

平成 21 年 6 月 4 日現在

研究種目：若手研究 (A)
研究期間：2006 ～ 2008
課題番号：18686025
研究課題名 (和文) ナノ粒子混入による環境負荷の小さなガス絶縁媒体の高耐力化と新機能創出
研究課題名 (英文) Increase in insulation performance of environmental-friendly gaseous media by adding nano-particles and creation of new features
研究代表者 大塚 信也 (SHINYA OHTSUKA) 九州工業大学・大学院工学研究院・准教授 研究者番号：60315158

研究成果の概要：

本研究の目的は、地球環境に優しく高い信頼性を有するガス絶縁開閉機器を実現するためにナノ粒子絶縁ガスを提案し、その絶縁特性を検討できるようにすることである。そのため、時間空間分解分光ができる部分放電現象観測用電気・光学同期測定システムを構築し、ナノ粒子を混入するベース絶縁媒体ガスおよびナノ粒子を混入したガス絶縁媒体それぞれの基礎絶縁特性を検討した。特に、ナノ粒子混入効果を分光学的に検討できるように、発光種固有のスペクトル観測のための光学フィルタの選択、および取得発光画像のノイズ除去・特徴抽出手法を検討し、放電形態の変化を分光学的特徴により示すことができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	15,900,000	4,770,000	20,670,000
2007 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
総計	19,700,000	5,910,000	25,610,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学／電気機器工学

キーワード：ガス絶縁、部分放電、絶縁破壊、SF₆代替ガス、地球温暖化、放電発光、分光

1. 研究開始当初の背景

SF₆ ガスは、優れた絶縁・遮断特性を有するため、高電圧ガス絶縁機器の主絶縁媒体として広く用いられている。一方で SF₆ ガスは温室効果ガス(温暖化係数は CO₂ ガスの 24,000 倍)であるため、地球温暖化防止の観点から大気への漏洩防止と使用量削減が要請されており、無毒で液化温度の低い環境負荷の小さな SF₆ 代替ガスの探索・開発が望まれている。このような観点から、これまで研究を通し SF₆ 代替ガスとして N₂、CO₂、H₂、He 等を候補に選定し、特に絶縁・遮断の両

面から CO₂ ガスに注目して検討を進めたが、CO₂ 単体あるいは SF₆ を全く含まずに上記ガスだけの混合化では SF₆ より絶縁耐力が相当低く、既存 SF₆ 機器と同等のタンクサイズ、ガス圧力で使用することは困難であり、現行機と同等条件での実用化は困難との認識を得た。また、ドイツの SIMENS の研究グループも同様の結論を導いている。このような背景から、環境負荷の小さな絶縁耐力の高いガスを実現するには、これまでの研究による経験・知見から、絶縁耐力の高い温暖化ガスを微量混合する代わりに電子付着性を有す

るナノ粒子を混合することで絶縁耐力を向上させる着想に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ナノ粒子を混入することで、(1)環境負荷の小さい、即ち温暖化係数 GWP がほぼゼロである絶縁媒体ガスの絶縁耐力を向上させ、既存の SF₆ ガス絶縁機器と同等のサイズ・使用圧力で機器を絶縁できる SF₆ 代替ガスを実現し、現在幅広く使用されているガス絶縁機器の脱 SF₆ ガス化による温暖化防止へ貢献すること、および(2)新たな機能を発現・付加すること、等により地球環境に優しく高い信頼性を有するガス絶縁開閉機器を実現することである。そのため、申請期間の3年間では、時間空間分解分光ができる新たな部分放電現象観測用電気・光学 ns オーダ同期測定システムを構築し、ナノ粒子を混入するベース絶縁媒体ガスおよびナノ粒子を混入したガス絶縁媒体それぞれの基礎絶縁特性を詳細に検討できるようにすること、ナノ粒子混入効果を分光学的に検討できるように発光現象に対する各フレーミング ICCD カメラの光学フィルタの選択、および取得画像のノイズ除去・特徴抽出手法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験装置の構成 実験装置は、主に電源、電極を設置する試験用圧力容器、および絶縁・放電特性を測定する観測装置で構成される。なお、ガス中にナノ粒子などの粉体を導入する装置の概要及びその混入方法は、現在知財化を進めているため詳細は割愛する。電源は、主に交流高電圧および標準雷インパルス電源を用いた。電極は、主に不平等電界を形成する針対針および針対平板電極を用いた。ギャップ長は試験内容に応じて、10mm～40mm とした。図1に本研究で構築した時間空間分解分光部分放電現象観測用電気・光学 ns オーダ同期測定システムの構成を示す。本システムは、フレーミング ICCD カメラ（浜松ホトニクス C7977）、ストリークカメラ（浜松ホトニクス C7700）、分光器（浜松ホトニクス C5094）、光電子増倍管 PMT の光学測定機器と部分放電電流を測定するインピーダンスマッチング回路、デジタルオシロスコープ、各動作タイミングを制御するパルスジェネレータ PG およびデータ取得・機器操作のパソコン PC から構成されている。各機器の同期制御を確立すると共に、感度向上や画像の歪みなどを抑制し最適化している。図2に示されるように、フレーミング ICCD カメラ内には3台の ICCD カメラが内蔵されており、放電発光はフレーミングカメラ内のプリズムによって3台の ICCD カメラに同時にかつ均等に分配される。各

ICCD カメラにはそれぞれ個別の光学フィルタを設置することができ、部分放電発光像を空間的に分光することができる（各光学フィルタを同一とし、各 ICCD カメラの動作タイミングをずらすことで時間的な放電発光分光像の取得も可能である）。図3に、本装置の構成を撮影した写真を示す。なお、図4に本システムで使用する各光学測定機器の波長帯域を示しておく。

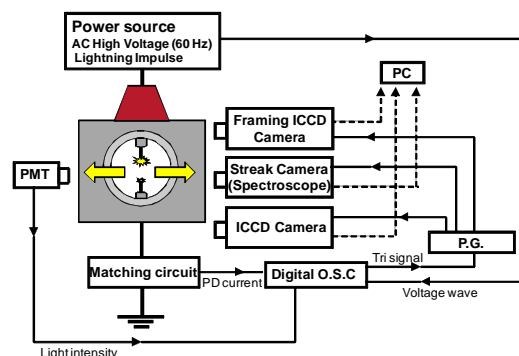


図1 実験装置の構成

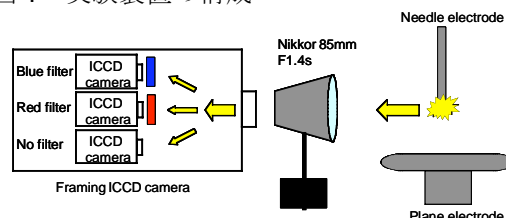


図2 フレーミング ICCD カメラの構造

(2) 実験の方法 図1に示すような実験装置構成で、試験用圧力容器内に対象とする試験ガスを封入し、電圧を印加して部分放電開始電圧 V_{PD} や絶縁破壊電圧 V_B のガス圧力 P 依存性を最初に調べ、絶縁破壊が発生しない条件の下、部分放電現象を観測装置を用いて詳細に調べた。一例として、図5に、ギャップ長 10mm の針対平板および針対針電極における SF₆ ガスでの V_{PD} と V_B のガス圧力依存性を示す。同図から、同一ギャップ長でも V_B 特性のガス圧力依存性は大きく異なっていることがわかる。

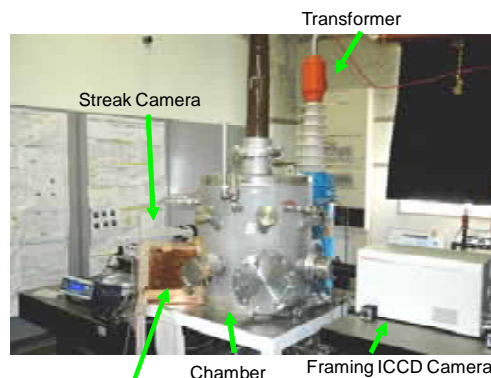


図3 実験装置の外観写真

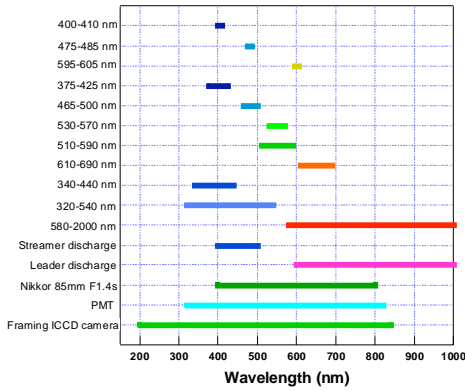


図4 光学測定機器の波長帯域

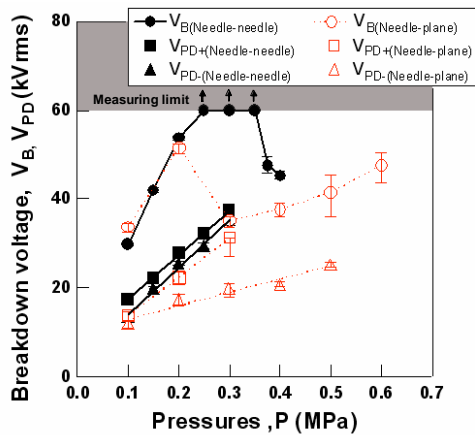


図5 SF₆ガスの絶縁特性の一例

4. 研究成果

(1) 発光スペクトル 図6に、構築した時間空間分光測定システムを用いて測定した、放電発光画像と針先端からの発光測定スリット位置による発光スペクトル特性の相違を示す。同図のように、本システムを用いることで、放電形態の変化やその発光スペクトルの相違を観測できることを示した。これにより、ガス種や混入ナノ粒子の種類に固有の発光スペクトルを特定し、分光学的に放電状態を検討できるようになった。

(2) 空間分解分光像 図7に、正極性標準雷インパルス電圧印加時の部分放電の発光強度と電流波形の時間変化、および2発目と3発目のストリーク画像を示す。また、これら放電パルスの積算発光像を赤色フィルタと青色フィルタにより空間分解した発光像を図8に示す。このように、構築した時間空間分光測定システムを用いることで、放電現象を時間的に分解したり、空間分解分光することが可能となり、定量的な放電現象や放電状態、発光種の検討ができるようになった。なお、時系列的進展する複数の放電パルス発生がある場合、図8に示すように、放電発光強度と電流波形のピーク値の関係を見ると、

1 発目は電流値は比較的大きいが発光強度は低く、2 発目以降は発光強度は電流値に比例して増加していることがわかる。これは、発光像や発光スペクトルの検討から、放電形態の変化に基づくことがわかった。

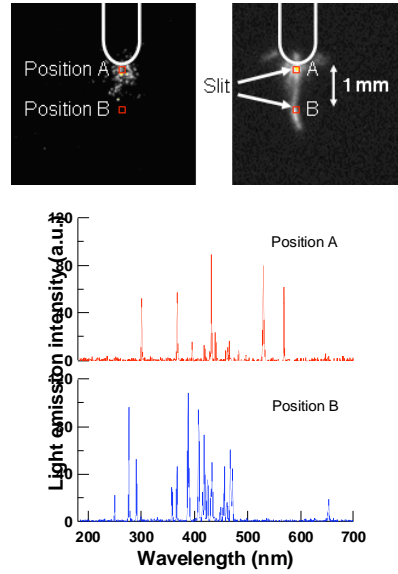
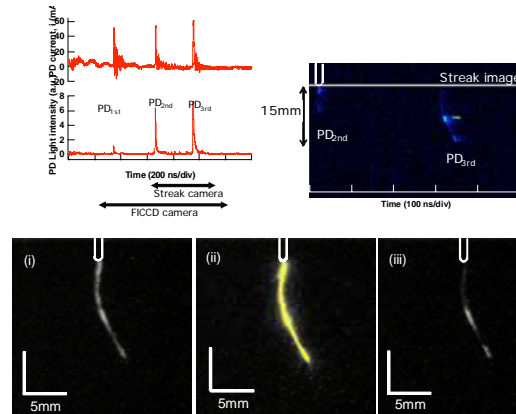


図6 放電発光像とスリットA,Bでの発光スペクトルの一例



(i)青フィルタ (ii)フィルタなし (iii)赤フィルタ
図7 正極性雷インパルス電圧印加時の部分放電パルスのストリーク像と空間分解分光結果の一例

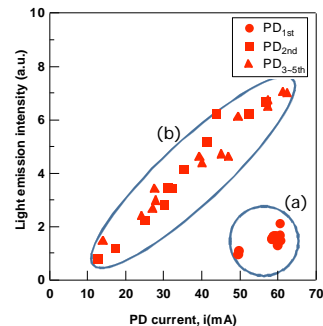
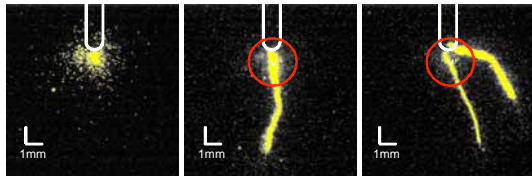


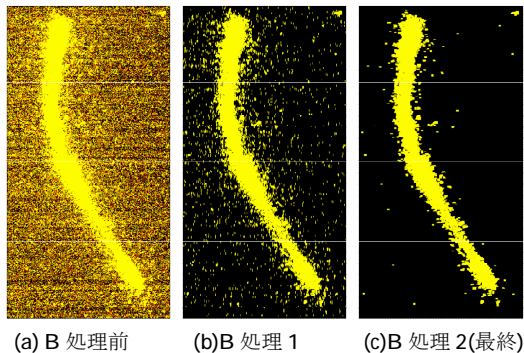
図8 時系列放電パルスの発光強度と電流の関係

図9に、単発放電パルスと複数放電パルスでの放電発光の静止像を示す。上述のように、2発目以降は、進展する放電像が観測され、これはストリーマ放電とリーダ放電に対応するものである。

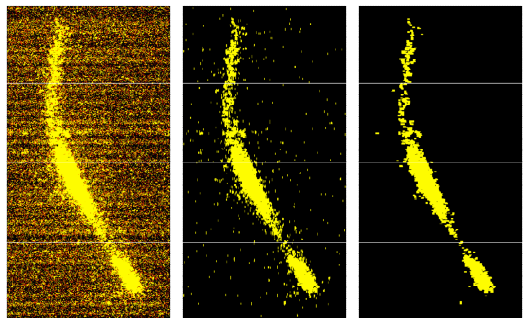


(a)単発放電 (b)複数放電(2発) (c)複数放電(5発)
図9 放電パルス数と放電発光静止像の関係

(3) 画像処理による放電状態検討 上記のように、時間空間分解分光測定システムを用いて放電現象を定量的に検討できるようになったが、部分放電発光の強度は一般に微弱であり、ノイズの影響を受けやすい。また、空間分解分光像同士を比較することで、放電の特徴をより詳細に定量的に評価できることになる。そのための画像処理法を開発した。図10は、ノイズ処理画像の一例である。同図(a)は処理無しの観測像であり、同図(b)、(c)とノイズ処理を実施していった結果である。最終結果である同図(c)と処理前の同図(a)を比べる明らかなように、ノイズ処理より放電発光像を鮮明に得ることができるようになった。図11、12に赤色フィルタRと青色フィルタBによる空間分解分光像からその特徴を定量的に評価できるように強度比画像及びそれを画像処理した結果を示す。

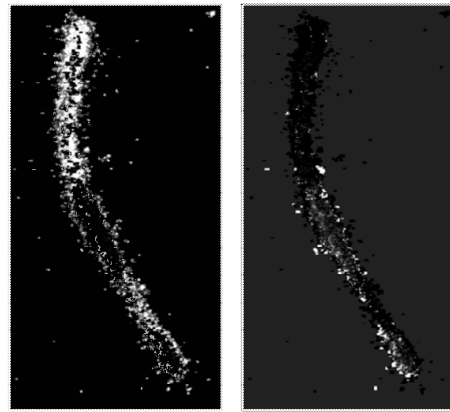


(a) B 処理前 (b) B 処理 1 (c) B 処理 2(最終)



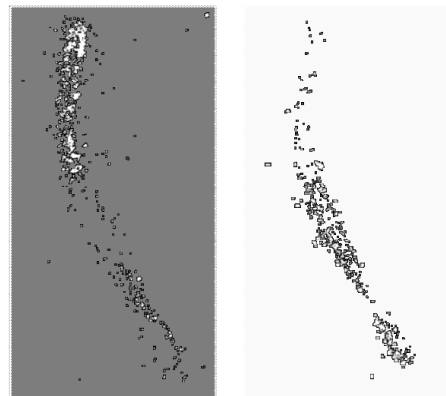
(a) R 処理前 (b) R 処理 1 (c) R 処理 2(最終)

図10 ノイズ除去画像処理の結果

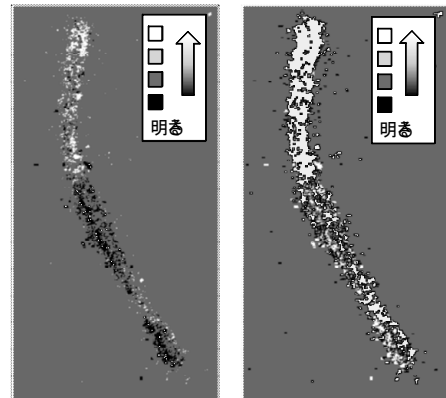


(a) B/R (b) R/B

図11 空間分解分光像の強度比



(a) B/R_2 値化 (b) R/B_2 値化



(a) B/R_4 値化 (b) R/B_4 値化

図12 空間分解分光像の強度比画像処理

図11に示されるように、空間分解分光像の強度比を比較することで、どの位置でどのようなガス種が発光しているかやどのような放電状態かを視覚的に把握できるようになった。また、このような単純な強度比画像データも重要であるが、更にその特徴が明確になるように、図12に示すように、強度比を2値化あるいは4値化表示できるような処理方法を提案した。これにより、より明確に空間的な発光状態の情報を得ることが可能となった。このような計測システムと画像処

理システムを適用することで、ナノ粒子混合ガスだけでなく、既存及び新規のガス絶縁媒体の絶縁・放電特性および放電開始・破壊メカニズムを詳細に検討できるようになった。

(4) 部分放電発光強度の増加手法 部分放電発光現象に基づく破壊メカニズム検討や絶縁診断を実施する際、発光検出素子や装置の感度向上と共に、ガスの絶縁性能の低下なしにガス自体発光強度を増加させることができれば非常に有用である。そこで、本研究では N_2 ガスのセカンドポジティブに対するスペクトル発光強度が非常に強いことに着目し、 N_2 ガス微量混合による部分放電発光強度の向上を検討した。その結果、0.1%の N_2 ガス混合でも発光強度は上昇し、3%程度の混合では印加電圧極性によっては発光強度は30%程度も向上することが明らかになった。図 13 に、 N_2 ガス混合量に対する発光スペクトルの変化の一例を示す。また、図 14 に N_2 ガス混合量が 0%と 3%の場合の放電発光を赤フィルタと青フィルタを用いて空間分解分光像を取得した結果を示す。これらの図から、 N_2 ガス混合割合が増えるほど、セカンドポジティブに対するスペクトル強度が上昇し、それに対する青色波長領域の発光領域も増大することがわかる。なお、両図は何れも負極性放電に対するものである。

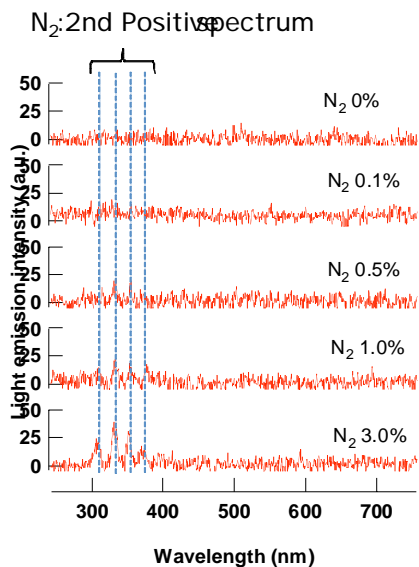


図 13 N_2 ガス混合量に対する発光スペクトルの変化

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 1 件)

- ① M.Hikita, S.Ohtsuka, S.Okabe,

S.Kaneko, Insulation Characteristics of Gas Mixtures including Perfluorocarbon Gas, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.15, No.4, pp.1015-1022, 2008 年, 有

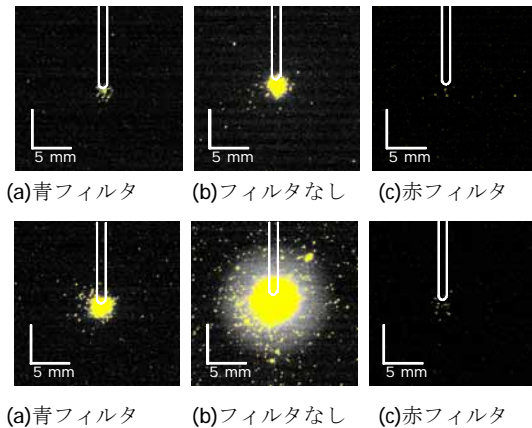


図 14 N_2 ガス混合量に対する放電発光空間分解分光像の変化 (上図 0%、下図 3%)

[学会発表] (計 10 件)

- ①原知輝、SF6 ガス中部分放電発光の空間分解分光像画像解析による放電状態の検討、平成 21 年電気学会全国大会、2009 年 3 月 17 日-19 日、札幌
- ②鈴木悠太、空間分解分光による負極性雷インパルス電圧印加時の SF6 ガス中部分放電発光特性の検討、平成 21 年電気学会全国大会、2009 年 3 月 17 日-19 日、札幌
- ③中山裕太、雷インパルス PD 現象の空間分解分光による基礎的検討、電気学会・電力・エネルギー部門大会 2008 年 9 月 24 日-26 日、広島
- ④鈴木悠太、負極性雷インパルス電圧印加時の PD 現象の空間分解分光測定、平成 20 年電気関係学会九州支部連合大会、2008 年 9 月 24 日-25 日、大分
- ⑤ Shinya OHTSUKA, Time and spatial-resolved spectroscopic measurement system of PD light emission and its application to observation of PDs in SF6 gas, IEEE CONFERENCE ON ELECTRICAL INSULATION AND DIELECTRIC PHENOMENA (CEIDP2008), pp. 439-442, Quebec City, Canada (2008)
- ⑥原 知輝、狭帯域フィルタを用いた SF6 ガス中部分放電現象の空間分解分光測定、平成 20 年電気学会全国大会、2008 年 3 月 19 日-21 日、福岡工業大学
- ⑦中山裕太、CF3I ガス中における部分放電による分解生成物の検討、平成 19 年電気関係学会九州支部連合大会、2007 年 9 月 18 日-19 日、琉球大学

- ⑧中山裕太、絶縁診断を目的としたSF6 ガス中部分放電発光スペクトルの測定、平成19年電気学会 電力・エネルギー部門大会、2007年9月12日-14日、八戸工業大学
- ⑨大塚 信也、部分放電現象の時間・空間分解分光測定システムの構築とSF6 ガス中放電観測への適用、平成19年電気学会 全国大会講演論文集、Vol. 1, 2007, P38
- ⑩中山 裕太、時間分解分光測定システムによるSF6 ガス中放電現象の検討、平成19年電気学会 全国大会 講演論文集、Vol. 1, 2007, P39

[図書] (計1件)

- ① 大塚 信也 (分担執筆)、西日本新聞社、九工大 世界トップ技術 Vol.2、2008、p32-42

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

①名称：部分放電発光検出方法及び装置

発明者：大塚信也、中山裕太、原知輝

権利者：九州工業大学

種類：特許

番号：特願2008-271606

出願年月日：平成20年10月22日

国内外の別：国内

②名称：微弱放電発光計測装置

発明者：大塚信也、中山裕太、原知輝、匹田政幸

権利者：九州工業大学

種類：特許

番号：特願2008-157586

出願年月日：平成20年6月17日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ

<http://epower.ele.kyutech.ac.jp/>

<http://epower.ele.kyutech.ac.jp/comm01/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚 信也 (SHINYA OHTSUKA)

九州工業大学・大学院工学研究院・

准教授

研究者番号：60315158

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし