《解説》

フライホイールによる電力貯蔵技術

Flywheel Energy Storage System

- 1948年1月生まれ
- 1975年東京工業大学電気工学科博士課程修了。同年日本原子力研究所入所。核融合開発に従事。1988年東京工業大学工学部助教授、1990年同大学原子炉工学研究所教授、現在に至る。プラズマ核融合の開発、核融合制御電源・電力系統制御の研究に従事
- 東京工業大学原子炉工学研究所（〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1）

嶋田 隆一

Ryuichi SHIMADA

1. はじめに

電力系統には、既にフライホイールが相当量設置されている？ すなわち系統内に連なるすべての回転機の慣性をフライホイール効果として短時間（秒単位）の系統周波数安定化に役立てているのである。この電力系統の電力蓄積要素は単位慣性定数（ H ＝蓄積エネルギー／電力出力）と呼ばれ電力系統の強さの基本パラメータで、そこに蓄えているエネルギーは膨大な量である。また石器時代の遺跡からフライホイール（はずみ車効果）を利用したと見られる穴あけ機、火起こし器が発見されている。このようにフライホイールは既に多くの分野で使用されてきた歴史があり、熟成された技術である。これに新材料、磁気浮上技術、超電導技術、可変速同期機などの電力技術を付加し、まったく新しい概念のフライホイールが生まれようとしている。

2. フライホイールの長所

今こそフライホイールは古くから利用されてきた歴史を持ち、電力利用の急増状況にあって、電力負荷平準化、電力系統の安定度を向上する電力貯蔵技術のすぐにも実現可能な方法として脚光を浴びつつある。その理由は、

(1) 我が国では日本原子力研究所核融合実験施設に磁界コイル電源用の世界最大の蓄積エネルギー8 GJ (2200 kWh) のフライホイール付き発電機がある。ここでは既に数万回以上の運転回数と約10年間の運転実績がある。

(2) 近年の高度な半導体電力変換技術、計算機

制御技術が適用され小形化と運転の効率化そして運用の容易さが著しく改善された。

(3) 発電機と一体構造で電気的入出力が容易である。消耗する部品がないため寿命は最大応力と疲労で決まり、設計上半永久的と言える。

(4) 小形であることを生かして、小規模なエネルギー貯蔵装置として分散形の電力平準化装置、電力系統障害補償装置としての可能性を持っている。フライホイールによる蓄積密度は材料の抗張力によって決まり超高張力鋼を用いれば100 J/ccが得られる。これは7 Tの磁気エネルギー、20気圧の圧縮空気の5倍に相当する。

以下、我が国のフライホイールによる電力貯蔵技術の現状と開発動向等について述べてみたい。

3. フライホイールの現状

3・1 世界最大の核融合電源用フライホイール

日本原子力研究所にて開発されたフライホイール付電動発電機は臨界プラズマ試験装置「JT-60」の電源設備の一つである。JT-60電源は10分繰り返しの大電流、大電力のパルス運転であり、受電条件の許す限度までを直接受電する方法でまかない、不足する分をフライホイール付発電機でまかなうというシステムである。発電機が放出すべきエネルギーは、4 GJで、発電容量は21万5000 kWである。1985年4月から運用を開始し、既にエネルギー充放電10000回を越え、積算運転時間は5000時間にも及ぶが、5年目の総点検でフライホイールの分解点検が行われたが何等異常なく今後も長く運転できることがわかっている⁽¹⁾。

3・2 超高速・低損失フライホイール 無停電電源用の蓄積装置は、待機時間が長いために待機中のエネルギー損失と装置維持のための電力が極端に小さい必要がある。無停電電源用のフライホイールは真空中で回転し、強力な永久磁石を用いた磁気反発軸受をもつ。現在一般に用いられる蓄電池式をフライホイールに置き換えた構成でフライホイールの特長である長寿命小形な特性を生かす。また最近の変電所に設置する規模 (10 MWh) で電力の貯蔵が可能なフライホイールを近年開発が進む高温超電導バルク材を配して安定な浮上を得て、それにより超低損失で回転させる超電導フライホイールも検討されている⁽²⁾。

4. 新しいフライホイール技術

4・1 短周期負荷平準化および電力システムの安定度向上用のフライホイール 近年の可変速発電システムの発展はフライホイールに新しい電力系統安定化装置としての使命を与えようとしている。可変速システムは交流励磁の同期発電機でロータ回転数によらず一定の周波数で電力系統と電力の入出力が可能である。日本では独自に開発を行ない、最大のものは関西電力(株)が大河内発電所に 40 万 kW の可変速揚水発電機を設置し運転に入っている。可変速運転によるポンプ出力の調整とポンプ効率の向上そして運転領域の拡大を前述の周波数制御運転と併せて実現できるようにと開発された。可変速の技術を採用したフライホイール電力貯蔵システムは回転速度の変化にかかわらず電力系統と直接結合でき、かつ最近その安定化作用が注目されてきた同期調相機としての働きも合わせ持つことができる。高速制御できるフライホイール電力貯蔵システムは電力負荷平準化用あるいは電力障害補償、調相そして電圧維持さらには電力動揺抑制制御も可能な新しい電力系統制御装置として可能性が検討されている⁽³⁾。

4・2 電力蓄積用巨大リング形状フライホイール 従来のフライホイールは、回転力を軸で伝えることとその重量を支える必要から軸のついた円板形状であった。リング形状フライホイールは磁気浮上させて、フライホイール自身を発電電動機になればよいので軸は不要である。磁気浮上リ

図 1 地下真空トンネル中の巨大リング形状フライホイール想像図

ニア列車の技術を応用して、都市の地下深く真空トンネル中で磁気浮上させて高速で回転させる方式である。電力蓄積装置の概念検討とモデル機の製作が進んでいる。揚水発電所規模の電力蓄積装置が都市部の地下に得られる利点は 21 世紀のエネルギーシステムに不可欠である。図 1 に蓄積エネルギー 500 万 kWh, 50 万 kW 出力のリング形状フライホイールの概念図を示す。現在の超電導技術、磁気浮上技術、パワーエレ技術、鉄鋼材料技術、土木技術等最先端技術を集約すれば可能であると考えられる。夜昼の蓄積効率は 85% を越えると試算されている⁽⁴⁾。

5. おわりに

以上概説したようにフライホイールは原理は古いのであるが、これに新しい技術を加えれば、21 世紀の電力システムの中で重要な位置をしめると言える。最終的には効率とコストであるがそれは、徐々に大きな物をつくり、経験を積み重ねるしか道はないと思っている。

文 献

- (1) Matsukawa, T. ほか, A 215 MVA flywheel Motor-generator with 4 GJ Discharge Energy For JT-60 Toroidal Field Coil Power Supply System, *IEEE Trans. Energy Conv.* EC-2, 262 (1987)
- (2) 樋笠・ほか, 8 MWh 級高温超電導浮上式電力貯蔵システムの概念検討および適用性の検討, *電気学会論文誌*, 113-7, B (1993), 768.
- (3) 力石・ほか, 交流励磁フライホイール発電機による高速変動負荷の補償, *電気学会論文誌*, 113-11, D (1993), 1254
- (4) Ogata, T. ほか, New Concept Flywheel-Ring Flywheel Generator-, PCC-Yokohama, IEEE93TH0406, (1993-4), 587. (原稿受付 1994 年 6 月 23 日)