



In Laboratory Now

## 研究室訪問 4

# エネルギーの未来を見据え

嶋田 隆一 研究室～ソリューション研究機構



嶋田 隆一 教授

人類にとって、食料や水などとともにエネルギーも生活していく上で必要不可欠なものになってきている。

このような中、嶋田研究室ではエネルギー効率の改善につながる磁気エネルギー回生スイッチ(MERS)を開発し、様々なものへの応用を研究している。また、電気の貯蔵方法も研究をしており、特に超電導を利用した超電導磁気エネルギー貯蔵や、フライホイールを利用した貯蔵などの研究も行なっている。今回の取材ではこれらの研究内容を伺った。



## エネルギー問題を解決するために

電気は、現代の日常生活において欠かすことのできない便利なエネルギーである。この電気は様々な方法で生み出されているが、現在の発電量の半分以上を占めているものが化石燃料を用いた火力発電だ。しかし、それにともない、排気ガスによる環境破壊や将来的な化石燃料の枯渇、さらには産油国との関係など様々な問題が発生している。現代社会が電気を基盤にしている以上、電気は恒常的に供給される必要があるものだ。しかし、上記のような問題の他にも現状の供給システムには様々な問題があるので、そう遠くない未来においてこのシステムが破綻するのは目に見えているだろう。そのため、持続可能で安定したエネルギー供給にむけて、何らかの解決策を早急に打ち出す必要があるのだ。

この解決策の一つとして挙げられるのは、電気の有効利用率の向上である。電気を使用するときどうしても発生してしまう無駄をできる限り抑えることができれば、遑って発電量を減らすことができるはずである。もう一つは、環境への悪影響が少ないクリーンエネルギーによる発電である。特にヨーロッパでは、ここ数年石油供給への危機

感が強く、自国内で手に入るものを利用すべきだという考えが広まっている。そのため、ヨーロッパの豊富な風力を利用した風力発電は上記の条件を満たすものとして注目されており、将来的には電力消費量の半分を風力でまかなうことを目標に開発が進められている。

発電に関しては他にも問題がある。その一つが電力設備のコストだ。現在の日本の電力設備は、その発電容量を電気の使用量のピークに合わせて設計している。だがその設備の年間利用率は60%に満たないというのが現状である。これは、今ある電力設備を有効に使えてないことを示しており、設備投資へのコストがかさむ原因となっている。この解決方法として考えられているのが電力の貯蔵だ。ピーク時以外に余る電力を貯蔵し、ピーク時に当てることによって、設備の発電容量が少なくても済むようにできるのである。また、貯蔵電力は非常時に用いることもできる。

これらのように、エネルギー問題、特に電気に関してはさまざまな問題があり、嶋田研究室は、この解決につながる方法について多岐にわたる研究を行っている。



## 磁気エネルギー回生スイッチ

嶋田研究室が開発したものの中に磁気エネルギー回生スイッチ（MERS; マース）がある。これは、今までは難しかった交流電流の電気エネルギーの効率的な運用を可能にする画期的な装置である。

交流回路において、供給電力に対して有効に伝達される電力の比は力率という数値で表される。力率は回路のインダクタンス、及びキャパシタンスによって生じる電圧と電流の位相のずれ  $\theta$  によって、 $\cos \theta$  と表される。そのため、力率を改善するには電流の位相を制御することが必要であり、それを実現できるのが MERS なのである。

MERS とは、4つの逆阻止能力を持たない半導体素子と1つの DC コンデンサで構成された、双方向の電流スイッチである（図1）。この簡単な回路構成と制御により、交流回路における位相の制御と力率の改善が容易にできるのだ（図2）。また MERS には低コスト、小型、制御が容易といった特徴があり、様々な場所において活用できると考えられている。

MERS により可能となったこととして、これまで困難であった蛍光灯の調光が挙げられる。

今までは電圧波形の一部分を0にすることで電圧の大きさを調整していたため、蛍光灯の調光は困難であった。しかし、MERS による位相制御で、交流としての波形を維持しつつ電圧の大きさを調整できるようになったため、蛍光灯の調光も容易になったのである。

蛍光灯の調光の応用例の一つとして次のようなものがある。工場などでは、今までは蛍光灯を調光することが困難であったため、こまめに ON-OFF するなどをして電力を節約する努力をしてきた。だが、この方法には蛍光灯の寿命を縮めるという欠点があった。スイッチを一度 ON-OFF すると1時間ほど寿命が縮まるといわれており、これは約1万時間といわれている蛍光灯の寿命に対して十分に大きいものである。その点、MERS を用いた場合は出力を下げて暗くするので、蛍光灯の寿命を縮めなくて済むのである。ある工場に MERS を導入してもらい導入前と比較したところ、蛍光灯の寿命は3倍以上に改善された。このように実地実験においても実用性が証明されたため、現在では特許を取得し、実用化が進められている。

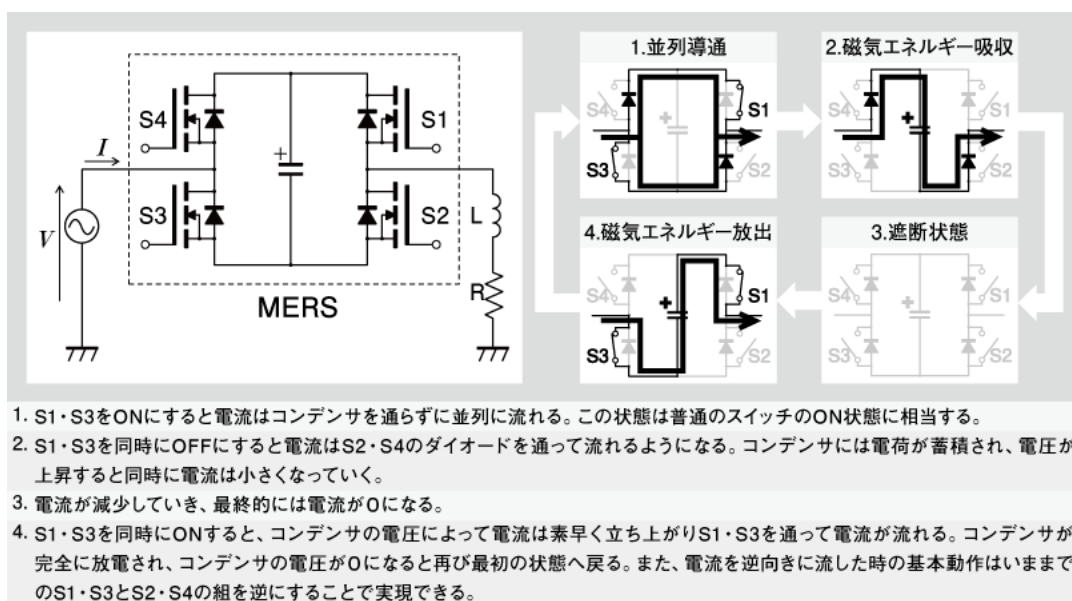


図1 MERS による交流電流の位相制御

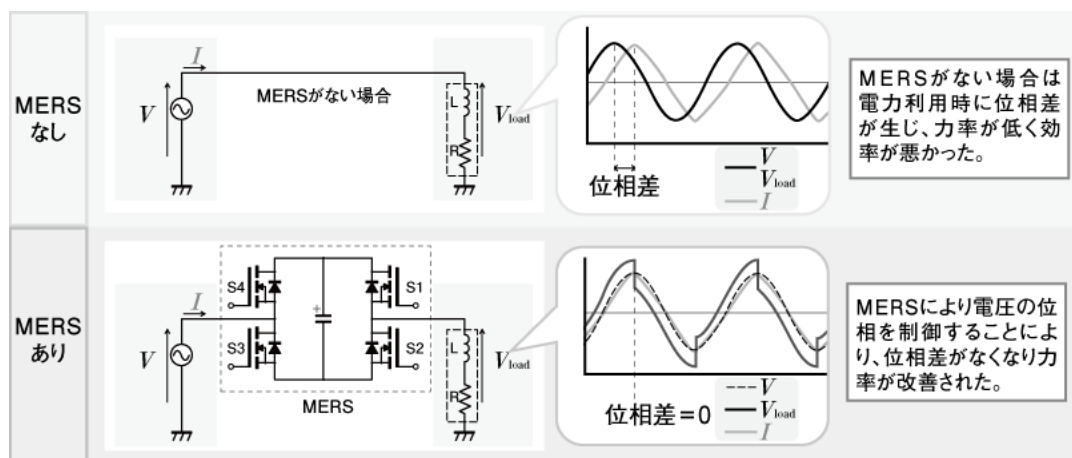


図2 MERSによる力率の改善

また、MERSは風力発電機への活用も注目されており、ヨーロッパの大学との共同研究もおこなわれている。

風力発電において課題となっているのは、一定電力の安定した供給が難しいことだ。現在の風力発電の電力変換システムにはそれを実現するための様々な方式が採用されており、近年では風車の回転に合わせて回転数を変えることができる同期発電機を利用した方式が用いられている。しかしこの方式では発電機の過負荷用量が小さいため、風車の羽の角度を制御するなどして定格以上の風力を逃さなければならない。

そこで、嶋田研究室では風力発電機と整流器との間に、直列にMERSを挿入することでこれらの問題の解決をはかった。このシステムは、発電機内部で低下してしまった電圧をMERSによって回復することによって、発電機の出力電圧を安

定させるとともに、過負荷出力をも大幅に向上させることができる。嶋田研究室で1kWの風力発電機模擬システムを用いてMERSの効果を検証する実験を行ったところ、用いる場合と用いない場合とでは出力電力に違いが現れた(図3A)。具体的には、MERSを用いない場合には出力電流の増加に伴って電圧が大きく低下するが、MERSを用いた場合には低下幅が小さくなり力率が改善されていることがわかる(図3B)。また、発電機の最大出力も1.2kWから2kW以上まで改善された。さらに、同じ電力を取り出す場合でも、MERSを用いたシステムでは、電圧が上昇する分だけ電流を減らすことができる。つまり、発電機における抵抗損失をも減らすことができるのだ。現在は風力発電機へのMERSの活用は試験段階だが、今後は多くの風力発電で使われていくことになると思われる。

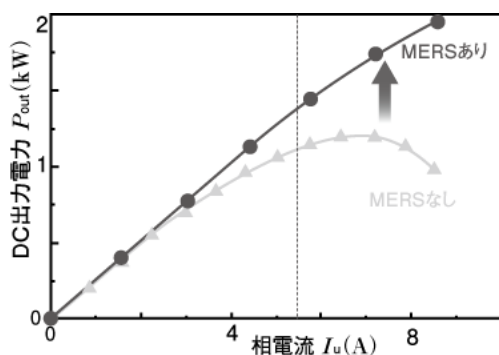


図3 A MERSによる出力電力の改善

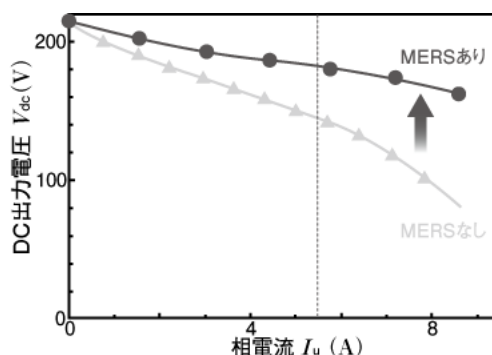


図3 B MERSによる出力電圧の改善



## 超伝導を用いたエネルギー貯蔵

前章では、MERS による交流回路の電気の利用効率の向上や風力発電における発電効率の向上について取り上げてきた。前に挙げたように電力設備の利用効率を向上させることは重要であるが、それにはエネルギー貯蔵が必要となってくる。この章では超伝導を用いた超伝導磁気エネルギー貯蔵を紹介する。

超伝導とは物質の温度、磁場の強さ、電流密度の3つがある値より低くなると電気抵抗が0になるという現象であり、このような状態の導線を超伝導線という。普通の導線では、電流を流すと導線自身の電気抵抗により発熱して電気エネルギーが減衰してしまうが、超伝導状態では電気抵抗がないため、減衰せずに電気エネルギーを貯めることができる。さらに、普通の状態の導線に比べて100～1000 倍の電流を流すこともできるので、大容量の送電にも適している。

超伝導を用いた電力貯蔵システムは以下の通りである。貯蔵する時は発電所から送られてくる交流電力を直流電力に変換し、超伝導コイルに電流が循環するようにする。すると、超伝導の特性から電流が減衰することなく保持され、エネルギーが貯蔵されるのである。エネルギーを放出する場合は逆に直流を交流に電力変換をし、送電先に供給するようにしているのだ。この方法ならば電気エネルギーをそのまま貯めることができるため、高効率なエネルギー貯蔵システムとして期待されている。

エネルギーを貯蔵するには、超伝導コイルに電流を流し、強磁界を発生させる必要がある。しかし大きなエネルギーを貯蔵する場合には、その強

磁場により発生する強大な電磁力が問題となる。大型のソレノイド(円筒型のコイル)やトロイダル磁界コイル(複数のソレノイドをドーナツ状に並べたもの)といった従来型のコイルでは、電磁力に耐えるために多くの支持構造物が必要となり、コストがかかるのだ。

そこで、嶋田研究室では、ソレノイドとトロイダル磁界コイルを組み合わせた電磁力平衡コイルの研究開発をしている(図4)。この電磁力平衡コイルとは、超伝導線をヘリカル巻き線形状(螺旋状に巻く複雑な形状)でドーナツ型の巻き枠に巻いたものであるが、こうすることで、それぞれで発生する余分な電磁力を互いに打ち消しあい、大幅に低減させることができる。そして、理想的には電磁気支持構造物をソレノイドの2分の1以下、トロイダル磁界コイルの4分の1までに低減できるのだ。嶋田研究室では、この電磁力平衡コイルの可能性を実証するために、学生たちを中心に約1万回の巻き数の電磁平衡コイルを手巻きで作成し、磁界の理想限界値の86 %相当の6.1 T までの発生に成功している。

嶋田研究室では、電磁力平衡コイルを用いた大規模超伝導磁気エネルギー貯蔵装置の将来像として、工場で製作し輸送可能な外径4 m の大きさのコイルを4000 個ほど並べることで、約3万世帯の一日分の消費電力を貯蔵できる設備構想を考えている。このような貯蔵施設を都市部に設置することにより、発電所から需要地までの電力設備利用率の改善化を可能にするだけではなく、都市部におけるエネルギーセキュリティの向上化も期待できるだろう。

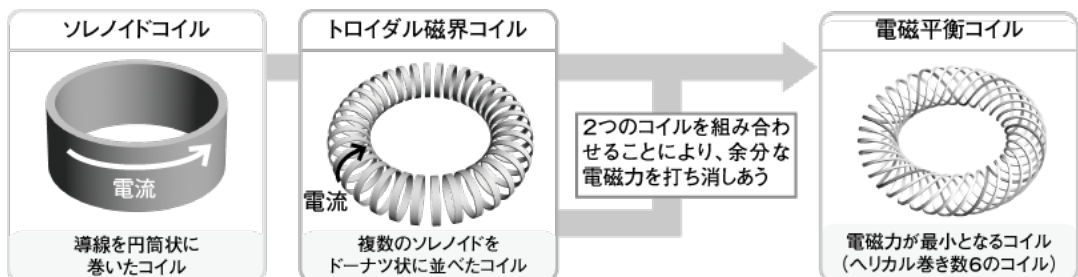


図4 電磁平衡コイルの構造



## フライホイールによるエネルギー貯蔵

フライホイール発電機とは、モータとそれに直結した重いディスク（フライホイール）により構成されている装置である。この装置を用いることにより、モータを介して電気エネルギーをフライホイールの回転エネルギーに変換して貯蔵することができる。バッテリーなどの電力貯蔵装置と比較すると、フライホイール発電機は長寿命であり、環境への影響が少なく、さらにパワー密度が高いという特徴がある。嶋田研究室ではこの特徴を活かし、小型で低速回転のフライホイール発電機を開発した。

フライホイール貯蔵とは、フライホイール発電機を用いて、電気エネルギーを回転エネルギーとして貯蓄することである（図5左）。このとき蓄積するエネルギーは回転数の2乗とフライホイールの慣性モーメントに比例する。逆に、フライホイールがモータを回して減速すると、エネルギーを取り出すことができる（図5右）。このシステムが放出する電力は、発電所から来る電気の周波数と回転体の周波数の差、すなわちすべりの関数で表され、この値が正の場合は貯蔵し、負の場合には放電する。また、すべりの大きさが回転数の2～4%のときに出力は発電機の定格となる。フライホイール発電機は半導体変換器を使わないため構造が簡単であり、小型で安価に構築できる。

フライホイール発電機が最も活躍するのは瞬時電圧低下のときである。瞬時電圧低下とはその名の通り一時的に電圧が低下することだ。一般家庭では問題ないが、工場では瞬時電圧低下が起きる

だけでもさまざまな機器が止まってしまう。この現象は、フライホイール貯蔵によって改善できる。それはこの貯蔵法が、数秒間や数分間などわずかな時間で大きい電力を使うときに適しているからである。また、この方法はすでに実用化もされている。

今回取り上げた MERS やエネルギー貯蔵が実用化されれば、現在発生しているエネルギー問題や環境問題が改善されるだろう。しかし、完全に解決できるわけではない。嶋田研究室では、これからのエネルギー問題や環境問題など様々な問題を解決するためにさまざまな方法を模索し、研究し続けていく。

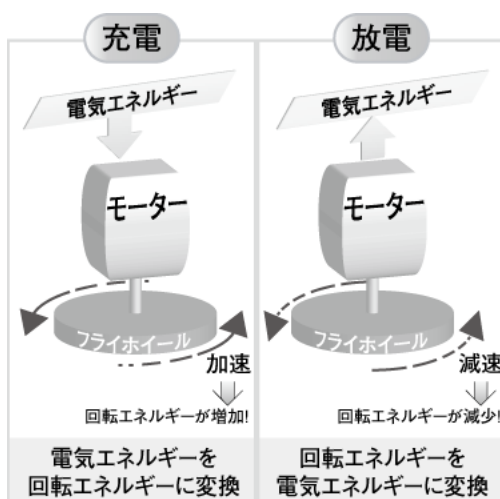


図5 フライホイールの仕組み

現代社会において電気は欠かすことのできないエネルギーのひとつとなっており、ほんの少しの停電でも生活に大きな影響を及ぼしています。そのような状況に陥ったとき、もし安定した電力供給システムができたら、と望んだことがある方も少なくはないでしょう。そこで、そのようなシステムを目指し研究なさっている方々がいます。

今回の取材では嶋田先生をはじめ嶋田研究室の皆さんから、電気を中心としたエネルギー関連について詳しくお話を伺いました。しかし、私自身

の浅学さにより表面的に触れるのみに留まってしまったのです。これは私自身非常に心残りであり、また、先生方のお話を十分に生かしきれなかったことをこの場でお詫び申し上げます。

末筆になりますが、ご多忙なスケジュールの中、幾度にもわたる研究室訪問などに快く応じてくださった嶋田先生に厚く御礼を申し上げますとともに、研究室の今後のご活躍を心よりお祈り申し上げます。

（松橋 泰平）