

技術論文

ハイブリッドスタート刈払機の開発

Development of Hybrid Start Brush Cutter



加藤 博
Hiroshi Katou
小野 涼
Ryo Ono

今まで、手持ち式刈払機のセルスタートシステムは重量増による作業性の阻害、バッテリーの信頼性、始動性の面で市場に受け入れられなかった。開発機では3つの新しい技術の融合により軽量化、信頼性の向上を達成しハイブリッドスタートシステムを構築することに成功した。技術開発成果として、ハイブリッドスタート刈払機『押すだけ』の狙いと達成手段について述べる。

The cell start system of handheld brush cutters has not been accepted in the market in the past due to the poor workability caused by its heavy weight, battery reliability and start performance. A hybrid start system featuring lightweight and improved reliability accomplished by merging three new technologies has been developed. The target and accomplishment means of the hybrid start brush cutter “One Touch Cutter” are described below.

Key Words: Hybrid Start, Lithium Ion, Auto Choke

1. はじめに

近年、国内における農業従事者の高齢化が進行している（図1）。またシルバー人材の活用も広がり、初心者でも簡単に扱える製品が求められている。

手持ち式刈払機の動力源のほとんどが小型2サイクルエンジンであり、その始動方法はリコイルスタータのひもを手で引っ張りエンジンをかけるオーソドックスなスタイルを採用していた。しかし、エンジン始動操作には、かつて自動車のエンジン始動方法もそうであったように手動チョーク操作が必要であり、この操作は素人にとって非常に煩わしい作業であった。女性ユーザの場合ひもを引くスピードが遅いのためにエンジンを始動できないケースが多々あった。ユーザ調査による刈払機の購入時重視事項からもエンジンの始動性が注目されているのが良くわかる（図2）。

それゆえ時代とともに各社さまざまな方法で始動容易化を試みている。当社ではかねてより、地球環境と人に優しい商品の研究開発に取り組んできたが、それを具現化したハイブリッドスタートシステムのキー技術と開発成果について報告する。

2. 始動容易化技術

始動を容易化するための方策は図3で示すように、①リコイル引き力低減、②リコイル引き速度低減、③始動操作の単純化と大きく3つに分けられる。今回のシステムの狙いは煩わしいリコイルスタータ方式からの脱却を図り、軽

量化と簡単操作、および信頼性を柱とし開発に着手した。

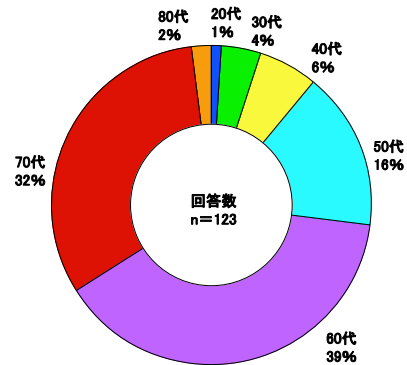


図1 国内におけるユーザー年齢層

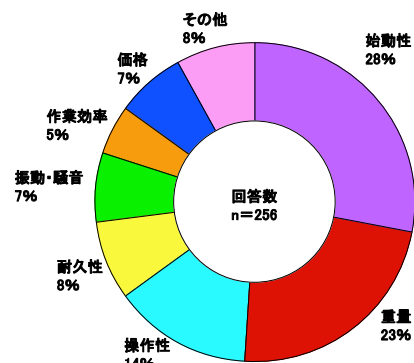


図2 購入時重視事項

軽量化に関しては小型セルモータ+アシストスプリング、簡単操作にはオートチョーク機構、信頼性についてはリチウムイオンバッテリーを採用し、システムを構築した。

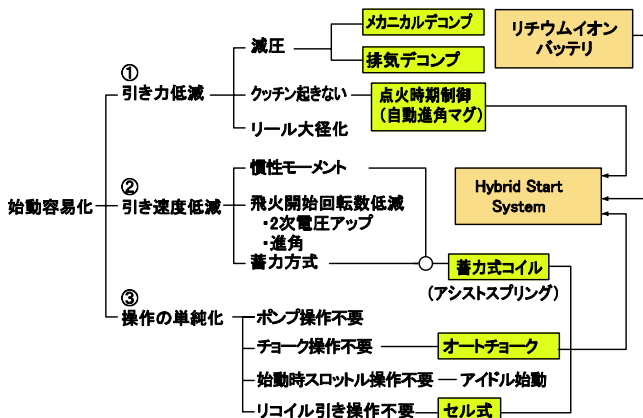


図3 始動容易化技術

これらを達成することにより、ユーザの始動操作手順は現在7工程を経てエンジンを始動している操作が、3工程でのエンジン始動が可能となる(図4)。また、素人には理解し難いチョーク操作の廃止で「誰もが簡単に、ボタンを押すだけでエンジン始動」を実現し始動操作の煩わしさを解消できる。

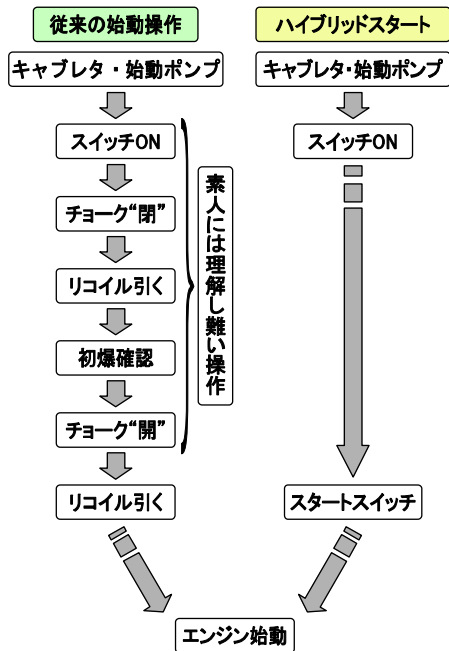


図4 始動操作手順比較

3. 達成手段

3.1 軽量化 (ハイブリッドスタート)

従来のセルスタートシステムは、減速器を介してセル

モータでクランクシャフトを回転させていた。そのため、エンジンを始動させるために必要なクランキング回転数を確保するためには大型のセルモータを使わざるをえなかった。モータが大型化することで重量も必然的に増加する。また減速器の構成が、3軸の平歯車の構成でありギアボックスが大型化し、重量アップとなり手持ち式の機械に搭載するのは困難であった。

(1) 軽量化の狙い

軽量化の狙いは小型セルモータとコンパクトな減速機構およびエンジンコンプレッションを乗り越える際のスプリング開放時に、十分なクランキング回転数を達成するアシストスプリングの構成とした。減速機構はコンパクト化およびギアの伝達効率を考慮し2段の遊星歯車と平歯車による減速方式を採用した(図5)。

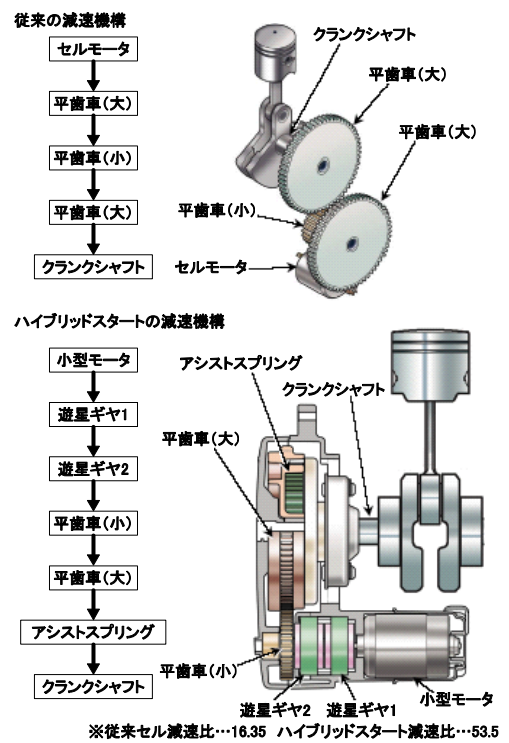


図5 構造比較

重量目標は手持ち作業機としての重量バランスを考慮し、エンジン側と本機側に重量を分散させ、エンジン重量はリコイルスタート式現行機に対して200gの重量アップ。本機側はバッテリーの搭載等も含めて180gアップとし、全体で10%アップ以下を目標とした(表1)。

表1 開発機目標重量

重量(kg)	ハイブリッドスタート方式	リコイルスタート方式
エンジン	2.94	2.73
本機	1.60	1.42
総重量	4.54	4.15

(2) ハイブリッドスタートの原理

従来のセルスタートでは、先にも述べたようにクランクシャフトをモータと減速器の構成により回転させるため、バッテリー電圧の低下に伴い、クランク回転数が落ち込み始動不可になるケースが多くみられた。しかし、ハイブリッドスタート方式はモータが高減速機構を介しアシストスプリングを巻き上げながらクランクシャフトを回転させる。ピストンが上死点付近に達するまでコンプレッションが増大しアシストスプリングは更に巻き上げられる。ピストンが上死点に達すると、ピストンスピードはゼロになるが、減速器を介したスタータモータのトルクがクランクトルクを乗り越えるとアシストスプリングに蓄えられていたエネルギーが一気に開放しクランクシャフトを高速回転させ、エンジン始動可能回転数まで加速する(図6)。

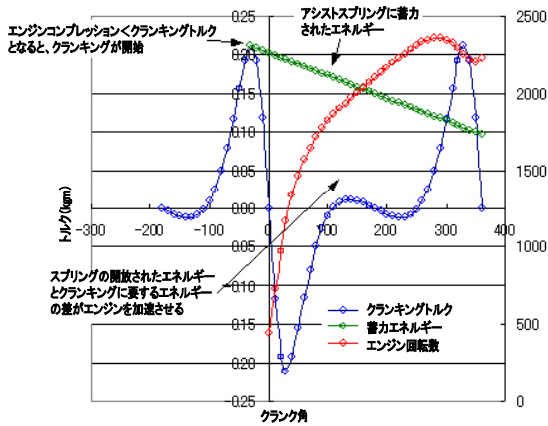


図6 ハイブリッドスタートの原理

ハイブリッドスタートの最大の特徴は、アシストスプリングの開放エネルギーによりエンジンを始動できるため、バッテリーの電圧低下に伴い、モータスピードが落ち込んでも高減速比に設定された減速器によりアシストスプリングを巻き上げることができ、確実に始動できる所にある。アシストスプリングの諸元設定は、2 サイクルエンジンの宿命である燃焼室内、ピストン頭頂部へのカーボン堆積による高圧縮状態、および低負荷作業で発生するシリンダ〜ピストン周りのタール付着によるフリクションロスを想定し決定した。この構造の実現により、軽量化を達成するための小型モータの採用が可能となった。ハイブリッドスタータと従来セルスタータのスペックを表2に示す。

表2 スタータスペック比較

	従来セル方式	ハイブリッドスタート方式	備考
スタータ部重量(エンジン付帯分)	1260g	418g	ハイブリッド方式はバッテリー重量含まず
最大発生トルク	0.47kg*m	0.63kg*m	実測値
クランク回転数	1420rpm	1840rpm	実測値

3.2 簡単操作 (インテリジェントオートチョークシステム)

(1) 従来型オートチョークシステム

通常のオートチョークシステムはエンジンの環境温度に合わせて空燃比を調整し、エンジンの始動をサポートするシステムである。しかし、従来型のオートチョークシステムはキャブレタに始動燃料供給用のソレノイドバルブが装着され、エンジンの始動時には常に始動用燃料を送るシステムとなっていた。よってエンジン暖機状態でも始動用燃料が供給されるため、混合気過濃状態による、始動不良を起こしていた。

(2) インテリジェントオートチョークシステム

開発機のインテリジェントオートチョークシステムは、ソレノイドバルブの駆動に制御を設けることで、環境温度に対応した最適始動の達成と燃料かぶりに対する不具合を解消している。システム構成は、①ソレノイドバルブ付きキャブレタ、②ソレノイドバルブ駆動制御用温度センサ、③燃料かぶり防止用ヒータで構成されている。フローチャートは、スタートボタンを押すとクランクが始まりデジタルマグネットがフライホイールの回転を検知する。デジタルマグネット内に設置された温度センサがコイル温度を検知し、30℃以下と判定すると、ソレノイドバルブが駆動し始動用燃料を供給する。

しかし、温度センサ部の温度が常に30℃以下であれば始動用燃料が供給されつづけ、燃料かぶりを起こすことになってしまう。現行のマニュアルチョークの場合は、燃料かぶりを避けるためにチョークを戻す操作をオペレータの判断にゆだねている。開発機ではその判断を温度センサとその近傍に設置したヒータにより制御している(図7)。

インテリジェントオートチョークシステムはエンジンスタートボタンを押すと同時に、センサ近傍のヒータに通電し、温度センサ近傍が過熱される。図8にクランク回数とヒータ温度の関係を示す。

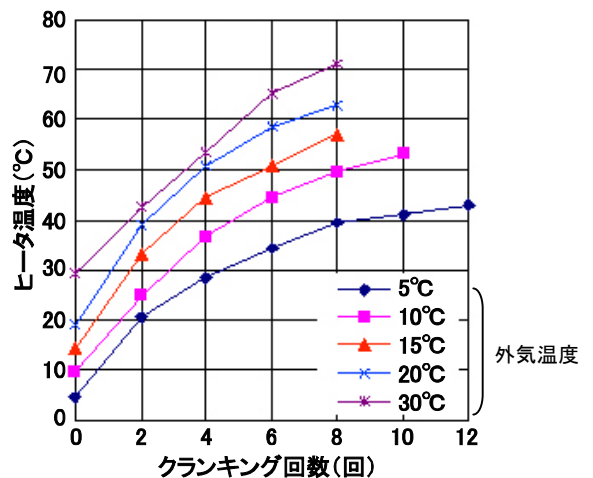


図8 クランク回数とヒータ温度上昇の関係

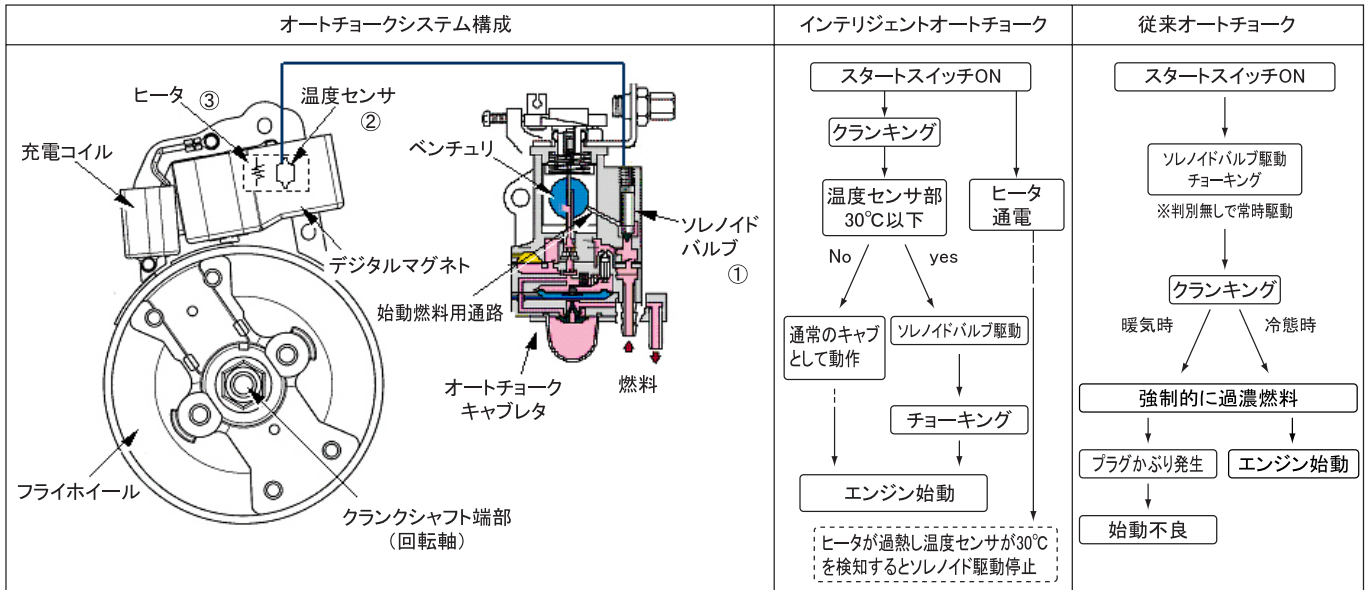


図7 オートチョーク機構の制御方法

低温の場合は燃料の気化する量が少なく、始動用燃料を多く供給する必要がある。外気温が5°Cの場合、クランク回数 4 回まで始動に必要な燃料が供給され、ヒータが 30°Cに達するとソレノイドバルブは閉じる。

外気温が 30°Cの場合は、始動用燃料が供給されなくとも始動可能であること、および 30°C以上で始動燃料を供給すると燃料かぶりを起こすことからセンサ設定温度を 30°Cとした。以上より、温度センサの設定温度によりチョーク動作回数を規定することで、低温での確実な始動、および暖気状態での燃料かぶりによる始動不良を解消することに成功している。

3.3 信頼性 (リチウムイオンバッテリー)

ハイブリッドスタートシステムの信頼性は自動車などと同じく、バッテリーに依存している。したがってバッテリーの信頼性向上が何よりの課題である。バッテリー上がりに対しては、電気容量を増やすことで対応できるが必然的に重量も増すこととなる。

(1) ニッカドバッテリー

従来のセルスタートシステムに搭載されているニッカドバッテリーは 425g と機械全体の一割を占め、手持ち機器の宿命である軽量化の考えからは厳しい重量であった。また、ニッカドバッテリーは自己放電量が著しく、夏場の状況下では 30 日もたたずに、始動不可の電圧領域まで落ち込むことが想定される。

(2) リチウムイオンバッテリー

開発機はバッテリーの信頼性向上、機器の軽量化、ワンシーズン充電不要という 3 つの問題を解決すべく、リチウムイオンバッテリーを採用している。リチウムイオンバッテリーの優れた点は、

- ① 重量エネルギー密度は約 155Wh/Kg と高く、ニッカド

- 電池の約 3 倍あり小型軽量化ができる。
- ② 1 セルあたりの電圧が 3.6V と高く、ニッカド電池の 3 倍の電圧が得られ、省スペース化ができる。
- ③ 保存特性に優れていて、自己放電量は 5%/月と非常に低くニッカド電池の 1/5 以下である。

開発機のバッテリーは、各種保護回路を搭載した状態で 75g と従来のセルスタートに使用されているバッテリーの 18%程度の重量でシステムを駆動することが可能となっている。また、スイッチボックスにバッテリーを収納することで、重量バランスも改善されている。

自己放電量に関しては、図 9 よりリチウムイオンがニッカドに対して優位であることが良くわかる。同じ 8V 近辺から室温にて自己放電量を試験した結果、ニッカドバッテリーでは 50 日程度で始動システムを駆動させるのが困難になる。対してリチウムイオンバッテリーでは 50 日経過時点で自己放電量は 0.3V 程度と少なく、十分にシステムを駆動できる電圧を維持しており、ワンシーズンでの自己放電量も 1.5V 程度と推測でき、シーズン中にバッテリーを取り外して充電する必要の無いことがわかる。

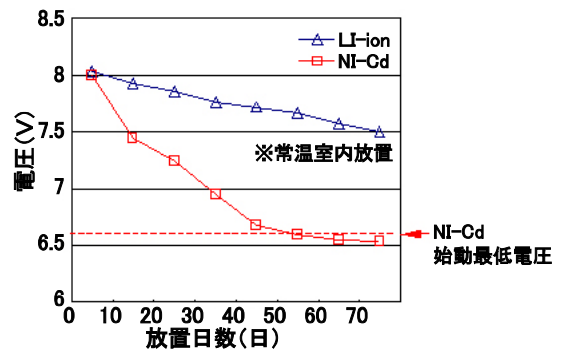


図9 リチウムイオンとニッカドの自己放電特性

次にバッテリーに要求される特性に関して解説する。始動システム駆動時に要求される、使用環境はバッテリーにとって非常に過酷であり、次のような特性が要求される

- ① エンジン始動には大電流（20～30A）が流れるため、電池容量を 800mAh とした時、30C 程度の放電が必要。
- ② 機械の使用環境が過酷なため、振動に対する耐久性が必要となる。
- ③ バッテリー駆動の始動システムなので、高い信頼性を確保しなければならない。

図 10 に始動時の電流・電圧波形を示す。バッテリー電圧が 7.8V 時でピーク電流は 23A に達している。始動時の波形とピストン位置の関係は、まず突入電流を経てモータが駆動し始めクランクシャフトを回し始める。ピストンが上死点に近づくにつれ、モータにかかる負荷も大きくなり電流値も増加していくのがわかる。上死点付近では最大 20A 程度まで電流値は上昇する。この 1 サイクルの平均電流は 9.5A で、時間によると 0.7 秒程度である。よって、開発機搭載のバッテリーパックは大電流放電の実現により、ハイブリッドスタートシステムの要求を充分満足できる性能を発揮している。

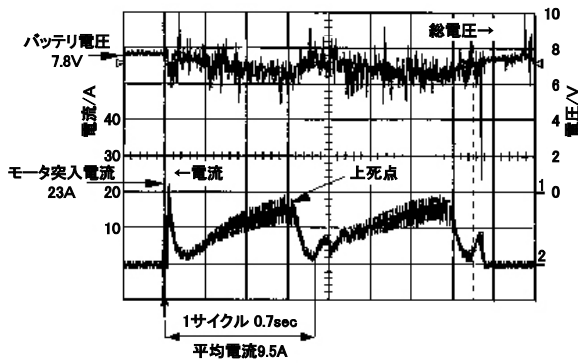


図 10 エンジン始動時の電池電圧と電流

図 11 は加振状態での充電波形である。エンジン振動の周波数帯域 83Hz～200Hz でスイープ、3G～15G の厳しい条件でバッテリー端子部電圧を計測した。各振動加速度で端子部のセンシングが安定しているのが確認でき、刈払機へ搭載した際の振動に対する信頼性は充分であると言える。

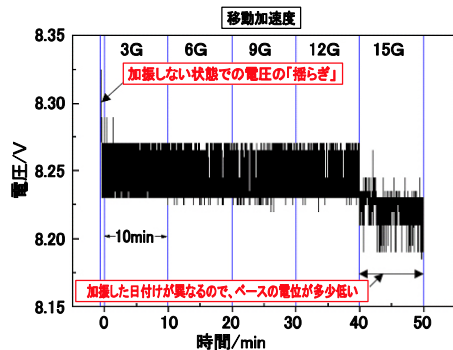


図 11 加振状態での充電端子電圧

ユーザがバッテリーを完全放電させてしまった際の、バッテリーに及ぼす影響を把握するため図 12 に DOD100% (放電深度) のサイクル試験結果を示す。試験は 1A 定電流定電圧充電/20A 定電流放電とした。500 サイクル後の容量維持率も 85% を示している。ハイブリッドスタートシステムについての使われ方を考慮すると、始動システム駆動後はエンジンの発電により放電エネルギーを回収するシステムであるため、完全放電することは極めて稀である。よってこのシステムは、充分な信頼性を有していると言える。

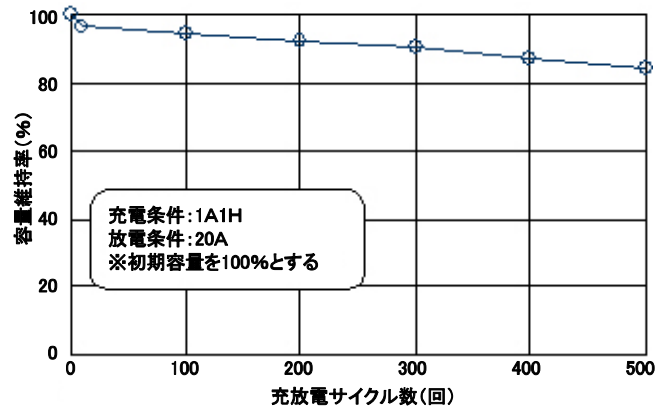


図 12 DOD100%時のサイクル試験結果

また、ハイブリッドスタートシステムの実際の使われ方を想定し浅い充放電のサイクル特性を検証するために、150mA 定電流定電圧充電 10 分/30A 定電流放電 3 秒とし、サイクル特性を確認したデータが図 13 である。10000 サイクル後の容量維持率は目標 85% 以上に対し、93% と優れたサイクル特性を示している。更にリチウムイオンバッテリーはメモリ効果がないことより、浅い充放電を繰り返すハイブリッドスタートシステムにマッチしていると言える。

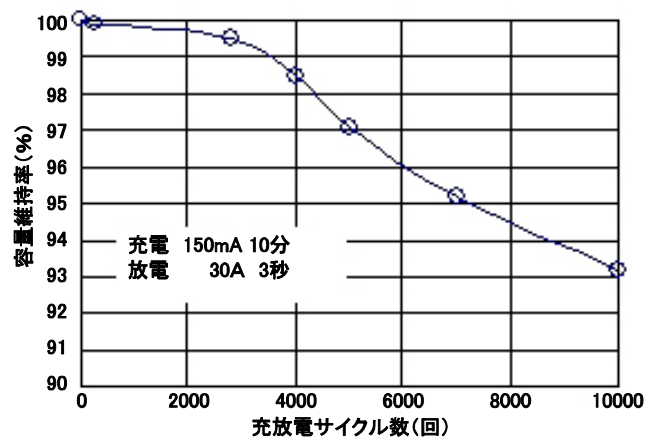


図 13 使用想定時のサイクル試験結果

以上、バッテリーの信頼性について機械的特性は十分な検証が実施できた。しかし、経年的な性能は計算・シミュレーションの確認に依存しており、今後実験的なデータに基づき、解析を続けて行くことが課題として挙げられる。

4. 結論

- ①手持ち式刈払機に搭載可能な、軽量スタートシステムの構築を達成した
 - ②チョークシステムで問題だった、燃料かぶりに対する制御システムを取り入れ信頼性の向上を達成した
 - ③大電流放電可能なリチウムイオンバッテリーの開発に成功し、軽量化、信頼性の向上を達成した
- 今回開発したハイブリッドスタートシステムは23cc、26ccクラスの2サイクルエンジンに搭載され、2005年7月7日より国内へ市場導入されており、その始動性の良さ、セルスタート式として他に類が無いほど軽量化を達成している事により高い評価を頂いている。これはユーザの潜在的ニーズを上手く発掘出来た結果ではないかと考える。

今後、本システムを基にさらなる商品力向上をはかっていきたい。

筆者紹介



Hiroshi katou

かとう ひろし
加藤 博

1983年、コマツゼノア入社。
現在、農林機器事業部 機器開発センタ所属。



Ryo Ono

おの りょう
小野 涼

2003年、コマツゼノア入社。
現在、農林機器事業部 機器開発センタ所属。

【筆者からひと言】

振り返ると、本開発は商品開発と技術開発を同時に行った開発であったと思う。刈払機という環境条件の厳しい製品を商品化するための種々の制約条件をクリアして、市場に開発成果としてダントツ商品を送り出したことは、技術者として誇りである。また次期商品開発時のモチベーション向上へつながる、かけがえない経験であった。そして、各部門でお互いの利害を克服しながら、量産化にむけ協力し合えたことも商品化には欠かせないファクターであった。更に業界初となる、リチウムイオンバッテリーの採用に関しては、バッテリーメーカーとの共同開発によりお互いのノウハウを出し合い、補完できたことも大きな収穫であった。

市場では、ホームセンターの躍進が目覚しくそれに伴い低価格の刈払機が増えてきている。しかし付加価値のある商品は潜在的ニーズを発掘する可能性が大いにあるということをも本開発により確信できた。今後とも、農業機械に先端技術を取り入れ、革新的なダントツ商品を開発していきたいと考えている。