

ピークカット・瞬時停電対策が可能な フライホイール蓄電システムの実証試験



松崎 俊太郎*1



橋本 慎*2

Verification test of a Flywheel Energy Storage System for Railway Power Distribution System

Shuntaro MATSUZAKI*1, Makoto HASHIMOTO*2

*1 Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

*2 Chief Researcher, Environmental Engineering Research Laboratory, Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

The paper proposes a flywheel energy storage system(FESS) which provides load levelling to avoid reinforcement of railway distribution equipment and which supplies uninterruptible power to station loads. Since Transportation Accessibility Improvement Law took effect on 2006 in Japan, station electricity demand grew by increasing number of escalators and elevators. Moreover, JR East has been installing automatic platform gates at stations since 2010, which will increase power demand as well. Since elevators, escalators and automatic platform gates are all fluctuating loads, distribution equipment capacity becomes excessively large because it must be designed to sum of maximum power output of equipment for secure power supply. Meanwhile it is required that these loads work through brief power outages without shutdown. In this paper it is proved that FESS solves these problems.

●**Keywords:** Flywheel Energy Storage System, Reduction of peak demand, Uninterruptible Power Supply

1. はじめに

JR東日本の配電設備は、駅照明設備、券売機、改札機、売店、空調、ポンプ類等、および信号設備に電力を供給している。近年ではお客さまサービス向上のためエレベータ・エスカレータの設置台数が増加し、2010年よりホームドアの導入も開始され、今後もさらなる電力需要の増加が見込まれる。

エレベータは上昇時、ホームドアは開閉時に大電力を消費する間欠負荷であるが、これらに確実に電力供給を行うため、上位系統の変電機器や配電線の設備容量は、間欠負荷のピークが重なった場合にも供給可能となるよう容量に余裕を持たせた設計としており、ラッシュアワー以外に設備利用率が低下するという課題がある。

本研究では、電力貯蔵媒体として充放電による劣化がなく信頼性が高いフライホイールに着目し、鉄道向けとして常用/予備受電が可能な蓄電システムを開発し、上記課題の解決のため検討を行った。さらに、電鉄配電系統に特有の瞬時停電時にも電力供給が可能であることを示した。なお、フライホイールの導入事例を表1に挙げる。

表1 フライホイールの導入事例

年/国	製造会社	適用先	目的
1988/日本 ¹⁾	三菱電機	鉄道	き電電圧補償
1996/日本 ²⁾	東芝	電力系統	周波数調整
2002/英国 ³⁾	Urenco Power Technologies	鉄道	ピークカット、き電電圧補償、回生電力吸収
2005/オランダ ⁴⁾	CCM-ALSTOM	路面電車(車上)	架線レス化、回生電力吸収
2009/日本 ⁵⁾	日新電機	離島マイクログリッド	周波数調整
2010/米国 ⁶⁾	Beacon Power	電力系統	周波数調整

2. 開発品の試験構成および充放電特性

本研究で使用したフライホイール蓄電システムの仕様を表2、外観を図1、ブロック図を図2に示す。フライホイール内部には、約150kgのローターが内蔵され、毎分6000回転の速度で回転し、エネルギーが蓄積される。

表2 機器仕様

項目	値
容量	1MJ(0.25kWh)
出力	30kW
電圧	210V
回転数	6000rpm
大きさ	φ518×t143
重量	285kg
規格	JEC-5919-1990 等
製造会社	サンケン電気

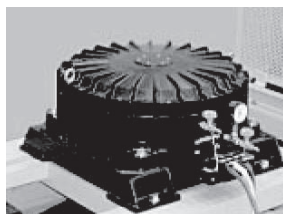


図1 フライホイールの外観

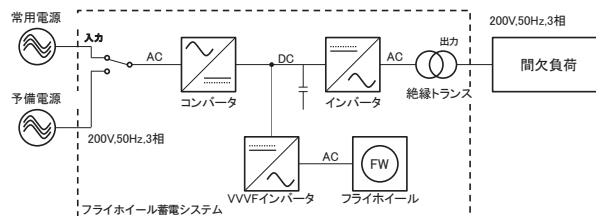
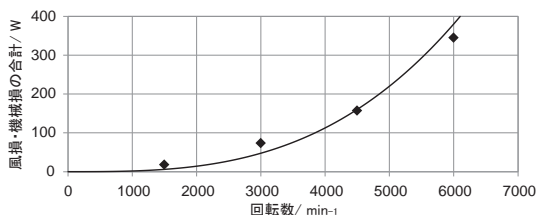
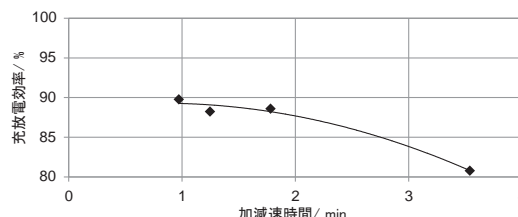


図2 ブロック図

図3にフライホイール単体の風損・機械損特性及び充放電エネルギー効率を示す。フライホイールの損失は高速回転時の風損・機械損が支配的となり、図3(a)のとおり回転数の3乗に比例することがわかる。図3(b)にフライホイール単体の充放電効率を示す。1分間での充放電時に最大90%の充放電効率を達成している。これは、短時間に大電力を充放電する場合、風損・機械損の割合が相対的に低減するためである。このため、フライホイールは短時間に大きな放電を繰り返すような間欠負荷の平準化に適している。



(a) 風損・機械損



(b) 充放電効率

図3 フライホイール充放電特性

3. 電鉄配電系統の特徴

一般的な電鉄配電系統の構成を図4に示す。配電系統は1号(信号系)、2号(電灯系)の2系統の高圧回線からなる。負荷は2系統から受電可能であり、保守作業等による1系統停止時は、電源切替器により自動的に常用/予備電源切替が行われる。また、定位配電時にA変電所の遮断器を開放し送電を停止すると、配電線の電圧低下を検知しB変電所の遮断器が自動的に投入され反位配電に移行する。これらの運用上の特徴から、鉄道配電系統には、以下3点の電源品質面での課題がある。

- ①**瞬時停電** 常用/予備切替、定位/反位切替は、電源切替器が動作する間の約1秒の負荷側の停電を伴う。切替回数は年間10回程度と多い。
- ②**ピーク負荷対応** 設備容量を間欠負荷のピーク値の合計以上とするため、設備容量が増加する。
- ③**電圧変動** 変電所母線電圧は列車負荷変動にあわせて上下し、母線を共用する配電系統の電圧も上下する。

これらの課題解決のため、フライホイール蓄電システムには常用/予備電源入力を設け、定位/反位切替、常用/予備切替の際の課題①に対応した。また課題②、③はフライホイールの蓄積エネルギーにより対応した。

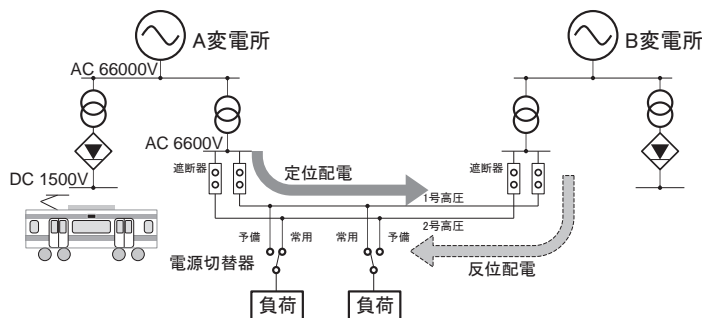


図4 配電系統の一般的な構成

4. フライホイール蓄電システムの動作検証

前述の3点の課題を解決するため、フライホイール蓄電システムの瞬時停電補償性能・ピークカット性能を、駅実証設備(スマートステーション)にて確認した。試験回路構成を図5に示す。SW1、2の入切により常用/予備電源の加圧・停電を模擬した。受電のピークカット値は9kWとした。測定結果を以下に示す。

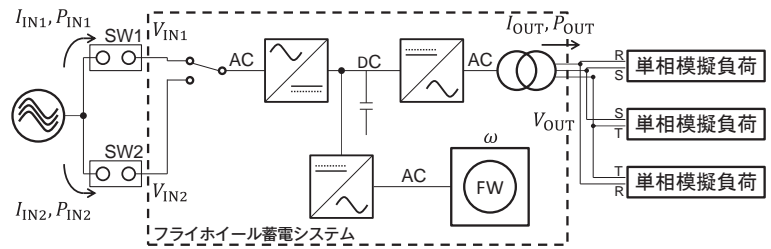


図5 フライホイール蓄電システムの試験回路構成

〈4・1〉電源断 電源を切り離し、試験を行った。波形を図6に示す。SW2を開放状態とし、5秒後に模擬負荷を投入のうえ12秒付近にSW1を開放したところ、入力電力 P_{IN1} は0kWとなるが、蓄積エネルギーにより、71秒付近までの約59秒間、電力の供給が行われた。フライホイールの回転数 ω は、6000rpmから2000rpm程度まで低下し、回転エネルギーを放出した。蓄積エネルギー0.25kWhのうち0.20kWhが負荷に供給され、残りはフライホイールの待機電力として消費された。フライホイールのエネルギー蓄積状態をSOCと呼び、6000rpm時のSOC(State of Charge: 充電状態)を100%とすると、完全放電時のSOCは7%であった。

〈4・2〉瞬時停電 2秒付近でSW1を瞬間的に開放・投入し、試験を行った。波形を図7に示す。瞬時停電の検知後 P_{IN1} は0kWになるが、フライホイールの蓄積エネルギーの放出により、10秒付近までの8秒間、無停電の電力供給が行われた。その後9秒付近に再連系し、 P_{IN1} は受電のピークカット値までウォークイン制御により徐々に増加した。

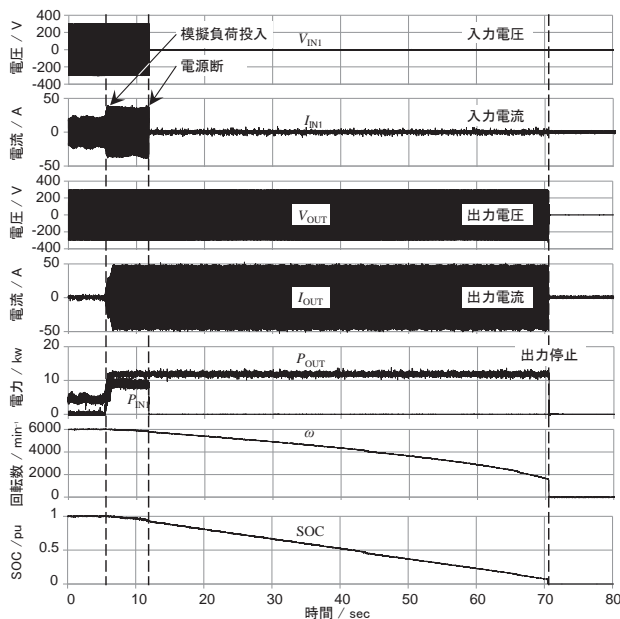


図6 電源断試験

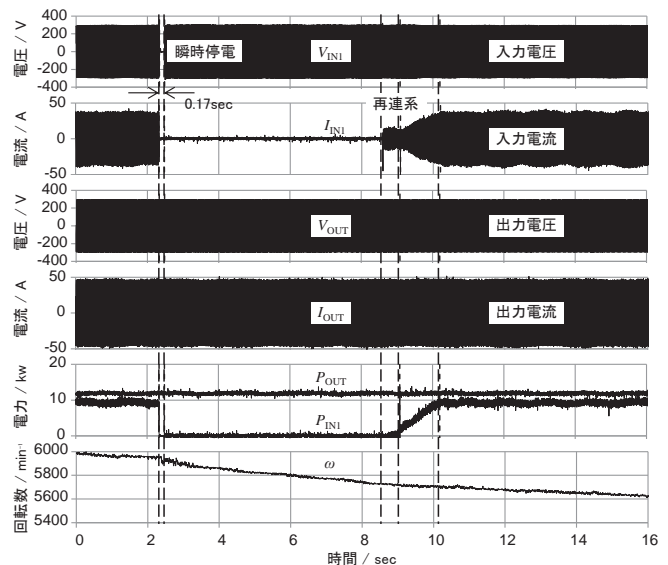


図7 瞬時停電模擬試験

〈4・3〉常用/予備切替 6秒付近でSW1を開放し、試験を行った。波形を図8に示す。停電後、フライホイールの蓄積エネルギーの放出により、18秒付近までの約11秒間電力の供給が行われた。16秒付近で予備電源に再連系し、 P_{IN2} はピークカット値まで徐々に増加した。

〈4・4〉波形改善 配電系統電圧は、変電所の6/12パルスき電用整流器から発生する5/7/11/13次高調波の影響を受ける。入力電圧波形を図9(a)、出力電圧波形を図9(b)に示す。入力の総合電圧歪み率は2.9%であるが、出力はインバータより出力される正弦波であり、同1.4%と波形が改善された。

〈4・5〉ピークカット補償 模擬負荷の消費電力を10/15/20kWと変化させた場合の波形を図10に示す。入力電力はピークカット値である9kWに制限されている。

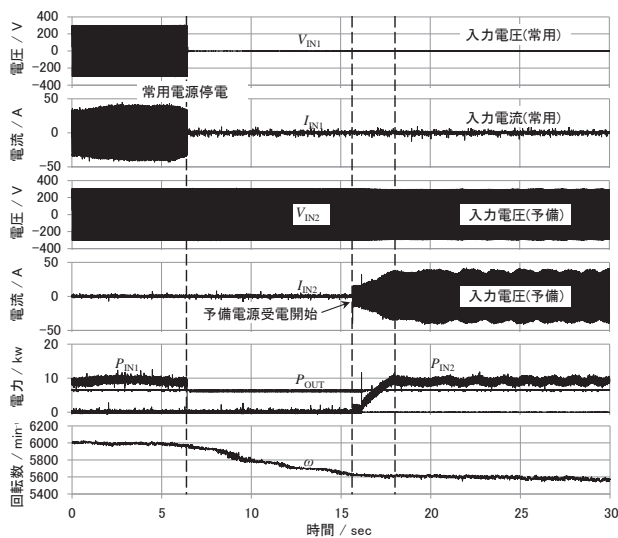
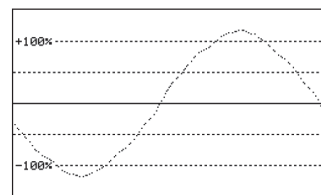
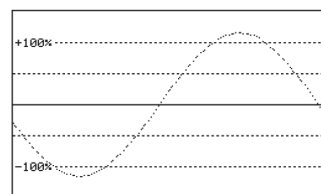


図8 常用/予備切替試験



(a) 電源側電圧波形 (総合電圧歪み率 2.9%)



(b) 出力電圧波形 (総合電圧歪み率 1.4%)

図9 フライホイール入出力波形比較

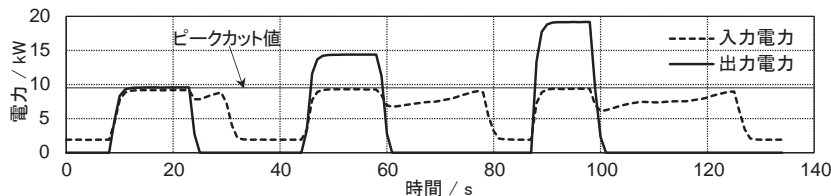


図10 ピークカット補償試験

5. 配電系統におけるピークカットの検討

首都圏大規模駅の旅客用エレベータ6台の負荷測定結果を図11に示す。この変動負荷に対し、フライホイール蓄電システムを用いてピークカットを行うと、負荷のピークである23kWから8kWまで設備容量が低減可能であり、配電系統のスリム化につながることを、計算により確認した。このときSOCが最も低下した場合でも約65%となり、十分な容量を有している。なお、ここではシステムの消費電力は考慮していない。

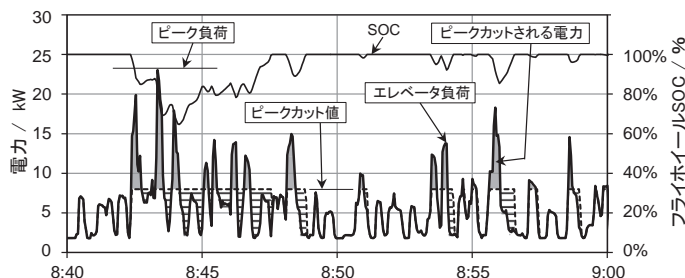


図11 旅客用エレベータ(6台)のピークカット想定

6. 結言

本検討では、フライホイール蓄電システムの電鉄配電系統への適用に向け、ピークカット、瞬時停電の対応などの基本性能を実験的に確認した。また、電鉄配電系統の負荷調査を行い、ピークカットが設備増強回避に効果的であることを示した。今後は、フライホイール蓄電システムの配電系統への導入に向けた検討を行っていく。

参考文献

- 1) 池田、フライホイール式電車線電力蓄勢システム、鉄道と電気技術、pp.19-21 (1991.3)
- 2) 向井、宇藤、電力系統の品質向上に寄与する水力発電技術、東芝レビュー、Vol.58, No.7, pp.42-45 (2003.7)
- 3) High-speed flywheels cut energy bill, Railway Gazette International, pp.241-243 (April 2001)
- 4) François Lacôte, Alstom-Future Trends in Railway Transportation, Japan Railway&Transport Review, vol.42, pp.4-9 Dec. 2005
- 5) 村井、井筒、後藤、黒田、離島グリッドにおける再生可能エネルギー導入比率拡大に向けた系統安定化技術、日新電機技報、Vol.59, No.2, pp.44-50 (2014.10)
- 6) Flywheels Keep the Grid in Tune, IEEE SPECTRUM (JULY 2011)