様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　３ 年　 ４ 月 １６ 日現在

機関番号：１３３０１
研究種目：研究活動スタート支援
研究期間：2019～2020
課題番号：１９Ｋ２３５１０

研究課題名（和文）実時間２次元分光測定を用いた真空中金属アークプラズマ減衰過程に関する研究

研究課題名（英文）Study on decaying process of vacuum arc using real-time two dimensional spectroscopy

研究代表者
中野　裕介（Nakano，Yusuke）

金沢大学・電子情報通信学系・助教

研究者番号：６０８４０６６８

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,200,000円

研究成果の概要（和文）：電力用真空開閉器における真空アーク放電の制御のため，本研究は，電極からの金属蒸気により構成される真空アーク減衰過程における金属蒸気挙動，アークプラズマの物性および電流遮断後の電気絶縁特性を明らかにすることを目的とした.
本研究では，真空アーク生成実験系の構築および真空アーク減衰過程の実時間2次元分光測定系の構築を行い，真空アークの自然拡散過程観測のため，IGBTを利用した高再現性・高速応答性を有する実験系を構築した．２次元分光観測結果から，電極材料であるCr，CuおよびCu+の電極間分布を明らかにし，一部のCuは電離してCu+として存在したことから，これらが残留アークの導電性に係ると考えられる.

研究成果の学術的意義や社会的意義
構築した真空アーク減衰過程の実時間2次元分光測定系を用いた研究は国内外で例がないため，本分野の先導的研究となりうる．また，アークプラズマの物性および蒸気拡散メカニズムは蒸発金属材料に依存すると考えられ，電極材料の変更や投入電力の変更などにより電流遮断後の絶縁回復特性の議論が可能となると考えられる.

研究成果の概要（英文）：For the control of vacuum arc discharge in a vacuum switching equipment, this study aims to clarify the behavior of metal vapor in the vacuum arc decay process composed of metal vapor from electrodes, the physical properties of arc plasma, and the electrical insulation characteristics after current interruption.
In this research, experimental setup for vacuum arc generation and a real-time two-dimensional spectroscopic measurement system for the vacuum arc decay process using IGBTs for high reproducibility and high-speed response for observing the diffusion process of vacuum arcs, were constructed. From the two-dimensional spectroscopic observation results, the distribution of electrode materials of Cr, Cu and Cu + between the electrodes was clarified. Since Cu was ionized and existed as Cu +, which can directly be related to electrical conductivity of the residual arc.

研究分野：電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：真空アーク　アーク減衰過程　プラズマ　2次元分光測定　真空遮断器

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

１．研究開始当初の背景

　低炭素社会へのニーズから環境低負荷型の電力機器の開発が求められる．接点電極間が真空で絶縁された電力用真空開閉器，SF6 などの温室効果ガスを用いない環境適合型の電力機器であり，重要な技術課題として接点開極時に発生する真空アーク放電の制御が挙げられる．真空アーク放電は，電極から蒸発した金属により構成される．真空アーク減衰後，電極間の残留プラズマが，電流遮断後の電気絶縁回復特性に影響することが問題である．本研究は，真空アーク減衰過程における電極間の金属蒸気の拡散を観測し，絶縁回復特性に係る真空アークプラズマの物性を明らかにするものである．

２．研究の目的

　真空アーク現象の物理メカニズム解明に向け，真空アーク減衰過程における金属蒸気の挙動および真空アークプラズマの物性を明らかにすることを目的とした．

３．研究の方法

　真空アークの観測が困難である理由に，(i) 真空アークが電極蒸発・損耗などに影響されること，(ii) 真空アークそのものがプラズマであり，流れ場・放射場・乱流現象・壁との相互作用などが複合的に絡み合うこと，などが挙げられる．これらに対し，本研究で取り組む真空アーク減衰過程の実時間 2 次元分光測定は，他の研究機関では行われていない独自の測定手法であり，金属原子・イオンの特定のスペクトルを時空間測定することで真空アークプラズマの物性を一部明らかにできるものと考えられる．本研究における研究手法の独自性は，(i) パワー半導体スイッチングを利用した高再現性・高速応答性を有する実験系の開発，および(ii) 真空アーク減衰過程の実時間 2 次元分光測定系の構築である．図 1 に構築する真空アーク発生回路および実時間 2 次元分光測定系の概略図を示す．本装置を用い，真空チャンバー内に取り付けた電極間に発生する真空アークプラズマの 2 次元分光測定を行う．本実験では，小電流用 DC 電源により試験用真空チャンバー内に真空アークを点弧する (①)．その後，IGBT のスイッチングにより電流を IGBT に転流することで，真空チャンバー内のアークを自然に減衰させる（②)．それぞれの電流は変流器（Current transformer: CT）を用いて測定する．この時，画像分光器および高速度ビデオカメラあるいは ICCD カメラを組み合わせた分光系を用いることで，例えば Cu (521 nm)や Cr (412 nm)などの金属原子の特定の波長における 2 次次元像を取得し，真空アークの減衰過程における金属挙動の検討が可能である．

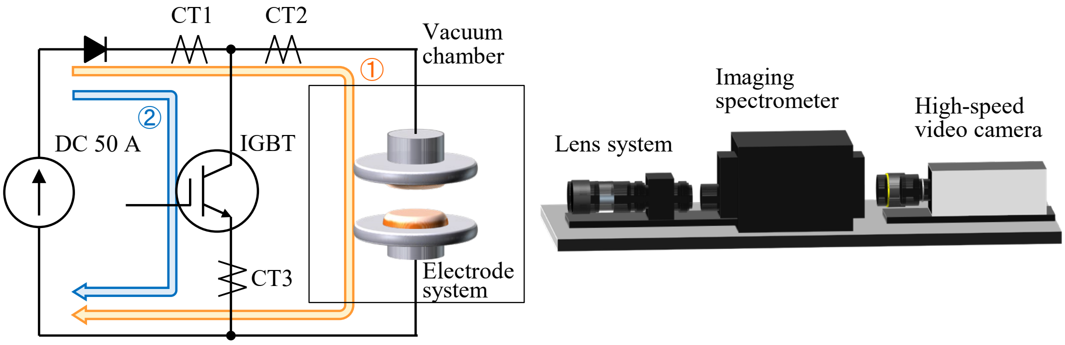


図１　真空アーク発生回路および実時間 2 次元分光測定系

４．研究成果

図 2 に測定したアーク電流の減衰波形例を示す．電流波形において，転流開始時刻を t=0 s とした．同図より，t=40 μs で転流が完了したことがわかる．図 3 に，波形の任意の時刻に対応した銅原子（521.8 nm）の 2 次元分光発光像を示す．同図(a), (b)に示す定常時及び電流減衰初期では，陰極近傍に強い発光が，陽極近傍で弱い発光が見られ，陰極から発生した銅蒸気が陽極側へ輸送されたと考えられる．同図(d)から，電流が流れているにもかかわらず，陰極近傍の発光が弱くなった．時刻 t=35 μs では，発光は観測されず，発光強度が測定下限以下となったことが確認できた．陰極近傍の発光が見られなくなる程度にアーク電流が減少し，電極間の銅蒸気量が減少するとアークの維持できず，電流裁断が生じたと考えられる．

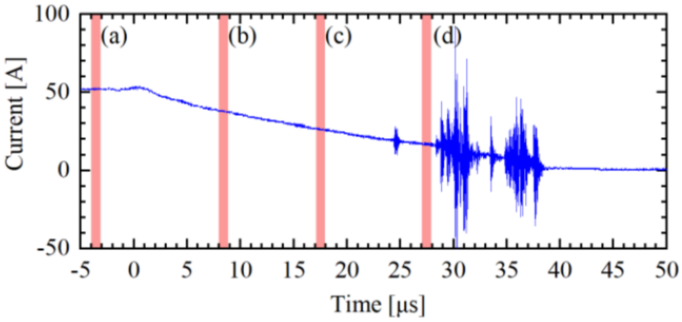
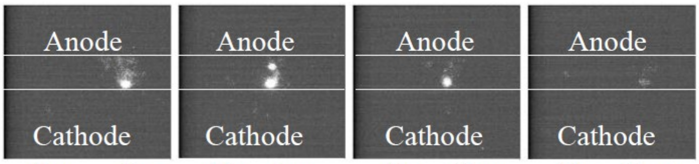


図２　アーク減衰過程における電流波形



(a) t = −4 μs　(b) t = 8 μs　(c) t = 17 μs　(d) t = 27 μs

図３　アーク減衰過程における 2 次元分光発光像の時間変化

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計0件

〔学会発表〕　計5件（うち招待講演　0件／うち国際学会　0件）

１．発表者名 畑中佑斗，宮崎貴充，田中康規，中野裕介，上杉喜彦，石島達夫
２．発表標題 フリーリカバリー状態における真空アーク減衰過程の挙動観測に向けた実験系の構築
３．学会等名 電気・情報関係学会北陸支部連合大会
４．発表年 2019年

１．発表者名 畑中佑斗，宮崎貴充，田中康規，中野裕介，上杉喜彦，石島達夫，浅沼岳，恩地俊行
２．発表標題 定常時およびフリーリカバリ減衰時における真空アークの挙動観測
３．学会等名 放電・プラズマ・パルスパワー/開閉保護/高電圧合同研究会
４．発表年 2019年

１．発表者名 畑中佑斗，宮崎貴充，田中康規，中野裕介，上杉喜彦，石島達夫
２．発表標題 ICCDカメラを用いた電流低下時における真空アーク減衰過程の挙動観測
３．学会等名 電気学会全国大会
４．発表年 2020年

１．発表者名 畑中佑斗，宮崎貴充，田中康規，中野裕介，石島達夫，浅沼岳，恩地俊行
２．発表標題 真空アーク減衰後の電極間への疑似過渡回復電圧印加による絶縁回復特性の測定
３．学会等名 電気学会B部門大会
４．発表年 2020年

１．発表者名 畑中佑斗，宮崎貴充，田中康規，中野裕介，石島達夫，浅沼岳，恩地俊行
２．発表標題 ICCDカメラとI.I.を用いたCu電極間真空アーク減衰過程の二次元分光観測
３．学会等名 電気学会全国大会
４．発表年 2021年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考

７．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関