

# 表面改質技術を用いた氷雪の成長防止技術

寒冷地における電力設備の着氷雪対策への適用をめざして

## Technology to prevent ice and snow growth using surface modification technology

Countermeasures to ice and snow on power equipment in cold regions

(電力技術研究所 流通G 送変電T)

(Transmission and Substation Team, Power System Group, Electric Power Research and Development Center)

寒冷地では電力設備への氷雪接着が課題となっており、各種対策を施しているがあまり有効な対策が得られていない。これには材料表面を撥水性もしくは親水性にすることが有効なため、最新の表面改質技術を用いて氷雪の成長を防止する研究を実施した。

The growth of ice and snow on power equipment is a problem in cold regions and various studies have been conducted; however, measures identified are not very effective. It is effective to make the surface of a material water-repellent or hydrophilic, and so research was conducted on ways to prevent the growth of ice and snow using the latest surface modification technology.

### 1 背景・目的

電力設備（送電鉄塔・電線等）は標高の高い山地等の寒冷地を経過している設備も多いため、氷雪の接着が課題となっており、着氷雪を防止するための技術が望まれている。過去の研究より、着氷雪の対策には材料の表面を撥水性（水をはじく性質）にして材料に雪や氷が付かない性質に加工するか、または親水性（材料表面に水が薄く広がる性質）に加工して、太陽熱で溶けるまで氷雪を保持することが効果的であるが、さらなる高機能化が課題としてある。

本研究では電力設備に広く使用されているアルミニウム母材を対象として、最新の表面改質技術である自己組織化単分子膜（以降「SAM」と呼ぶ）やカーボン膜によるコーティングを試行・検討することで、氷雪の接着や成長性能を評価した。

### 2 表面改質処理の試行・検討

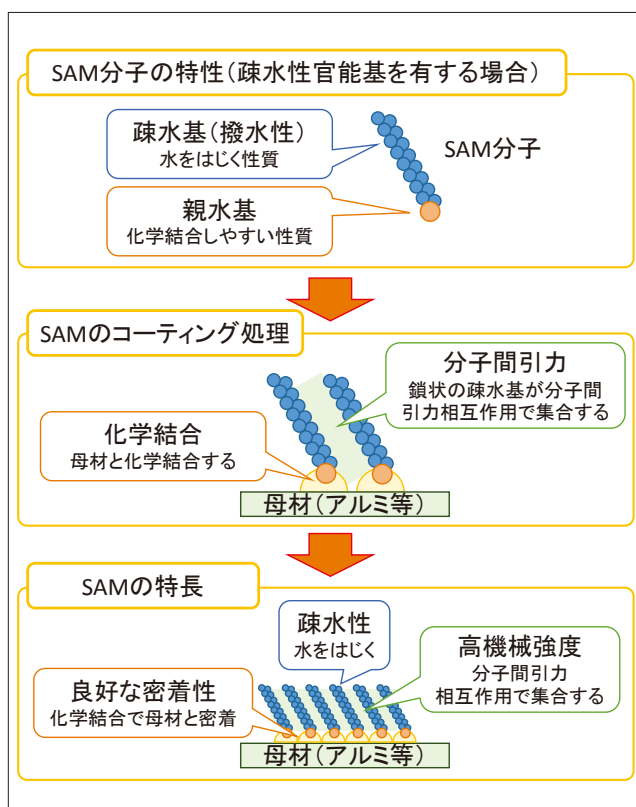
#### (1) SAMによるコーティング

SAMの概略図を第1図に示す。構造は撥水性を持つ疎水基と化学結合しやすい親水基を併せ持ち、母材とは親水基を通して化学結合する。また、疎水基部分に分子間の相互作用が働き、分子間引力で分子が集合するため、高機械強度で母材の表面を改質できることが特長である。末端官能基を変えると同様に親水性コーティングも実現できる。

下地処理としてVUV（真空紫外光）処理にてアルミ母材上へOH基を導入させたのち、SO<sub>3</sub>H基、SH基、CH<sub>3</sub>基、CF<sub>3</sub>基を末端官能基にもつSAMをアルミ母材上に熱CVD（化学気相蒸着）法で作製した。

#### (2) カーボン膜によるコーティング

カーボンブラックとポリプロピレン粉末を質量比1：3、1：5、1：7で混合し、180℃に加熱して、アルミ母材上で圧力をかけて膜状に成形した。冷やすとカーボンが固く結合することが特長である。また、加熱中に剥がして表面に凹凸形状をつけたサンプルも作製した。

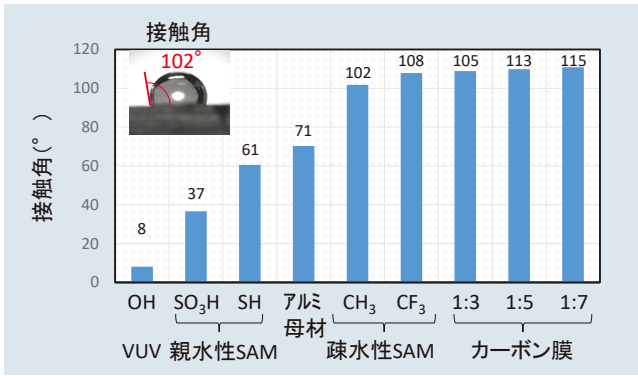


第1図 SAMのコーティング概略図

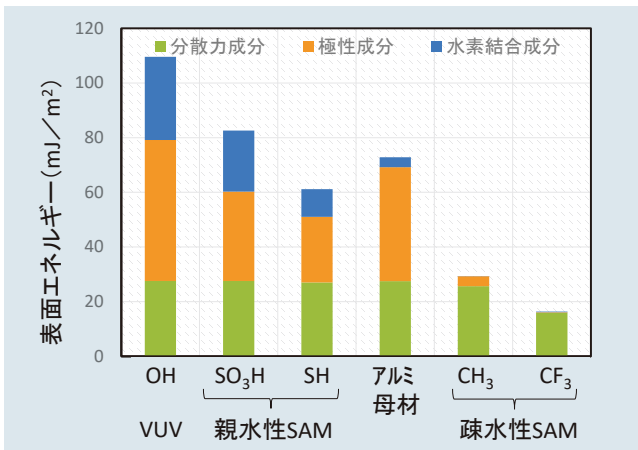
### 3 表面改質処理を施した表面の性能評価

#### (1) 接触角測定および表面エネルギーの算出

蒸留水を各試料表面に滴下し、液滴を側面からデジタル顕微鏡を用いて撮影することで液滴接触角を算出した（第2図）。親水性は8°、撥水性は102～115°のサンプルを作製できた。また、ジョードメタン、ヘキサデカンを滴下し、各液体の接触角から、表面エネルギーを算出した（第3図）。疎水性を示したCH<sub>3</sub>基、CF<sub>3</sub>基は極性成分および水素結合成分が0～3.6mJ/m<sup>2</sup>と低く、表面エネルギー合計値もアルミ母材が72.8mJ/m<sup>2</sup>に対し、それぞれ29.3mJ/m<sup>2</sup>、16.4mJ/m<sup>2</sup>と低い値であった。



第2図 各種処理後のアルミ母材表面の接触角(蒸留水)

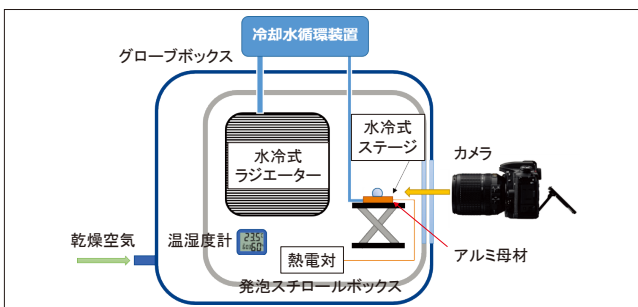


第3図 各種処理後のアルミ母材表面の表面エネルギー

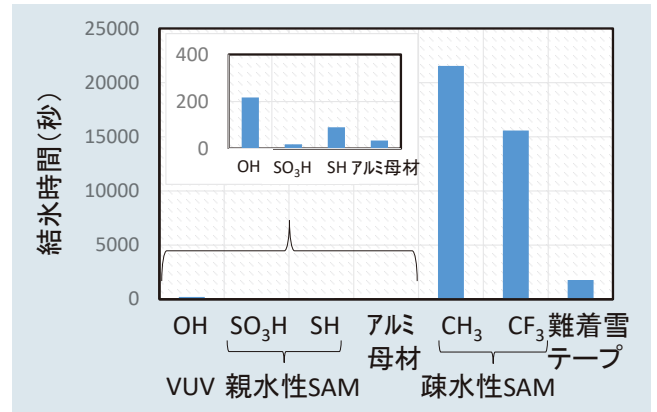
## (2) 低温環境装置内での水の結氷の観察

材料表面での結氷の観察を行うために、材料表面温度と雰囲気を整可能な低温環境装置を作成した(第4図)。温度-15℃、湿度27%RHの環境下でアルミ母材に20μLの水(超純水)を滴下し、結氷時間を測定した結果を第5図に示す。未修飾のアルミ母材と親水性のOH基、SO<sub>3</sub>H基、SH基で修飾した材料表面の超純水の結氷時間は220秒以下、疎水性のCH<sub>3</sub>基とCF<sub>3</sub>基で修飾した材料表面の超純水の結氷時間の平均値はそれぞれ21,545秒、15,580秒であり、疎水性SAMでは結氷時間を延伸できることがわかった。

材料表面における水滴の結氷は主に接触角、過冷却度、表面エネルギーの水素結合成分に関係する。CH<sub>3</sub>基とCF<sub>3</sub>基は第3図の水素結合成分が0~0.3mJ/m<sup>2</sup>程度と非常に低いことが結氷時間の延伸に繋がっている。



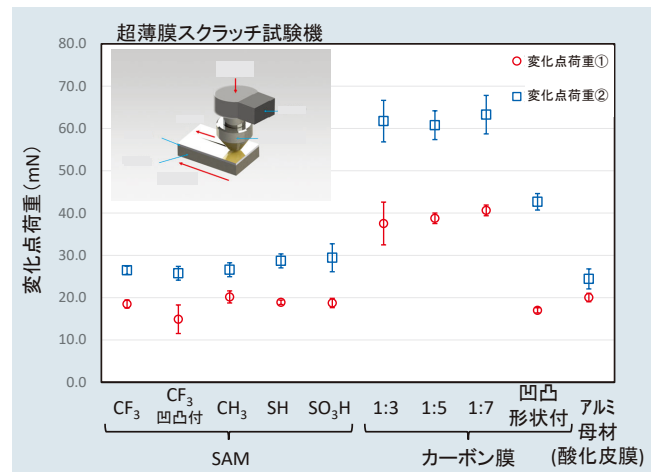
第4図 低温環境装置の概略図



第5図 各種処理後のアルミ母材表面の結氷時間

## (3) 表面処理母材の耐久性検討

屋外環境にある電力設備へ適用した場合の耐久性を検討するために、SAM、カーボン膜表面のスクラッチ試験を行った。超薄膜スクラッチ試験機により徐々に荷重を増加させて、膜の変位点から変化点荷重①(変化開始)、変化点荷重②(破断開始)を算出した結果を第6図に示す。変化点荷重②に着目するとSAMでは25.8~29.4mN、カーボン膜では42.7~63.3mNであった。これは手で擦っても耐えるがピンセットなどで擦ると削れる程度であり、屋外環境下の送電線で使用するには密着性が低いことを確認した。さらに、今回実験で作ったカーボン膜は一点荷重がかかると割れる構造であったため、結合性・耐久性の向上も必要である。



第6図 スクラッチ試験による各種表面の変化点荷重

## 4 まとめ

SAMやカーボン膜コーティングといった表面改質技術により、撥水性を向上できた。結氷挙動で評価すると、SAMでの結氷時間はアルミ母材の34秒から比較して21,545秒に延伸でき、長時間にわたって氷の核形成を抑えることができる。一方、膜の密着性が弱く屋外使用には耐久性に課題があるため、今後改良が必要である。



執筆者/八尾健一郎