

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560161

研究課題名(和文) 風力発電機における電力伝達機構の長寿命化の研究

研究課題名(英文) Study of a longer life of electric power transmission mechanism in the wind power generator

研究代表者

上野 貴博 (UENO, Takahiro)

日本工業大学・工学部・准教授

研究者番号：90275842

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000 円

研究成果の概要(和文)：摺動接触通電は静止物体と移動物体間の電力伝達機構に用いられる。風力発電機ではブラシとスリップリングシステムが用いられ、長寿命化が必要である。摺動接触通電の信頼性が求められ、近年では新しい材料の適用も検討されている。この研究は、金および銀メッキスリップリングと銀黒鉛質ブラシの摺動接触通電特性について検討した。接触電圧降下、ブラシ摩耗量、および他の特性は、 -15 、 0 、および 20 の雰囲気温度下で調査した。接触電圧降下およびブラシ摩耗量について、周囲温度とはほぼ無関係に $60\% \sim 70\%$ の銀含有率を持つブラシが、接触電圧降下、ブラシ摩耗量とも低減させることが可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：A sliding contact enables the transfer of electrical current between stationary and moving objects. In DC motors, the static part is brush and the moving object is commutator. Further, the brush-slipring system of a generator used in wind power system needs a long lifespan. Thus, improved reliability and an extended lifespan are desirable qualities for sliding contact mechanisms. Recently, it became preferable to use new materials for the slip ring and brush to improve the contact reliability while increasing current capacity. This study was a laboratory-scale investigation into the effect of temperature change on a gold-coated, a silver-coated slip ring and silver graphite brushes. The contact voltage drop, amount of wear, and other characteristics were examined at temperatures of -15 , 0 , and 20°C . With respect to the contact voltage drop and the amount of wear, brushes with $60\% \sim 70\%$ silver content were found to be the most suitable, irrespective of the ambient temperature.

研究分野：電気機器

キーワード：風力発電機 ブラシ スリップリング 接触電圧降下 摩擦係数

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本の電力事情は現在変化している。原子力発電の運転停止により電力供給不足が問題視されているが、それを補うために再生可能エネルギーなどが話題となっている。その一つとして風力発電が注目されている。風力発電機の内セル内ではブラシとスリップリングシステム（電気摺動接触機構）による電力・電気信号伝達が行われている。安定した電力供給を行うために、このシステムの信頼性向上と長寿命化が課題となっている。

(2) 電力伝達などに用いられる機構に関するトラブルが多々存在し、決定的な接触不良問題解決には至っていない。スリップリングとブラシによる接触通電現象は、コンピュータによる計測や解析技術も進歩して現象をデータ化することが可能となってきた。しかし、決定的な接触不良解決には至っていない。

2. 研究の目的

風力発電機において利用されているのが、スリップリングとブラシであり、これらは、風車のナセル内に取り付けられ、回転部品を介して、電気信号や電力を伝達している。風力発電機は洋上に多く設置され、この機構の長寿命化およびメンテナンスフリーが求められる。本研究では電力供給における接触通電機構の寿命について明確化することを目的とし、電力伝達機構の信頼性向上と長寿命化のための機構改善案を提案する。

3. 研究の方法

(1) 風力発電機が使用される雰囲気温度を模擬して、雰囲気環境を設定し、静止接触通電と摺動接触通電状態について実験を行った。通電時の接触抵抗値を測定することで電気的接触状態を把握し、また、接点材料の表面変化を観測して表面状態と電流通電との関連性を明確にする。

(2) スリップリングシステムの長寿命化には、ブラシの摩耗量低減が求められるため、スリップリングとブラシの材質に着目して複数の組合せによるブラシ摩耗試験を実施した。接触抵抗を低く抑えることが可能とされる金・銀材料を用いて接触抵抗とブラシ摩耗量を低減可能なブラシ材料の検討を行った。

(3) 具体的な方法として、ブラシ材料には銀黒鉛質を用い、銀の含有率を変化させたブラシを製作した。また、スリップリングには銀メッキ・金メッキを施した材料を用いた。摺動実験中は接触電圧降下を連続的に測定し、実験終了後にブラシ重量を測定して実験前後の重量差からブラシ摩耗量を算出した。なお、雰囲気温度は -15、0、20 に設定した。

4. 研究成果

(1) 銀メッキスリップリングを用いた場合の雰囲気温度 20 における接触電圧降下の経時変化を図 1 に示す。ブラシの銀含有率が 50%(wt%)の場合、他の含有率と比較して極めて高い値を示した。また、摺動開始時から上昇して 20 時間摺動後には 0.06V の増加が確認された。これは、スリップリング表面にカーボン皮膜が生成している過程と考えられる。銀含有率が 70%以上になると接触電圧降下は 0.01V の低い値を終始示すことがわかる。この現象は、ブラシの銀含有率が増加することでブラシ摺動面のカーボン分布が減少し、カーボン皮膜が生成されにくいことが要因と考えられる。

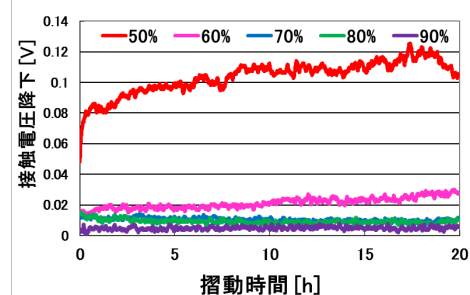


図 1 接触電圧降下の経時変化(20)

図 2 にブラシの銀含有率に対する接触電圧降下とブラシ摩耗量の関係を示す。各雰囲気温度ともに接触電圧降下はブラシの銀含有率が増加すると低下することが分かった。また、ブラシ摩耗量は銀含有率が 90% のときに急増することがわかる。この現象はブラシ摺動面の銀占有率が拡大することで接触抵抗は減少するが、カーボンによる潤滑効果が低下し、摩耗量が増加するといえる。

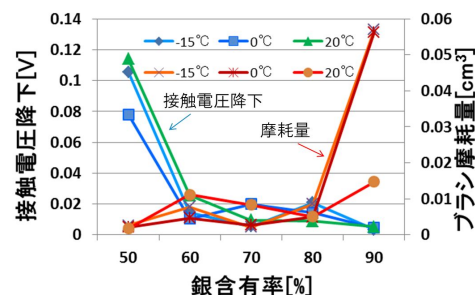


図 2 ブラシの銀含有率変化における接触電圧降下とブラシ摩耗量特性（銀メッキ）

(2) ブラシの摺動面の元素分析を実施した。ブラシ摺動面のカーボンと銀の分布状態を EPMA にて観測した結果を図 3 に示す。ブラシの銀含有率 50% においては、表面の 77.3% をカーボンが占めておりこのカーボンによってカーボン皮膜を生成して接触電圧降下を増加させているといえる。銀含有

率が70%になると銀：カーボン比が約1：2となり、このとき接触電圧降下が約1/10に減少している。さらに銀含有率が90%になると銀：カーボン比が約4：1となり接触電圧降下は極めて小さい値を示す。

ここで、ブラシ摺動面の銀占有面積（銀占有率）に対するブラシの抵抗率と接触電圧降下の関係を図4に示す。ブラシ摺動面の銀占有率に対して、ブラシの抵抗率は非線形特性を示している。すなわち、ブラシの摺動面における銀の占有面積が18.3%から24.9%の範囲で急激にブラシの抵抗率が低くなることを示している。また、ブラシ抵抗率の変化とともに接触電圧降下も同様に非線形特性を示している。本実験では、ブラシの抵抗率によるバルク電圧降下分と測定した接触電圧降下の差分を接触電圧降下として示しているため、ここで示した値は接触面における接触抵抗のみによるものである。ブラシの銀占有面積が25%以上では接触電圧降下の変化は僅かであり、接触抵抗を低下させる効果は少ない。

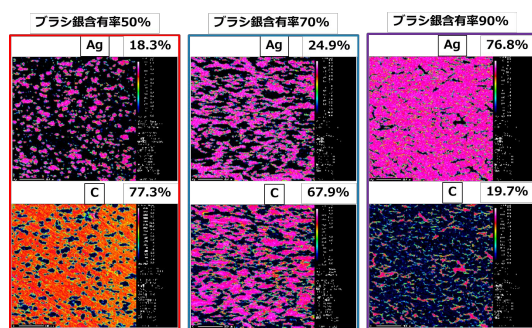


図3 ブラシ摺動面の銀占有率

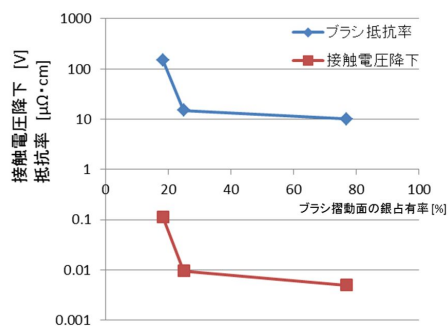


図4 ブラシ摺動面の銀占有率と接触電圧降下・ブラシ抵抗率の関係(20℃)

ブラシの銀含有率が90%の場合は、ブラシ摺動面の銀面積が増加してスリップリングの銀表面と摺動接触することで同種金属による摩耗が増加する。

(3)スリップリング表面を金メッキした場合の特性について求めた。

図5に接触電圧降下の経時変化を示す。

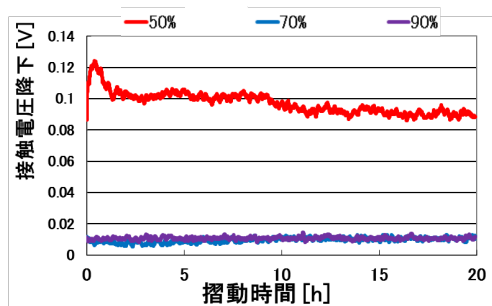


図5 接触電圧降下の経時変化(20℃)

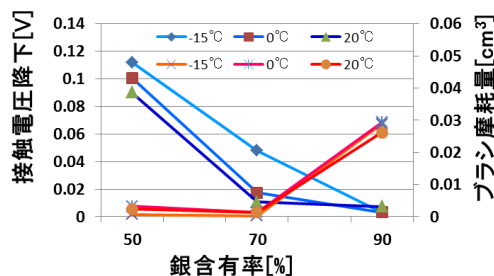


図6 ブラシの銀含有率変化における接触電圧降下とブラシ摩耗量特性(金メッキ)

金メッキスリップリングを用いると接触電圧降下は、銀メッキに比較して若干高くなる。しかし、ブラシ摩耗量については、銀メッキスリップリングに対して1/2程度となった。

図7に銀メッキと金メッキスリップリングに対するブラシの摺動面粗さについて測定した結果を示す。銀メッキの場合には表面粗さが金メッキの2倍程粗くなっていた。この粗さがブラシ摩耗を増大させている。

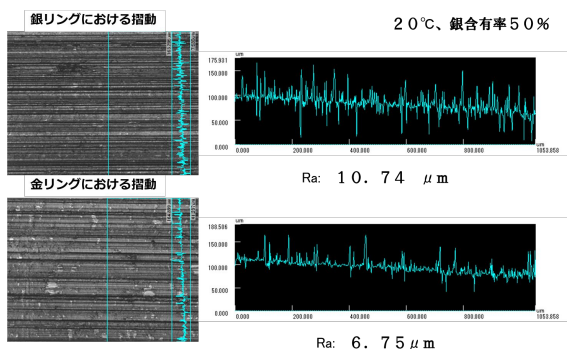


図7 ブラシ摺動面粗さ

(4)銀黒鉛質ブラシの銀含有率を変化させた場合の銀・金コーティングスリップリングとの接触電圧降下およびブラシ摩耗特性について、実験結果より以下の事項が明らかになった。

銀メッキスリップリング

接触電圧降下およびブラシ摩耗量を低く抑えられるブラシの銀含有率は60%～70%の範囲に存在する。

ブラシ表面の銀占有面積が約25%以下で

は接触電圧降下を低減させる効果がみられるが、25%を超えると、接触電圧降下の低減には有効ではない。

ブラシ摩耗量は、潤滑効果を持つカーボンの占有面積がブラシ表面の20%以下程度になると潤滑効果を示さず、ブラシ摩耗量を増加させる。

金メッキスリップリング

接触電圧降下は銀メッキに比較して高くなるが、ブラシ摩耗量は1/2程度まで抑制することができる。

(5)電力伝達機構であるスリップリングシステムの長寿命化と信頼性向上について、スリップリング表面を銀または金メッキすることで、接触電圧降下は銅スリップリングに比較して低く抑えることが可能となる。さらに、接触電圧降下とブラシ摩耗量を低減できるブラシの銀含有率は60～70%の範囲に存在することを明確にした。

<引用文献>

土屋金弥：“電気接点技術”，総合電子出版、pp.39-43(1980)

一木利信：“電気用ブラシの理論と実際”，コロナ社（1978）

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 0 件）

〔学会発表〕（計 9 件）

柏原 勝太、川満 光司、古口 駿人、淵本 美布佑、澤 孝一郎、渡辺 克忠、上野 貴博、銀黒鉛質ブラシの銀含有率変化における金メッキスリップリングとの摺動接触特性、電子情報通信学会、2015.3.6、千葉工業大学（千葉県習志野市）

大塚 祐司、町田 高浩、キョウ タクイ、上野 貴博、澤 孝一郎、渡辺 克忠、銅・金材料の静止接触通電特性、電子情報通信学会、2015.3.6、千葉工業大学（千葉県習志野市）

柏原 勝太、川満 光司、古口 駿人、淵本 美布佑、澤 孝一郎、上野 貴博、銀黒鉛質ブラシの銀含有率変化における金メッキスリップリングとの摺動接触特性、電気学会回轉機研究会、2015.3.3、自動車会館（東京都千代田区）

淵本 美布佑、澤 孝一郎、上野 貴博、Effect of the Silver Content of an Ag/C Brush on the Contact Resistance of the Sliding Contacts Between a Gold-Coated Slip Ring and the Ag/C Brush、電子情

報通信学会、2014.11.29、千歳市民文化センター（北海道千歳市）

淵本 美布佑、澤 孝一郎、上野 貴博、Effect of Atmospheric Temperature on Contact Resistance of Sliding Contacts Using a Ag-Coated Slip Ring and a Ag-Graphite Brush、The 27th International Conference on Electrical Contacts、2014.6.23,24、ドレスデン（ドイツ）

石野 侑、高木 大地、淵本 美布佑、澤 孝一郎、上野 貴博、銀含有率変化による銀黒鉛質ブラシと貴金属スリップリングの摺動特性に関する研究、電子情報通信学会、2014.3.7、横浜国立大学（神奈川県横浜市）

淵本 美布佑、上野 貴博、澤 孝一郎、銀黒鉛ブラシと貴金属スリップリングによる接触電圧降下特性、日本学術振興会炭素材料第117委員会電気摺動接触D分科会第121回、2014.2.26、弘済会館（東京都千代田区）

淵本 美布佑、澤 孝一郎、上野 貴博、Effect of Ambient Temperature on the Contact Resistance of Sliding Contacts on a Silver Slip Ring and Silver Graphite Brush、電子情報通信学会、2013.11.17、武漢（中国）

大貫 克、福田 直紀、上野 貴博、雰囲気温度変化における銀スリップリングと銀ブラシの摺動特性に関する研究、電子情報通信学会、2013.3.1、日本工業大学（埼玉県宮代町）

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

上野 貴博（UENO, Takahiro）
日本工業大学・工学部・准教授
研究者番号：90275842

(4)研究協力者

淵本 美布佑（FUCHIMOTO, Mifuyu）