

Stability and Energy Saving for the Accelerator Power Supply and Energy Storage

H.Sato

High Energy Accelerator Research Organization

Accelerator Laboratory

1-1 Oho Tsukuba-shi Ibaraki-ken, 305-0045, Japan

Abstract

Synchrotron magnet require the large electric power and the charging and discharging of electric energy in the magnet are repeated in a few seconds. J-PARC 50GeV main ring will require 104MW of total active power and 28.8MW of dissipation power. In order to save the electric power cost, detail plan of electric power use is necessary at the KEK. In this report, active power compensation using energy storage system to save the power and to compensate the power instability. Feasibility of using the power generated by wind energy, sunshine energy and others are also discussed.

加速器電源の安定化・省エネルギー化とエネルギー貯蔵

1. はじめに

加速器が大型化するに伴い、その消費電力が莫大なものになっている。運転経費節減の必要性から加速器運転にかかわる電力代においても節約の対象になり運転モードまでこと細かに変更・調整するよう対応が求められている。KEK 12GeV-PSでは夏期に電力会社のピーク電力調整に協力し一般消費電力の増加する午後の時間帯に主リングを停止する措置を取ったこともある。KEK-Bではリング内の照明や空調温度設定についても詳細な検討を行っている。もとより、経費削減如何にかかわらず「無駄」な電力使用を避けなければならないのは当然のことである。現在の加速器運転の状況を考慮すると基本的なところから考え直した方がいいのではないと思われる。

特に電力供給について規制緩和の動きもあり、いわゆる電力会社以外からのより安価な電力の供給を受けるといった事や、事業所内部でのエネルギーの再利用等も時代の趨勢になりつつある。最近の情勢から鑑みて技術的な細かい検討は別途行うとして消費電力の平滑化、節電、省エネルギー、あるいはエネルギー回収といった観点からの提案をする。

2. 使用電力の平滑化とライン電圧変動

電力使用量が時間的に一定で無いことはよく知られている。その変化に発電量を機敏に対応することは困難なのでできるだけ平滑化するような努力が行われる。揚水発電は夜間の余剰電力で揚水することにより貯水池の水量を戻し需要の多い昼間に再利用するものである。また、夜間の使用電力料金を安価

にして需要を期待する、あるいはピーク時に使用しないことにより電力料金を安価に契約する、等も平滑化努力の例である。

さて、蓄積リングは別としてシンクロトロンは周期的に数秒の繰り返し充放電を行う。12GeV-PSの主リングではピーク電力は約24MVAであるが平均消費電力は（繰り返しサイクルの時間（2-4秒）によって異なるが）約10MVAである^[1]。原子力研究所東海サイトに建設中のJ-PARC 50GeVリングでは約4秒周期でピーク電力104MVAに対し平均消費電力は28.8MVAである^[2]。

交流受電ライン変動には主として無効電力変動が大きく寄与する。そのため無効電力を一定にするような制御を行うことによりライン変動を抑えることができる。12GeV-PSの主リングには高調波フィルター及びサイリスタ制御リアクタによる無効電力補償装置が設備されている^[1]。J-PARC 50GeVリングのような大規模加速器になると実効電力の変動も無視できず、できるだけ電力の平滑化をしなければならない。

3. エネルギー貯蔵装置

需要の変動に対して電力供給側から見て平滑化されるようにするためにはその系統にエネルギー貯蔵装置を設置することが考えられる。揚水発電等のような大容量でゆっくりした変動に対する設備でなく、今検討すべき速い変動に対するエネルギー貯蔵装置としては以下のような物が挙げられる。

- ・電力貯蔵用大型NAS電池

- ・大容量電力用コンデンサー
- ・超電導浮上型フライホイール
- ・可変速フライホイール
- ・超電導エネルギー貯蔵コイル

電力貯蔵用大型NAS電池は変電所設置用として現在500kW級の実証試験が行われている。

電力用コンデンサーはKEK-B電磁石電源に於いて調相用に使われている。また、パルス電磁石電源の放電用エネルギー蓄積にも広く用いられていることはよく知られている。

フライホイールはMGとしては古くから使われているが保守維持の困難さがあった。最近はより安定で信頼性のあるフライホイールの開発も進み変電所や直交変換所に於いて可変速フライホイール発電機による大容量長距離送電システム安定化の検討^[3]が行われている。高性能トカマク開発試験装置(JFT-2M)では瞬時大電力使用による電圧変動等の悪影響を避けるためトロイダル磁場発生装置としてフライホイールにエネルギーを蓄積し直流発電機を駆動する方式を採用した実験が行われた^[4]。沖縄電力において交流システムの安定化用200MJの可変速フライホイールシステムの稼働実績がある^[5]。

その他、超電導技術の発展により超電導浮上型フライホイールとして10kWh級の試験運転が行われている^[6]。

シンクロトロンのような数秒繰り返しの周期的変動によるシステムで稼働しているものは今のところ無い。J-PARC 50GeVリング電磁石電源は大電力半導体(IGBT、IEGT)を使用し無効電力を発生しない変換器と、電力の平滑化を可変速フライホイールにより行うシステム設計となっている^[2]。この方式については、高エネルギー加速器研究機構と岡山大学工学部との共同研究によりサイリスタ変換器を使用して7.5KWの可変速フライホイールにより電力安定化の実験的シミュレーションを行った^{[7]1}。

超電導エネルギー貯蔵コイル(SMES)の開発技術はほぼ確立しており、現在500kWh級によるシステム技術の実証が計画されている^[8]。

SMESを交流側に設置して負荷変動補償を行う場合はフライホイールと同等の働き・効果としての機能となる。SMESの電流源としての特徴を生かして変換器の直流側で連携させる方式も可能である。この場合、図1に示すようにチョッパー2によりコンデンサ電圧を一定に制御し、チョッパー1を介して接続する。この方式をJ-PARC 50GeVリング電源に適用すれば、増強時の改造において交直変換器を増設せずにチョッパーとSMESを代わりに設置すればよい。さらに、システムの電圧変動を抑制する効果も期待できる

[9]2。

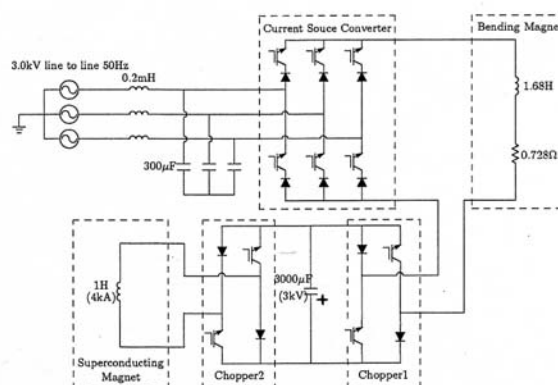


図1：SMESと交直変換器の直流側連携の1モジュール例

現在、J-PARC 50GeVリング電磁石電源はPHASE-Iの建設中で2008年にビーム調整の予定である。可変速フライホイール装置はPHASE-IIにおいて導入される予定である。従って、どのようなエネルギー貯蔵装置がよいか電力変動量、変動速さ、負荷設備、建設コスト、稼働後の運転経費等々によって何が適当かをじっくり検討することが望ましい。

以上は大型加速器用電磁石電源に直結させるSMESの応用例であるが、今後建設が増えてくると思われる特別高圧線を経ないで受電する医療用小型加速器等においても、SMES装置を併設し電力安定化をする方式は検討に値する。

4. 節電・省エネ・安価な電力の供給

シンクロトロンの減速期間は有効なエネルギー源と考えることができる。これを蓄積できれば需要電力の平滑化も実現できる。3に述べた、可変速フライホイールやSMESはこれを実現できる装置として期待できる。

その他以下のようなものがエネルギー源として考えられる。しかし、加速器本体については消費電力が大きだけでなく、電力の品質も要求される。こうした電力源は供給が安定せず、さらに品質上も問題があるが、加速器周辺の補助機器や一般電力には有効であり積極的に検討すべきである。

廃熱利用：加速器はその周辺機器も含めて膨大なエネルギーを廃熱として放出している。一般的に熱をそのまま利用するということが考えられるが、空調とか温水利用くらいであろう。いかなる目的にも使いやすいエネルギーとしては電力に変換することが望ましいが、廃熱の温度が高くないので通常のタービンや熱電変換素子による発電は困難である。しかし、砂漠において地面が吸収した太陽熱を利用

¹ 高エネルギー加速器研究機構長留置経費により遂行した。

² 高エネルギー加速器研究機構共同開発研究経費により遂行している。

した低沸点蒸気タービンを用いた熱回収システムでの発電実験や、地熱発電、海洋温度差発電等の低中熱源発電の開発が行われており、これらのシステムの開発動向を注視しておきたい。

ゴミ発電：日本では埋め立て地が無くゴミは焼却処分に頼らざるをえない状況である。どうせ燃すならその熱で発電をというの自然の発想で、現在各地でゴミ発電が現実となっている。例えば、高エネルギー加速器研究機構北に隣接する筑南クリーンセンターは一日あたり375t (125が3系列)の焼却能力で発電容量3MWである。

自然エネルギーの利用：太陽光発電・風力発電：太陽光発電システムの普及に伴い、エネルギー変換効率も数10%に到達してきている。設備投資額が高いものの数10年のオーダーで考えれば十分ランニングコストと比較できる程度にはなっている。例として、12GeV-PSのM2側室(取出機器の電源を設置してあり約1MWの諸費電力である)での評価を表1に示す。現在空調器用には100 kWの電力を消費しているが、側室の屋根全面に太陽電池パネルを設置すれば、27 kW、すなわち1/4以上の電力を得る。当然、屋根からの侵入熱がその分低減するので実質的效果は大きいと考えられる。

風力発電は発電量が特に自然条件に左右されるので、そのままでは使用しにくいSMES等なんらかのエネルギー貯蔵装置を併設すればいい電力源となる。

表1：12GeV-PSのM2側室での太陽光発電の評価

消費電力：約1MW
空調機パワー：100KW
建屋屋根面積：210m ²
太陽熱発電パネルの平均出力：130W/m ²
発電出力：27.3KW
設備費：約2000万円
節約電力料金：135万円/y
設備費回収年限：15年

5. まとめ

電力貯蓄システムとしては、様々な方式があるが、シンクロトロン電磁石電源のような数秒の繰り返しによる充放電に対処できるものとしては、フライホイールまたはSMES装置、が適当である。フライホイールは可変速方式により交流側において負荷変動補償をするには適当であるが、電力貯蔵システムを変動補償する負荷に直結し直流側で負荷と電力貯蔵システムの間で電力の受け渡しをするためにはSMESが適当と考えられる。現在までSMESを直流側で負荷に接続して使用する方式を採用した例はなく、新たにチョッパー回路による変換器の開発、直流接続方式を安定に稼働させるための制御方式の開発が必要である。数秒単位の繰り返し運転となるために、低

損失のSMESコイルの開発も必要である。

高エネルギー加速器研究機構には幸か不幸かゴミ焼却場が隣接している。そして、その焼却能力には十分余力があるという。機構から出る廃棄物や廃熱を供給し、発電容量を増強し、電力をいただくということは荒唐無稽の考えではないと思われる。

これからの大型化、あるいは医療用等の小型加速器が数多く建設されることを展望した場合、大量の廃熱を熱交換機タワーから空中に放出するのではなく、再利用を考えることを避けては通れないであろう。

参考文献

- [1] H. Sato et al., "Performance of the Main Ring Magnet Power Supply for the KEK 12 GeV Proton Synchrotron", IEEE Transaction on Nuclear Physics, NS39(1992)1490
- [2] ACCELERATOR TECHNICAL DESIGN REPORT FOR J-PARC,
<http://hadron.kek.jp/member/onishi/tdr2003/index.html>
- [3] 高橋他、T.IEE Japan, 117-B (1997) 930
- [4] 中西他、電気学会誌118(1998)108
- [5] 塚田、電気評論3(1997)38
- [6] 四国総合研究所,
<http://www.sskn.co.jp/review/fuka03.htm>
- [7] 有田、他、"陽子加速器用電磁石電源の電力変動平滑化を目的とした交流励磁フライホイール発電機 -7.5kWモデル機による実験的検討-" 平成11年電気学会産業応用部門大会, P.265
- [8] NEDOの平成16年度「超電導電力ネットワーク制御技術開発」公募要領
- [9] 小林、他、"SMESによる大強度陽子加速器用電磁石電源の負荷変動補償"、平成14年電気学会全国大会, Mar. 29 2002, A0815-D2
伊瀬、他、"SMESと電流型交流変換器を用いた大強度陽子加速器用電磁石電源について"、第7回加速器電源シンポジウム、2002年12月12-13日、南紀白浜、p.55