

機関番号：37111

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560283

研究課題名（和文）

高電圧機器外部電気絶縁耐力の異常低下に与える炭酸ガス濃度効果

研究課題名（英文）

Effects of Carbon Dioxide Content on an Abnormal Fall in Atmospheric
Outside-dielectric Strength of High-voltage Power Equipment

研究代表者

西嶋 喜代人（NISHIJIMA KIYOTO）

福岡大学・工学部・教授

研究者番号：40117205

研究成果の概要（和文）：

本研究は、大気を構成する CO₂、H₂O ガス様な微量ガスが電気絶縁性能に与える影響を、大気圧の不平等電界キャップで調査した。印加電圧は、直流送電と交流送電を考慮して、正極性と負極性の直流電圧と交流電圧である。今回の結果から、CO₂ と室空気を混合した気体の火花破壊電圧は、CO₂ 濃度を極めて少ない約 0.2% へ上昇すると、空気での値の 50% 以下に低下することを見出した。

研究成果の概要（英文）：

The present study has been investigated the effects of the small amount gases such as CO₂, H₂O composed air on the electric insulation performance with the non-uniform electric field gap at atmospheric pressure. The kind of applied voltage is a dc voltage with positive or negative polarity and an ac voltage in consideration of the dc and ac power transmissions. From the present results, the sparkover voltage in CO₂ and room air gas mixtures was found decreasing drastically below the half of that in room air when rising to about 0.2% with extremely little CO₂ density.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：(1)地球温暖化、(2)微量炭酸ガス、(3)火花放電特性、(4)絶縁耐力低下
(5)放電メカニズム、(6)気体温度、(7)分光診断、(8)コロナ放電

1. 研究開始当初の背景

電力系統の送配電設備・受電変電機器には高電圧導体が直接大気空気に触れる外部電気絶縁システムが多く存在する。その外部電気絶縁ギャップは準平等から不平等な電界分布を有し、火花放電特性と破壊過程も複雑で、絶縁耐力を理論予測できる段階にはない。

また、気温、気圧、湿度の大気条件で変動する火花破壊電圧は、その実測値に試験電極配置に依存した経験則に基づく空気密度補正と湿度補正が実施され、評価されている。

さらに、大気空気の構成ガス成分(N₂、O₂、H₂O、Ar、CO₂)の混合率と火花破壊電圧(絶縁耐力)との関係は、特定の混合率とあまり実用的でない2cm以下の短いギャップについて調べられているのみである。

しかし、地球温暖化に伴う大気中の微量なCO₂ガス濃度の上昇が次のような不平等電界ギャップの電気絶縁耐力の異常低下を招く可能性があることは一般に知られていない。

○大気圧の合成空気(N₂/O₂:水分を含まない)の正極性直流火花破壊電圧は、CO₂を7550ppm(0.75%)混合すると88.3kVから33.7kVへ異常に低下する。(ギャップ長6.25cm)

○同一電極配置での室空気(約400ppmのCO₂と水分を含む)の直流正極性火花破壊電圧は、CO₂を2400ppm(0.24%)混合すると68.0kVから32.6kVへ異常に低下する。

2. 研究の目的

今後の大気中のCO₂濃度の上昇で既存の電力系統機器の外部電気絶縁耐力が異常に低下し安定な電力輸送に支障をきたす可能性を有る。そこで、本研究の目的は、電気絶縁性能(火花破壊電圧)の異常低下の要因を探るために、大気圧の空気の構成ガスを系統的

に混合して、ギャップの長さ6.25cmの棒対平板ギャップの火花破壊特性とその放電メカニズムに与える微量ガスの役割を明らかにすることである。

3. 研究の方法

[1]大気圧の各種空気の構成ガスの不平等電界ギャップ(棒-平板電極配置)の直流正極性火花破壊特性に与える効果

本研究では大気圧空気的主要な構成気体であるN₂ガスへの微量ガスの混合と空気への微量ガスの混合が、正極性直流火花破壊特性に与える効果を調査した。その結果は次のようなものである。

(1) N₂/H₂O混合ガスの場合、バーストコロナ開始電圧V_{bc}は、H₂O混合率X_{H₂O}の増加に伴い緩やかに減少する。一方、Air/H₂O混合ガスの場合は、X_{H₂O}の増加に対しコロナ開始電圧は殆ど変化しない。

(2) N₂/H₂O混合ガスの場合、X_{H₂O}=0.13%からX_{H₂O}=0.17%へ僅かに増加することによって、火花破壊電圧V_fが急激に上昇する。一方、Air/H₂O混合ガスの場合はX_{H₂O}の増加に対し緩やかに減少する。

(3) X_{H₂O}の増加は、バーストコロナ(BC)発生後の電流の持続時間を減少する。

(4) O₂ガスは、ストリーマコロナSCの進展長を抑制し、O₂ガスとH₂O蒸気はストリーマコロナの分岐数を抑制する。

(5) H₂O蒸気は、定在膜状グローコロナ(GC)発光強度を低下する。

(6) X_{H₂O}の増加は、GC放電電流Iの値を減少する。

(7) GC領域におけるV_fの低下にはX_{H₂O}の増加に伴って現れる電流の脈動と電流リップルが関与していると考えられる。

(8) 合成空気の火花破壊電圧が高い理由は、

N₂/O₂ 混合ガスのコロナ放電によって効率よく NO ガスが生成することによる。しかし、H₂O ガスの混入は電離電圧の低い NO を生成を抑制し、定在グローコロナ放電の安定化を抑制することで、火花破壊電圧の低下を招くと考えられる。

[2]大気圧の空気/CO₂混合ガスの直流電圧と交流電圧での火花破壊特性の比較

送電に利用される正極性と負極性の直流電圧と交流電圧下での高電圧不等電界ギャップの大気中のCO₂濃度の変化が電気絶縁耐力へ与える影響について調べた。特に、CO₂ガスを絶縁ガスとして使用可能であるかを検討するために、直流電圧(正極性、負極性)と交流電圧の電気絶縁耐力を調べた。

さらに、合成空気(N₂:79%,O₂:21%)にCO₂を0~100%広範囲に混合して、大気中のCO₂ガス濃度が火花破壊特性とその放電現象に与える効果も検討した。

これらの主な実験結果を要約する次のようになる。

(1) 各種電圧での合成空気/CO₂混合ガスの火花破壊特性の関係

合成空気にCO₂ガスを微量の0~2%混合することによって、直流電圧と交流電圧の火花破壊電圧V_sはX_{CO₂}の上昇で大きく低下する。特に、正極性直流電圧の場合では、X_{CO₂}=0.75%から0.76%まで僅かなX_{CO₂}の変化で、V_sは54.3kVから33.7kVへ急激に低下する。

X_{CO₂}=100%のCO₂ガスの場合、正極性火花破壊電圧V_sはX_{CO₂}が80%から100%へ近づくに伴って上昇するが、負極性火花破壊電圧と交流火花破壊電圧は逆に大きく低下する。

(2) 放電モードと火花破壊特性の関係

交流電圧での火花破壊電圧V_sを決める放電発光は、0%<X_{CO₂}≤80%の範囲では交流電圧の正サイクルと正極性直流電圧の類似した放電発

光であり、80%<X_{CO₂}≤100%(CO₂のみ)の範囲になると、その放電発光は交流電圧の負サイクルと負極性直流電圧の類似した放電発光である。

ある同一のCO₂混合率の合成空気/CO₂混合ガスでは、印加電圧の種類に関係なく最小火花破壊電圧を与える放電モードは次のように分類される(表2.1)。

(3) 正極性直流放電と交流電圧の正サイクルの放電の相違

合成空気/CO₂混合ガス(X_{CO₂}=2%)の交流電圧と正極性直流電圧での火花破壊の放電メカニズムの相違は次のようなものである。

正極性直流電圧では、高周波のパルス性線状チャンネルが発生する。一方、交流電圧の正サイクルでは、グローコロナGCと数発の正ストリーマコロナSCが各周期ごとに発生する。交流電圧の場合では、放電チャンネルの導電性が低く、放電チャンネルの気体加熱も抑制されることで、火花破壊電圧の大幅な低下を招かないと考えられる。特に、この放電モードの違いは、主に時間的に一定の電圧が加わる直流電圧に対して、時間的に極性反転に変化する電圧が加わる交流電圧であることに起因する。

(4) CO₂ガスの絶縁ガスの可能性

負極性直流電圧(直流送電)と交流電圧(交流送電)では、電気絶縁耐力の大幅な減少が予想される。従って、CO₂ガスを直流電圧又は交流電圧の絶縁ガスとしての導入は難しいと考えられる。

[3]大気中空気コロナ放電の気体温度計測

大気圧空気中の正極性定在グローコロナと、このグローコロナから10Hzの頻度でパルスレーザでトリガーしたストリーマコロナの気体温度を高いS/N比の分光システムで測定した。それらの結果より、次のことが分か

表 2.1 合成空気/CO₂混合ガスの火花放電過程

X _{CO₂} の領域	火花破壊過程
0% ≤ X _{CO₂} < 0.76%	正グローコロナ GC の状態から破壊ストリーマ BS が発生して、火花破壊に至る
0.76% ≤ X _{CO₂} < 20%	正ストリーマコロナ SC が間欠的に発生進展して、火花破壊に至る
20% ≤ X _{CO₂} ≤ 80%	正極性線状チャネル Lch が間欠的に発生進展して、火花破壊に至る
80% < X _{CO₂} ≤ 100%	負極性定在グローコロナが進展して、平板に到達することで破壊に至る

った。

大気圧空気の一次ストリーマと二次ストリーマを含む放電プラズマ相の気体温度の高精度計測は、長年の課題であった。本研究は、高精度の分光計測システムの構築によって、大気圧空気の定在グロー、一次ストリーマ、そして二次ストリーマの気体温度が、各々 316~356 K, 335~350 K そして 370~390 K であることを初めて明らかにした。

4. 研究成果

得られた主な結果は次のようなものである(図1参照)。

- (1) 大気を構成する主なN₂ガス(78%)に、N₀ガスを1%程度混合すると正極性直流の火花破壊電圧はN₂ガスの値の2.7倍程度まで急激に増加した。また、O₂ガスを22%程度混合すると乾燥空気(H₂O吸着処理)と等しい3.0倍程度まで徐々に上昇した。N₀ガスを0.01%、O₂を0.1%混合すると、N₂ガスのコロナ開始時のパルス性ストリーマコロナはコロナ安定化作用の強い定在グローコロナへ移行する。なお、負極性直流の火花破壊特性はH₂OとN₀混合で正極性直流のものと同様な傾向を示した。
- (2) 一方、合成空気(N₂:79%/O₂:21%)に微量のArガス、H₂Oガス、CO₂ガスをそれぞれ混合する割合を増やした場合、N₂ガスとの混合とは逆に正極性直流

火花破壊電圧が低下した。この時、合成空気にArガス又はH₂Oガスを0~2%の割合で増加した場合、その火花破壊電圧は合成空気のものより僅かに低下した。しかし、合成空気、水分を脱気した乾燥空気、そして水分を含む室空気に1%以下の微量のCO₂ガスを混合すると、正極性直流火花破壊電圧は空気の値の半分以下に、また交流火花破壊電圧も空気の値から30%以上と大幅に低下した。なお、負極性電圧を印加した場合には、空気に微量のCO₂ガスを混合した場合、空気のものとは比べて僅かな火花破壊電圧の低下のみが確認された。

- (3) 特に、空気に微量のCO₂ガスを0.2~0.8%混合した場合の正極性直流火花破壊電圧の異常低下は、コロナ開始時に発生するバーストコロナ放電から直ちにパルス性の正ストリーマコロナ放電となり、そしてコロナ安定化に寄与する定在グローコロナ放電への移行が抑制されることで起こる。すなわち、微量なCO₂ガスを混合するだけで、パルス性の正極性ストリーマコロナの形成と進展が促進され、定在グローコロナへの移行がなくなる。この放電現象は、同様な混合ガスでの交流電圧の正サイクルにも出現する。
- (4) 大気圧空気の定在グロー、一次ストリーマ、そして二次ストリーマの気体温度

が、各々316~356 K, 335~350 K そして370~390 Kであることを初めて明らかにした。特に、火花破壊直前までのストリーマには大きな気体温度の変化は認められなかった。

- (5) 今後の地球温暖化の進行や火災などによる大気中のCO₂ガス濃度の増加は高い絶縁性能を有する送電機器に対する脅威となりうるであろう。

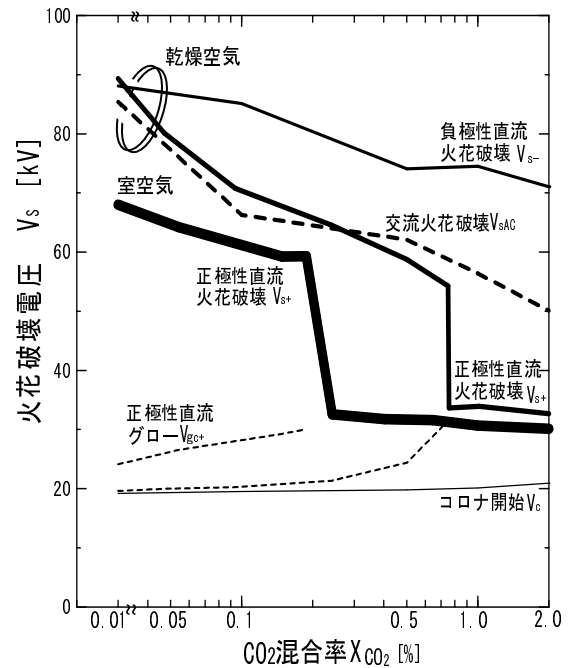


図1 大気中の微量CO₂ガスによる火花破壊電圧の異常低下

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

【雑誌論文】(計2件)

- (1) 西嶋喜代人・泉井裕行・生澤泰二:「大気圧空気ギャップの定在グローとストリーマの気体温度」、電気学会論文誌A、査読有、130巻、10号、pp.983~984(2010.10)
- (2) 西嶋喜代人・樋口裕介・生澤泰二:「直流火花破壊電圧に与えるミリサイズの帯電金属粒子の効果」、電気学会論文誌A、査読有、129巻、11号、pp.834~835(2009.11)

【学会発表】(計15件)

- (1) 才所 純・徳留康彦・真志取秀人・生澤泰二・西嶋喜代人:「大気圧乾燥空気

／CO₂混合ガスでのパルス性コロナ放電の気体温度」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集(九州産業大学)、5-1P-04(2010.9.25)

- (2) 小泉裕太・生澤泰二・西嶋喜代人・真志取秀人:「直流球対平板ギャップの火花破壊電圧に与える金属粒子帯電と電圧極性効果」、電気学会全国大会講演論文集(明治大学)、1-082(2010.3.19)
- (3) 徳留康彦・泉井裕行・真志取秀人・生澤泰二・西嶋喜代人:「低気圧合成空気中正極性直流定在グロー放電の分光画像」、電気学会全国大会講演論文集(明治大学)、1-086(2010.3.19)
- (4) 中山達也・青山嵩史・Tesu Ro・生澤泰二・西嶋喜代人:「大気中負極性直流火花放電に与える炭酸ガス効果」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集(九州工業大学)、5-2P-05(2009.9.29)
- (5) 中山達也・真志取秀人・生澤泰二・西

- 嶋喜代人：「大気中直流火花破壊に与える炭酸ガス濃度の効果」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（九州産業大学）、5-1P-1（2010.9.25）
- (6) 中山達也・青山嵩史・Tesu Ro・生澤泰二・西嶋喜代人：「大気中交流火花放電特性に与える炭酸ガス効果」、電気学会全国大会講演論文集（明治大学）、1-102（2010.3.19）
- (7) 青山嵩史・Tesu Ro・中山達也・生澤泰二・西嶋喜代人：「合成空気の正極性直流火花放電に与えるCO₂濃度効果」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（九州工業大学）、5-2P-06（2009.9.29）
- (8) Tesu Ro・青山嵩史・生澤泰二・西嶋喜代人：「N₂/CF₃Iガスの正極性直流火花放電に与える微量CF₃Iの効果」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（九州工業大学）、5-2P-07（2009.9.29）
- (9) 泉井裕行・徳留康彦。生澤泰二・西嶋喜代人：「大気圧負極性直流電界ギャップでの負ストリーマのパルス誘導」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（九州工業大学）、5-2P-09（2009.9.29）
- (10) 青山嵩史・江本秀明・Tetu Ro・生澤泰二・西嶋喜代人：「大気中合成空気中の直流火花破壊特性に与えるCO₂ガス効果」、電気学会全国大会講演論文集（北海道大学）、1-032(2009.3.17)
- (11) 泉井裕行・久田一徳・生澤泰二・西嶋喜代人：「大気圧空気中の正ストリーマ気体温度」、電気学会全国大会講演論文集（北海道大学）、1-054(2009.3.19)
- (12) 江本秀明・青山嵩史・ZHE LU・生澤

泰二・西嶋喜代人：「大気中正極性直流火花破壊過程に与える微量CO₂濃度」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（佐賀大学）、05-2A-12（2008.9.25）

- (13) 泉井裕行・久田一徳・生澤泰二・西嶋喜代人：「大気圧合成空気の正極性レーザ誘導ストリーマの気体温度」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（佐賀大学）、05-2A-08（2008.9.24）
- (14) 青山嵩史・江本秀明・ZHE LU・生澤泰二・西嶋喜代人：「大気圧合成空気/CO₂混合ガスの直流放電特性」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（佐賀大学）、05-2A-10（2008.9.24）
- (15) 久田一徳・泉井裕行・生澤泰二・西嶋喜代人：「負極性直流コロナ放電特性に与える湿度の効果」、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集（佐賀大学）、05-2A-11（2008.9.24）

【図書】（計1件）

- (1) 西嶋喜代人・末廣純也：「電気エネルギー工学概論」、朝倉書店(2008.8)
196 ページ

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
西嶋 喜代人 (NISHIJIMA KIYOTO)
福岡大学・工学部. 教授
研究者番号：40117205
- (2) 研究分担者
なし ()
研究者番号：
- (3) 連携研究者
なし ()
研究者番号：