

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560338

研究課題名(和文)汚損湿潤面における局部放電の発光スペクトル特性に対する電解質の影響

研究課題名(英文)Influence of electrolyte on the characteristics of the emission spectrum from the local discharge on the electrolytic surfaces

研究代表者

山下 敬彦(YAMASHITA, Takahiko)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：50182499

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：汚損・湿潤を受けた場合の放電現象の解明と関連して、前駆現象である局部放電について検討を行った。滞留性局部放電と進展性局部放電の発光スペクトルを観測し、電解質に起因するスペクトルならびに窒素分子のスペクトル分布から求めた放電空間の温度から放電形態について議論した。また、電解質を変化させて電解質の影響について検討した。その結果、いずれの場合も電流値が大きい場合にはアーク状の放電形態をとり、電流値が小さい場合にはグロー状の放電形態をとることを明らかにした。ただし、電流値が小さい場合には一時的にアーク状の放電形態をとることがあると推定した。また、放電空間の温度に対する電解質の影響が若干認められた。

研究成果の概要(英文)：Local discharge which is a prebreakdown phenomenon was investigated in relation to clarification of discharge phenomena under wet polluted condition. Emission spectra of the retentional local discharge and the progressive local discharge were observed, and the discharge phase was discussed from the spectrum due to the electrolyte and the temperature of the discharge space. The temperature was estimated from spectral distribution caused by nitrogen molecule. Furthermore, influence of the electrolyte was discussed. As a result, it was found that the local discharge took arc-like discharge phase when the discharge current was relatively large and it took glow-like discharge phase when the current was relatively small in both cases of the local discharges. However, the local discharge when the discharge current was relatively small was estimated that it took arc-like discharge phase temporarily. Influence of electrolyte to the temperature of the discharge space was recognized but small.

研究分野：高電圧工学

キーワード：汚損沿面放電 滞留性局部放電 進展性局部放電 スペクトル 温度 放電形態

### 1. 研究開始当初の背景

電気エネルギーシステムでは、自然環境の影響を大きく受ける外部絶縁の性能がシステムの安全性・安定性・経済性を決定する。なかでも、絶縁物表面における放電現象がシステムの性能を決定する場合が多い。そのため、古くから国内外で絶縁物表面における放電現象(沿面放電)について様々な研究が実施されてきた。しかしながら、沿面放電は複雑な現象であり、その全容解明に至っていない。

一方で、外部絶縁材料は時代とともに変化し、従来用いられてきた磁器(あるいはガラス)に加えて、シリコン等の有機(ポリマー)材料が用いられるようになってきた。これに伴い、従来外部絶縁に求められてきた沿面破壊特性に加えて、材料の放電劣化特性も求められるようになってきている。また、時代とともに汚損環境も変化しており、塩汚損に加えて、工業汚損、農業汚損(農薬、肥料等)も問題化している。しかしながら、各種汚損条件下で沿面放電が絶縁材料に及ぼす影響等については十分に明らかにされていない。

外部絶縁材料の沿面破壊特性ならびに絶縁材料の劣化特性のいずれの観点からも外部絶縁の適正化・高度化を進めるためには、絶縁物表面における放電現象、特に汚損・湿潤を受けた場合の放電現象の解明が必要とされている。

### 2. 研究の目的

汚損・湿潤を受けた絶縁物表面における絶縁破壊の前駆現象として現れる局部放電の発光スペクトルを観測し、電解質に起因するスペクトルの有無について調べる。また、局部放電の発光スペクトルに含まれる窒素分子からのスペクトルから放電空間の温度を推定する。得られる結果とこれまで得ている電流分布特性・電極降下特性等を含めて、局部放電のメカニズムについて総合的に検討することにより、各種汚損環境下の絶縁物表面における放電現象の解明に寄与することを目的としている。

著者はこれまでに、塩化カリウム水溶液面における進展性の局部放電について検討を行っており、進展性の局部放電の電極降下等を明らかにしている。また、前課題(電解質溶液面における局部放電からの電流分布および電極降下に対する電解質の影響)において、進展性の局部放電はグロー放電の特質とアーク放電の特質を併せ持つと推定した。本研究では、局部放電の発光スペクトルと放電空間の温度からこの点について検討する。

### 3. 研究の方法

滞留性の局部放電と進展性の局部放電についてそれぞれ実験装置を製作して実験を行った。

滞留性の局部放電の場合、図1に示すように、ガラスろ紙に電解質水溶液を含ませて電

極とし、電極間に交流電圧を印加して滞留性の局部放電を発生させ、スキニング機能を用いた CCD タイプの分光器を用いて滞留性の局部放電の発光スペクトル分布の観測を行った。また、光学フィルタを用いて、電解質に起因する発光スペクトルの分布の観測を行った。数種類の電解質(塩化カリウム、塩化ナトリウム、塩酸、塩化マグネシウム)を用いた。

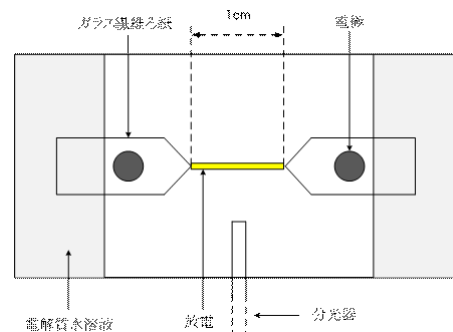


図1 滞留性局部放電の実験装置の概略図

進展性の局部放電の場合、図2に示すように、箱型容器に入れた電解質水溶液の液面上部に針電極を設置し、箱型容器の一つの面を平板電極とした電極系を用いて、針電極に正極性インパルス電圧を印加して局部放電を発生させ、実験を行った。局部放電の発光については、滞留性の局部放電の場合と同様にして進展性の局部放電の発光スペクトルを観測した。

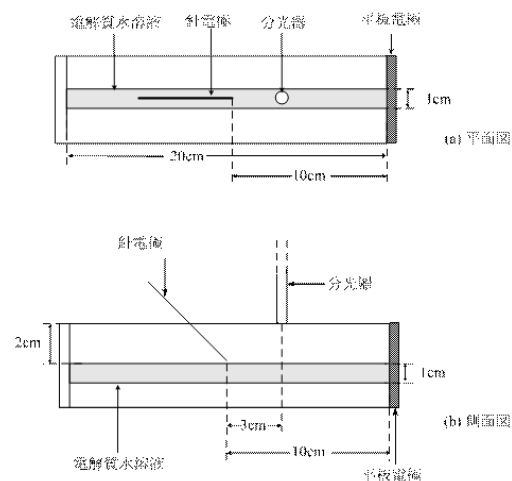


図2 進展性局部放電の実験装置の概略図

滞留性の局部放電ならびに進展性の局部放電の発光スペクトル特性および発光スペクトルにおける窒素分子の発光スペクトル $N_2$  2PB ( $N_2$  second positive band) を観測し、理論計算から得られる特性に対してフィッティングを行い、放電空間の温度の推定を行った。図3に予め、観測系の装置関数を考慮して求めた $N_2$  2PBのスペクトルの計算結果を示す。

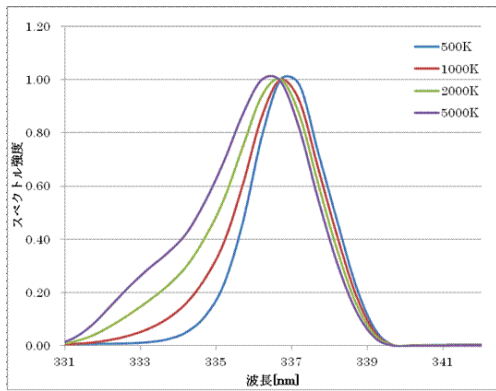


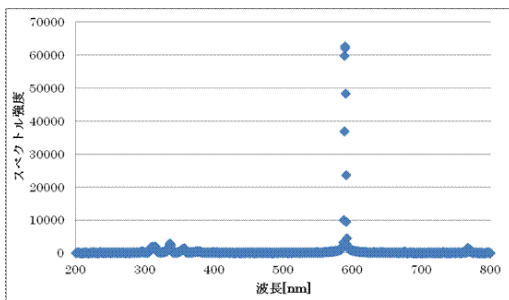
図3 N<sub>2</sub> 2PBのスペクトル分布の計算結果

以上の実験で得られた局部放電の放電空間の温度と著者がこれまでの研究で得た液面での電流密度ならびに局部放電の電極降下とを総合的に勘案して局部放電の放電機構について検討した。なお、著者のこれまでの研究では比較的抵抗率の高い場合の電解質水溶液について検討を行ってきた。本研究においては比較的抵抗率の低い領域まで実験を行った。

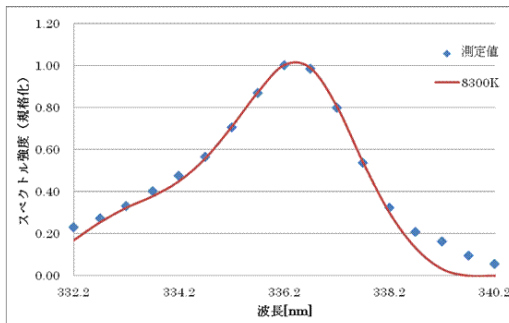
#### 4. 研究成果

##### (1) 滞留性局部放電

制限抵抗を用いて電流を変化させて滞留性局部放電の発光スペクトルの観測を行った結果、電流が大きい場合(8~9mA程度)では、塩酸を除くいずれの場合も電解質に起因する発光スペクトルが観測され、放電空間の温度は8000K以上であった。図4に塩化ナトリウムを用いた場合の滞留性局部放電の(a)発光スペクトル特性と(b)放電空間の気体温度のカーブフィッティングの結果を示す。



(a) 発光スペクトル特性



(b) 放電空間温度のカーブフィッティング

図4 滞留性局部放電のスペクトル特性(塩化ナトリウムの場合)

一方、電流が小さい場合(3~4mA程度)では、電解質に起因する発光スペクトルが観測されたが、放電空間の温度は表1に示すように2000~3000Kであった。

表1 滞留性局部放電の放電空間の温度

電解質水溶液	電流 [mA]	温度[K]
NaCl	3.62	2500
	8.94	8300
KCl	3.83	3000
	8.94	11700
HCl	3.83	2000
	8.72	8000

また、電流が大きい場合には、いずれの場合にもナトリウムの発光スペクトルが観測されたが、ガラス紙の溶融に起因するものであると判断した。以上より、滞留性放電の様相は電流によって変化し、電流が小さい場合はグロー状あるいはストリーマ状の放電形態をとり、一時的にアーク状の放電形態をとると考えられる。なお、電解質によって放電空間の温度が若干異なることから、電解質が放電空間の温度に影響していると考えられる。一方、電流が大きい場合、滞留性の局部放電は放電空間の温度からアーク状になると判断した。

##### (2) 進展性局部放電

進展性の局部放電の場合も制限抵抗を用いて電流を変化させて局部放電の発光スペクトルの観測を行った。なお、塩酸の代わりに塩化マグネシウムを用いた。また、電解質の濃度を変化させて電流値を変化させた。

塩化ナトリウムの場合について、図5に電圧電流波形の例を示す。

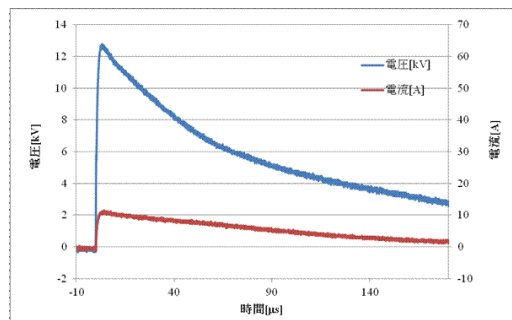
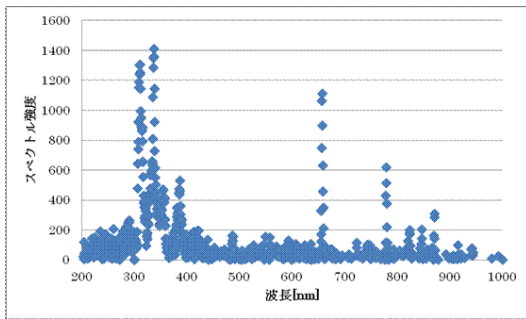
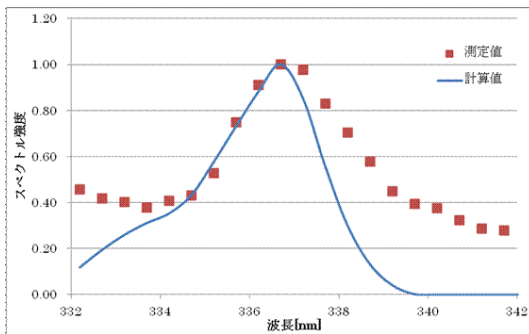


図5 進展性局部放電の電圧電流波形

また、図6に発光スペクトルと放電空間の温度のカーブフィッティングの例を示す。図は、電解質水溶液の抵抗率が高く(81 cm)電流が小さい(10A程度)場合であり、電解質に起因する発光スペクトルは観測されず、気体温度も2500~5000Kであることが分かった。したがって、電流が小さい場合、進展性の局部放電はグロー状あるいはストリーマ状の放電形態をとると考えられる。



(a) 発光スペクトル特性



(b) 放電空間温度のカーブフィッティング  
図6 進展性局部放電のスペクトル特性（塩化ナトリウムの場合）

図6(b)から分かるように、窒素の発光スペクトルは滞留性局部放電の場合と比べて広がっており、放電空間の温度の推定の精度に課題があることが判明した。

電解質水溶液の抵抗率が低く（20 cm）電流が大きい（20A程度）場合、塩化ナトリウム以外の電解質の場合は電解質に起因する発光スペクトルは観測されなかったが、表2に示すように、放電空間の温度が8000K以上であることおよび水素の発光スペクトルが観測されたことなどから、アーク状の放電形態をとっていると考えられる。塩化ナトリウムの場合は電解質に起因する発光スペクトルが観測され、フィルタを用いた観測でも放電空間全体にわたってナトリウムの発光が認められ、アーク状であることは明確である。

表2 進展性局部放電の温度（平均）

電解質水溶液	抵抗率 [Ω・cm]	温度[K]
NaCl	81	4600
	20	11000
KCl	81	2700
	20	9000
MgCl <sub>2</sub>	81	4000
	20	12200

(3) 研究成果のまとめ

これまで滞留性の局部放電はアーク状とされてきたが、本研究により、電流値によっ

てはグロー状あるいはストリーマ状の放電形態をとることが明らかになった。進展性の局部放電については、これまで著者は主に比較的電流の小さい場合について電流密度、電極降下ならびに放電空間の温度に関する研究を行い、グロー状の放電形態であるとの見解を得ている。本研究で進展性の局部放電の場合も電流が比較的大きい場合にはアーク状の放電形態をとることを明らかにした。

本研究では、当初の目的は一応達成されたが、実験ごとのばらつきが大きく、放電空間の温度計測の精度に課題があることが見出された。今後、温度計測の精度について追加の研究を行う予定である。また、本研究で、電解質の種類と電流値の双方が放電状態に影響を与えていることを示唆した。電流値の影響については、後改めて研究を計画する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計1件)

1. 溝口智也, 山田隆二, 古里友宏, 藤島友之, 山下敬彦, 「ドライバンドアークの発光スペクトルと気体温度」電気学会放電, 誘電・絶縁材料, 高電圧研究会, 研究会資料 ED-15-005, DEI-15-005, HV-15-005, 2015.1, 2015年1月29日, 九州大学伊都キャンパス (福岡県福岡市西区元岡)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 敬彦(YAMASHITA, Takahiko)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号:50182499