

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560307

研究課題名（和文）：燃料電池を電源とするPMモータ駆動用昇圧器付インバータの小形低コスト回生回路

研究課題名（英文）：A compact and low-cost regenerative circuit of fuel cell excited inverter system for PM motor drive

研究代表者：山本 吉朗 (YAMAMOTO KICHIRO)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：70220457

研究成果の概要（和文）：燃料電池を電源とするシステムに研究代表者が提案したバッテリー電気二重層キャパシタ直列方式の回生エネルギー吸収回路を適用し、永久磁石（PM）モータシステムの効率向上を目的として、基本設計を行った。燃料電池特性や最適動作点、最適な電気二重層キャパシタの個数などを明らかにし、提案システムを市販の高齢者用電動カートに適用する場合のシミュレーションにより、減速時には速度が遅いため回生エネルギーはほとんど回収できないが、連続する下り勾配であれば回生エネルギーが回収できることを示した。

研究成果の概要（英文）：The regenerative circuit had been presented by the representative of this research was added to a fuel cell excited inverter system for PM motor drive in order to raise the system efficiency. And characteristics and optimal operating point of our fuel cell and most suitable number of electric double layer capacitor were investigated. Furthermore, proposed system was applied to a commercially available electric cart for elderly people in simulation. The simulated results showed that regenerative energy was hardly able to be absorbed in case of decelerating period because of lower cart speed but was able to be absorbed in case of continuing downhill slope.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：パワーエレクトロニクス，燃料電池，電気機器工学，エネルギー効率化，電気自動車，燃料電池，電気二重層キャパシタ，電流可逆チョップ

## 1. 研究開始当初の背景

研究開始当初は、ハイブリッド車や電気自動車の電源として燃料電池が注目され始め

ていた。エネルギーという観点から見た場合、電気自動車の長所は、下り坂や減速時にエネルギーの回生が可能なことであるが、燃料電池単体ではこの回生エネルギーの回収は不

可能であり、また、燃料電池の利用効率を上げたり寿命を延ばしたりするためには一定出力での運転が不可欠である。

申請者らは、本研究に対する補助を申請する前に、バッテリーに大電流急速充放電可能な電気二重層キャパシタを組み合わせることにより回生エネルギーの回収率を上げ駆動システムを高効率にする研究を行っていた。このシステムでは大容量の電気二重層キャパシタを用いることにより、回生電力を吸収でき、回生により蓄えられた電荷を、次の加速、力行にも用いることができた。さらに、2つの昇圧チョップを用いることにより、バッテリー、キャパシタ、電動機間の電力の流れを自由に制御可能であった。そこで、このシステムのバッテリー部分を燃料電池に取り替え、燃料電池の運転状態を一定に保ったまま、エネルギーの過不足をすべてキャパシタで補うことで燃料電池を常に最適な動作点で動作させ、燃料電池システムの高効率化を行うシステムの研究を開始するにいった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、申請者が提案したバッテリー電気二重層キャパシタ直列方式の回生エネルギー吸収回路をバッテリーではなく燃料電池を電源とするシステムに適用することで、電気自動車などに用いられるPMモータ駆動システムの効率を高めることである。

## 3. 研究の方法

### (1) 燃料電池の出力特性の調査

燃料電池スタック（新規購入，SPACE-DEVICE H-300，300W，36V，8.4A，図1）の電気的特性について調べ、実験で使用する燃料電池等価回路について検討する。



図1 燃料電池スタック

### (2) 燃料電池の最適な動作点の検討

燃料電池スタックをいろいろな動作点において運転し、その電気的な特性について調べる。

### (3) 実験システムの基本設計

回路およびシステム（図2）についての基本設計を行う。

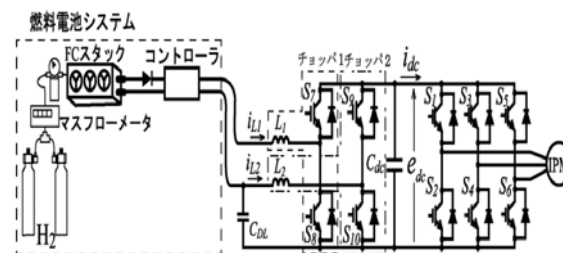


図2 実験システムの基本構成

### (4) シミュレーションによる新駆動方式の検討

システムを組み込むためのベースとして用いる電動カート（市販品，スズキ，セニアカー，ET4D，図3）について、提案システムを組み込む前の状態における動作を実験により調査し、その動作特性や機械的定数を明らかにする。また、調査した機械的定数を用いて、提案システムを組み込んだ電動カートの加減速運転について検討する。



図3 ベースとした高齢者用電動カート

### (5) 実験システム製作

水素ボンベからの水素で燃料電池を動作させ、これを電源としてPMモータを駆動する基本部分の回路製作を行う。

### (6) 回路の動作確認，修正等

製作した各回路について動作確認を行い、

回路の修正等を行う。

(7) 製作回路の電動カートへの実装と動作確認、実機での効率等の測定

製作し動作確認を行った各回路を電動カートに実装し、基本動作の確認を行う。消費電力や効率等の運転特性を測定する。

(8) まとめ

以上の結果をまとめる。

#### 4. 研究成果

(1) 燃料電池の出力特性の調査について

燃料電池スタック (SPACE-DEVICE H-300, 300W, 36V, 8.4A, 図1) の電気的特性について調べ、実験で使用する燃料電池等価回路について検討を行った。購入の燃料電池スタックは、コントローラに電流リミッタが内蔵されており、12A で電流制限がかかるものの、12A 以下の電流範囲では、ほぼ直線的な電圧-電流特性となり、等価回路的には一定の出力インピーダンスを持つ電源で模擬できることを明らかにした (図4)。

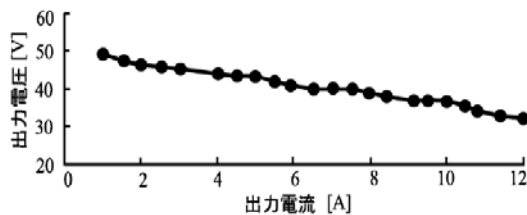


図4 燃料電池の出力電圧-出力電流特性

(2) 燃料電池の最適な動作点の検討について

燃料電池スタックをいろいろな動作点において運転し、その電気的な特性について調べた。各動作点における水素流量の測定を行い、水素流量と出力との関係を明らかにした (図5)。

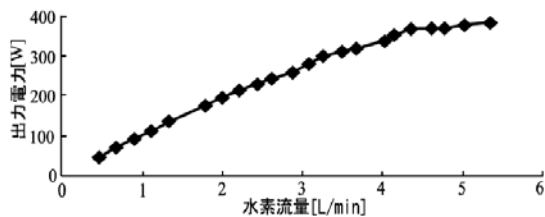


図5 燃料電池の出力電力-水素流量特性

(3) 実験システムの基本設計について

回路およびシステム (図2) についての基本設計を行った。

(4) シミュレーションによる新駆動方式の検討について

システムを組み込むためのベースとして用いる電動カート (市販品, スズキ, セニアカーET4D, 図3) について、提案システムを組み込む前の状態での動作を実験により調査し、その動作特性や機械的定数を明らかにした。また、調査した機械的定数を用いて、提案システムを組み込んだ電動カートの加減速運転について検討し、①燃料電池は45V程度の高電圧、低出力範囲で動作させることが望ましい、②300Vまでの直流リンク電圧を用いる場合、燃料電池電圧と電気二重層キャパシタ電圧の合計は60V以上必要であること (図6)、③この場合、+4度の上り勾配100m、-4度の下り勾配100mを考慮した運転に対して、6000F, 2.3Vの電気二重層キャパシタの必要最低個数が13個となること (図7)、④提案のカートは動作速度が遅いため、減速時には回生エネルギーの回収がほとんど望めないが、連続する下り勾配においては十分な回生エネルギーを得ることができることなどを明らかにした。

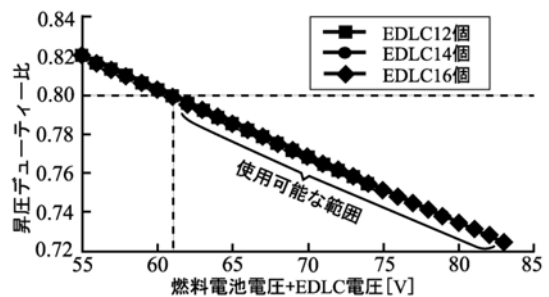


図6 使用可能な電源電圧 (燃料電池電圧+電気二重層キャパシタ電圧)

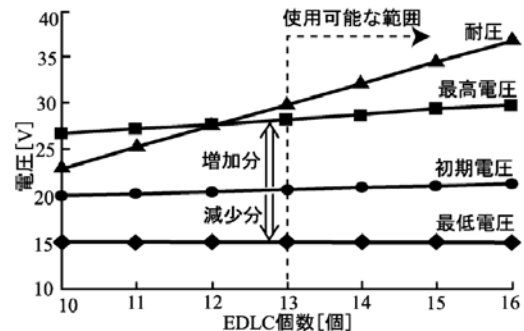


図7 電気二重層キャパシタの個数と電圧

(5) 実験システム製作について

水素ボンベからの水素で燃料電池を動作させ、これを電源として PM モータを駆動する基本部分 (2 つの電流可逆チョップ、インバータなど) の回路製作を行った。

(6) 回路の動作確認、修正等

製作した各回路について動作確認を行い、回路の修正等を行った。

(7) 製作回路の電動カートへの実装と動作確認、実機での効率等の測定

製作した各回路を電動カートへ実装する際、モータの実装スペースの関係から速度センサを取り外す必要が生じた。これにより位置センサレス制御を行わなければならない、制御系の再検討を行った。この制御が思うようにいかず、現在までのところ、モータを実装した状態での動作確認を行うに至っていない。今後、早急にこの問題を解決し、実証試験を行いたい。

(8) まとめ

以上、本研究から得られた結果は、以下のとおりである。

①使用した燃料電池は、使用範囲において、一定の内部抵抗を持つ直流電源として模擬できる。

②燃料電池は、45V 程度の高電圧、低出力範囲で一定出力運転することで、必要な水素量を最も少なくすることができる。

③300V までの直流リンク電圧を用いる場合、燃料電池電圧と電気二重層キャパシタ電圧の合計が 60V 以上必要である。

④この場合、+4 度の上り勾配 100m、-4 度の下り勾配 100m を考慮した運転に対して、6000F、2.3V の電気二重層キャパシタの必要最低個数は 13 個である。

⑤本実験で使用したカートは動作速度が遅いため、減速時の回生エネルギー回収はほとんど望めないが、連続する下り勾配において十分な回生エネルギーを回収することが可能である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

① 山本吉朗、今給黎明大、飯盛憲一、電気

二重層キャパシタで回生機能を強化した電流可逆チョップ付 PWM インバータ, 電気学会論文誌, 査読有, 131 巻, 2011, pp. 671-678, DOI : 10.1541/ieejias.131.671

② 江口達, 山本吉朗, 飯盛憲一, 電気二重層キャパシタで回生機能を付加した燃料電池システムのシミュレーション, 平成 23 年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 査読無, 01-1P-02, 2011, pp. 123-124, DOI なし

③ 林エイイ, 山本吉朗, 飯盛憲一, 電気二重層キャパシタによる回生機能付燃料電池電動カートの電源最適化, 平成 22 年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 査読無, 01-1A-07, 2010, pp. 8-9, DOI なし

④ Kichiro Yamamoto, Akihiro Imakiire, Rongyi Lin, Kenichi Iimori, Comparison of Configurations of Voltage Boosters in PWM Inverter with Voltage Boosters with Regenerating Circuit Augmented by Electric Double-Layer Capacitor, Proceedings of International Conference on Electric Machines and Systems, 2009, 査読有, DS1G2-6, 2009, DOI : 10.1109/ICEMS.2009.5382975

⑤ 山本吉朗, 林エイイ, 飯盛憲一, 電気二重層キャパシタにより回生機能を強化した電流可逆チョップ付 PWM インバータにおけるチョップ部の構成比較, 電気学会半導体電力変換産業電力電気応用合同研究会資料, 査読無, SPC-09-162, IEA-09-032, 2009, pp. 77-82, DOI なし

⑥ 山本吉朗, 林エイイ, 飯盛憲一, 電流可逆チョップ付 PWM インバータにおけるチョップ部の安定性, 平成 21 年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集, 査読無 01-1P-06, 2009, DOI なし

[学会発表] (計 5 件)

① 江口達, 山本吉朗, 飯盛憲一, 電気二重層キャパシタで回生機能を付加した燃料電池システムのシミュレーション, 平成 23 年度電気関係学会九州支部連合大会, 2011 年 9 月 26 日, 佐賀大学本庄キャンパス, 佐賀市

- ② 林エイイ, 山本吉朗, 飯盛憲一, 電気二重層キャパシタによる回生機能付燃料電池電動カートの電源最適化, 平成 22 年度電気関係学会九州支部連合大会, 2010 年 9 月 25 日, 九州産業大学, 福岡市
- ③ 山本吉朗, 林エイイ, 飯盛憲一, 電気二重層キャパシタにより回生機能を強化した電流可逆チョッパ付 PWM インバータにおけるチョッパ部の構成比較, 半導体電力変換産業電力電気応用合同研究会, 2009 年 11 月 28 日, 長崎大学, 長崎市
- ④ Kichiro Yamamoto, Akihiro Imakiire, Rongyi Lin, Kenichi Iimori, Comparison of Configurations of Voltage Boosters in PWM Inverter with Voltage Boosters with Regenerating Circuit Augmented by Electric Double-Layer Capacitor, International Conference on Electric Machines and Systems 2009, 2009 年 11 月 16 日, タワーホール船堀, 東京都
- ⑤ 山本吉朗, 林エイイ, 飯盛憲一, 電流可逆チョッパ付 PWM インバータにおけるチョッパ部の安定性, 平成 21 年度電気関係学会九州支部連合大会, 2009 年 9 月 28 日, 九州工業大学情報工学部, 飯塚市

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山本 吉朗 (YAMAMOTO KICHIRO)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：70220457

### (2) 研究分担者

飯盛 憲一 (IIMORI KENICHI)

鹿児島大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号：0028490