(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

【隔月連載記事】

IEA-ISS ジョイントセッション登壇者の寄稿(その1) 「磁気分離法による汚染土壌の除染に関する研究」

大阪大学大学院 工学研究科 吉田有輝

世界のエネルギー消費量は、2011年から2035年にかけ、35%増加すると予測されている。増大するエネルギー需要をまかなうため、原子力によるエネルギー発電量も増加する見込みである(2011年から2035年にかけ1.7倍)。実際、2014年1月現在、世界で新たに81基の原子力発電所が建設中である。原子力エネルギーは、今後も重要な役割を果たすと言われている。こういった状況下において、私は、将来の豊かなエネルギー社会を実現するためには、除染技術が一つの鍵になると考える。以下、理由を述べる。

現在、火力・原子力・再生可能エネルギー(水力を含む)といった様々な発電方法によってエネルギーが供給されている。この中で、火力・原子力は将来燃料が枯渇するという問題を抱える。一方、再生可能エネルギーは、それのみでは実際のエネルギー需要を満たすことができない。ゆえに、エネルギーの安定供給を保障するためには、複数のエネルギーをバランスよく用いることが重要となる。この観点から、既存エネルギーシステムの改善と新規エネルギーの開発は必要不可欠であり、原子力発電自身もエネルギー供給源の一つとしての役割を担うと考えられている。しかしながら、原子力発電を利用するには、安全性の向上が大きな課題となる。というのも、放射線による被ばくリスクが懸念されるためである。

原子力の安全性は、深層防護という概念により保障される。これは、5層の安全対策から構成される(第1層・異常発生防止対策、第2層・異常の拡大と事故への発展を防止し、正常に停止させる対策、第3層・事故の拡大と炉心溶融を防止し、正常に停止させる対策、第4層・過酷事故の影響を緩和し、放射性物質の放出を最小限化する対策、第5層・放射性物質が大量放出されても、周辺住民の被ばく被害を最小限化する対策)。簡単に述べると、第1層は、防波堤の建設など事故前の対策、第2~4層は、炉心の緊急停止など事故時の対策、第5層は、ヨウ素錠剤の配布など事故後の対策である。

ここで、事故前と事故時の対策が適切に機能するためには、原子力発電所で起こりうる全ての事象を想定する必要がある。しかしながら、人間の想像力には限界があるため、これはほぼ不可能である。すなわち、原子力発電所に完全な安全性はなく、事故を防ぐためには可能な限り安全性を向上させるほかないと言える。こういった理由から私は、深層防護の第5層を強化し、安全性向上に寄与する除染技術が、将来の豊かなエネルギー社会を実現する一つの鍵になると考える。現在、私は、超電導磁石を用いた汚染土壌の除染技術に関する研究を行っている。ここで、本手法について説明する(図1参照)。

土壌は、れき・砂・シルト・粘土といった大きさの異なる粒子から構成され、原子力発電所事故に伴い土壌に沈着する放射性物質の大部分は粘土に吸着されることがわかっている。本手法では、まず分級により、粘土のみを取り出す。次に粘土に対し、磁気分離法を適用する。この際、粘土は液体媒質に懸濁させる。粘土は大きく 2 種類にわけられる。反磁性で放射性物質吸着能の小さい 1:1 型粘土鉱物と、常磁性で放射性物質吸着能の高い 2:1 型粘土鉱物である。超電導磁石を用いて常磁性の 2:1 型を捕捉し、反磁性の 1:1 型を通過させることで、高線量土壌と低線量土壌に分離し、汚

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

染土壌の除染が実現できると考えられる。

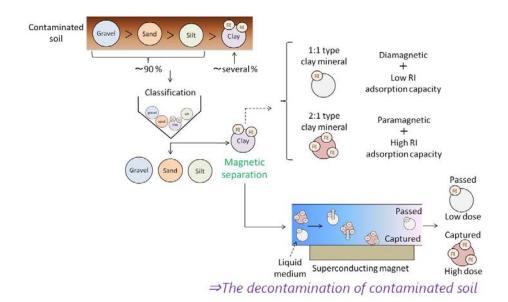


図 1 磁気分離法による土壌除染の流れ Flow of soil decontamination by magnetic separation method

実際、本手法を福島県で採取した汚染土壌に対し適用した。結果は、高線量土壌と低線量土壌への分離に成功した。これによって汚染土壌の除染を実現できる可能性が示された。

最後に、土壌除染技術によってもたらされる利点について述べる。世界を仮に、原子力エネルギー利用の観点から分類すると、各国は次の3タイプになる; 1. 原子力エネルギー利用継続国、2. 原子力エネルギー後退・撤退国、3. 原子力エネルギー未使用国。まず、原子力エネルギー継続利用国では、土壌除染技術が人々の生活を保障する。これは、土壌除染技術によって、原子力事故後、短期間での放射線量低減と事故からの復興が実現されるためである。また、土壌除染技術による原子力エネルギーの安全性向上は、原子力エネルギー利用の幅を広げる。原子力エネルギー後退・撤退国においては、原子力を既存エネルギーシステムの補強、核融合等の新エネルギー横楽時の橋渡し的なエネルギー源として用いることができる。原子力エネルギー未使用国においては、原子力をエネルギー供給源の一つとして選択することで、複数のエネルギーをバランスよく使用できるようになる可能性がある。さらに、原子力エネルギーの利用促進は、地球温暖化対策と人口増加対策となる。原子力発電は二酸化炭素排出量が少なく、安定したエネルギー供給を可能とするためである。以上より私は、土壌除染技術が将来の豊かなエネルギー社会を実現する鍵の一つになると考える。

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

【隔月連載記事】

IEA-ISS ジョイントセッション登壇者の寄稿(その2)

「IEA-HTS-IA and ISS Joint Session での発表を終えて」

独立行政法人 産業技術総合研究所 研究員 石田茂之

ISS2014 において、IEA-HTS-IA and ISS Joint Session(テーマ "Future Energy Society and My Research Work")という若手を対象としたセッションが開催されることを知り、これは良い機会なのでぜひ応募しようと考えました。私は現在、新超電導体の探索を行っているのですが、究極の目標を副題に添えて、"Search for new superconductors – Toward room-temperature superconductivity –"というタイトルで申し込みました。申し込んだものの、"室温超電導体を探す"という話題がこのセッションに相応しいのか自信がなかったので、定数の2倍もの応募者の中から発表者に選ばれたとの知らせを受けた時は驚きました。また、今回が第1回ということでセッションの雰囲気が予想できず、私の発表以外は超電導線材や磁気分離など応用に直結した話題であることを知った時は、選ばれたもののひょっとしたら場違いかもしれないと、若干不安になりました。

発表資料の作成にあたっては、8分という短い発表時間に加え、"私の研究"と "将来のエネルギー社会への提言"をバランス良く(半々程度で)盛り込むという制約もあったので、とても悩みました。悩んだ末、室温超電導体が発見されればエネルギー社会に大きく貢献できることは疑う余地がないというスタンスで、室温超電導を実現させるために、どのように取り組んでいるのかを伝えることに重点を置いた内容にしました。

セッション当日、私の発表は7人中6番目で、他の5名の方々の発表を先に聴くことになっていました。主にポスドクや博士課程の学生が発表するのだろうと想像していたので、実際には修士課程が主で、中には学部学生も発表していたことに大変驚かされました。しかも、流暢な英語で発表しプレゼン資料も良く練られており、良い刺激になりました。

自分自身の発表に関しては、場 違いではないかという不安は杞憂 だったようで、審査員の方々にも 興味を持っていただくことができ たように思います。反省点として は、"将来のエネルギー社会"に 関する考察・主張が不足していた ことです。室温超電導体を用いて、 いかにエネルギー社会に貢献でき るのか。電力輸送や省電力デバイ スをターゲットにするのであれば、 どれくらいの効果があるのかを試 算する、もしくは室温超電導体な らではの応用があるかを検討する など、オリジナルな提案があれば より良い発表ができたのではない かと思います。

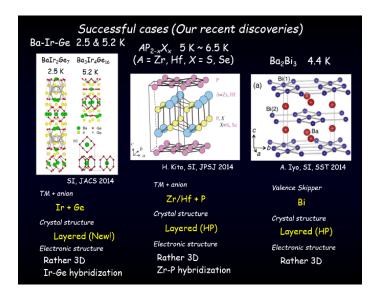


写真 最近発見した新超電導体の紹介(発表資料より)

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

今回の発表は、審査員や発表者の方々との懇親会を含め、とても良い経験になりました。発表の機会を与えてくださった主催者の方々に改めて感謝致します。また発表準備に際してご協力いただいた多くの方々に、この場をお借りして御礼申し上げます。今後もこのセッションが継続され、ますます発展していくことを期待しております。

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

【隔月連載記事】

IEA-ISS ジョイントセッション登壇者の寄稿(その3)

「IEA-HTS-IA(国際エネルギー機関高温超電導委員会)Young Generation Award」

上智大学大学院·高尾研究室 修士1年 葛 雅志

私は本セッションにおいて「ASPCS による再生可能エネルギーの有効利用及び MgB_2 導体の特性調査」について発表を行った**。近年、地球温暖化が急速に進行しており、二酸化炭素排出量の削減が緊急の課題である。そのため、発電時に二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーの導入が世界各国で進んでいる。しかし、再生可能エネルギーは天候や地形によって出力が不規則に変動してしまうため、導入量が制限されてしまう欠点がある。そこで我々は、先進超伝導電力変換システム(Advanced Superconducting Power Conditioning System:ASPCS)を提案している。ASPCS はSMES、燃料電池、電気分解装置で構成されており、再生可能エネルギー源の変動補償を行うシステムである(Fig. 1)。SMES は即応性を有しており、大電力を瞬時に入出力できるため、電力需要の激しい変化にもミリ秒単位で対応でき、また繰り返しの使用に対する耐久性も持ち合わせている。

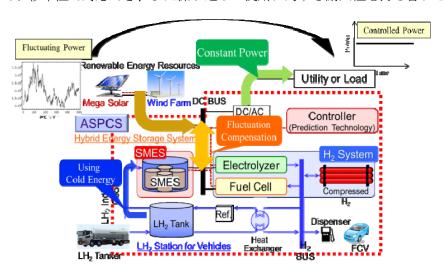


Fig.1. ASPCS 概要

一方で、FC と EL を組み合わせた水素貯蔵システムは、応答性は分~時間オーダーの応答性であるが、大容量のエネルギー貯蔵に優れている。そこで ASPCS では SMES と水素貯蔵システムという特性の異なる 2 種類の電力貯蔵システムを用いて、再生可能エネルギーの出力変動を効率的に補償する。また、ASPCS は今後普及が見込まれる燃料電池車用水素ステーションに併設し水素貯蔵設備を共有し、液体水素(20 K)で SMES コイルを冷却する。つまり、水素をエネルギー源としてだけでなく、寒剤としても使用することができる。将来のエネルギー社会には、ASPCS のように【①再生可能エネルギー②水素③超伝導】を組み合わせて、CO2 の削減や安定的な電力供給を目指すシステムが必要ではないだろうか(Fig. 2)。

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

また、ASPCSではSMESコイルの線材には、液体水素温度(20 K)で超伝導状態となり、かつ大電流化と経済性において有望なMgB2線材を用いる。しかし、MgB2の7本燃線の液体水素温度(20 K)・外部磁場下についての特性は十分に把握されていない。そのため、私はASPCSのコイル設計のため、MgB2燃線の特性を調査している。具体的には、Fig. 3の装置を液体水素で浸漬冷却し、外部磁場(1~5 T)下で臨界電流がどのように変化するのかを測定した(Fig. 4)。測定結果は予測される結果よりも少し悪い特性となったので、現在劣化の原因を燃線構造等から模索している。

本セッションでは、著名な審査員方の前で 発表を行うことができ、そしてその後の懇親 会では発表者や審査員方と交流することがで き、大変光栄であった。また、同世代である 他の発表者達の魅力的な発表内容に感銘を受 けたとともに、互いの研究内容を深く語り合 うことができ、とても刺激的な1日だった。 特に、同世代の発表者から積極的に国際会議 に挑戦していることを聞いたことは、私にと って大きな衝撃であり、私自身もそれを目指 すきっかけとなった。そして、大勢の人を相 手に英語で発表を行ったことはもちろん、他 の発表者達から刺激を受けたこと、著名な審 査員方と交流できたこと等、本セッションを 通じてたくさんの得難い経験をすることがで きた。この経験を糧に、将来国際的に活躍で きる人材になれるよう努めていきたいと思う。

最後となりましたが、このような貴重な発表の場を与えて頂けましたこと、IEA-HTS-IAおよび ISS の皆様に深く御礼申し上げます。

※本研究は独立行政法人科学技術振興機構 (JST)が実施している、先端的低炭素化技術開発事業(ALCA)のプロジェクトの一環であり、高エネルギー加速器研究機構、前川製作所、東北大学、八戸工業大学、岩谷産業、中部電力との共同研究である。

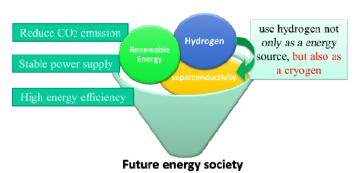


Fig.2. 将来のエネルギー社会イメージ

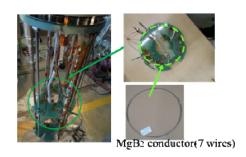


Fig.3. MgB₂7 本撚線の測定サンプル

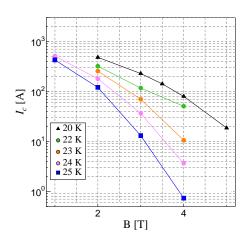


Fig.4. I_c-B 特性測定結果

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

特集: ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告(その4 - 最優秀賞)

Framework of iron scale with superconducting magnet high gradient magnetic separation from feed-water in thermal power plant, including future energy society and my research work.

大阪大学 柴谷沙織

図 1 は世界の各電源の発電量の見通しである ¹⁾。 この図からわかるように、世界の発電量は増加する 見通しで、2035 年には電源の 66 %が化石燃料にな ると予想されている。これに伴い、CO₂ 排出量は将 来的に大幅に増加すると危惧される。

発電にかかる CO₂ の排出を削減する方法はいく つか考えられる。1 つは再生可能エネルギーの割合 を増加させることである。しかし再生可能エネルギ ーはエネルギー密度が低く、発電コストが高い、発

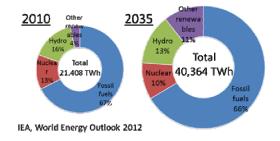
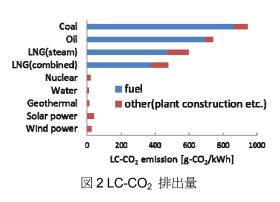


図1 世界の発電量の見通し

電量が不安定であるといったデメリットも存在するため、再生可能エネルギーの普及には時間を要すると思われる。もう1つは原子力発電の割合を増加させることである。原子力発電は発電にかかる直接的な CO_2 排出がない、エネルギー密度が高い、発電コストが比較的低いといたメリットをもつ。しかしそれには核燃料を使用するというリスクを伴うため、国民の理解を得ることは困難であると考えられる。



そこで、新たな CO_2 排出削減方法として、私の研究である超電導磁石を利用した火力発電所の効率向上について紹介する。図 2 は各電源の CO_2 排出量を表している 2 。火力発電は単位発電量当たりの CO_2 排出量が最も大きく、これを削減することの効果は大きい。火力発電所の効率を低下させている主な要因のひとつは、給水系の配管に付着したスケールである。スケールは配管腐食生成物等の酸化鉄が主成分であり、熱伝導率は配管の約 10 %である。そのため配管にスケールが付着することで熱交換効率の

低下や圧力損失の増加が起こる。このスケールを 20 μm 除去することで CO₂ 排出量を約 1 %削減可能であると試算されている ³⁾。そこで私はこのスケールを除去することによる火力発電所の効率向上を検討した。

スケールは火力発電所の給水系の配管内において、配管の腐食により溶出した鉄イオンが酸化物や水酸化物として析出することによって発生する。給水系の低温部(復水器〜低圧給水加熱器)におけるスケールの主成分は粒径が小さく常磁性のオキシ水酸化鉄であり、高温部(脱気器〜ボイラー入口)におけるスケールの主成分は粒径が大きく強磁性のマグネタイトである。また、スケールの生成量は低温部より高温部のほうが大きい。これらの理由から、高温部でのスケール除去が効果

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

的であるといえる。本手法は高温高圧条件で利用可能であること、また既存の発電所に適用することが可能であるため短期間で導入でき、導入にかかるコストも小さいことが長所として挙げられる。

図 3 は実験装置の概略図である。火力発電所の高温部を想定した高温高圧条件(200 °C, 20 気圧)で HGMS 実験を行った。分離対象物質として模擬スケール(Fe_3O_4 80 wt%, Fe_2O_3 20 wt%)を用いた。圧力容器 A の模擬スケール懸濁液はポンプによってソレノイド型超電導磁石のボア内に設置された磁気分離フィルターを通り、圧力容器 B に回収される仕組みになっている。磁気分離層を通過した後、圧力容器 B に回収された試料の模擬スケールの濃度を測定し、分離率を算出した。

模擬スケールの分離率は、磁場 2 T において 98%となった。高温高圧条件下において、懸濁液中から模擬スケールを除去することに成功した。この結果、超電導磁石を用いることで高温高圧条件下での HGMS によるスケール除去は可能であることが示された。また、火力発電所の効率が HGMS によって向上される可能性が示された。

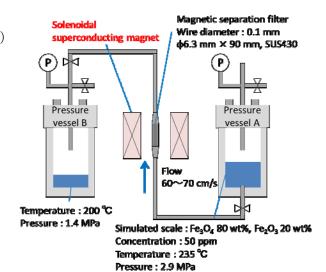


図 3 HGMS 実験装置の概念図

この技術が実現すると、火力発電所からの CO_2 排出量と発電のための燃料が削減され、火力発電による環境負荷が低減される。上述したように発電によって排出される CO_2 のほとんどが火力発電由来のものであるため、火力発電所からの CO_2 排出量を削減することの効果は大きい。

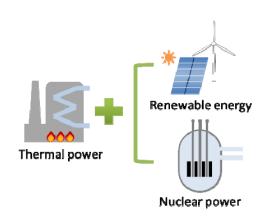


図4 エネルギー供給の概念図

ここまでは CO₂排出量に焦点を当ててきたが、将来のエネルギー供給構造を考える際には、安全性、経済性、安定供給、環境負荷低減について考慮する必要がある。そこで私は、火力発電と他の電源を組み合わせて利用することが重要であると考える(図 4)。再生可能エネルギーは、出力の調節機能を果たす火力発電と組み合わせることで、分散型電源として利用できる。また原子力発電と火力発電を組み合わせることで、エネルギーの安定供給につながる。このように、将来のエネルギー供給構造はエネルギーのベストミックスを目指すべきであると考える。火力発電所の効率向上のための超電導磁石を用いた磁気分離法によるスケール除去は、エネルギーのベストミックスの達成のために非常に重要な役割を果たす、将来のエネルギー供給を見据えた研究である。

後日、本研究に関連する施設として国立研究開発法人物質・材料研究機構(National Institute for Materials Science, NIMS)を訪問した。様々な仕様の超電導磁石をはじめ、水冷銅磁石やハイブリッド磁石、NMR などを見学させていただいた。超電導磁石と水冷銅磁石を組み合わせたハイブリッド磁石(図 5)は、最大磁束密度 37 T という非常に強力な磁場を発生可能で、磁気分離に用いた場合には強磁性体や常磁性体のみならず反磁性体の分離も可能であると考えられる。例えば生体材料

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

あるいは DNA などを分離する可能性もあり、医療分野での応用も可能ではないかと思われる。現時点ではアメリカの 45 T が発生可能な静磁場の最大値であるそうだが、それを超える静磁場を発生できる超電導材料を開発しようと試みているというお話を伺った。私自身はこれまで超電導のアプリケーションにのみ携わってきたので、材料研究の話は初めて耳にする内容が多く新鮮だった。また、NIMS の磁界実験棟においてボア径 40 cm のソレノイド型超電導磁石も拝見した。私たちの研究においては、実験ではボア径 10 cm のソレノイド型超電導磁石を使用しているが、実際に火力発電所の給水系の配管で使用することを想定すると、ボア径 40 cm 程度は必要であると考えられる。今回は実際にその規模の超電導磁石を見ることができ、その大きさから予想されるスケール除去装置の規模を体感することができた。

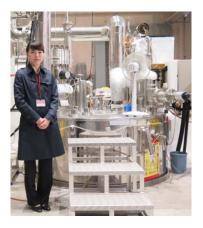


図 5 NIMS のハイブリッド磁石

参考文献:

- 1) IEA, World Energy Outlook 2012
- 2) 電力中央研究所, 日本の発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量評価, 2010
- 3) H.Okada (private communication)

謝辞

国立研究開発法人物質・材料研究機構の見学にあたり、ご多忙な中研究所の案内をしてくださった岡田英彦様、廣田憲之様に感謝いたします。

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

【隔月連載記事】ISS2014/ISS-IEA Joint セッション報告(その 5 - 優秀賞)「夢を語れた IEA-HTS-IA and ISS joint session」

国立大学法人 九州大学 大学院システム情報科学研究院 電気システム工学部門 准教授 東川甲平

2014年の春ごろ、ISS2014において IEA-HTS-IA and ISS joint session なるものが開催されるという話を伺いました。開設された Web サイトの情報によると、35歳以下の若手研究者を対象とし、自身の研究と将来のエネルギー社会への見解を発表するものであり、半分以上は後者について言及すべきということでした。学生時代は、超伝導技術はなんとすばらしいのだろうと目を輝かせていましたが、年を重ねるごとに、高温超伝導応用のためには、これを解決しなければならない、これではコストが高すぎる、と思考が縮小してストレスを抱えていたので、原点に立ち返って大きな夢を語れる良い機会だと思い、本セッションに申し込みました。

題目は「Advanced Diagnostics of Superconducting Wires and Tapes for High-performance and Highly-functional Power Applications Supporting Large-scale Introduction of Renewable Energy」としました。私は、大学院で「電気エネルギー環境工学基礎特論」という講義を担当しています。この中で、化石燃料に頼ってきたエネルギー社会と今後の再生可能エネルギーの導入拡大を取り扱うのですが、特に我が国では定量的な観点まで含めれば、消費電力の大半を再生可能エネルギーでまかなうことは、風土(国土がせまい、陸上の風況が安定しない)や電力系統(逆潮流による過電圧や出力変動による周波数変動など)の観点から簡単ではなく、例えば原子力の利用はやむを得ないと考えるようになる学生も多いようで、よく知れば知るほど私も含めて、専門外の一般の方とは価値観がずれてしまうこともあります。一方、本当に全ての電力消費を再生可能エネルギーでまかなうことができれば、その事に関して異を唱える方はいないのではないかと思います。上述の題目は、自分が行っている研究はこのような夢につながるのだ、と自分に言い聞かせるために設定したところもあります。

例えば、図1に示すように、大変有名な図があります^[1]。全世界の電力需要を太陽電池パネルで賄おうとした場合、サハラ砂漠のごく一部で済むというという主張です。もちろん途方もない面積が、地球上の各地に過ごしている私たちの電力需要を、地球の表面積からみれば、大変夢のある話です。しかしながらな大変夢のある話です。しかしながら、太路です。と砂漠のような大変をである。また、電力にではしばしば遠く、離れており、長距離の電力輸送が不可欠となります。また、電力需要と発電量は短いなります。また、電力の貯蔵が本質的に重要となりま

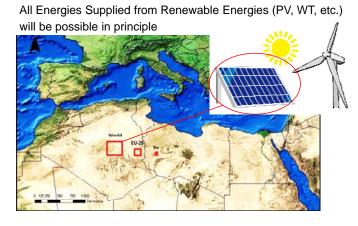


図1 電力消費のすべてを太陽光発電で賄う場合に必要な土地の大きさ^[1]

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

す。この長距離送電と電力貯蔵というキーワードから、おのずと超伝導技術の利用が思い浮かびます。

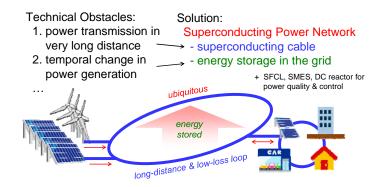


図2 再生可能エネルギーの大量導入の鍵となる長距離 送電と大規模電力貯蔵を可能とする直流超伝導電力ネットワーク

が地球を1周すれば、テラジュールオーダにもなります。さらに、磁性体に素線をツイストさせたような超伝導ケーブルであれば、ペタジュール以上のエネルギーの貯蔵も夢ではありません。すなわち、再生可能エネルギーの大量導入に向けて鍵となる長距離送電と電力貯蔵は同時に達成され、世界各地で発電された電力をため池にためていき、そのため池からいつでもどこでも電力を消費できるというような、大変自由度の高い電力エネルギー社会が実現します。

これに関連して「モンゴルー日本電力技術交流会」に参加しました。モンゴルにはサハラ砂漠に次ぐ日照量を誇るゴビ砂漠があり、我が国との連携による大規模太陽光発電の計画もあります^[2]。また、サハラ砂漠よりは距離が比較的に近いために、本当に海外由来の再生可能エネルギーを我が国で利用することになれば、モンゴルは一つの大きな候補になります。このような観点から、本交流会に参加しました。先方は、モンゴル科学技術大学(MUST)や各種送配電会社のメンバーから構成されており、日本からは、東京大学・九州大学・九州工業大学・宇都宮大学・同志社大学・工学院大学・東京電機大学から参加しました。特に、日本からの参加者には、電力送配電システムやスマートグリッドの国際標準化に尽力されている大変著名な先生方が含まれており、超伝導が専門ではなく、電力エネルギー分野の最前線で活躍されている先生方と意見交換を行いたかったことも、本イベント参加の大きな動機となっています。

ウランバートルの MUST を訪問した後、先方のメンバーとともに小さなバスで、セミナー会場の Delgerkhaan に向かいました。その道中の写真を図3に示していますが、大変な晴天の中このような広大な土地が延々と続いており、まさに大規模な太陽光発電に向いていると実感しました。また、図4の旗のなびき具合からも分かりますが、風況も大変良好である印象を持ちました。セミナーには、日本人8名の他に、30名程度のモンゴルの方の参加が有り、私が発表している際の写真を図5に示しています。英語を話せるモンゴルの方は少ないようで、隣の先生が英語からモンゴル語に翻訳してくださっています。自身の研究やその構想について紹介しましたが、大変興味深く聴いて頂けたという手応えを感じました。特に、モンゴルで発電した電力を超伝導ケーブルで日本に運ぶという夢を語った際には、もちろんサービス半分でしょうが大変盛り上がっていました。

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612



図3 ウランバートルからセミナー会場 への移動途中の風景 (1): 晴天のなか広大 な土地が限りなく続いており、大規模太陽 光発電に向いている印象



図4 ウランバートルからセミナー会場へ の移動途中の風景 (2): 風況良し

ただし、現在のモンゴルの状況は、電力網の増強を当面の課題としており、日本で実績のある超高圧送電の技術が欲しいような段階であり、それに比べると実績の乏しい超伝導技術は、現実的な選択肢というよりは、やはり夢としてとらえられています。従って、手放しで良い反応を頂けます。一方、日本からの参加者の方は、超伝導電力応用が実用段階に入っていることを知れば知るほど、現実的な疑問を投げかけてくださります。例えば、直流のループからどのように電力を取り出すのか、事故が起きた際の遮断ができないのではないか、そんなに長いものを冷却できるのか、政治的に国境をまたいで大丈夫か、などです。ですから、本当にこのような国で超伝導技術の導入がかなうとすれば、やはりまずは自身の国で、超伝導を専門としない方々を巻き込んで理解と実績を積み上げ、上記の高圧送電システムあるいは新幹線のように、確立したインフラとして輸出するという形が現実的であると思います。従って、このような活動を通じて、自国側での理解を深めると同時に、相手国との信頼関係を維持することができていれば、超伝導電力インフラの輸出という形で大変大きな実を結ぶのではないかと改めて意識しました。

私の主な研究テーマは、長尺線材を含む超伝導線材の臨界電流特性評価^[3]、モデル化した特性による機器設計^[4]、電力系統へ導入効果の検討^[5]です。これらの研究は上記の夢に向かって励んでいるのだ、ということを気づかせてくれた本セッションは、私にとって大変貴重な機会でした。自身の研究をうまく関連づけた将来像について本当に流暢な英語で発表されていた発表者の方々の中で賞を頂けたのは、私が最年長であったお情けではないかと思うほどでしたが、上記の観点から、もし賞がもらえなかったとしても、私は本セッションに参加できて本当に良かったと胸を張って言えると思います。本セッションが是非とも末永く続くことを祈念いたします。

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612



図5 モンゴルー日本電力技術交流会での発表の様子

参考文献:

- [1] Figure by http://en.wikipedia.org/wiki/Desertec. Data by the German Center of Aerospace (DLR) (2005).
- [2] Japanese Business Alliance for Smart Energy World Wide (2012).
- [3] K. Higashikawa, K. Katahira, M. Inoue, T. Kiss, Y. Shingai, M. Konishi, K. Ohmatsu, T. Machi, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara: "Nondestructive Diagnostics of Narrow Coated Conductors for Electric Power Applications," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 24, no. 3 (2014) pp. 6600704.
- [4] K. Higashikawa, T. Nakamura, K. Shikimachi, N. Hirano, S. Nagaya, T. Kiss, M. Inoue: "Conceptual Design of HTS Coil for SMES Using YBCO Coated Conductor," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 17, no. 2 (2007) pp. 1990-1993.
- [5] K. Higashikawa, S. Urasaki, M. Inoue, M. Tomita, T. Kiss: ``Hardware-in-the-loop Simulation of Superconducting Devices for DC Electric Railway Systems Based on Real-time Digital Simulator," to be presented at MT-24.

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

【隔月連載記事】IEA-HTS-IA and ISS Joint Session(その 6)

Plan of the high efficient electric power system with the next generation superconducting cable

名古屋大学大学院工学研究科 博士前期課程 杉原和樹

平成 26 年 11 月 25 日~27 日にタワーホール船堀(東京)で開催された ISS2014 において、初めての試みである IEA-HTS-IA and ISS Joint Session が開かれ参加・発表させていただいた。このセッションは Young Generation Award ということで、国内外の 35 歳以下の若手研究者を対象に発表や議論の機会を提供していただけるものだった。26 日の午前 9 時からセッションが開始され、発表は"将来のエネルギー社会と自身の研究"という内容で、発表 8 分、質疑 5 分で行われた。

私自身、国際学会への参加はこの ISS が初めてであり、また英語での発表も初めてのことであったため、参加するにあたって普段以上の練習が必要だと覚悟していた。まず発表内容について、どのような内容で発表するかを研究室のメンバーと議論していただいたが、なかなかまとまらずに難航してしまった。自身の研究内容の発表についてはそれほど苦労していなかったため、自身の研究をベースにして、どのようなエネルギー社会が提案できるかを議論し、なんとか筋道だった内容にまとめられた。発表練習は、当日直前まで何度も確認、指南をいただいて改良を加えることで、より完成度の高いスライドに仕上げられた。

私の発表は、"Plan of the high efficient electric power system with the next generation

superconducting cable"という題目で、再生可能エネルギーをベースとし、超伝導ケーブルによる送電を用いたエネルギーシステムを提案した。概要は、東京-名古屋間で2027年開通予定の超伝導リニアモーターカー(中央新幹線)のための電力供給として、郊外で再生可能エネルギーによる集中発電を行い、超伝導ケーブルで直流送電するシステムである。集中発電の例として、私の出身地である愛知県田原市の"たはらソーラー・ウインド発電所(図1)"を挙げ、複数のエネルギー源を組み合わせたハイブリッド発電を用いることで、さまたる安定供給を実現できるのではと考えた。また超伝導ケーブルについて、現在、実系統への導入段階まで進歩してきたBi系やY系といった高温

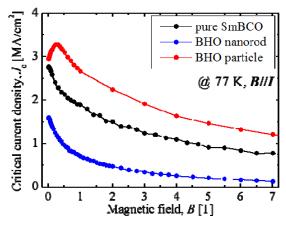


図 1 たはらソーラー・ウインド発電所(愛知県田原市)^[1]。風力発電(6 MW)と太陽光発電(50 MW)による国内最大規模のハイブリッド発電所。

超伝導ケーブルを積極的に導入することにも触れた。私は現在、人工ピンニングセンターとして $BaHfO_3(BHO)$ を導入した $SmBa_2Cu_3O_y$ (SmBCO)薄膜における縦磁界効果に関して研究を行っており、この現象を用いた次世代超伝導ケーブル案も発表に含めた。縦磁界効果とは、電流と磁場が平行である状態において観察される様々な電磁現象である [2]。中でも我々は、図 2 のように外部印加磁場下の臨界電流密度 (J_c)が自己磁場下における J_c と比較して向上する特異な現象を報告した [3]。 無添加 SmBCO 薄膜及び BHO を SmBCO 母相内にナノロッドとして導入した薄膜では J_c の向上は見られなかったが、積層法を用いて BHO を短く切れたナノロッドとして導入した薄膜において J_c のピークが観察された。このことから、縦磁界効果の発現には短く切れた SHO ナノロッドによる

(公財) 国際超電導産業技術研究センター 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP Tel: 044-850-1612

磁束ピンニングが有効であることが新たに提案された。しかし、**J**c 向上やピークが現れる外部磁場の決定要因は明らかでない。そのため我々は現在、様々なパラメータを制御して縦磁界効果発現メカニズムの解明を目指している。この効果を利用した超伝導ケーブルも提案されており^[4]、現象を制御して応用できればより大容量の高温超伝導ケーブル作製が期待できると考えている。



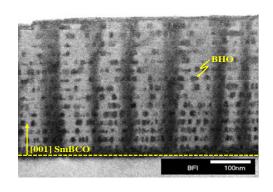


図 2 各 SmBCO 薄膜の縦磁界下における磁場中臨界電流密度(左)と BHO 添加 SmBCO 積層膜の断面 TEM 観察像(左)。積層膜において縦磁界効果による J_c のピークが観察された [3]。

今回のジョイントセッションでは基礎から応用まで様々な研究分野の方が発表され、非常に興味深い内容となっていた。それぞれ異なる将来のエネルギー像を想定されており、広い視野で幅広い分野の専門家と議論を深めていくことの重要さを感じた。セッション後のバンケットも含めて、私のような若手研究者が様々な分野の専門家との議論やご指南いただける機会、また英語での口頭発表をする機会は多くはないため、今回のセッションのような取り組みは非常に意義があり、今後に大いに役立てられるものだった。今後もこのような機会があれば是非参加させていただきたい。

謝辞

今回のセッションでの発表機会を与えてくださった、山田穣氏をはじめとする ISTEC 関係者の皆様、セッションに参加された皆様、並びに発表に関して議論、ご指南いただいた先生方、研究室の皆様に感謝致します。

参考

- [1] 三井化学 HP http://jp.mitsuichem.com/release/2014/2014_0930.htm
- [2] T. Matsushita, Jpn. J. Appl. Phys. 51, 010111 (2012). 等
- [3] A. Tsuruta, S. Watanabe, Y. Ichino, and Y. Yoshida, Jpn. J. Appl. Phys. 53, 078003 (2014).
- [4] T. Matsushita, M. Kiuchi, and E. S. Otabe, Supercond. Sci. Technol. 25, 125009 (2012).