

Vacuum Insulation

—真空絕緣—

研究対象

○ 真空遮断器 (Vacuum Circuit Breaker: VCB)



早川研で所有している145 kV級GISです。
実際のGIS内部にも事故電流の遮断を目的として真空遮断器が使用されています。

真空絶縁の研究では、真空遮断器(VCB)を研究対象としています。
VCBは電力系統において落雷などによって大きな電流が変電設備に流れ故障しないために、事故電流の遮断を行います。遮断器には絶縁・消弧媒体として、真空以外にもガスが用いられることも多いです。

真空絶縁の特徴



環境にやさしい SF₆代替技術の探求

SF₆ガス

- ・ 絶縁・消弧能力  
- ・ 環境適合性 



絶縁性能が高く、高電圧領域で広く用いられてきたが、CO₂の25200倍の温室効果があるため、将来的にはなくしていく方向性

真空

- ・ 絶縁・消弧能力 
- ・ 環境適合性 

絶縁性能が高く、環境適合性も高いため、中・低電圧領域では主流
さらに、ガスと異なりガス吹き付け機構が必要ないためメンテナンスも簡便

空気

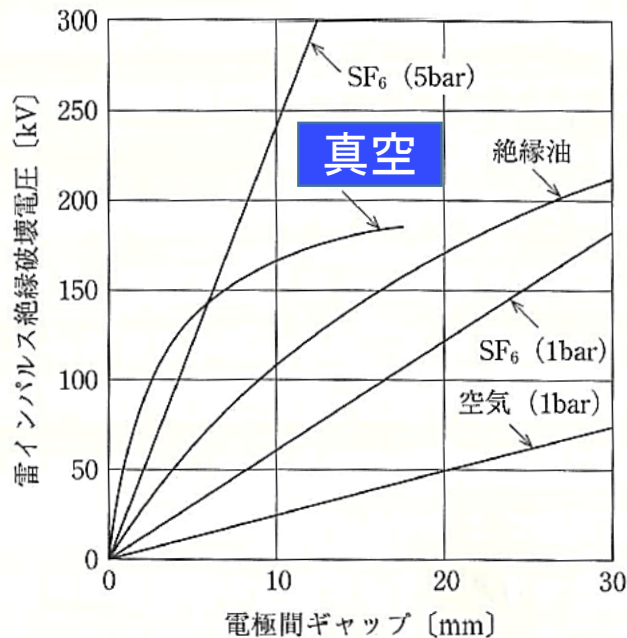
- ・ 絶縁性能 
- ・ 環境適合性 

入手難易度が低く、コストも低いため古くから用いられてきたが、絶縁性能が低いため新製品は少なかった
しかし、環境適合性が高いため近年再注目

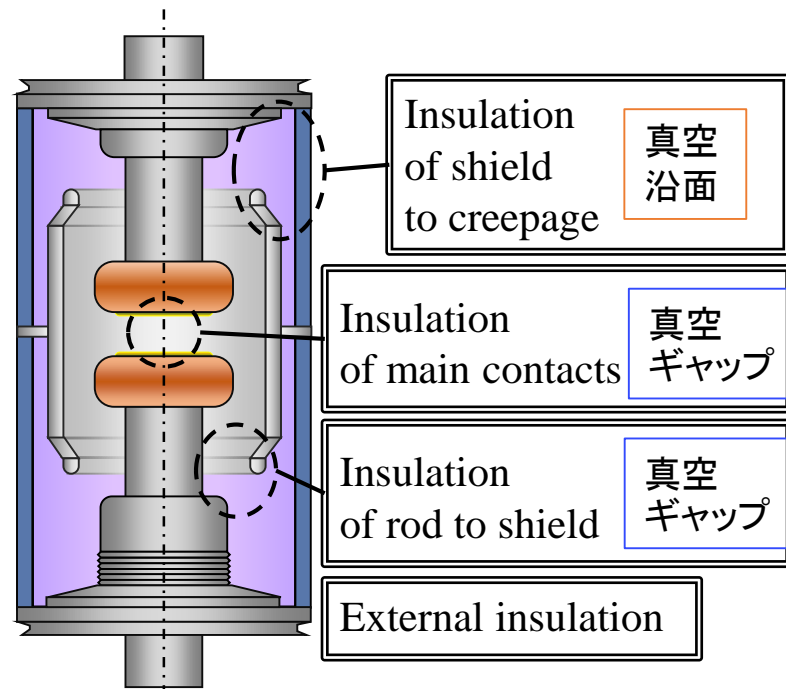
電力用遮断器に用いられる絶縁・消弧媒体としては真空以外にもSF₆や空気といったガスが存在します。真空は優れた絶縁耐力・消弧能力を持ちながら、環境適合性が高いため、100 kV以下の中・低電圧領域で広く用いられています。

真空バルブ

平等電界下における絶縁破壊電圧の比較



大久保 仁, "高電界現象論 基礎と応用",
オーム社, pp.106, 2011

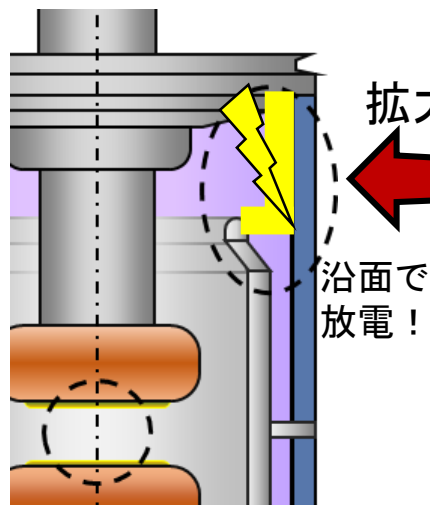


真空遮断器の遮断ユニットである
真空バルブの内部構造

真空は短いギャップ長では極めて高い絶縁耐力のため、絶縁・消弧媒体として広く用いられてきました。真空バルブのさらなる高電圧化には、真空沿面・真空ギャップの絶縁耐圧向上が必要不可欠です。私たちは真空沿面・真空ギャップ両方の研究をしています。

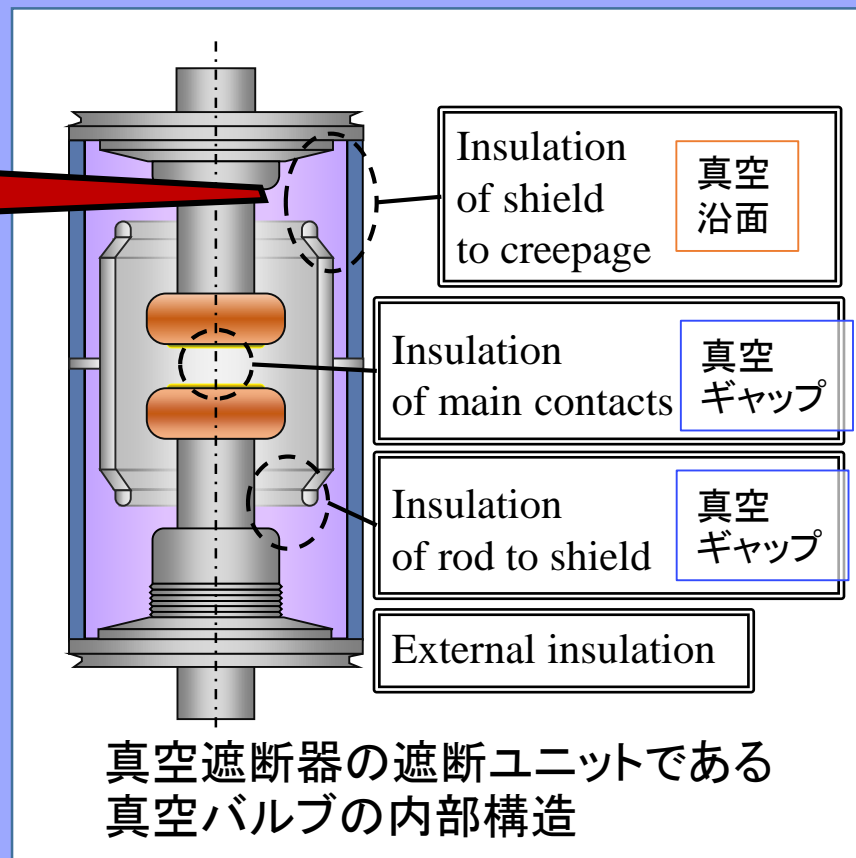
真空中沿面放電

沿面放電の画像
(早川研撮影)



拡大

沿面で
放電!



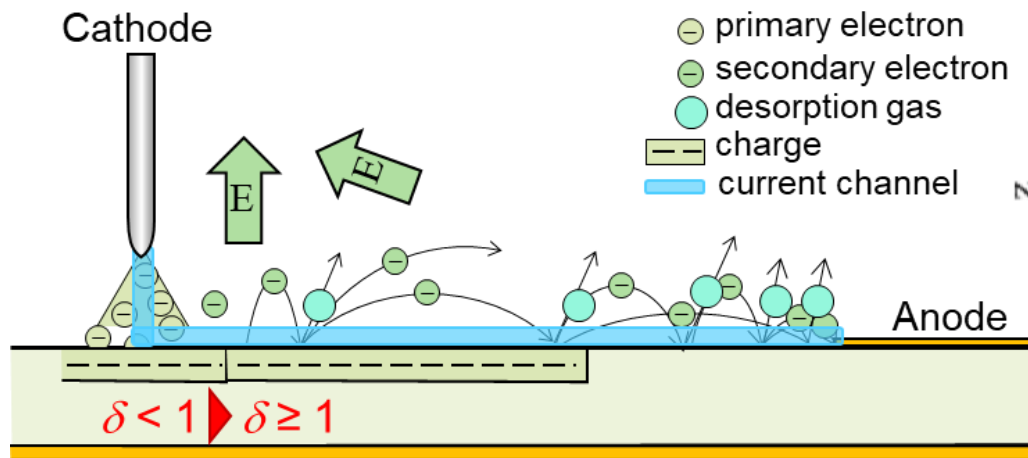
真空中沿面放電

固体で沿面放電するため、真空ギャップよりも絶縁耐圧が低い

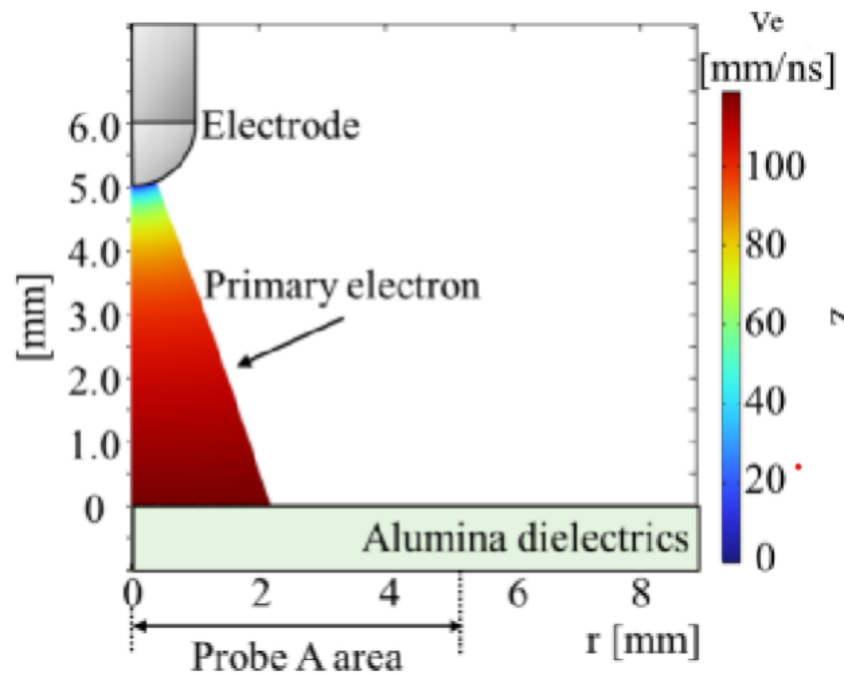
真空中の沿面放電は、同じギャップ長のギャップ放電と比べて絶縁耐圧が低いため、真空バルブ内部の絶縁上の弱点となります。また、真空沿面では、材料特性や2次電子放出、帯電、脱ガスといった複数の因子が相互に影響するため、その物理現象は極めて複雑です。

真空中沿面放電研究内容

真空中沿面放電における、初期帯電・
2次電子なだれ過程



電子追跡シミュレーション

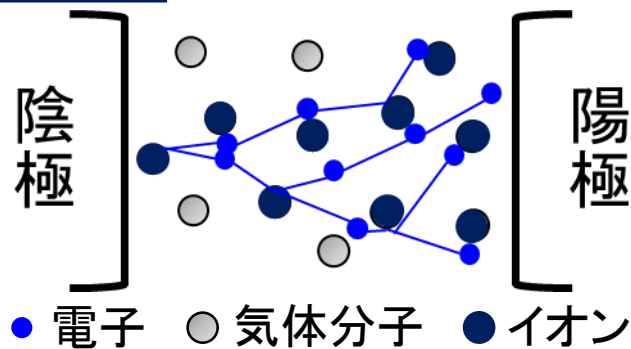


杉浦 拓真 他: 令和5年電気学会全国大会, 1-074, (2023)

真空中の沿面では、陰極から放出された電子が固体表面に衝突し、2次電子が放出されます。この2次電子放出が繰り返されなだれ的に電子が増倍することで絶縁破壊に至ります。私たちは、沿面放電の初期進展メカニズムを電子追跡シミュレーションによって研究しています。

真空ギャップの絶縁破壊メカニズム

空气中

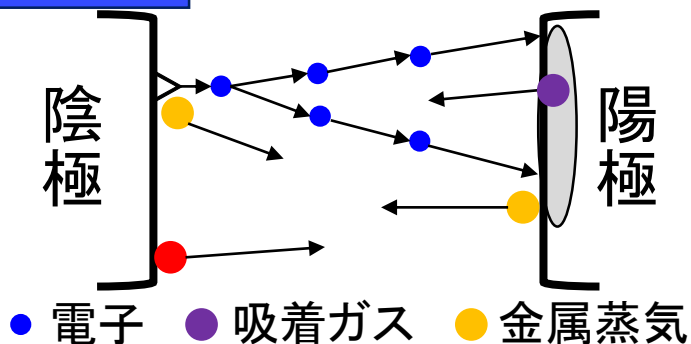


- ✓ エネルギーが電極間の電子へ寄与
- ✓ 電子が衝突した気体分子がイオン化
- ✓ 電子やイオンが増殖



電極間に存在するキャリアが要因

真空中



- ✓ 陰極表面から電界電子放出
- ✓ 吸着ガスや金属蒸気が発生
- ✓ 脱離した異物(クランプ)が電極間に供給

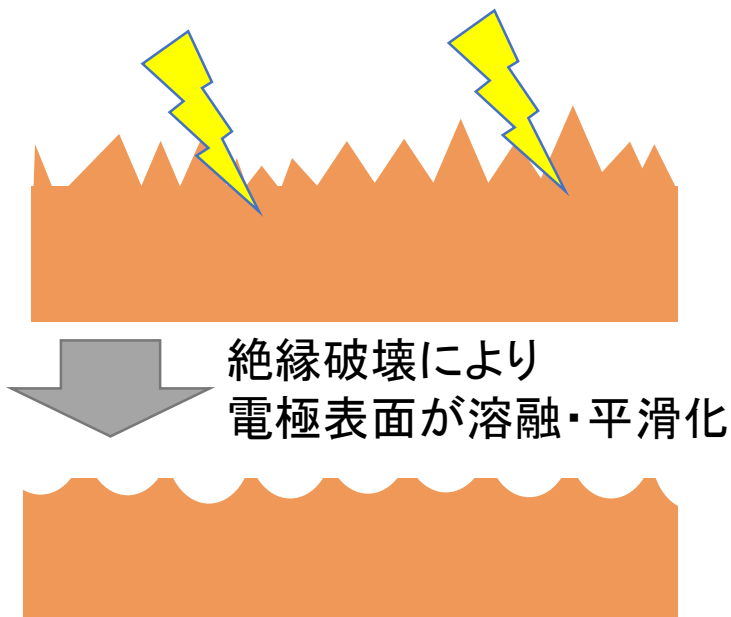


電極表面からの粒子供給が要因

空気などのガス中の放電はガス分子など電極間に存在するキャリアが要因となって絶縁破壊します。一方、真空中では電極表面の溶融による金属蒸気など、電極表面からの粒子供給が要因となります。そのため、真空中の絶縁破壊現象は電極表面状態が非常に重要です。

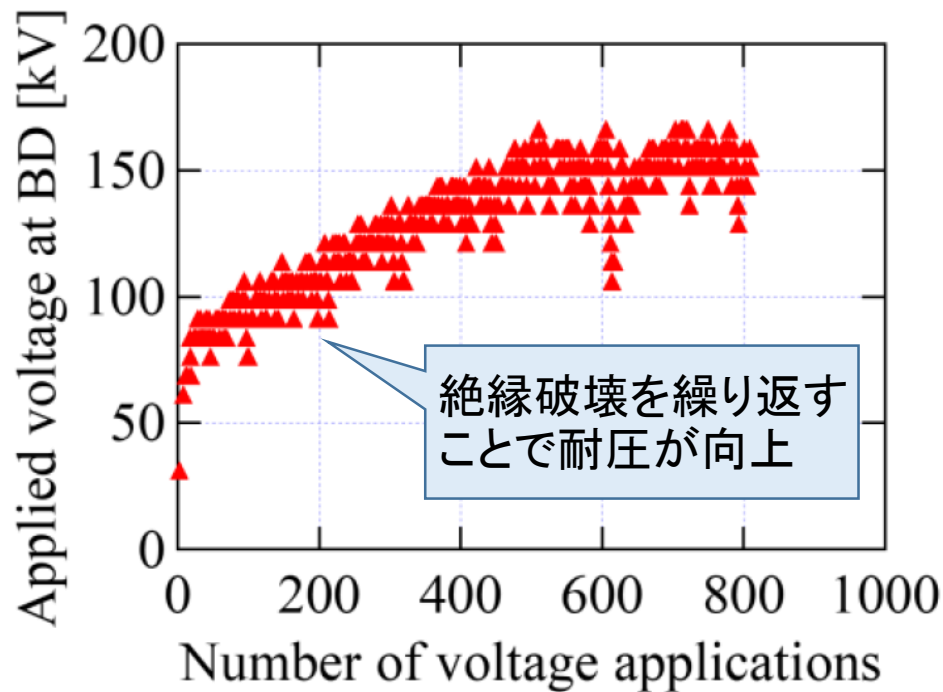
真空中コンディショニング

コンディショニング効果



絶縁上の弱点(突起)が
溶融し絶縁耐圧向上

コンディショニング効果の実験例



Naoki Kita et al.:29th ISDEIV, A1-P1-255, (2021)

真空中の絶縁耐圧向上手法として、コンディショニング効果が産業的にも広く用いられています。コンディショニングとは、電極間で絶縁破壊を繰り返すことで、電極表面が溶融し平滑化させることで絶縁上の弱点(微小突起)が除去され、絶縁耐圧が向上する効果です。

研究内容(コンディショニング効果)

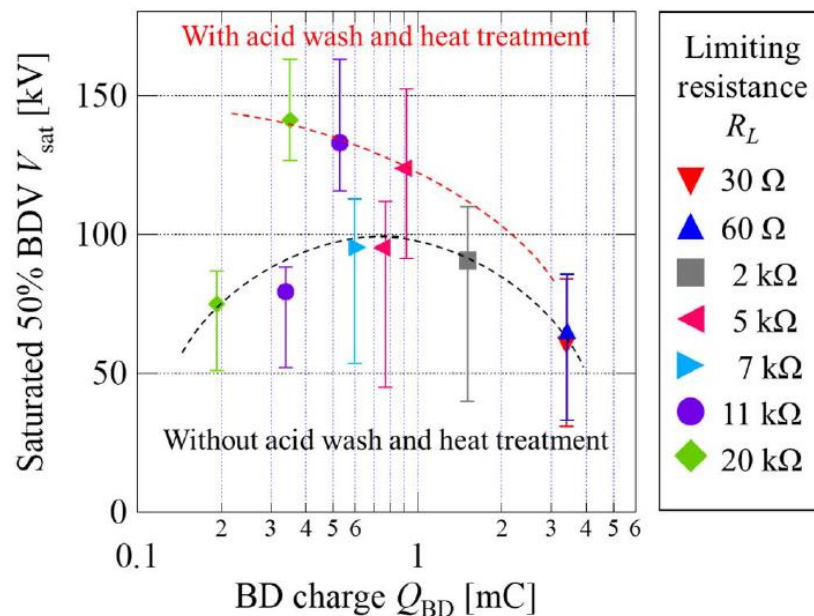
コンディショニングの影響因子

- ・電極材料(比熱, 融点etc.)
- ・コンディショニング条件(放電電荷量, 周波数etc.)
- ・初期状態(粗さetc.)
- ・電圧印加方法(昇圧方法etc.)

複数の因子が相互に影響するため, 極めて複雑

➡ 早川研では, 上記すべてのパラメータについて検討!

放電電荷量と絶縁破壊電圧の関係



Naoki Kita et al.: IEEE TDEI, Vol.29, No.3, pp.1160-1166, (2022)

コンディショニング効果には, 電極表面状態だけでなく電極材料や放電電荷量など複数の因子が存在します. 早川研では, これらのパラメータが最終的な絶縁破壊電圧に与える影響を研究し, 真空遮断器の高電圧化への貢献を目指しています.