

5人乗り電磁誘導電気ゴルフカー G17E

Electromagnetically Guided 5-passenger Electric Golf Car G17E

吉井芳徳 Yoshinori Yoshii

雄谷誠祐 Seiyu Ohya

佐藤孝夫 Takao Satou

●特機事業部 開発室



図1 G17E

1 はじめに

最近のゴルフ業界はバブル崩壊以後、ゴルフコースへの入場者減、新設ゴルフコース減、代替期間の長期化など、ヤマハ発動機（株）（以下、当社という）特機事業部にとって逆風のビジネス環境となっている。ゴルフコースは経営上、「合理化」の3文字に目まぐるしい対応を強いられている厳しい業界のひとつでもある。

また昨今、環境対応と名のつく商品は多方面で紹介されており、当事業部の主力商品であるゴルフカーにおいても、その要請は年々高まっている。

そうした状況の中でも、当社が1996年に発売した電磁誘導ガソリンゴルフカーG17A（ヤマハ発動機技報 No.28に掲載）は、着実にコース運営の合理化に貢献して販売数量を伸ばしてきている。

このたび、事業部目標である電磁ゴルフカーシェア60%達成とお客様満足度No.1を維持し、環境対応およびラインナップ充実も含め、当事業部の基幹であるゴルフカービジネスをさらに堅固なものにする新商品「5人乗り電磁誘導電気ゴルフカーG17E」（図1）を開発したので紹介する。

2 開発の狙い

本モデルは、現行の5人乗り電磁誘導ガソリンゴルフカーG17Aをベースに、エンジン・燃料タンク部分をモータ・バッテリに載せ替え、できるだけ部品の共用化を図り、開発の合理化に配慮した。既に先行販売された他社メーカーの後追い商品となるだけに、差別化を含め、既存電気ゴルフカーの悪いイメージ、例えばパワーが無い、坂道で車速が落ちる、バッテリ寿命が短い、充電器設備を要する等々、を払拭する開発企画を設定した。

開発企画を達成する具体的な商品企画・開発内容としては、(1)駆動モータのハイボルト化(72V、他社は48V)による出力性能の向上、(2)長寿命・高出力鉛シールバッテリの採用により、標準コース設定条件で1充電当たり1.5ラウンド・1,000サイクルの運転が可能、(3)勾配20度の登坂時で、ガソリン車並以上の車速となる走行性能、(4)安定した制動性能を確保するための、回生制御による制動補助システムの採用、がある。

また、車載充電器により充電メンテナンス性を向上させ、充電設備への対応を容易にした。本モデルは従来のガソリン車と違って電気車のため、車両静音化による乗員外の対人警告機構として、

特定エリアでの警告音発生機構も装備、安全へも配慮をした。表1に基本仕様諸元を示す。

表1 基本仕様諸元概要

項目	新G17E(電気車)
全長※	3,345mm
全幅※	1,240mm
全高※	1,840mm
重量	495kg
ホイールベース※	2,148mm
トレッド 前/後※	950/965mm
原動機	他励磁式 直流72Vモータ
定格出力	3.5kW/3500rpm
最大トルク	25.5N・m/2500rpm
登降坂性能※	20度
最高車速(手動時)※	19km/h
電磁誘導設定車速	3, 6, 8, 10, 12km/h
駆動用バッテリ(鉛シールド)	12V 60AH(6ヶ)
制御用バッテリ	12V 36AH
ブレーキ※	機械式四輪ブレーキ+回生制御
サスペンション※	前:ストラット/後:リンク式
ステアリング※	ラック&ピニオン
車載充電器	AC200V(単相)
急速充電器(オプション)	AC200V(3相)

※はガソリン車と同じ

3 主な特徴・概要について

3.1 車体レイアウト

図2および図3に、バッテリ配置等の車体レイアウトを示す。車両重量配分の均等化と整備性を考慮し、駆動用バッテリは車体後部座席下部に左右対称に振り分け、その中央に制御用バッテリを配置した。駆動用バッテリの車体への取り付けには、バッテリ寿命を考慮し、バッテリ温度低減のための冷却対策として最適な隙間が設定可能なスペーサを介して行なった。また、高電圧のバッテリ端子に手などが直接触れることがないようカバーし、安全に考慮した。

後部座席後方にECU (Electronic Control Unit) を配置しその下方に駆動モータを配置すること、およびバッテリの集中配置により、72V駆動系の効率向上を図った。

車載充電器は開閉可能な前席下部に配置し、充電作業を容易にした。また、ノイズの影響を受けづらいうように、追突防止コントローラも同様に前席下部に配置した。

上記のレイアウトを前提としてガソリン車とフレームの共通化を図り、フレーム共通化率は90%となった。

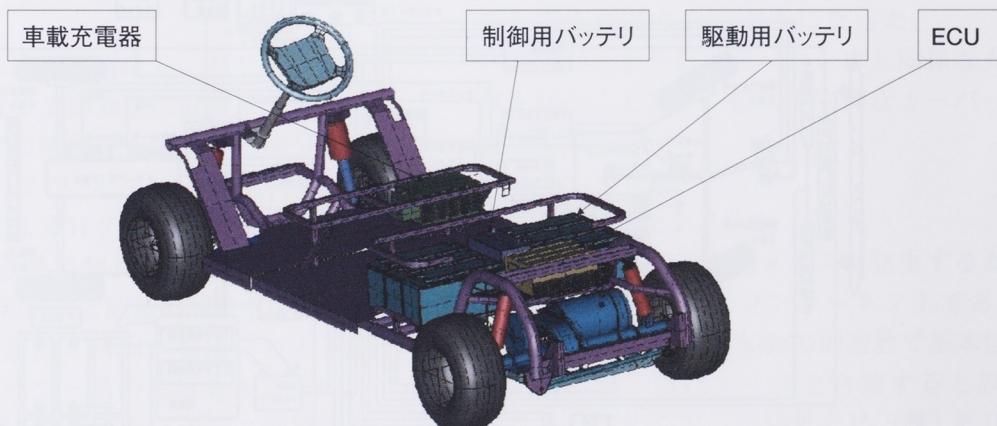


図2 バッテリ配置等の斜視図

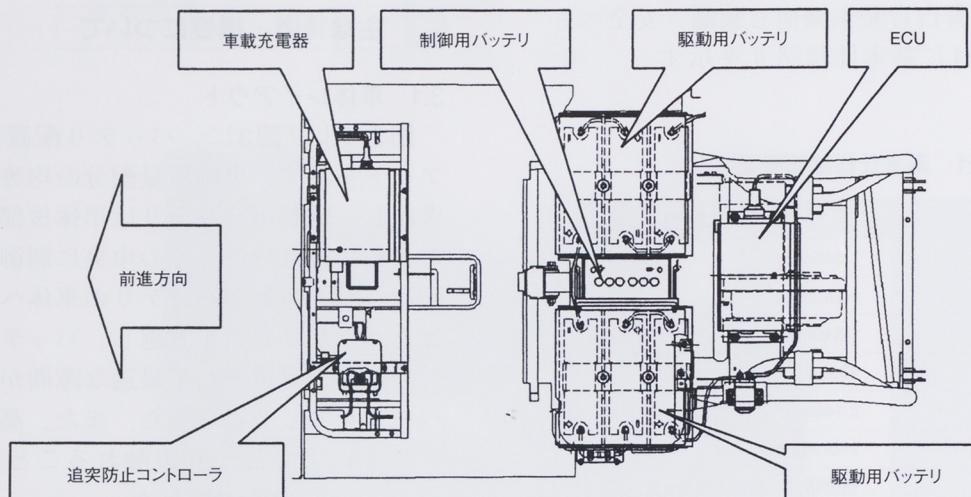


図3 車体レイアウト概要平面図

3.2 システム構成

システム構成の電源部を分類すると、制御系と駆動系の2種類に分けられる。

電磁誘導タイプのゴルフカーであるため数多くのセンサ、アクチュエータがあり、これらはガソリン車と共通の部品を用いる必要があった。そのため、電源部制御系は図4中の制御バッテリ（公称DC12V）からの電源供給によりECUを介してセンサ、アクチュエータの制御を行う構成とし、

電源部駆動系は、駆動バッテリ（公称DC72V）からECUを介して駆動モータに電源を供給するようにした。さらに、電源部制御系はフレームにアースし、電源部駆動系はECU内、充電器内でも電源部制御系と絶縁してフローティング状態とした。

この構成をとることで、ガソリン車で培った電磁誘導制御のノウハウをそのままフィードバックさせることができ、開発期間を短縮することが可能になった。

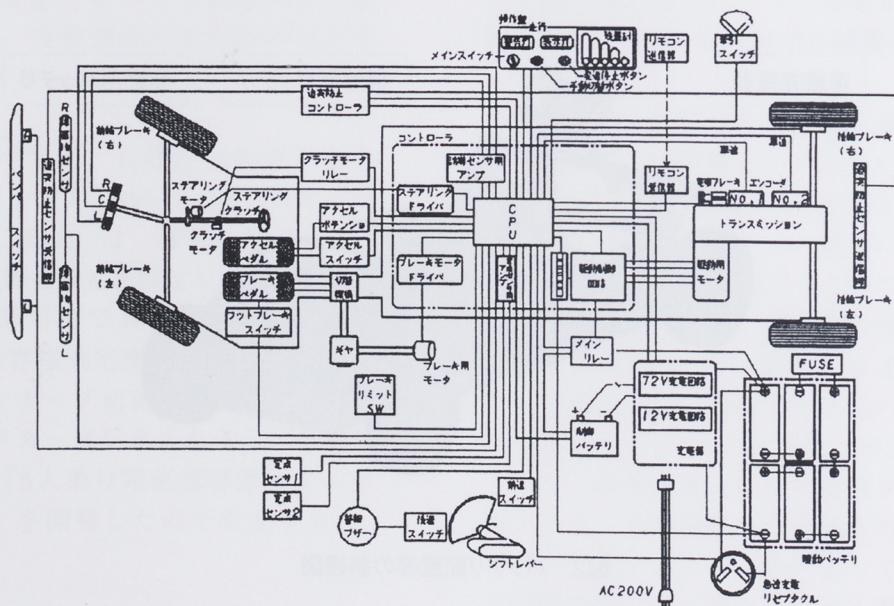


図4 システム構成図

3.2.1 モータ

他励磁式直流72Vモータ（定格3.5kW）を新規に開発し採用した。図5に示すように、登坂時には最大約3,500Nの駆動力を必要とするが、ガソリン車に劣らないスピードを確保するため、モータ性能を最適に発揮できる減速機を搭載した。降坂時には回生制御を行ない、一定車速を保つようにした。

また、出力性能と相反する航続性は、電流消費量をできるだけ低減するように、界磁巻線を選択した。さらに、DC72Vという高電圧で整流火花によるブランシングを避けるため、界磁と電機子のMAP制御を行ない、それらを最適にバランスさせることができた。

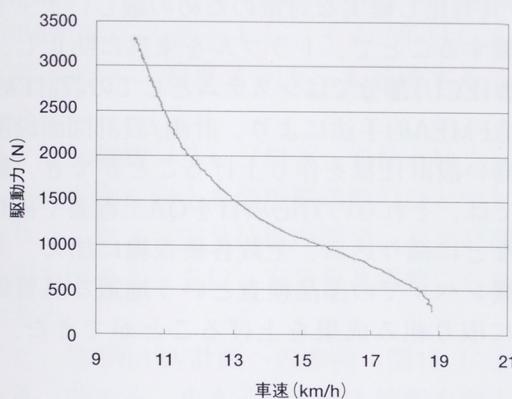


図5 JT2性能特性

3.2.2 ECU

筐体はアルミ押し出しで構成し、パワー系の放熱を筐体底部に配置して高効率に放熱するよう設計した。駆動モータの電機子を制御する部分にはIGBTによるハーフブリッジ回路を設け、界磁制御にはFETによるHブリッジ回路の構成をとった。また、電磁誘導制御に用いる操舵、ブレーキモータは、界磁制御と同様の回路を用いた。

基板構成は、4層基板（FR-4）を用いた上下部の2枚とし、下部にパワー系の基板を配置して、上部に制御系の基板を配置した。モータ制御等の大電流は、下部基板からリード線を直接筐体の外に取出して各部へ供給する構成にした。信号系については、各センサからの情報を上部の制御系基板に防水のダイレクトカプラを設け、ワイヤーハーネスとコネクトするように構成した。このことに

より、大電流と微弱信号が混在するECU内部でも、ノイズによる影響を及ぼさないようになった。なお、CPUはガソリン車で実績があるフラッシュメモリータイプを採用した、さらに、もしもの異常に故障をより深く解析するため、不揮発メモリー（F-RAM）によるドライブレコーダを搭載した。

3.2.3 充電器

車載充電器の機能には、AC-DC変換とDC-DC変換の2系統がある。

AC-DC変換は、一般電源のAC200VをDC72VとDC12Vに変換して各々のバッテリに充電する機能をもつ。これは、走行終了後ACコンセントが差し込まれた時、2種類の電池を電流制御および電圧制御で充電する。

DC-DC変換は、DC72VをDC12Vに変換する機能をもち、走行時に駆動バッテリ（DC72V）から制御バッテリ（DC12V）に定電圧制御にて充電する。

3.2.4 バッテリ

駆動バッテリは、公称DC12Vの鉛バッテリを6ヶ搭載し、公称DC72Vの組電池として使用した。これは、既存のPEV(Pure Electronic Vehicle)用シールドバッテリを採用した。それにより、システム上でハイレートかつ、高深度な使い方を避ける方法をとり、さらに、温度補正による多段階定電流充電システムと相まって、サイクル寿命に悪影響を及ぼさないようになった。

制御バッテリは、ガソリン車と同様な充放電制御を行うことで、一般的で安価なカーバッテリを採用した。

3.2.5 追突防止システム

電気車は特有の自己ノイズを発生するため、本開発で最も留意したコンポーネントである。

本システムは、100kHzの周波数で基本信号を受発信するが、自己ノイズと合致すると誤動作してしまう。そこで、今回新たに（株）モリック製の追突防止システムを採用した。このシステムは、スーパー・ヘテロダイイン方式で受信アンプが構成されているため、従来品に比較するとノイズ除去性に優れている。

3.2.6 エリアアラーム

ゴルフ場において、走行音がしない電気車は時により危険である。このため、クラブハウス周辺などプレーヤーや関係者が多数いる場所では、走行時に警告音を発生するように設定した。これは、あらかじめ地上埋設信号（マグネット）を用い危険懸念区域を設定して、その区域内では走行時常に警告音を発生するものである。

3.2.7 急速充電器（オプション）

ゴルフカーは毎日業務で使われるため、充電忘れは翌日の業務に支障をきたす、そこで、30分充電でハーフラウンドを周ることができる急速充電器を考案した。

この急速充電器はハイレート充電を可能にしているが、バッテリ端子電圧をある一定電圧に抑えることで、寿命に悪影響を及ぼさない設計とした。これは、D.O.D. (Discharge Of Depth) 0~5%のバッテリに急速充電をしようとしても充電しないシステムであり、あくまでもエマージェンシーの場合を想定したものである。

3.2.8 システム制御

ガソリン車の電磁誘導部分の制御をそのまま生かし、新たに他励磁式直流モータ制御と充電システムを付加したシステム制御にて実現した。さらにオプションとして、自動走行での車速12Km/h制御・分岐システム・自動入出庫システムを追加した。これにより、市場ニーズをいち早く取り入れることができ、販売と同時に市場投入することができた。

モータ制御は、界磁・電機子とのMAP制御を基本として、電流フィードバックでPID演算にて制御している。降坂および停止時には、回生制御+ブレーキモータ制御を車速フィードバックでPID演算にて実施しているが、降坂度合いによってはPID演算のゲインを変化させている。これらにより、よりスムーズな走行フィーリングをもたらすことができた。

また、駆動バッテリの寿命向上を目指し、走行時の負荷特性、回生電流を考慮することで、駆動バッテリには非常にやさしい充放電特性を得ることができた。これは、常時充放電電流を把握し、上限、下限のリミッタ近傍では制御ゲインを変更

することにより達成できた。さらに、電流把握は駆動バッテリの状態を視覚で知ることができ、インジケータの標示にも補正值として役立てている。

4 品質への取り組み

本モデルの開発にあたっては、特機品質保証システム（TQAS）の製品企画から開発/生産/市場導入までの各ステップ（市場要望に始まり、コンセプト構築、過去の類似モデルでの問題対応などの段階的分析）から、当モデルでの開発の狙いに対する重点開発保証項目を設定して、製造/販売/技術が上流より一体となった開発活動を展開した。

特に各ステップ毎にレビューを実施し問題点を抽出/共有化し確実な対策のための厳しいチェックを実施することで、トラブルを未然に防止し、特に制御(ECU)部分ではシステムとしての設計FMEAと製造FMEA的手法により、計画/設計図面段階で質の高い設計仕様を作り上げることができ、製造部門では、それらの対応項目をQA工程表や検査規格書などに織り込み、全数各検査機に加え、実機完成機レベルでの部品検査という地道な品質保証活動に取り組み成果を上げることができた。

5 おわりに

本来、電気ゴルフカーはアメリカのゴルフコースでは手動式2人乗り（電磁誘導式=自動運転方式）ではあるが、最も普及しており、当社（YMMC）製電気ゴルフカーも約1万台/年の生産実績がある。電気自動車としてみると、多少表現での誇張はあるが、当社は日本でトップの生産量を誇る4輪電気自動車メーカーでもある。

また国内ゴルフカーのトップメーカーとして、お客様の期待を越える次世代商品への挑戦に向け、さらに進化した商品開発に邁進する所存である。最後に、今回の開発にあたり御協力頂いた社内外の関係各位に御礼申し上げます。