

電流積分法とパルス静電応力法による電荷現象の理解調査専門委員会 設置趣意書

誘電絶縁材料技術委員会

1. 目的

近年、高圧直流 (HVDC) 技術や種々の機器類における直流電圧の利用の拡大により、直流高電界下における誘電・絶縁挙動の評価や電力設備における絶縁材料の状態診断の必要性・重要性が増している。このような技術の核となるのが課電時に誘電・絶縁材料中に蓄積する空間電荷及び材料中を流れる微小電流の計測と現象解明である。これらの現象は、電気伝導現象の大きな枠組みの中でとらえることが可能で、近年、計測技術の発展とともに世界的に多くの研究者の注目を集めている。また、最近の電気機器類の電氣的・熱的・機械的な使用条件の高レベル化を考えると、今後電気伝導現象を的確に捉える計測技術の高度化が今以上に求められることは必定である。以上の状況を踏まえ、本委員会では、これまで個別に検討されることが多かった空間電荷現象と電気伝導現象を併せ、広義の電気伝導現象について網羅的・俯瞰的に考察することを念頭に置き、空間電荷及び微小電流の計測・解析・応用技術について広く調査を行う。委員会の活動により、電気伝導現象及びその計測手法に関する理解の深化、誘電・絶縁材料技術分野の研究活性化、分野を超えた研究者・技術者との相互交流・啓発、若手研究者や技術者への技術伝承・教育に役立てることを目的とする。

2. 背景および内外機関における調査活動

電気絶縁材料技術は、成熟した工学分野の一つとして捉えられがちであるが、実はよく理解できていない部分も多く、特に最近注目されている高電圧直流 (HVDC) 技術に有効な絶縁材料は、現在も世界的に開発が継続しているホットな研究分野である。また、電気機器類に求められる高性能化、省エネルギー化、コンパクト化や、宇宙環境などの極限状態における使用を考えると、電気絶縁材料に求められる要求特性は日増しに厳しくなっていると言うことができる。このような電気絶縁材料の開発方向の変化に追随できるよう、誘電・絶縁特性の評価手法にも進化が求められる。このような状況のもと、我が国においては、パルス静電応力法 (PEA 法) による空間電荷分布測定が、高電界伝導機構を理解するための手法として盛んに用いられている。一方、微小電流測定に関しては、古くから数多くの研究がなされているものの近年の研究事例は比較的少ない。しかし最近になり、微小電流や空間電荷分布の測定結果を補完的に理解する手法として電流積分法が注目されており、本手法を用いた研究事例も増えている。PEA 法は電荷の蓄積と移動を直接測定している。これに対し、電流積分法では電荷の空間的な分布を直接的に測定することはできないものの、PEA 法では捉えることが困難な速い電荷の情報を得ることが可能である。この両手法による研究成果について体系的に調査した事例は国内外のいずれにおいても見当たらない。

3. 調査検討事項

空間電荷現象、電気伝導現象は、誘電・絶縁材料における基本とも言うべき電気物理現象であるが、メカニズムについてはよく理解されていないことも多い。本調査では、帯電現象と伝導現象について、現在わかっていること、唱えられている仮説等について整理を行い、この分野において我々が置かれている現在地を明確にする。その上で、空間電荷分布を計測することと、電流の積分値を計測することの共通点、相違点について整理し、相互に補完することにより得られる知見について調査を進める。

(1) 空間電荷分布測定からわかる電荷現象の調査

PEA 法の最大の特長は、誘電・絶縁材料中の空間電荷分布を求められる点であるが、反面、専門的

な知識を持たないと測定結果について誤った解釈を施す危険性がある。近年は、高温計測、位置分解能の向上、薄肉試料における計測、非接触での計測などの取組の他、直流ケーブルにおける空間電荷計測の精度向上の目的から、ケーブル計測における種々の新しい工夫がなされている。

ここでは PEA 法を中心とした空間電荷分布測定に関する最新研究について調査する。空間電荷分布測定に関しては、電気学会調査専門委員会活動の中でも、これまで長年にわたり調査活動を継続している⁽¹⁾⁽⁴⁾。本委員会では、これまでの調査結果を踏まえつつ、最新の計測・解析技術について調べると共に、伝導機構解明のための研究事例について調査する。

(2) 電流積分からわかる電荷現象の調査

微小電流計測については、従来、ピコアンメータによる計測が行われているが、誘電・絶縁材料の場合測定する電流が極めて小さいためノイズの低減が大きな課題であった。電流積分法は、試料を流れる電流を試料と直列に接続した積分コンデンサに貯蔵して電荷量として計測する手法で、積分によりランダムノイズが相殺されるため精度よく電流（電荷量）を計測することが可能である。それ以外にも以下に示す種々の特長を有している。

- (1) 電極形状を選ばずに測定が可能
- (2) 積分により課電時の初期電荷量 ($Q(0)$) が明確に定義・計測でき、 $Q(0)$ をうまく活用することにより誘電・絶縁特性の理解を深めることができる。
- (3) 電流がかかわる物理現象を網羅的に評価可能で、電気物理現象の理解に有用
- (4) 電極を選ばず、ノイズに強い特長を活かすと、各種機器類の絶縁診断に応用可能

これらの特長を活用すると、通常、電流の種類に応じて個別に計測される誘電・絶縁現象を網羅的、俯瞰的に見ることが可能となる。

ここでは、電流積分法による電荷現象の評価に関する調査結果をまとめる。

(3) 応用分野による分類

これらの計測技術の応用として、まず挙げられるのはケーブル試料における計測である。また、空間電荷現象や電気伝導現象は、絶縁材料全般にわたる普遍的な課題であることから、電力ケーブル以外の分野でも検討されるようになってきている。ここでは、種々の分野における研究例を集め、共通の課題、分野ごとの課題を抽出する。

- (1) ポリマーの誘電・絶縁特性評価
- (2) 電力ケーブル
- (3) パワー半導体のモールド絶縁など、ケーブル以外の製品
- (4) 薄肉絶縁の空間電荷挙動評価
- (5) 電気機器類の状態診断

あわせて、これらの調査活動を深化させる一環として、研究会や電気電子絶縁材料システムシンポジウム・各種大会での企画セッションなどを積極的に企画し、若手研究者や技術者への技術伝承や教育の場としても活用する。

4. 予想される効果

誘電・絶縁材料の評価において重要な役割を担う電気伝導現象の計測に関して、ともに日本発の技術であるパルス静電応力法と電流積分法は、主として直流高電界下で作動する電気機器類の需要拡大に伴い、近年利用が拡大している。これらの手法に基づく計測、解析、応用事例について、両者の特徴を体系的に整理し、調査報告としてまとめた事例は、本委員会におけるまとめが世界初である。本委員会の活動を推

進することにより得られる効果は、以下の通りである。

- (1) 誘電・絶縁材料技術分野の活性化、学術的発展
- (2) 若手研究者・技術者への学術・技術伝承の促進
- (3) 誘電・絶縁材料技術が関わる産業分野の発展・進展

参考図書

- (1) 電気学会技術報告 第 607 号 「誘電・絶縁材料の高電界現象と空間電荷」(1996 年)
- (2) 電気学会技術報告 第 834 号 「誘電・絶縁材料の空間電荷分布計測法と標準化」(2001 年)
- (3) 電気学会技術報告 第 1367 号 「PEA 法による空間電荷分布計測手法の新展開」(2018 年)
- (4) 電気学会技術報告 第 1491 号 「高温下における PEA 法を用いた空間電荷分布測定の校正法標準化と PEA 法の応用測定技術」(2020 年)

5. 調査期間

令和 6 年(2024) 6 月～令和 9 年(2027) 5 月

7. 活動予定

委員会	4 回/年
幹事会	2 回/年

8. 報告形態(調査専門委員会必須)

技術報告書の作成をもって成果報告とする。

以上