

# 水素燃料電池自動車向け回生失効時の永久磁石モータの 廃電によるエンジブレーキ模擬の検討

日大生産工(院) ○町田 直人, 日大生産工 加藤修平

## 1. はじめに

二酸化炭素を排出しない燃料電池車(Fuel Cell Vehicle:FCV)は、地球温暖化やピークオイル等の環境問題対策として開発が進んでおり、トヨタ自動車の「MIRAI」やHONDAの「クラリティ」など実用化されている。それに伴い、水素ステーション(充填スポット)も4大都市圏を中心に約100箇所と拡充しており、今後さらに普及が進むと考えられる。

FCVの蓄電池は電気自動車(Electric Vehicle:EV)に比べて容量が約1/10以下である為、蓄電池が満充電になりやすい。この時、回生電力の受け入れ先が無く、トラクション電動発電機による制動力が得られないというFCV特有の弱点がある。以下にその課題、提案方法、実験結果について詳述する。

## 2. 従来の課題(回生失効時の制動力確保)

トヨタ自動車FCV「MIRAI」の蓄電池容量は約1.3kWhであり、日産自動車のEV「LEAF」の30kWhと比較しても一桁以上少ない。このことから、FCVにおいて蓄電池が満充電に近い状態で制動力(ブレーキ力)が必要な場合、トラクション電動発電機では制動力を発生できない。本稿ではこの状態を回生失効と呼び、このような場合(特に長い下り坂)は別の方法で制動力を得る必要がある。

## 3. 提案するモータ発電機の制御方法

一般的には電流ベクトル長 $I_a$ が最短となる駆動点P(Maximum Torque Per Ampere:MTPA)を選択すると電力変換器と永久磁石モータの両方において比較的高効率な駆動が可能である。しかし、本稿では回生

失効時に可能な限り永久磁石モータに損失を発生させるため、電流ベクトル長が最も長くなる、又は電圧制限楕円に最も近くなる駆動点を選択する方法を提案する。

図1より電流制限円と電圧制限楕円の両方を満足する駆動点は $S_2$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ となる。この選択肢の中から永久磁石モータの巻線抵抗値と鉄損抵抗値(電気角周波数に依存)から銅損、鉄損の合計が多い駆動点を選ぶことで永久磁石モータにおいて最大の損失が得られる。

以上より本稿で提案する電流ベクトル選択方法はdq電流平面において界磁を強めた状態の第1象限と第4象限を使う為、低速領域においても比較的高い電機子電圧、言い換えると高いDC電圧が必要となる。しかし適用先のFCVはインバータ(DC/AC)前段にDCDCコンバータを必ず備えている。従って、本来は高速領域での運転範囲拡大の目的で使用する高いDC電圧を利用可能な為、電流ベクトル選択肢が狭くなることは避けられる。

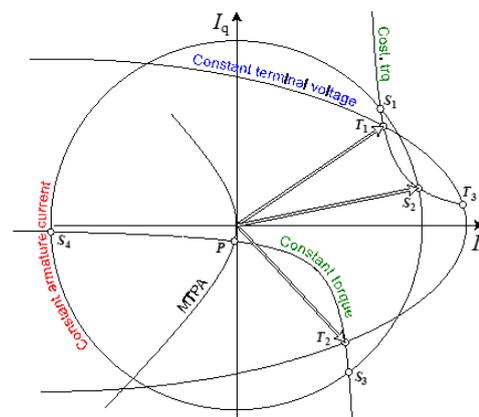


図1 電機子電流・電機子電圧を考慮した最大損失  
駆動点

Fig. 1 Maximum losses driving-points under consideration of the armature current and voltage limits

## 4. ゼロ発電時の制動力の実験検討

### 〈4・1〉 実験で使用する永久磁石モータ諸元と実験装置図

表 1 に本稿で定量的に検討する永久磁石モータの諸元を示す。図 2 に実験装置の全体図を示す。

表 1 定量検討する永久磁石モータの主要諸元  
Table. 1 Specifications of the target PM motor

Rated speed	$N$	3000 rpm
Rated Power	$W$	2.0 kW
Rated Current	$I$	12A
Pole pair	$P_n$	4
Armature resistor	$R_a$	0.2 $\Omega$
interlinkage magnetic flux	$\Psi_a$	1.311 Wb
d-axis Inductance	$L_d$	2 mH
q-axis Inductance	$L_q$	2 mH

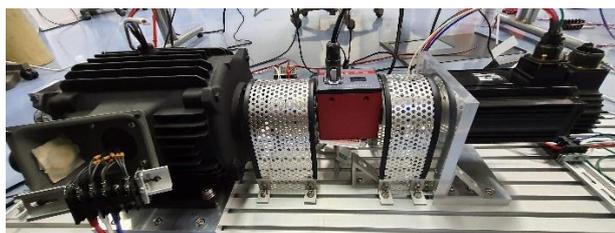


図 2 実験装置  
Fig.2 Experimental setup

### 〈4・2〉 各回転速度における蓄電池対機械軸の入出力特性

図 3 に回転速度 2000 rpm における蓄電池と機械軸の電力をそれぞれ入出力とする入出力特性の実験結果を示す。同図の正值は機械軸(縦軸)であれば制動力、蓄電池(横軸)であれば放電を意味し、負値はそれぞれ加速力、充電を意味する。

図 3 より、原点つまりゼロ発電時に電流値に比例して制動力も増加していることがわかる。2000 rpm 時の最大制動力は約 205 W となった。また、図 4 に各電流値におけるゼロ発電時の制動力特性を示す。図 4 より、1000 rpm, 2000 rpm, 3000 rpm とともにモータ電流により制動力が増加していることがわかる。

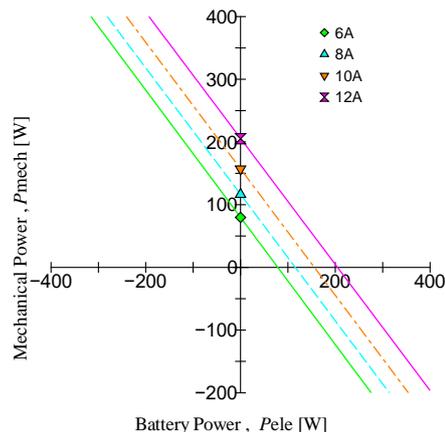


図 3 2000 rpm における蓄電池対機械軸入出力特性  
Fig.3 Input-output characteristics between the battery and the mechanical shaft at 2000 rpm

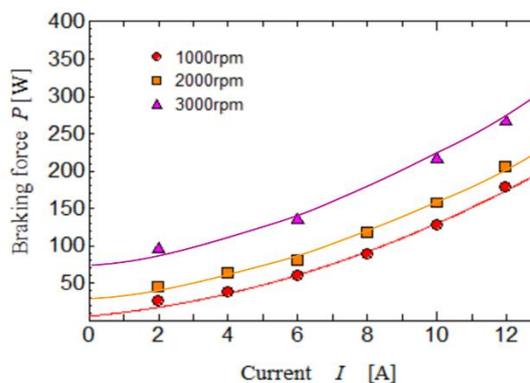


図 4 各電流値におけるゼロ発電時の制動力特性  
Fig.4 Braking force when not generating power at each current value

## 5. おわりに

本稿では FCV は蓄電池が満充電になると制動力が得られない弱点を挙げた。実験結果からゼロ発電時であっても提案方法で制動力が得られることが分かった。必要に応じて一時的に定格電流以上の電流を流すことで下り坂で必要とされる制動力を得られると考えられる。今後は実験により一時的に定格以上のモータ電流を流した時の制動力と永久磁石モータの発熱を実測する予定である。

## 文 献

- (1) 加藤 他. 「燃料電池車向け回生失効時の永久磁石モータ制動力確保の検討」 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌). 2019. 139. 3. 225-231