メインフレームと3ヶ所で連結した。**図2**に「ECO5ML-Z」のサブフレームアッセンブリーを示す。1ヶ所目（図2①）は，メインフレームの中央部との間に防振ゴムを介し，連結した。路面から振動が加わった場合などは，この連結した取付軸を中心に回転し，車体を揺動させる機構（以下，センタースイングと記す）となっている。

取付軸は進行方向に対し，横方向から取り付けることにより，車体のねじれを防振ゴムで吸収して乗り心地の向上を実現した。センタースイング方式において，防振ゴムはカートの発進・ブレーキ時の衝撃吸収，カーブ走行時のロール剛性，バンプ走行時のクッションの役割を果たす重要なものである。2ヶ所目（図2②）は，メインフレームの後部と左右のショックアブソーバで連結させた。ショックアブソーバは，バネ定数および減衰率の変更とブッシュを大きくしてクッション性の改善を図った。3ヶ所目（図2③）は，ラテラルロッドを通じてメインフレーム後部に連結させ，横荷重を抑えた。

3.2 フレーム強度解析

フレームの強度設計には，FEM（有限要素法 Finite Element Method）によるコンピュータ応力解析を実施した。解析条件としてゴルフ場での実測最大上下加速度を静的荷重として加えた。フレーム応力解析の結果を**図3**に示す。解析結果で応力の高い箇所にリブ等の補強を追加し，応力を分散させた[3)]。その結果，応力は使用鋼材[4) 5)]の許容応力以下となり，強度的に問題がないと判断した[6)]。

表1 「ECO5ML-Z」の仕様
Table 1 Specifications of "ECO5ML-Z"

<table>
<tr><th>項目</th><th colspan="6">「ECO5ML－Z」</th></tr>
<tr><td>走行操舵</td><td colspan="6">ハンドル操作</td></tr>
<tr><td>定員</td><td colspan="6">5名（65 kg×5 名 =325 kg）</td></tr>
<tr><td>積載</td><td colspan="6">4バッグ（40 kg）＋他小物（10 kg）</td></tr>
<tr><td>全長</td><td colspan="6">3,450 mm（バッグスタンド折畳時 2,950 mm）</td></tr>
<tr><td>全幅（前／後）</td><td colspan="6">1,100 mm ／ 1,250 mm</td></tr>
<tr><td>全高</td><td colspan="6">1,830 mm</td></tr>
<tr><td>ステップ</td><td colspan="6">高さ：250 mm，幅：1,100 mm</td></tr>
<tr><td>最低地上高</td><td colspan="6">115 mm（サブフレーム）</td></tr>
<tr><td>トレッド</td><td colspan="6">前：905 mm，後：905 mm</td></tr>
<tr><td>ホイルベース</td><td colspan="6">1,900 mm</td></tr>
<tr><td>質量</td><td colspan="6">375 kg（電池除く）</td></tr>
<tr><td>タイヤサイズ</td><td colspan="6">205/50-10</td></tr>
<tr><td>登降坂角度坂</td><td colspan="6">上り：20°，下り：20°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">速度（手動）</td><td>勾配（°）</td><td>0</td><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td></tr>
<tr><td>速度（km/h）</td><td>19.0</td><td>18.0</td><td>16.0</td><td>14.0</td><td>12.0</td></tr>
<tr><td>走行モータ</td><td colspan="6">他励式直流モータ（DC48V，3 kW）</td></tr>
<tr><td>減速機</td><td colspan="6">減速比：1/13，デファレンシャル式</td></tr>
<tr><td>懸架方式</td><td colspan="6">（前輪）スイングアクスル式
（後輪）センタースイング式</td></tr>
<tr><td>ブレーキ</td><td colspan="6">（前輪）ディスクブレーキ
（後輪）ドラムブレーキ</td></tr>
<tr><td rowspan="3">搭載電池</td><td>種類</td><td colspan="5">リチウムイオン電池</td></tr>
<tr><td>型式</td><td colspan="2">KL50-8×2個</td><td colspan="3">KL90-8×2個</td></tr>
<tr><td>容量</td><td colspan="2">50 Ah</td><td colspan="3">90Ah</td></tr>
</table>

図1 「ECO5ML-Z」外観
Fig.1 Appearance of "ECO5ML-Z"

All Rights Reserved. CopyRight(C)2012
Shin-Kobe Electric Machinery Co., Ltd.

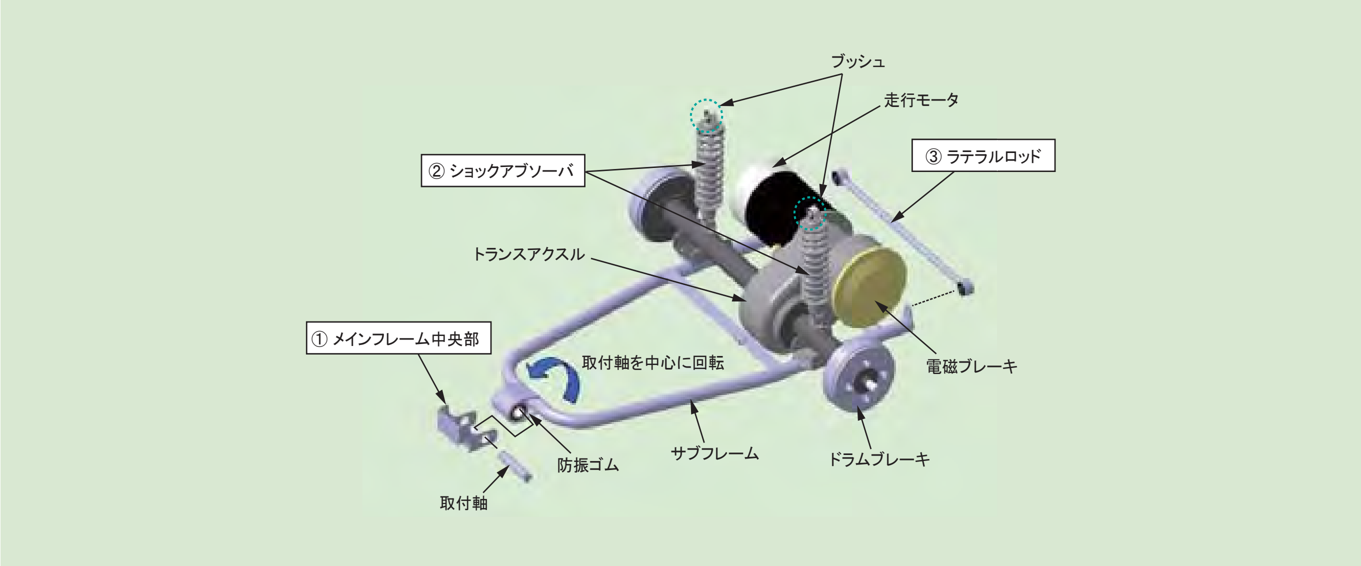


図2 「ECO5ML-Z」のサブフレームアッセンブリー
Fig.2 Sub-frame assembly of "ECO5ML-Z"

3.3 ブレーキ

(1) ブレーキ構造

「ECO5ML-Z」のブレーキシステムは，通常走行時のブレーキとして4輪油圧式の機械ブレーキ，走行モータの回生ブレーキおよびパーキングブレーキとして電磁ブレーキを備えている。

4輪油圧式の機械ブレーキとして前輪にディスクブレーキ，後輪にドラムブレーキを採用した。

電磁ブレーキは，走行モータを接続したトランスアクスルに取り付けられており，カートが停止すると自動的にブレーキが働くようになっている。

(2) ブレーキ制御

図4にブレーキ構造を示す。ブレーキペダルから加えられた踏力がシリンダプッシュロッドを介してマスターシリンダに入力され，4輪油圧式の機械ブレーキに液圧がかかり，制動力が発生する。また，傾斜センサーで勾配，速度検出器で走行速度を検出し，走行速度と勾配に応じて，走行モータコントローラで回生ブレーキ力を変化させ，停止時や減速時に補助ブレーキをかける[2)]。

〔4〕制御部

4.1 制御部の構成

「ECO5ML-Z」の制御部の構成を**図5**に示す。制御部は大別して，電池，セルコントローラ，バッテリーコントローラ，メインコントローラ，走行モータ，充電コントローラ，充電器で構成している。以下各構成について説明する。

4.2 電池

電池は当社で開発したマンガン系リチウムイオン電池を搭載している。ゴルフ場のニーズによって，容量が50AhのKL50-8モジュール，90AhのKL90-8モジュールのどちらでも搭載できる構造とした。この電池は正極にマンガン酸リチウム，負極に炭素材料を用いた円筒形で，単セルとして

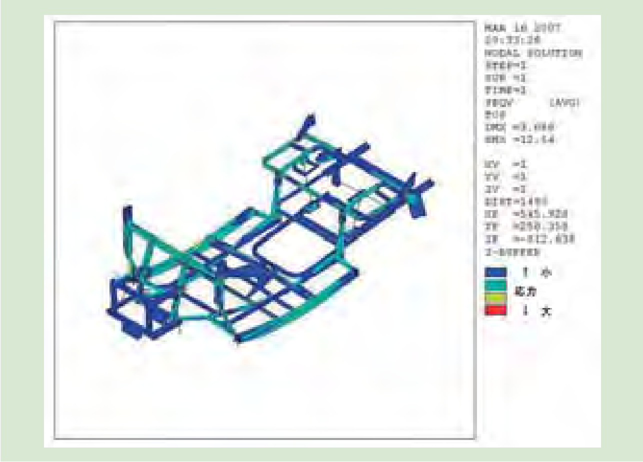


図3 フレーム応力解析結果[2)]
Fig.3 Result of FEM analysis

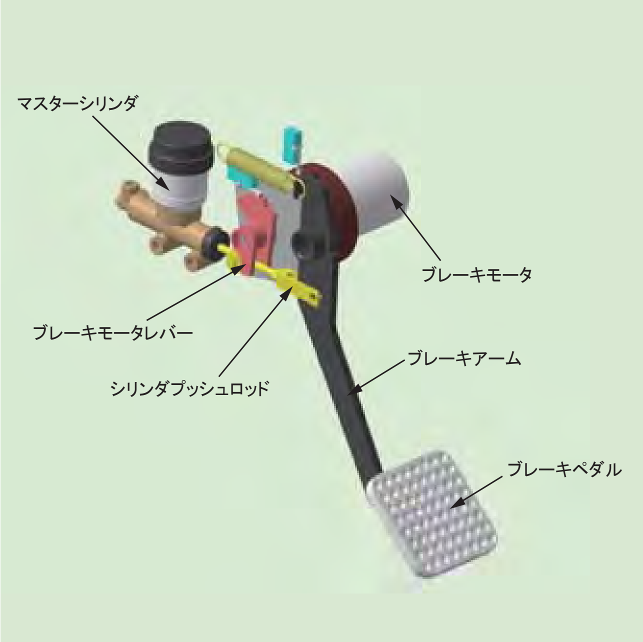
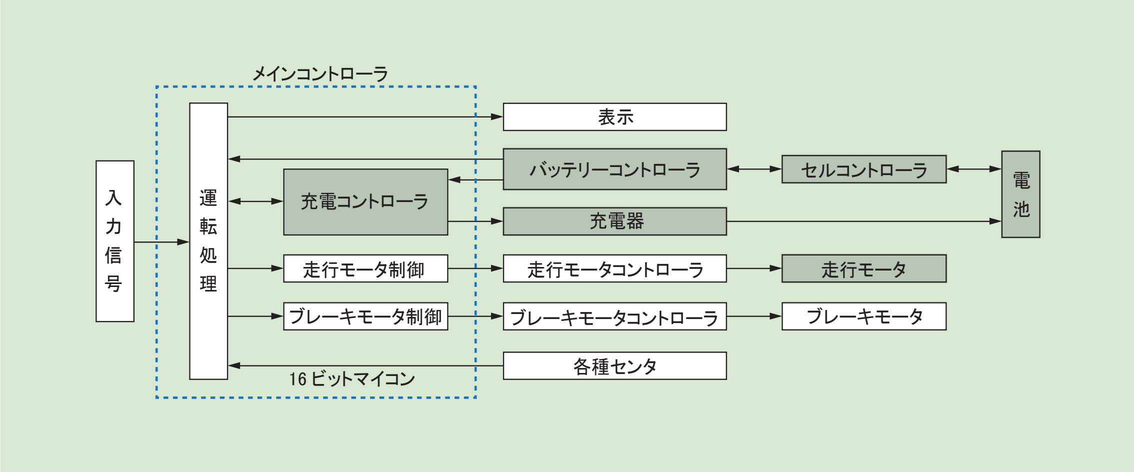


図4 ブレーキ構造[2)]
Fig.4 Foot braking mechanism

All Rights Reserved. CopyRight(C)2012
Shin-Kobe Electric Machinery Co., Ltd.

図5 制御部の構成
Fig.5 Configuration of control system



は3.7 Vで，1モジュールは円筒形電池8本（8セル）が直列に接続された構成になっており，電圧，温度の検出機能を持つセルコントローラと一体になっている。「ECO5ML-Z」は2モジュールを直列に接続して搭載している。

リチウムイオン電池の仕様を**表2**に，外観写真を**図6**に示す。

4.3 セルコントローラ

セルコントローラは各セルの電圧および温度を検出し，バッテリーコントローラと協調して各セルの容量調整をしている。

（1）セル電圧検出機能

常時，各セルの電圧を計測して，正常状態あるいは過放電／過充電などの異常状態をバッテリーコントローラへ信号出力する。

(2) 容量調整機能

セルコントローラが計測したセル電圧のバラツキを少なくするように，セルの充電レベルを合わせる。

（3）電池モジュール温度計測機能

温度センサにより，電池モジュール温度を計測し，バッテリーコントローラへデータを通信する。温度計測により，電池モジュールの異常加熱を検出する。

4.4 バッテリーコントローラ

（1）全体監視機能

セルコントローラを通じ，電池の電圧と温度の状態を監視し，その状態をメインコントローラと充電コントローラに出力する。

（2）セル異常判定機能

セルコントローラからのセル電圧計測値を読み込み，正常状態あるいは過放電／過充電の異常状態をメインコントローラと充電コントローラへ信号出力する。

（3）電池過熱判定機能

セルコントローラからモジュール温度計測値を読み込み，65℃ / 2秒継続検出にて異常をメインコントローラと充電コントローラへ信号出力する。

（4）セルコントローラ異常判定機能

セルコントローラに状態データを要求して読み込み，正常状態あるいはセルコントローラ通信異常およびセルコントローラハード異常をメインコントローラと充電コントローラへ信号出力する。

4.5 メインコントローラ

メインコントローラには16ビットシングルチップマイクロコンピュータを採用し，走行制御および運転制御全体を一括して制御している。バッテリーコントローラからの異常信号が入力された場合，カートを停止させる。走行制御においては，走行路の勾配により走行モータのトルクと回生力を変更して，上り坂の速度向上および走行の効率を向上させる。またフェ

図6 リチウムイオン電池モジュールの外観
Fig.6 Appearance of lithium ion battery

表2 リチウムイオン電池の仕様
Table 2 Specifications of lithium ion battery

項目	ECO5ML-Z 電池		現行品電池
電池種類	リチウムイオン電池		鉛蓄電池
型式（モジュール）	KL50-8	KL90-8	HC100-12
容量	50 Ah	90 Ah	100 Ah
外形寸法	W306×L288×H186 mm	W439×L288×H186 mm	W494×L163×H225 mm
公称電圧	29.6V（3.7V/ セル）	29.6V（3.7V/ セル）	12V
単体質量	20 kg	30 kg	46 kg
搭載数	2モジュール	2モジュール	4個
電池総質量	40 kg	60 kg	184 kg

All Rights Reserved. CopyRight(C)2012
Shin-Kobe Electric Machinery Co., Ltd.

アウェイへの乗り入れ時の芝への影響と安全性を考慮して発進時の加速を抑制し，緩やかな発進特性にしている。

4.6 走行モータコントローラ

走行モータコントローラはメインコントローラより出力される指令値により，走行モータの電機子電流と界磁電流を制御する。走行モータコントローラはあらかじめ電機子電流に対応した界磁電流を決定するための四つのモードを持ち，メインコントローラからの指令によりモードを変更する。モードを変更することにより走行モータの速度，トルク，回生力を状況に応じて変更できるようにした。また，現行品に比べ下り坂の回生電流を増加させ，回生電流をリチウムイオン電池に戻して充電することにより，回生量を増加させた。

4.7 充電コントローラおよび充電器

充電器は，充電コントローラより出力される充電電流指令値により，充電電流を制御する。充電方式は，定電流による4段切り換え方式とし，商用電源が入力された際，電池電圧が基準値（4.125 V / セル）以下であると，充電器に 10 A の充電電流指令を出力し，1段目（10 A）の定電流充電を開始する。充電中の電池電圧はセルコントローラで常時監視され，電池電圧が基準電圧に達すると充電を中止する。充電中止後，電池電圧が 4.075 V / セルに下がると充電器に5Aの充電電流指令を出力し，2段目（5A）の充電を開始する。同様の制御を繰り返し，10 A→5A→4A→1Aまで充電電流を下げ，1A時に電池電圧が基準電圧 4.125 V / セルに達すると充電を停止して，充電完了する。

また，電池の残存容量を表示する「残存容量表示ランプ」を操作パネル部に取り付けており，点灯・消灯により電池の容量が一目で確認できるようにしている。

〔5〕走行試験

電池は容量 50Ah のリチウムイオン電池（KL50-8）を搭載して試験を実施した。

5.1 操作性

図 7 に「ECO5ML-Z」のハンドル操作力を現行品と対比して示す。「ECO5ML-Z」は現行品に対し，同じハンドル操作角度において，操舵トルクが 20%以上低減したため，軽い力でハンドル操作することができる。

5.2 速度特性

上り坂における走行速度は，現行品の速度に比べ最大で 70%向上した。上り坂における「ECO5ML-Z」と現行品との速度比較を**図8**に示す。

5.3 消費電気量

当社フィールド試験コースでの走行試験を実施し，走行時の消費電気量を確認した。**表3**にリチウムイオン電池の消費電気量測定データを示す。放電量は放電のみの電力量，回生量は回生のみの電力量消費電気量は放電量－回生量を示す。電池の消費電気量は現行品に対し，18%低減しており，回生量は 17%増加した。軽量化および回生電流増加による消費電気量の低減が検証できた。

5.4 踏圧

フェアウェイ乗り入れを可能にするのに最も重要な点は踏圧である。**表4**に踏圧の測定結果を示す。

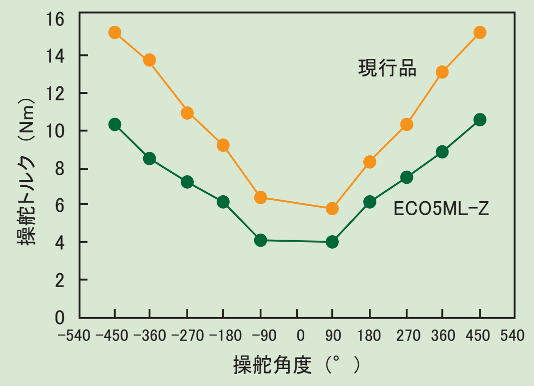


図7 ハンドルの操作力比較
Fig.7 Comparison of steering wheel operating force

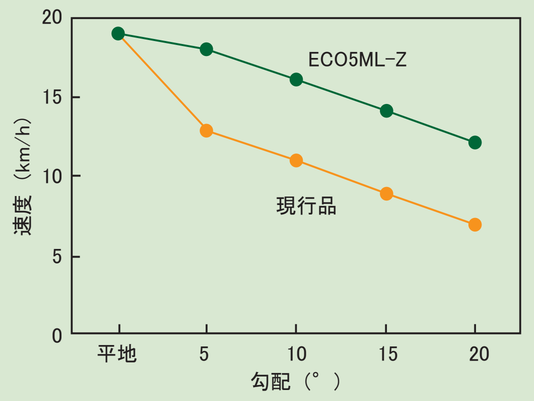


図8 上り坂速度比較
Fig.8 Comparison of uphill speed

表3 消費電気量
Table 3 Battery energy consumption

項目		ECO5ML-Z	現行品
当社フィールド試験コース走行時の消費電気量	放電量	65.0 Ah（86%）	75.8 Ah（100%）
	回生量	9.6 Ah（117%）	8.2 Ah（100%）
	消費電気量＊	55.4 Ah（82%）	67.6 Ah（100%）

条件：積載荷重 375 kg，＊：放電量ー回生量

表4 踏圧の比較
Table 4 Comparison of trampling pressure

項目	質量（kg）	踏圧（N/cm^2）
人	65	23.0
現行品	954	30.4
ECO5ML-Z	790	21.9

条件：現行品および「ECO5ML-Z」積載荷重 375 kg

All Rights Reserved. CopyRight(C)2012
Shin-Kobe Electric Machinery Co., Ltd.

積載荷重が最大（375kg）のとき，タイヤのキャンバー角が0度になるようにサスペンションのバネ定数を変更することによって，タイヤの接地面積を増加させた。

タイヤの接地面積増加および車体の軽量化により，「ECO5ML-Z」の踏圧は人が芝地に踏込んだ時の踏圧である23N/cm^2 以下に軽減することができた。

〔6〕結 言

以下の特長を持つリチウムイオン電池を搭載した5人乗りゴルフカート「ECO5ML-Z」を開発した。

（1）リチウムイオン電池搭載による軽量化および踏圧軽減により，フェアウェイ乗り入れ走行の可能性を高めた。

（2）モータ電流の最適化により，上り坂の走行速度を現行品に比べ最大で 70％向上した。

（3）ハンドルの操作力である操舵トルクを現行品より 20％以上低減させたことにより，軽い力でハンドル操作可能となった。

（4）軽量化と回生電流をリチウムイオン電池に充電することで，電池の消費電気量を 18％低減し，1回の充電で2ラウンド走行を可能とした。

〔参考文献〕

1）西野耕司他：電磁誘導式バッテリー乗用カート「キャリー ECO5」，新神戸テクニカルレポート，No.10，p.15（2000）.
2）真田吉男他：新型バッテリー式乗用カート「ECO5-Z」の開発，新神戸テクニカルレポート，No.20，p.29（2010）.
3）中原一郎：材料力学（上巻），養賢堂（1987）.
4）矢島悦次郎他：若い技術者のための機械・金属材料増補版，丸善（1979）.
5）上田祐男：破壊の基礎 2版，パワー社（1995）.
6）屋谷勝他：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会（1986）.