

# 汎用インバータの硫化ガス対策

青山 昌弘 (あおやま まさひろ)

藤井 龍文 (ふじい たつふみ)

塩川 国夫 (しおかわ くにお)

## ① まえがき

電動機駆動用インバータの普及に伴い、顧客の使用環境が多岐にわたり、腐食ガスの環境下でインバータを使用する機会が増えている。下水処理場、製紙工場、製糸工場、タイヤ製造工場などの加硫・脱硫工程では、硫化ガス雰囲気インバータシステムが設置されるため、腐食によって短期間で故障が発生しており、インバータの硫化ガス対策を実施することが要望されている。このような使用環境に対して、金属材料の材質変更、あるいは金属材料に表面処理を施すなどの延命対策を行ったインバータを提供している。

今回、硫化ガス雰囲気インバータが使用される場合を想定して、未対策インバータの実力レベルの確認、対策が必要な箇所の洗い出し、インバータの寿命予測方法、対策指針の策定を行ったので、その概要を紹介する。

## ② 現行製品の実力評価

### 2.1 加速評価試験条件

現行製品の実力を見極めるため、ガス暴露試験機に未対策インバータおよび内部部品を収納し、暴露試験を行った。試験時間の短縮を図るため、腐食促進の因子となる硫化ガス濃度、温度、湿度を上げて加速試験を実施した。対象とする硫化ガスは、過去のフィールド情報を分析した結果から、適用範囲が広い硫化水素 (H<sub>2</sub>S) に決定した。加速試験条件を決定する前に、目標環境の設定を行った。フィールド環境をほぼ包含できる数値とし、硫化ガス濃度 0.3 ppm、温度 50℃、湿度 60% で設定した。加速試験条件は、製品が短時間で故障せず、かつ腐食が促進されることを考慮し、硫化ガス濃度 3 ppm、温度 50℃、湿度 90% とした。

### 2.2 加速評価試験結果

未対策インバータの加速評価試験結果を表 1 に示す。720 時間から故障が発生し、1,440 時間で 5 台全数に故障

表 1 未対策インバータの1,440時間加速評価試験結果

評価部品	腐食の有無	故障の有無	状況
未対策インバータ	有	有	故障
プリント基板	有	有	銅パターン、銅ランド部分の硫化
チップ抵抗	有	有	銀電極部の針状結晶生成
セラミックコンデンサ	有	無	銅ニッケル電極部の硫化
IC	有	無	リード曲げ部の硫化
半導体	有	無	リード曲げ部の硫化
鉛フリーはんだ	無	無	
すずめっき導体	無	無	
ニッケルめっき導体	無	無	
三価クロムねじ	無	無	
六価クロムねじ	無	無	

〈試験条件〉硫化ガス濃度：3 ppm、温度：50℃、湿度：90%、  
暴露時間：1,440時間

が発生した。腐食は、銅または銀で構成された部品で発生し、アルミニウム、鉄、その他の材料では発生は見られなかった。銅部品または銀部品についても、成型加工後に 3μm 以上のすずめっき、およびニッケルめっき<sup>(注)</sup>を施した部品には腐食が認められなかった。また、RoHS 指令対応として採用を始めた三価クロムめっきねじ、鉛フリーはんだ材料に腐食は認められなかった。

以上の結果から、金属材料の硫化ガス対策は、銅材料部品と銀材料部品に絞って検討していく方針とした。

## ③ 現行製品の寿命予測

### 3.1 硫化ガス濃度と腐食速度の関係

製品寿命の予測には、硫化ガス濃度における暴露時間と腐食量の関係を求めればよい。その結果、加速試験の条件で得られた時間と腐食量から、フィールドの環境条件における製品寿命の腐食量に到達するまでの時間に換算できる。

〈注〉 RoHS：電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限



青山 昌弘

インバータの設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター構造設計部。



藤井 龍文

インバータの設計に従事。現在、富士電機機器制御株式会社生産本部システム機器事業部インバータ開発生産センター構造設計部。



塩川 国夫

電子・構造材料の評価解析、生産技術の研究開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー株式会社生産技術研究所グループマネージャー。日本材料学会会員。

そこで、銅材料・銀材料のプレートを準備し、硫化ガスの濃度、湿度、時間の条件を変えて暴露試験を行い、各条件におけるプレートの腐食量を測定した。腐食量の測定は、一定の期間ごとにガス暴露試験機からプレートを取り出し、腐食層の厚みを測定した。

(1) 銅の腐食特性と加速倍率

銅プレートの腐食量を測定し、時間、濃度、湿度と腐食量の関係を整理した結果を図1に示す。いずれの条件でも時間経過とともに腐食量は増大していることが分かる。腐食量の濃度依存性、湿度依存性が認められ、濃度依存性の影響のほうが大きいことが分かる。硫化ガス濃度 0.3 ppm、湿度 60% の条件に対して、硫化ガス濃度 3 ppm、湿度 90% の条件で試験を実施すると、腐食量は約 13 倍に加速される。

(2) 銀の腐食特性と加速倍率

銀プレートの腐食量を測定し、時間、濃度、湿度と腐食量の関係を整理した結果を図2に示す。いずれの条件でも時間経過とともに腐食量は増大していることが分かる。腐食量の濃度依存性、湿度依存性が認められ、湿度依存性の影響のほうが大きいことが分かる。同条件の銅と銀の腐食量を比較すると、製品の暴露試験と同様に銅のほうが腐食量は大きくなることが確認できた。前述した銅の暴露試験と同様に硫化ガス濃度 0.3 ppm、湿度 60% の条件に対して、硫化ガス濃度 3 ppm、湿度 90% の条件で試験を実施すると、腐食量は約 9 倍に加速される。

(3) 亜硝酸 (NO<sub>2</sub>) の影響

硫化ガスは、触媒となるガスが添加される混合ガス状態<sup>(1)</sup>

図1 銅の硫化ガス濃度、湿度における時間と腐食量の関係

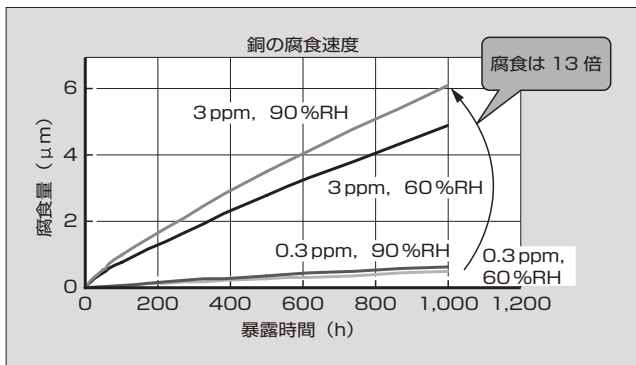
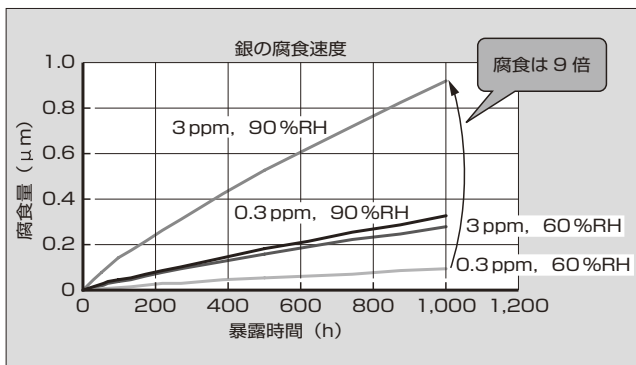


図2 銀の硫化ガス濃度、湿度における時間と腐食量の関係



で腐食が促進する特性がある。フィールドで混合する可能性が高い、亜硝酸を添加した混合ガスで暴露試験を実施し、実際の影響度を評価した。その結果を図3に示す。硫化ガスの濃度を大きくするより、亜硝酸を添加して、亜硝酸の濃度を大きくするほうが腐食量の増加が加速されることが分かった。亜硝酸の濃度を大きくすることによって、銅の腐食量は約 10 倍、銀の腐食量は約 30 倍まで加速されること、すなわち、銀は銅に対して腐食が約 3 倍促進することを確認した。

亜硝酸を加えると硫化ガス単体よりも腐食の進行が大きくなるという結果から、加速試験を短時間で完了できることが分かった。フィールドで硫化ガスの濃度以上に腐食が進行している場合は、亜硝酸の影響を調査する必要がある。

3.2 寿命決定の要因

暴露試験結果から、未対策インバータの故障要因となった部位を特定して観察を行ったところ、銅部品はプリント基板の銅ランド部の硫化による銅腐食が、銀部品はチップ抵抗の銀電極部の針状結晶生成による銀腐食が発生していることを確認した。各部位の腐食量の測定を行った結果、銅ランド部の腐食量は A μm、銀電極部の腐食量は B μm であったとすると、腐食量が A μm または B μm に到達すると部品の故障が発生するといえる。硫化ガス雰囲気での製品寿命は、部品が腐食によって機能しなくなり、製品に故障が発生するまでの期間であることから、製品寿命は、製品の実装部品で硫化ガスに一番弱い部品が断線や抵抗増大などによって機能を失うときの腐食量に到達するまでの期間といえる。

以上から、インバータの寿命は、腐食量が銅 A μm、銀 B μm に達したときであると定義した。

3.3 寿命曲線

加速評価試験で故障が発生した 720 時間から全数が故障した 1,440 時間までの期間をインバータの寿命範囲と考えると、寿命予測は、図1、図2の加速倍率の関係から濃度および湿度条件の換算を行い、720 時間と 1,440 時間の試験時間に相当するフィールドにおける時間を算出すればよい。

一方、インバータの寿命は、暴露試験結果で得られた部

図3 銅と銀の亜硝酸濃度に対する腐食量の関係

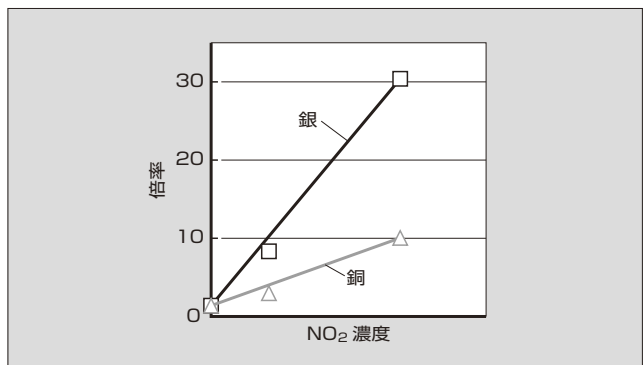
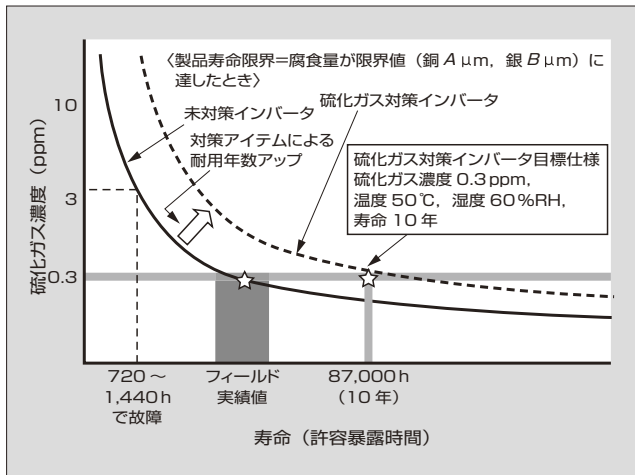


図4 硫化ガス濃度-時間の寿命曲線



品故障の腐食量となる、銅  $A \mu\text{m}$ 、銀  $B \mu\text{m}$  に達するときと定義したので、図1、図2の腐食量の関係から寿命の算出が可能である。

目標環境として設定した、硫化ガス濃度0.3ppm、温度50℃、湿度60%の雰囲気における未対策インバータの予測寿命は、フィールドでの故障発生期にほぼ近い数値であることを確認した。

以上の結果から、未対策インバータの硫化ガス濃度と許容暴露時間の関係を寿命曲線としてまとめると図4で表すことができる。

#### 4 対策内容と対策品の寿命予測

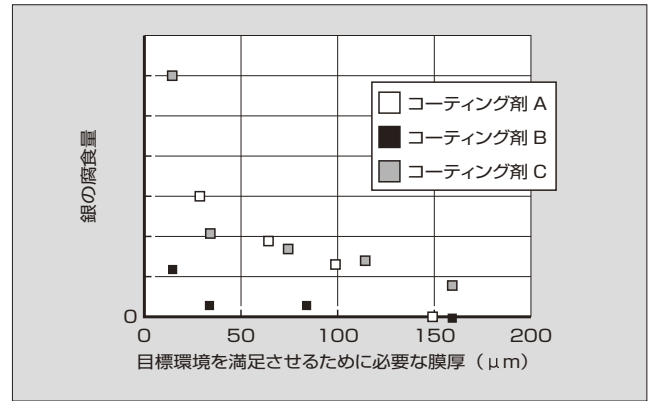
##### 4.1 対策内容の決定

未対策インバータの暴露試験の結果から、金属材料の硫化ガス対策は、銅材料と銀材料に対して、成型加工後にはめっきまたはニッケルめっき処理を実施すればよい。しかし、プリント基板の銅はく部や実装部品は、成型加工後のめっき処理、めっき種類、めっき厚さの条件を指定した部品を調達することが困難な場合が想定される。そこで、硫化ガス雰囲気での延命処置として完成したプリント基板に耐湿コーティング剤を塗布する方法がある。この方法を硫化ガス対策として、採用が可能であるかを見極めるため、コーティング剤の防食効果を検証した。

##### 4.2 プリント基板コーティングの効果

銅材料および銀材料のプレートに各種コーティング剤の塗膜厚さを変更した試料を準備し、硫化ガスの暴露試験を実施した。暴露試験は、試験時間を短くするため、硫化ガスの濃度を大きくし、硫化ガス濃度10ppm、温度50℃、湿度90%の条件とした。670時間の暴露試験結果から得られた銀の腐食量とコーティング剤の膜厚との関係を図5に示す。コーティング剤の品種に対して必要な塗布膜厚を確保することで、硫化ガス対策として効果が得られることを確認した。

図5 銀の腐食量とコーティング剤の膜厚との関係



##### 4.3 対策インバータの寿命予測

対策を実施したインバータの寿命予測は、図5で銀の腐食量を  $B \mu\text{m}$  以下に抑制するコーティング剤と膜厚の組合せを選定することにより、目標環境の硫化ガス濃度0.3ppm、温度50℃、湿度60%の雰囲気中で約10年の寿命が期待できる。

また、新規採用を行う部品については、プレートの暴露試験で得られた腐食量の加速倍率を適用することで、硫化ガス雰囲気における耐用年数を短時間で評価することが可能となる。

##### 4.4 今後の課題

プリント基板完成品の腐食対策として、コーティング剤の塗布を実施する際、実装部品の端面部に対してコーティング剤の塗布膜厚を管理することは難しい。コーティング剤の希釈率および塗布方法について膜厚を確保できる最適な方法を定める必要性があると考えており、作業基準の策定を進めている。

#### 5 あとがき

硫化ガス雰囲気におけるインバータの寿命予測方法と防食対策に関する取組みについて紹介した。

今回は硫化ガスの中で硫化水素だけの単一ガスで評価を実施した。実際のフィールドは、その他の硫化ガスや腐食ガスが混在する複合ガスであることから、今回の結果をそのままフィールドのすべての条件に適用できないことが想定される。今後は、フィールドの測定データを蓄積し、個々の環境に適応したインバータシステムを提案するとともに、次世代の開発品に展開を行うことで、市場の要求に答えていく所存である。

##### 参考文献

- (1) 渡邊祐子, 塩川国夫, 電子材料の硫化腐食に対するNO<sub>2</sub>の影響, 第53回材料と環境討論会, 2006-11.

特集(1)