UDC 621.315.617.5:620.193.94

論文

57-A77

耐寒用シリコンコンパウンドの凍害 保護効果

正員 河村 鴻 允 (秋田大)

正員 坂本 三 郎 (秋田大)

1. ま え が き

従来より、がいしやブッシングの塩じん害防止対策および有機絶縁材料の耐トラッキング性の向上対策として、はっ水性および異物包含性を有するシリコンコンパウンド（以後、コンパウンドと記す）を、がいし、ブッシングおよび有機絶縁材料表面に塗布することが行なわれている⁽¹⁾⁽²⁾。コンパウンドに関する従来の研究を概観すると、屋外長期暴露によるコンパウンドの汚損特性とフラッシュオーバー電圧（以後、FOVと記す）との相関性⁽³⁾、コンパウンドの寿命判定法の開発⁽³⁾⁻⁽⁵⁾に関する研究報告はなされているが、低温環境下における凍害や雪害に対するコンパウンドの電気的特性および材料の開発に関する基礎的な研究は全く見あたらない。従って、東北地区および北海道地区の海岸線に沿って電力設備を有する電力会社および国鉄では、冬期におけるコンパウンドの保守管理に苦慮しているのが実状である。

このような点にかんがみて、著者らはこの数年間、低温での電気絶縁特性の優れた凍害保護および耐寒用のコンパウンドの開発に関する基礎研究を行なってきた。本論文では、従来のコンパウンドに各種の凍害保護物質を添加したコンパウンド（以後、凍害保護・耐寒用コンパウンドと呼ぶ）の各種湿潤汚損におけるFOVの温度特性の解析を行なう。また、FOVの向上が著しいグリセリン添加コンパウンドを塗布した250mm懸垂がいしを屋外に暴露して、時間経過による表面の変化の観察と等価霧中法によるFOVの測定を行

ない、その実用性について検討したので報告する。

2. 凍害保護・耐寒用コンパウンドの開発にあたっての基本的な考え方とその化学組成

〈2・1〉 基本的な考え方 まず、著者らは次に述べるような基本構想に基づいて、凍害保護用および耐寒用としてのコンパウンドの開発を行なった。

(1) 従来のコンパウンドの特徴である電気絶縁特性が優れていて、しかも異物包含性およびはっ水性など物理的特性を維持すること。

(2) 付着水分および含有水分の氷結によるコンパウンドのひび割れ、およびコンパウンドの化学構造の崩壊などの凍害を受けにくいこと。

(3) 凍結時および解凍時にFOVの低下の原因となる電解性液体の拡散を防ぐこと。

(4) 試料の作成が簡単で人体に無害であること。

(5) がいし表面に塗布しやすく、価格が安価であること。

(6) 冠雪時でのFOVが低下しないこと。

上記した基本構想に基づいて、著者らは従来から使用されているコンパウンドに凍害保護物質を添加する方法による新コンパウンドの開発を行なった。

〈2・2〉 凍害保護物質 生物系において血液をはじめ皮膚や心臓および臓器の冷凍保存を行なうため、これら保存物にエチレングリコールおよびグリセリンなどの凍害保護物質を添加する方法がとられ、保存物の長期保存に成功している⁽⁶⁾。表1に凍害保護物質の例として、グリセリン、エチレングリコールおよびトリエチレングリコールの化学構造式と物理的特性を示す。隅田氏⁽⁶⁾は凍害保護物質と細胞膜の内面およびその周囲にある水とが水素結合を形成することによって氷晶の形成を緩和し、細胞膜が保護されることを報告

Cryoprotection Effect of Cold-Proof Silicone Compounds. By Kohin Kawamura, Member & Saburo Sakamoto, Member (Faculty of Mining, Akita University).

河村鴻允：正員，秋田大学鉱山学部電気工学科

坂本三郎：正員，秋田大学鉱山学部電気工学科

表 1 凍害保護物質の物理的性質

Table 1. Physical properties of cryoprotective agents.

凍害保護物質と分子構造	密度 (20°C)	粘度 (Poise, 20°C)	凝固点 (°C)	比誘電率 (20°C)	表面張力 (mN/m, 20°C)
グリセリン $\text{HOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$	1.26	18.0	1.8	43.0	63.4
エチレングリコール $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	1.11	0.2	-13.0	41.2	48.4
トリエチレングリコール $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	1.13	0.6	-4.3	16.6	49.0

している。

従来から使用されているコンパウンドの FOV を低下させる汚損物のうちで特に注意を要するものは塩分と水分である。その中でも塩分の場合には FOV の低下につながらないが、それに加えて降雨や融雪による水分が加わってくると FOV の低下につながることが考えられる。従って、前述した凍害保護物質と水との水素結合反応を利用すれば水分の FOV に対する影響が少なくなり、FOV の低下を阻止することができるものと考えられる。

上記の観点から、著者らは従来のコンパウンドに凍害保護物質としてグリセリン、エチレングリコールおよびトリエチレングリコールをそれぞれ添加する方法による新材料の開発研究を進めた。

3. 各種汚損による FOV の温度特性

本章では、前章で述べた 3 種類の凍害保護物質を、従来のコンパウンドに添加して、各種の汚損による FOV の温度特性に関する実験室内での基礎実験結果について述べる。

〈3・1〉 供試料、実験装置および方法 供試料は、従来のコンパウンド（その組成はシリコン油、シリカおよびフタロシアニングリーンから成る）にグリセリン、エチレングリコールおよびトリエチレングリコールをそれぞれ添加したものである。それらの添加の割合は、予備実験として添加の割合を 1～20 重量%までの範囲で試作品を作り、試作品の粘度、表面抵抗および磁器プレートへの塗布のしやすさなどを考慮に入れて選定した。なお、その際の粘度は回転粘度計によって測定し、表面抵抗は円形平板試料（主電極の直径は 50 mm、対電極の直径は 110 mm、保護電極の内径は 70 mm、試料厚さは 0.2 mm である）によって測定した。測定電圧は直流 500 V である。また、磁器プレートへの塗布の難易は、磁器プレートの上に前もって塗布部が除かれた厚さ 1.0 mm のポリエチレン製

図 1 表面抵抗と粘度の測定結果

Fig. 1. Measurement results of surface resistance and viscosity.

表 2 凍害保護物質の添加の割合

Table 2. Weight percentage of cryoprotective agents.

凍害保護物質	添加の割合(重量%)
グリセリン	7
エチレングリコール	5
トリエチレングリコール	5

のスペーサを置き、均一に塗布されるようスペーサ面に沿ってポリエチレン製スパチュラをすべらした後の塗布状態の観察によって判断した。図 1 にそれらの結果を示す。これによると、表面抵抗は添加の割合が増すにつれて減少するものの $10^{15} \Omega$ 以上で、その順列は大きい順にグリセリン添加、トリエチレングリコール添加、エチレングリコール添加である。一方、粘度の順列も表面抵抗の順列と同一である。また、磁器プレートへの塗布が困難となる添加の割合は、それぞれグリセリンでは 15 重量%、トリエチレングリコールでは 10 重量%、エチレングリコールでは 9 重量%であった。

FOV を測定するための供試コンパウンドには、上記した基礎実験結果から、無添加コンパウンドのほかに表 2 に示すような添加割合のものをを用いと共に、同量での添加物の効果をはあくするため、3 種類の凍害保護物質をそれぞれ 3, 5 および 7 重量% 添加したものも併せ用いた。

これらの供試コンパウンドを塗布する基材には、 $40 \times 25 \times 5 \text{ mm}$ の磁器プレートを用いた。図 2 に基材お

図 2 電極の寸法と配置

Fig. 2. Dimensions and arrangement of electrodes.

図 3 実験回路

Fig. 3. Experimental circuit.

および電極の配置図を示す。電極材質は銅で、その厚さは 1.0mm である。供試コンパウンドを塗布する場合には、1 回ごとに *n*-ヘキサン、および四塩化炭素でふき、基材の上に前もって電極部が除かれた厚さ 1.0 mm のポリエチレン製スペーサを置き、供試コンパウンドが均一に塗布されるようにした。

図 3 に FOV を測定するための実験回路を示す。供試料は図中の破線で示した有効内容積が 260 l の冷凍庫内に設置される。この冷凍庫には 5 個の供試料が同時に設置できるようになっており、冷凍庫内の最低温度は -20°C である。試験電圧の上昇速度は 2 kV/s でフラッシュオーバー時には 50 mA に設定した二次側に設置されているメーターリレーによって一次側の回路がしゃ断される。

供試料を汚損させるための汚損物には食塩とカオリンを用いた。これらの汚損量は、著者らの一人がさきに報告⁽³⁾した東北地方の日本海沿岸側におけるコンパウンドの長期屋外暴露試験結果を基に、適宜選んで単位面積あたりに換算した次の値とした。すなわち、等価塩分付着量(以後、*N* と記す)は 0.45 mg/cm^2 および 0.90 mg/cm^2 とし、等価カオリン付着量(以後、*K* と記す)は 10 mg/cm^2 および 20 mg/cm^2 とした。

汚損試料の作成方法は、まず供試コンパウンド塗布面に 100 メッシュのふるいを通して規定量のカオリンを振りかけた後、同様にして規定量の食塩を振りかけ、これら汚損物のシリコン層への浸透能力、いわゆるアミープ作用を十分に進行させるため約 48 時間保存箱に保存した。その後、供試料面に約 $0.72\text{ }\mu\text{l/cm}^2$ の蒸留水を均一に噴霧した供試料と、供試料の表面温度を測定するための銅-コンスタンタン熱電対を装着した供試料とを冷凍庫中に設置して、各温度での FOV を測定した。試料個数はいずれの場合も 15 個である。

〈3・2〉 実験結果および考察 図 4 および図 5 に無添加コンパウンドと、表 2 で示した添加割合のものを供試コンパウンドとした場合の FOV と温度との関係を示す。これらはいずれも試料中の最大値、最低値および平均値で示してある。なお、温度は日本海沿岸地域における送電施設のフラッシュオーバー事故率が高いこと⁽⁷⁾を考慮に入れて -3°C から $+3^{\circ}\text{C}$ までは 1°C 間隔とし、そのほかに低温の例として -13°C 、常温の例として $+15^{\circ}\text{C}$ を選定した。これによると、各種の汚損における FOV の値は、平均値で考えると高い順にグリセリン添加、トリエチレングリコール添加、エチレングリコール添加、無添加となる。特にコンパウンドに凍害保護物質を添加したことによる FOV の

図 4 フラッシュオーバー電圧と温度との関係

Fig. 4. Relation between flashover voltages and temperatures.

図 5 フラッシュオーバー電圧と温度との関係

Fig. 5. Relation between flashover voltages and temperatures.

向上効果は、無添加コンパウンドを基準にとるとグリセリンが他の 2 種類の添加物に比べて格段に大きい。例えば、本実験中で汚損条件が最も厳しい図 5 の $N=0.9\text{mg}/\text{cm}^2$, $K=20\text{mg}/\text{cm}^2$ ではグリセリン添加、トリエチレングリコール添加およびエチレングリコール添加の FOV は、無添加のそれに比べてそれぞれ 10~21%, 1~6% および 1~4% 高くなる。

図 6 および図 7 に 3 種類の凍害保護物質の添加割合を、それぞれ 3 重量% および 5 重量% にした場合の FOV と温度との関係を示す。これによると、グリセリンを添加した場合の FOV は他の添加物を添加したものの FOV に比べて高くなる。幸いグリセリンは他の添加物に比べて多量に添加することが可能であるので、7 重量% で以下の実験を行なった。

これらの実験結果から、本実験で用いた凍害保護・耐寒用コンパウンドの FOV が無添加コンパウンドに比べて高くなる理由は、凍害保護物質が持つ電解質液体を捕獲する作用に基づくものと考えられる。特に、グリセリンを添加したコンパウンドが他の 2 種類の添加物を添加したコンパウンドに比べて FOV が高いのは、グリセリンが他の 2 種類の添加物に比べて分子構造内に OH 基を一つ多く持っていることから、グリセリンの電解質液体を捕獲する作用が他の 2 種類の添加物に比べて大きいことによるものと考えられる。

また、グリセリン添加の場合に -1°C 付近で FOV が最低になる。この理由については今のところ明確ではないが、著者らは次のように考えている。すなわち、純粋なグリセリンの凝固点は表 1 に示したように

図 6 フラッシュオーバー電圧と温度との関係

Fig. 6. Relation between flashover voltages and temperatures (addition of 3 percent by weight).

図 7 フラッシュオーバー電圧と温度との関係

Fig. 7. Relation between flashover voltages and temperatures (addition of 5 percent by weight).

$+1.8^\circ\text{C}$ であるが、グリセリン中の水溶液が増すにつれてその凝固点が低温側に移行する、いわゆる凝固点降下の現象⁽⁸⁾がある。従って、本実験の汚損条件でのグリセリン添加試料の凝固点は -1°C 付近にあることが考えられる。次に、凝固点と FOV との関係について述べると、 -1°C 以上の温度領域においては温度が高くなるに従ってグリセリンの電解質液体を捕獲する作用が活発となり、それに伴って FOV も高くなることが考えられる。一方、 -1°C 以下の温度領域においては温度の低下に従って電解質液体の固化する度合い

図 8 霧中暴露試料

Fig. 8. Specimens for exposure test.

が増し、それに伴って FOV も高くなることが考えられる。

以上の事柄が、本実験の汚損条件によるグリセリン添加試料が -1°C 付近で FOV の最低値を示す理由であることが推察される。これらの点に関する詳細については、基礎実験を重ねたうえで次の機会に報告したいと考えている。

次に、著者らは無添加コンパウンドと、表 2 で示した添加割合のものの 4 種類の供試コンパウンドを用いて、供試コンパウンド表面での水滴の挙動についての観察実験を行なった。すなわち、図 8 に示すように、厚さ 3mm の軟質ガラス板に 4 種類の供試コンパウンドを厚さ 1mm に塗布したものを $+3^{\circ}\text{C}$ の霧室中に約 1 時間放置した後、塗布面とは反対の面が外気と接するよう窓わくに設置し、冷却経過時間による各供試コンパウンド表面の変化をカメラによって撮影した。図 9～図 11 にその観察結果を示す。

これによると、まず霧室中に 30 分間放置した場合には図 9 に示すように、無添加コンパウンドおよびエチレングリコール添加の表面にはそれぞれ数十 μm 程度の霧が多数付着しているのに対して、グリセリン添加およびトリエチレングリコール添加の表面には、前者の二つの試料に比べるとごく微量の霧が付着しているのが観察される。

霧室中に 1 時間放置した場合には、図 10 に示すように無添加コンパウンドおよびエチレングリコール添加に付着した霧は水滴となり、30 分間霧室中に放置した場合よりもその径が大きくなる。一方、グリセリン添加およびトリエチレングリコール添加の表面では、30 分間霧室中に放置した場合に比べて霧の付着量は増すが、前者の 2 種類の供試コンパウンドに比べるとその径は非常に小さい。

図 11 は図 10 で示した試料を外気の温度が -6°C 、室内温度が -2°C の条件で窓わくに設置し、約 6 時間経過後の供試コンパウンド表面の状況を示したもので

図 9 霧の付着状況 (30 分後)

Fig. 9. Adhesive state of fog (after 30 minutes).

図 10 霧と水滴の付着状況 (60 分後)

Fig. 10. Adhesive state of fog and waterdrop (after 60 minutes).

ある。これによると、無添加コンパウンドの表面は凍結しているが、エチレングリコール添加、グリセリン添加およびトリエチレングリコール添加の表面では凍結現象が見られない。

以上の霧および水滴の付着状況および凍結状況の観察結果から、無添加コンパウンドは従来から言われている強い水溶性によって試料表面に水滴を形成することが確認され、付着した水滴が凍結することから水滴の組成は H_2O であることが推察される。

一方、グリセリン、トリエチレングリコールおよび

図 11 霧と水滴の凍結状況

Fig. 11. Freezing state of fog and waterdrop.

図 12 水の吸着状態の模式図

Fig. 12. Schematic diagram of adsorption state of water.

エチレングリコールをそれぞれ添加したコンパウンドの場合には、図 12 に示すグリセリンの場合のように、気体と供試コンパウンドとの界面において水分は添加物自体が持っている OH 基と物理吸着し⁽⁹⁾、その後それらの添加物が水分をそれらの分子構造内に取り込む化学反応が行なわれているものと考えられる。従って、図 11 に示した無添加コンパウンド表面上に付着した水滴が凍結するような低温時においても、凍害保護物質を添加したものでは凍結が生じにくくなるのであろう。

4. 屋外暴露試験と冠雪時における FOV

前章で述べたように、従来から使用されているシリコンコンパウンドに凍害保護物質を添加することによって、各種汚損時の FOV の温度特性が向上することがわかった。本章では、前章の基礎実験で使用した凍害保護物質のうちで FOV の向上の著しいグリセリン添加コンパウンドを 250mm 懸垂がいしに塗布して、それを屋外に暴露して時間経過による供試コンパ

ウンド表面の変化を観察すると共に、等価霧中法による FOV の測定を行なった結果について述べる。

〈4・1〉 供試料、暴露方法および FOV 測定法

供試コンパウンドはグリセリン添加コンパウンドおよび無添加コンパウンドで、これらを 250mm 懸垂がいしの全面にほぼ 1mm 厚さに塗布して用いた。これらの供試料を無塗布 250mm 懸垂がいしと共に、昭和 56 年 7 月から昭和 57 年 2 月までの約 8 か月間、本学鉱山学部 1 号館の屋上に無課電暴露した。この暴露期間内での気象は秋田気象観測所始まって以来 2 番目という台風の通過に伴う最大瞬間風速 40m を記録し、異常低温と相まって雪積量も例年になく多く、東北地方の日本海岸側に位置する秋田での気象条件としてはかこくなものであった。

供試コンパウンドの経時変化の観察を定期的に行なう一方、供試コンパウンドを塗布した 250mm 懸垂がいしおよび無塗布 250mm 懸垂がいしの FOV 気温特性の測定を行なった。その FOV 試験は、昭和 47 年 11 月に測定された秋田地区の台風通過に伴う急速汚損時における 250mm 懸垂がいしの塩分付着量の結果⁽¹⁰⁾を基に、急速汚損によるフラッシュオーバー事故を想定して等価霧中法⁽¹¹⁾(蒸溜水 1l に食塩 40g、カオリン 40g を混合した汚損水を噴霧する)を準用した。なお、冠雪時の FOV 測定にあたっては、まず冠雪前に供試料を等価霧中法によって汚損し、雪の降り始めから 2 昼夜放置して、冠雪した後にフラッシュオーバー試験を行なった。

〈4・2〉 実験結果および考察 図 13 に暴露試料の上面および下面の状態の一例を示す。これらの試料はいずれも暴露月数が 3 か月のものである。これによると、無添加コンパウンドおよびグリセリン添加コンパ

図 13 暴露試料の表面状況

Fig. 13. State of surface on exposed specimens.

図 14 250mm 懸垂がいしでのフラッシュオーバー電圧と気温との関係

Fig. 14. Relation between flashover voltages and atmospheric temperatures on 250 mm suspension insulators.

ウンドとともに上面における表面状態が変化しているのに対して、下面における表面状態は塗布当初と少しも変化していない。これは上面での雨洗い効果が下面に比べて大きいことによるものと考えられる。また、グリセリン添加コンパウンドを塗布したものの上面における表面状態は、無添加コンパウンドのそれと比べて一様であり、このことは前者の供試コンパウンドは後者に比べて風雨による影響が少ないことによるものと考えられる。

図 14 に各種供試料の等価霧中法による FOV の気温特性を示す。各種供試料の実験個数は 5 個で、試験電圧の上昇速度は 5kV/s である。また FOV 測定時の気温は -4°C 、 $+0.8^{\circ}\text{C}$ および $+26.5^{\circ}\text{C}$ で、冠雪時における FOV 測定時の気温は -0.2°C であった。これによると、各気温時におけるグリセリン添加コンパウンドを塗布した 250mm 懸垂がいしの FOV は、無添加コンパウンドを塗布したものおよび無塗布がいしに比べて高くなることがわかる。また冠雪時における無塗布がいしの FOV が、他の気温での無塗布がいしの FOV に比べて、その平均値で 25kV から 30kV 高くなる。この理由は、雪の降り始めに付着した雪が融雪し、汚損物を洗い流すことによるものと考えられる。

図 15 は 3 種類の暴露がいしにおける冠雪の状況を示す。これらの供試料はいずれも FOV を測定した後のものである。各供試料ともにフラッシュオーバー時には、供試コンパウンドを塗布した供試料においては塗布面と雪との界面に、無塗布がいしにおいてはがいし表面と雪との界面に放電路が形成されることが確かめ

(a) 無添加コンパウンド (b) グリセリン添加 (c) 無塗布がいし

図 15 暴露試料の冠雪

Fig. 15. Exposed specimens covered upper surface with snow.

られた。

以上の実用試験結果から、凍害保護物質としてグリセリンを添加したコンパウンドは従来のコンパウンドに比べて FOV が高く、十分実用に供し得ることが確認された。今回の実用試験は無課電暴露によるものであったが、連続課電暴露時のグリセリン添加コンパウンドの FOV への向上効果およびその劣化については引き続き研究する予定であり、これらの結果については次の機会に報告したいと考えている。

5. あとがき

低温での電気絶縁特性の優れた凍害保護用および耐寒コンパウンドの開発に関する基礎実験と、その実用性について述べてきたが、得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) 凍害保護物質としてグリセリン、トリエチレングリコールおよびエチレングリコールを添加したコンパウンドの各種汚損時における FOV は、無添加コンパウンドの FOV に比べて高くなる。

(2) 本基礎実験のうちで最も厳しい汚損条件 ($N=0.9\text{mg}/\text{cm}^2$, $K=20\text{mg}/\text{cm}^2$) でのグリセリン (7 重量%), トリエチレングリコール (5 重量%), およびエチレングリコール (5 重量%) 各添加コンパウンドの FVO は、無添加コンパウンドの FVO に比べてそれぞれ 10~21%, 1~6% および 1~4% 高くなる。

(3) 凍害保護物質のコンパウンドに対する添加の割合はがいし表面での塗布のしやすさ、表面抵抗および粘度などを考慮に入れると、グリセリンの場合は約 7 重量%, トリエチレングリコールおよびエチレングリコールの場合は約 5 重量% が適切である。

(4) 本基礎実験で用いた 3 種類の凍害保護物質のうちで、特に FOV の向上が著しいグリセリンを添加したコンパウンドを 250mm 懸垂がいしに塗布した場

合の等価霧中法による FOV の気温特性は、無添加コンパウンドおよび無塗布がいしのそれに比べて優れている。

(5) 冠雪時の FOV の測定結果においても、グリセリン添加コンパウンドの FOV は無添加コンパウンドおよび無塗布がいしに比べて高くなる。

(6) 屋外暴露試験による塗布表面の経時変化の観察および等価霧中法による FOV の気温特性の結果から、グリセリン添加コンパウンドは十分実用性があることが確認された。

終りにのぞみ、本研究に対して激励下さった本学電気工学科 能登文敏教授に深謝する。また、高電圧試験設備の使用に便宜を図って下さった本学電気工学科赤上陽出男教授に深謝すると共に、実験に際しご助力下さった同電力工学講座 佐藤正志助手、および佐藤安弘技官、同応用電気工学講座 谷口敏幸講師、および佐藤忠雄技官、卒業研究に携わった中瀬秀久君〔現、北海道電力(株)〕の諸氏に深謝する。

(昭和 57 年 2 月 24 日受付, 同 57 年 6 月 11 日再受付)

文 献

- (1) J. E. Comer & A. D. Lantz, Jr.: "The Insulator Contamination Problem as Influenced by Silicone Surface Coating", *Amer. Inst. Elect. Engers Trans.*, **77**, III, 1101(1960)
- (2) 山本・丸山: 「シリコンコンパウンドによるがいし類の絶縁低下防止」, *OHM*, **47**, No. 10, 11 (昭 35-8, 9)
- (3) 能登・河村・菊地・三村・田口・佐藤・岩泉: 「シリコンコンパウンドの汚損特性と寿命判定法」, *電学論 B*, **98**, 21 (昭 53-1)
- (4) 加寛・小林: 「軟 β 線を利用した塩じん害防止用コンパウンドの塗布寿命の判定」, 同上 A, **92**, 46 (昭 47-1)
- (5) 加寛: 「軟 β 線のシリコンコンパウンド処理がいしの塗布寿命判定への適用」, 同上 B, **92**, 656 (昭 47-12)
- (6) 隅田: 「冷凍血液(その理論と実際)」(昭 53-11) 日本医事新報社
- (7) 岩泉・古館・三村・加藤: 「秋田地区におけるがいし塩分付着特性と塩害事故防止対策の検討」, 東北電力総合研究所報告, No. 76020 (昭 52-2)
- (8) P. G. Stecher, et al.: *The Merck Index of Chemicals and Drugs*, p. 490 (1960) Merck & Co., Inc.
- (9) 荒井: 「湿度センサー」, *電気化学および工業物理化学*, **50**, 40 (昭 57-1)
- (10) 岩泉・三村・千葉: 「秋田地区における代表がいしの塩分付着特性ならびにしゃ風壁の効果」, 東北電力総合研究所報告, No. 73023 (昭 48-9)
- (11) 電気学会技術報告, No. 41, 26 (昭 35)