



創立 50 周年記念特集：〇〇の今昔

ポータブル・ジェネレーター技術の変遷

Developments in Portable Generator Technology

深谷 光男

Abstract

Yamaha Motor Co., Ltd. released its first portable generator on the market in 1973. The model name was ET1250. It was an open type synchronous generator with a rated output of 1.2 kVA and was powered by Yamaha's MT110 2-stroke engine. With 32 years having passed since then, Yamaha's generators have developed along with the trends of the times toward lightness, slimness, and simplicity by rapidly becoming lighter and more compact to the point where a generator of the same output is now half the weight of conventional models of not long ago. Yamaha's latest silent type 2 kVA class (rated output) model "EF2000iS" mounts a 4-stroke OHV engine in an aluminum die-cast frame. Designed for light weight and an appealing design, this model is a product of Yamaha's brand strategy to be "No. 1 in Quietness and Lightness." In this report we trace the development of Yamaha's generator technology from our first model to our latest.

1 はじめに

ヤマハ発動機(以下、当社)が携帯発電機の第1号機を世に送り出したのは、1973年のことである。モデル名は、ET1250(図1)。2ストロークエンジンMT110を搭載した、定格出力1.2kVAのオープン型同期発電機である。あれから32年、軽薄短小化の時代と共に歩んできた当社携帯発電機は、軽量化とコンパクト化を一気に進め、同一出力で重量2分の1を達成した。定格出力2kVAの最新防音型モデルEF2000iS(図2)では、4ストロークOHVエンジンを搭載し、フレームにアルミダイキャストを採用。軽量化と外観デザインの先進性をねらい、同時に"静かき・軽さNo.1"のブランド戦略の旗印を追求した。本稿では、1号機から最新モデルまで、その発電技術の変遷を紹介する。



図1 第1号機 ET1250



図2 最新モデル EF2000iS

2 携帯発電機 第1号機について

ET1250は、発電方式として回転電機子式を採用。スターター付きドレーン機構装備キャブレターによる良好な始動性、大型サイレンサー採用による静粛性を特徴とした商品であった。2ストロークエンジンの容易な整備性により、土木建設作業、農林水産業界で広く活躍した。

この発電方式(図3に回路図を示す)は、交流電力を取り出す巻線がクランクシャフトと直結したローターコアに巻かれており、外側のステーターは巻線式の界磁コイルを2個設置した構造である。電圧制御はダイオード式と呼ばれ、シリーズコイルにダイオードを追加し、負荷電流の増大に伴い励磁力を増強し、端子電圧の垂下を補償した。これにより、電圧変動率は7%を達成している。しかし、交流電流はブラシを介して取り出すため、その接触部分でのトラブルが多かった。また、発電体の線間レアーショートや、水中ポンプが起動しないという問題があり、解決のために試行錯誤の連続となった。しかしながら、この第1号機は、クラス最大の出力を業界にアピールし、その存在を知らしめた。

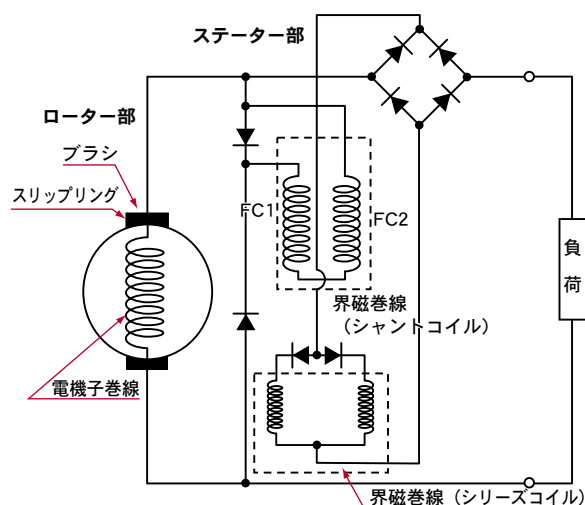


図3 回転電機子式回路図(ET1250)

3 コンデンサー補償式

第1号機開発から数年間、当時の開発部門は昌和製作所沼津工場(現、創輝株式会社)にあり、発電体は、他社からの購入部品であった。しかし、当社技術サイドから、発電体を内製化しようという機運が高まり、昌和製作所と共同で開発を進めることとなる。我々が選択した発電方式は、コンデンサー補償式といわれるものであった。九州大学の野中作太郎教授(当時)が考案された、ブラシレス自励型単相同期発電機である。野中教授を技術相談役とし、2人3脚でのラインナップ開発が始まり、本社と九州大学を往復することも度々であった。1979年、業界で初めてコンデンサー補償式発電体を搭載した2ストローク発電機ET500を市場投入。榛葉シボリ製作所(現、創輝株式会社)が、ヤマハ発動機グループに参入した1年前のことである。当方式(図4に回路図を示す)は、ローター残留磁束による誘導起電力により、コンデンサー励磁巻線に進相電流 I_c が流れ、その"正相分回転磁界による自己励磁"と、"逆相分回転磁界による界磁起電力を、ダイオードで半波整流すること

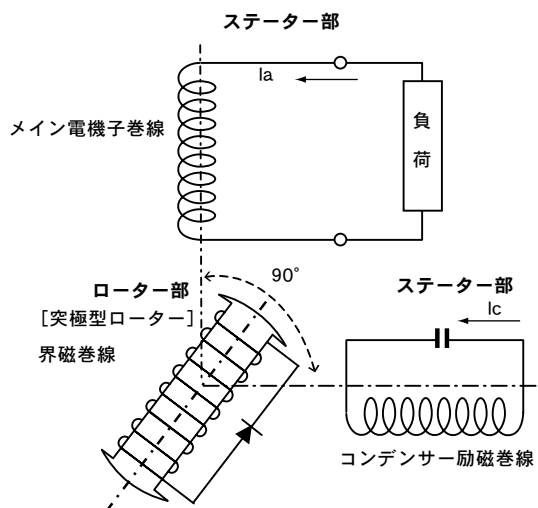


図4 コンデンサー補償式回路図(ET500)

による自己励磁"の相互作用によって、電圧を確立する。発電安定限界が比較的大きく、かつ、界磁側はダイオードを挿入するだけでよいので、これをローターに設置すれば、スリップリングの必要もなく、構造が簡単になる。励磁巻線とメイン電機子巻線は、電気角で90°の位相を有し、図示するIcとIaの合成起磁力は、単相電機子反作用を増大し、負荷電流増加時の電圧低下を補償する。これは、従来のブラシ付きから無接点化を実現したものであり、メンテナンスフリー・高信頼性発電機への幕開けとなった。以来、現在まで、1~4kVAまでのコンデンサー補償式発電機開発を完了。エンジンから発電機までの主要部品を社内開発とし、内部製造するその総合開発力は、当社の強みであり、誇りとするところである。しかし、その製品化成功の裏には、乗り越えるべきいくつかの課題があった。まず、残留磁気のみで電圧を確立するが故に、電圧立ち上がり回転数が高くなり、電圧が確立しないという問題。その対策として、ローター巻線数アップによる相互誘導インダクタンス増加、ステータスロット配置を90°ずらす磁路変更やサブコイルのコンデンサー容量を大きくして電機子反作用を増磁側にアップすることを実施した。その他、誘導モーターの起動性が十分でなく、その改善に時間と労力を費やしたことも事実である。コンデンサー補償式に突き進んだ当社の方向性は、顧客に十分受け入れられ、その信頼性は市場の高い評価を受けることにつながった。

4 発電システムの変遷

表1に、当社が採用した発電システムの構造と、特徴をまとめた。

4.1 回転電機子式(図3)

システム詳細は前述、「2.携帯発電機 第1号機について」を参照。メンテナンス性、コンパクト性が、他の方式に対し、劣る。

4.2 回転界磁式(図5)

1976年、エンジンに初めてアルミダイキャストシリンダーを採用したEF1500は、回転界磁式でAVR(自動電圧調整装置)により電圧制御するシステムで、発電システムの諸特性は、平均して良好であった。

一方、同方式採用のEF1800開発時、磁気音という発電機特有の新たな問題と向き合っていた。発電機メーカーとの合同テストが当社浜北工場で行われ、発電機へのワニス2回含浸が、磁気音低減に最も効果があることを確認。これを生産仕様とした。また、発電機特有のフリッカーという問題にも直面。電圧の瞬時変動によって白熱球の光束が変化する現象(チラツキ)が問題となった。これを抑えるために、エンジン側の回転変動を緩和すべく、フライホイールの慣性モーメントを増やすことや、発電機の発生

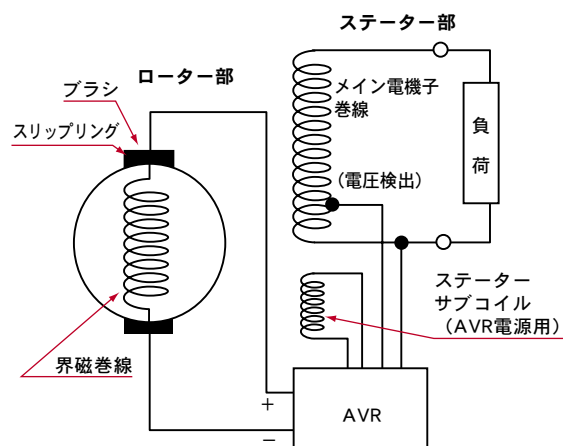
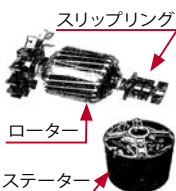



図5 回転界磁式回路図(EF1500)

電圧とエンジントルク変動との位置関係を見直す作業が日夜進められた。対策は、エンジン瞬時速度の最大位置で、発電機発生電圧が±0Vになるように、発電体ローターをクランク軸に対し、組付けることとした。この技術は現在でも継承されている。

表1 当社携帯発電機の発電システム方式とその特徴

注) 当社 1～6 kVA 発電機の諸特性を△○◎の三段階で評価

No	1)	2)	3)	4)	5)
年代	1973年～	1976年～	1979年～	1984年～	2000年～
発電方式と代表モデル名	回転電機子式 (ブラシ付き) ・ET1250	回転界磁式 (ブラシ付き AVR) ・EF1500	コンデンサー補償式 (ブラシレス) ・ET500	励磁付き AVR 式 (ブラシレス) ・EF4300	三相多極磁石式 (インバーター式) ・EF2500i
構造					
メンテナンス性	△ ブラシのメンテが必要：出力電力をローターのブラシを介して取り出すためブラシの問題が多い	○ ブラシのメンテが必要：ブラシを介する界磁電流 (1～2A) は小さくトラブルは少ない	◎ ブラシレス、AVR レスで定電圧を保つため、部品点数が少なく 構造が簡単	◎ ブラシレス	◎ 完全な無接点式でメンテナンスフリー
波形のきれいさ (波形ひずみ率)	○ 20%	○ 15～17%	△ 23% 	○ 19% 	◎ 2.5% 
電圧安定性 (動揺電圧 / 定格電圧 × 100)	○ —	○ —	△ 回転数により電圧が変化	○ —	◎ 電圧は CPU によるフィードバック制御で安定
電圧変動率 (最大電圧 - 最低電圧 / 最低電圧 × 100)	○ 2～7%	○ 2～7%	△ 5～10% エンジン回転数の変化で出力電圧が変化しやすい	○ 2～5%	◎ 1～3%
総合効率	○ 76～78%	○ 76～78%	△ 69～80% 他の方式と比べ効率が悪い	○ 76%	◎ 75～84%
コンパクト性 (軸長)	△ スリップリングまわりの軸長大	○ —	◎ ブラシレスのため軸長小	△ 励磁機分だけ軸長が長い	◎ ユニット分を含めても小
コスト	△ —	○ —	◎ 構造が簡単な分コスト安	△ 励磁機と AVR でコスト高	△ 制御ユニット付きでコスト高

4.3 コンデンサー補償式(図4)

システム詳細は、前述の「3.コンデンサー補償式」を参照。表1に示すとおり、ブラシレスによりメンテナンス性が良いことと、低コストであることに大きな利点を持つ。

4.4 励磁機付きAVR式(図6)

1984年、初号機EF4300を市場導入。エキサイターという別の小型発電機を抱えた構成で、部品点数が多く、構造が複雑。しかし、市場からの電圧調整機構要望が強く、AVR装備が可能な当発電システムを採用。発電体は社内開発とし、現在5~6kVA出力帯に採用している。ブラシレスによりメンテナンス性が良いことが特徴。

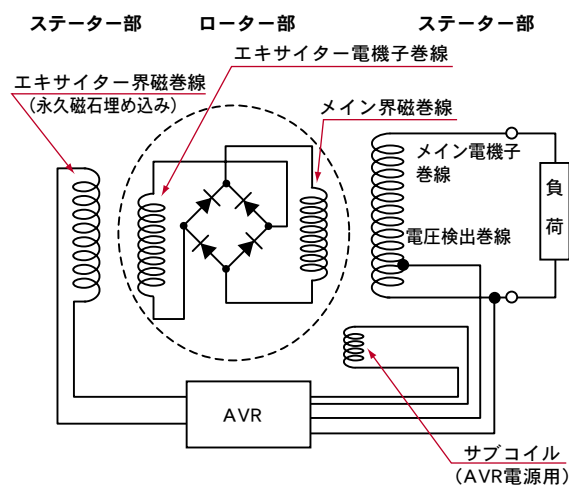


図6 励磁機付きAVR式回路図(EF4300)

4.5 三相多極磁石式(インバーター式)(図7)

1998年、それまで先行開発を進めていたインバーター式発電機の商品開発に着手。この方式の発電機は、従来型と比較し、製品コストは高いが、軽量・コンパクトで商用電源に近い、きれいな波形という高付加価値を持つ商品である。諸特性は、コストを除いて従来発電機に優る。軽量化の手段として採用した、このインバーター式は、三相多極発電体により、300~500Hzの三相交流電圧を発電し、一旦、直流電圧に変換した後、インバーター回路部で50Hz(60Hz)の交流電圧を生成する。

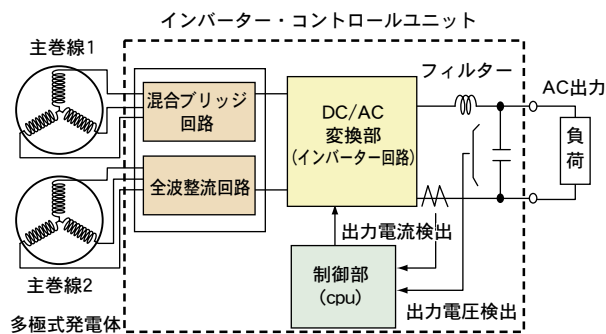


図7 インバーター式回路図(EF900iS)

2000年の秋、当社で初めてのインバーター式発電機EF2500iを市場投入。乾燥重量29kgと、クラス最軽量を達成し、現在も安定した顧客を獲得。続いて、業界で初めて二重巻線方式インバーターシステムを搭載し、軽負荷時静粛性で他社製品を凌駕したEF900iSを開発した。さらに、当社独自のパワーブースト・システム(図8)を、EF3000iSEBにて開発。起動電力の大きな負荷に対し、始動用バッテリーエネルギーをDC/DC変換し、通常の電力と加算。これにより、DC/ACインバーター出力は増大し、誘導負

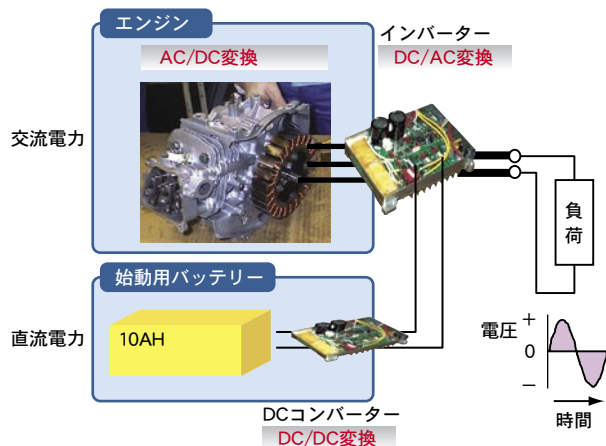


図8 パワーブースト・システム図

荷起動性を向上させることができた。そして、冒頭に紹介したEF2000iSが、インバーター式発電機ラインナップの最新モデルである。それぞれに当社らしい付加価値をもった製品開発を進めてきた。

これらのインバーター式発電システムは、環境対応技術として、軽負荷時にエンジンを低回転に制御し、低騒音・低燃費化を図ることができる。かつ、商用電源と同等の良質な電気を供給できる点が、まさに"ポータブルでインテリジェントな小型商用電源"である。このインバーター式発電機を、今後、いかに差別化した形で進化させていくか、またインバーターに代わる新しい技術をいかに創出するかが、我々に残された重要課題であり、その結果としての技術が、次世代の勝ち残り技術となるものと考えている。

5 低騒音化と軽量化への道

1985年、1kVAクラスコンデンサー補償式防音型発電機EF900Sの生産を開始。この商品は、それ以来15年以上、ユーザーから愛された。これに代わるインバーター式発電機の開発が開始されたのは、2000年夏のことである。競合他社が、すでに同クラス同一出力のインバーター式発電機を市場で販売しており、後発で何ができるかということに企画担当者と頭を抱えて議論したことを思い出す。その結果が、前述した二重巻線方式である。低回転領域で発電出力を確保するために、電流遮断方式点火システム(TCI)で採用している考え方を応用。低回転領域でも発電可能とするために、主巻線の他に、低回転用巻線を追加した。この多極発電体は内製化し、制御回路部分は三相混合ブリッジ回路と三相全波整流回路を直列接続とし、社外に製造を委託した(図7参照)。これにより、EF900iSは他社製品と比較しエンジン回転数を1,000rpm低く設定でき、軽負荷時の騒音値を3dBA(at 7m)低減した。インバーターモデルの騒音測定の様子を図9に示す。

軽量化は、EF900iSにおいては、従来モデルの乾燥重量25kgに対し、12.7kgを達成(図10)。2005年に開発を完了したEF2000iSは、従来モデルEF2300Sの乾燥重量76kgに対し、32kgを達成。約50%の軽量化である(図11)。これらの軽量化に大きく貢献した技術は、インバーター方式採用による発



EF2500i



EF2000iS

図9 騒音測定の様子

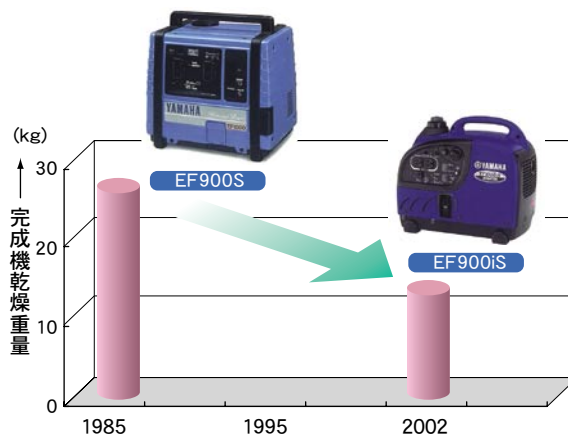


図10 1kVA携帯発電機、軽量化の足跡

電体部分の軽量化、エンジンを高回転で使用することによるエンジン重量の低減、および、軽量部材の採用によるものである。エンジンという内燃機関を動力源とする限り、エンジン音とエンジン重量の軽減には限度がある。しかし、それを取り巻く補機、例えばボディー、フレーム、タンク、電子制御ユニット、磁石を使ったコンポーネント技術の発展はめざましく、低騒音化と軽量化への挑戦は今も継続中である。

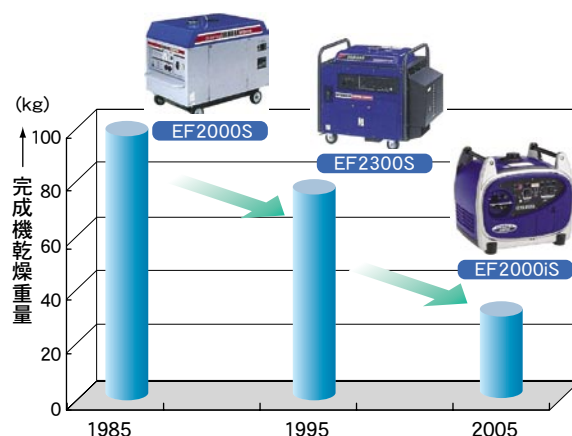


図11 2kVA携帯発電機、軽量化の足跡


6 おわりに

携帯発電機におけるパラダイムの変換は、同期発電機からインバーター式発電機に代わった時であると考えている。電気機器工学の根本である同期発電機は、 $N=60f/P$ (回転数: N [rpm]、磁極対数: P 、周波数: f [Hz]) に従い、一定周波数を得るために、同期速度(エンジンスピード)を一定に維持しなければならない。この概念を覆すインバーター発電方式は、 N に無関係に、いかなる回転数でも所要の周波数と電圧を得ることができる。同時に、商用電源に近い正弦波形であるために、従来使えなかった電気機器が使えるようになり、発電機は幅広い生活圏での電源に進化した。一方、世の中の動きとして、発電システムが、今後より分散型で小容量電源の方向に進むであろうという考え方がある。家庭や集合オフィスのコージェネレーション用電源、あるいは災害時に役立つ可搬式電源として、より家屋に近いところにもインバーター式携帯発電機の活躍の場が広がってきた。そのエネルギー源は、ガソリンエンジンの他に、ガスエンジン、燃料電池であってもよい。現実には、商用製品として、一戸建て住宅における定置用燃料電池コージェネレーションシステム(都市ガス仕様)の導入が、東京で開始された。しかし、この定置用燃料電池コージェネレーションシステムを一般家庭に導入しようとする、価格の面で大きな制約が生ずる。従って、ガソリンやガスを燃料とした低コストのエンジン動力源インバーター式発電機が、防音性能とエンジン耐久性能を保証できるのであれば、住宅空間にも十分に活躍の場が広がるのではなかろうか。

前述した、パワーブースト・システム搭載 EF3000iSEB は、キャンピングカーのエアコン起動性に付加価値ありとみて、開発を進めたものである。静粛性と合せて、北米キャンピングユーザーに受け入れられている(図12)。



図12 北米のキャンピングサイトにて



進化した現代文明の環境の中、多くの電気製品に囲まれて生活するようになった我々現代人にとって、電気は衣食住に次ぐ、第4の生きるための糧といえる。2004年に日本で勃発した新潟中越地震、海外のスマトラ沖地震による津波の大被害は、現代文明を粉々にしてしまった。そんな被災地域で当社のポータブル・ジェネレーターが少しでもお役に立ったなら、幸いである。

■著者



深谷 光男
Mitsuo Fukaya

特機事業部
パワープロダクツ事業室