

電力・エネルギー分野を取り巻く変革と研究

名古屋大学大学院工学研究科電気工学専攻
教授 早川 直樹

Department of Electrical Engineering
Nagoya University
Professor Naoki Hayakawa



はじめに

13年前（2010年4月）に本技術開発ニュース138号に寄稿して以来、東日本大震災（2011年3月）後の電力システム改革、国連総会（2015年9月）でのSDGs採択、日本政府の2050年カーボンニュートラル宣言（2020年10月）、ウクライナ危機（2022年2月）後の電気料金高騰など、電力・エネルギー分野を取り巻く社会・技術環境は大きな変革を迎えた。

当研究室では、安定かつ効率的な送変電システムの構築を目指し、各種絶縁材料（気体、真空、液体、固体）の電気絶縁特性・放電メカニズムおよびそれらのGIS/GIL、遮断器、変圧器などの電力機器・システムへの適用に関する研究を国家プロジェクトや企業との共同研究を主体として実施している。現在の研究テーマは、この13年間に新たに着手したものが多く、本稿では、当研究室における最近の研究テーマを紹介したい。

1. 傾斜機能材料 (FGM)

当研究室では、誘電率を空間的に傾斜させた傾斜機能材料 (ϵ -FGM) をGISスペーサに適用し、ガス中電界の制御・緩和によってGISを小型化・高性能化する技術を開発し、シミュレーションと基礎実験によって原理検証を行ってきた。その後、NEDOプロジェクト（2014年度～2015年度、2017年度～2021年度）を通じて、 ϵ -FGMを適用したGISスペーサの実証・実用化に取り組んでいる。 ϵ -FGMを適用した245kV級GISスペーサ（図1）の比誘電率を中心導体から径方向に10から4まで傾斜させることにより、スペーサ周辺におけるガス中電界の緩和・平等化を実現し、SF₆ガス（0.6MPa-abs）中の絶縁破壊電圧が28%向上することを実証した^[1]。 ϵ -FGMの適用により、GISスペーサ直径の30%低減、断面積（SF₆ガス使用量）の50%低減が期待される。

また、FGMスペーサの実用的な製造方法（可変配合注型法）^[2]、X線CTによる誘電率分布の非破壊測定方法^[3]、直流GIS/GILスペーサ向け誘電率／導電率傾斜機能材料（ ϵ/σ -FGM）の適用効果^[4]などにも研究を展開している。

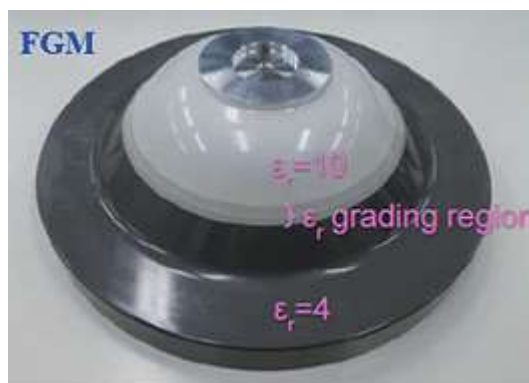


図1 ϵ -FGMを適用した245kV級GISスペーサ^[1]

2. SF₆代替技術

SF₆ガスの地球温暖化係数がCO₂ガスの25,200倍と高いことから、SF₆代替ガスの研究・開発が1990年代から始まった。2014年のCIGREパリ大会でNovec™を用いたGISが展示されたが、2022年12月の生産停止報道もあり、乾燥空気などの自然由来系のSF₆代替ガスが改めて注目されている。当研究室では、以前よりガス中放電の研究を行っており、SF₆、乾燥空気、CO₂、N₂Oなどの電気的負性ガス中の放電開始・絶縁破壊メカニズムを考察している。また、前項のFGM研究の展開として、SF₆代替ガスとしての乾燥空気中における ϵ -FGMスペーサの適用効果を明らかにしている^[5]。

また、SF₆代替技術の一環として、真空遮断器（VCB）の高電圧化に向けた真空中ギャップ放電におけるコンディショニング効果および沿面放電進展の物理的メカニズム^{[6][7]}、高周波交流コンディショニングによる耐圧向上効果^[8]に関する研究を行っている。

3. 電力機器の状態監視・診断 (CMD)

変電設備の保全高度化とアセットマネジメント^[9]の観点から、電力機器の状態監視と診断（CMD）に関する研究を行っている。例えば、油浸紙が用いられたコンデンサ形計器用変圧器（CVT）の合理的な期待寿命・更新時期評価に向けて、アルミ箔／油浸紙複合絶縁系の部分放電進展特性（図2）^[10]から絶縁診断に資する指標の提言に取り組んでいる。

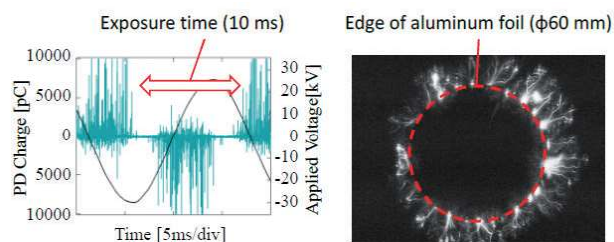


図2 アルミ箔／油浸紙複合絶縁系における部分放電信号および発光像^[10]

また、VCBの製品試験の高度化に向けて、真空中ギャップ放電と沿面放電の進展時間特性をデータベース化し、真空バルブ(VI)内部の放電経路識別を可能とする研究を行っている^[7]。

4. 次世代の超電導電力機器・システム

13年前の寄稿時には「超電導100年」と題して、次世代の超電導電力機器・システム開発に期待を寄せ、超電導限流変圧器(SFCLT)を紹介した。その後の超電導電力機器・システム開発は、欧米中韓諸国では引き続き活発であるが、残念ながら日本では失速していると言わざるを得ない。

当研究室では、以前より超電導電力機器の絶縁設計に必要な不可欠な極低温電気絶縁技術について研究し、CIGRE WG D1.64(2016年～2021年)の調査活動などを通じて、研究成果を発信している^[11]。また、今後の再生可能エネルギーの大量導入に伴って期待される多端子直流送電システムについて、超電導限流器による直流遮断器の責務軽減を目指し、モデルシステムにおける故障電流抑制効果と過渡安定度向上効果を解析している^[12]。

5. モビリティ分野における電気絶縁技術

SDGsやカーボンニュートラルへの自動車・航空機分野の取り組みとして、電動化が挙げられる。当研究室では、送電システム分野で培った電気絶縁技術に関する知見・経験をモビリティ分野に展開し、電気自動車用インバータ駆動モータの高電圧化に向けて、インバータサージ電圧下の部分放電特性に関する研究を実施してきた。現在、NEDOプロジェクト(2022年度～)において、電動推進航空機用モータの高出力密度化を目指し、冷却／電気絶縁に対する潤滑油の適用可能性を検証するために、潤滑油中の基礎絶縁破壊特性(図3)^[13]、モータコイル構造を模擬したモデルの部分放電開始特性、流量・流速依存性などを調査している。

おわりに

電力・エネルギー分野を取り巻く教育環境の変革の一つとして、文部科学省卓越大学院プログラム「パワー・エネル

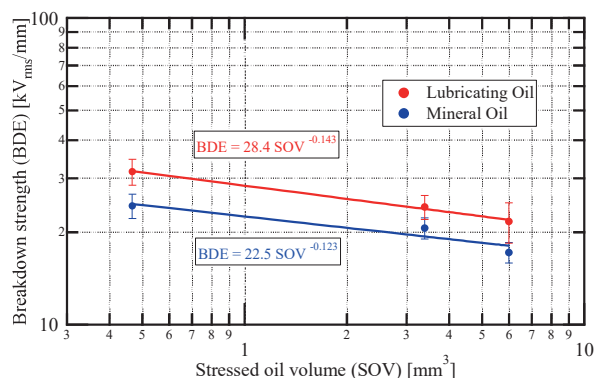


図3 潤滑油の絶縁破壊電界における体積効果^[13]

ギー・プロフェッショナル(PEP)」の採択(2018年)がある。PEP(<https://www.waseda.jp/pep/>)は、電力・エネルギー分野において、材料・機器・システムに関する専門的知識・技術とともに、制度・経済・ビジネスに関する俯瞰的知識も養成することを目的として、早稲田大学を中心とする国内13大学が連携した5年一貫博士人材育成プログラムである。2023年3月時点において、当研究室4名(名古屋大学計11名、13大学計117名)がPEPプログラムを修了済または在籍中であり、修了生は電力・エネルギー業界に就職・活躍している。PEPの他、電気工学分野の全国的な産学連携を推進する「パワーアカデミー」(<https://www.power-academy.jp>)や名古屋大学電気工学専攻における電力・エネルギー分野の関連研究室と連携・協力した「エネルギーシステム寄附研究部門」(<https://e-energy.imass.nagoya-u.ac.jp>)の研究・イベント活動などを通じて、今後も電力・エネルギー分野の教育・研究に邁進していく。

参考文献

- [1] N.Hayakawa, et al.: ISH, 705 (2021)
- [2] 特許第7162840号(2022), 特許第7162841号(2022)
- [3] 特開2023-18943(2023)
- [4] Rachmawati, et al. IEEE TDEI, Vol.29, No.5, pp.1811-1817 (2022)
- [5] 加藤, 他: 電気学会全国大会, 6-040 (2023)
- [6] N.Kita, et al. IEEE TDEI, Vol.29, No.3, pp.1160-1166 (2022)
- [7] R.Watarai, et al.: CMD, P2-19 (2022)
- [8] 小名木, 他: 電気学会全国大会, 6-013 (2023)
- [9] 電気協同研究, 第78巻第2号(2022)
- [10] 永木, 他: 電気学会静止器研究会, SA-22-103 (2022)
- [11] CIGRE WG D1.64 Technical Brochure, No.846 (2021)
- [12] 村上, 他: 電気学会全国大会, 6-207 (2023)
- [13] 鎌田, 他: 電気学会電気電子絶縁材料システムシンポジウム, B-6 (2021)

略歴

1990年	名古屋大学大学院工学研究科博士課程満了
1990年	名古屋大学工学部助手
1996年	名古屋大学理工学総合研究センター助教授
1998年	名古屋大学大学院工学研究科助教授
2001年～2002年	ドイツ・カールスルーエ研究センター(FZK)客員研究員
2008年	名古屋大学エコトピア科学研究所教授
2015年	名古屋大学大学院工学研究科教授