

耐電圧向上低誘電率 ポリアミドイミドワニス

Development of Low Dielectric Constant Polyamide-imide Varnish with High Breakdown Voltage

大川原 敏一 Toshikazu Ookawara 四家 聖一 Seiichi Shike 鐘 慧峰 Huifeng Zhong
モビリティ事業本部 モビリティ開発センタ 電気機能材料開発部

1 概要

近年、産業用モータはPWM(pulse width modulation)インバータ制御での運転が主流となっている。その中でインバータの高速スイッチングに伴い発生する立ち上がり急峻で高電圧なサージ(インバータサージ)によってモータのコイル絶縁が損傷してしまうことが問題視されている¹⁾。

高電圧のサージによる絶縁破壊を抑制させる手法として、巻線に使用されるエナメルワニスの低誘電率化が有効である。そこで我々は低誘電率化を目的にポリアミドイミドと反応性樹脂との新規なポリマーアロイを開発した。

開発した“HI-406P”は低誘電率と絶縁破壊電圧を両立しており、電気自動車のモータへの適用が可能である。

In recent years, industrial motors operating by PWM (pulse width modulation) inverter control have become mainstream. Surge voltages due to high-speed switching of the inverter (inverter surge) damage the coil insulation of the motors. To improve the coil insulation, reducing the dielectric constant of the enamel varnish is essential. For this purpose, a novel polymer alloy system with polyamide-imide and a reactive polymer has been developed. This varnish “HI-406P” exhibits a low dielectric constant and high breakdown voltage and is applicable to electric vehicle motor insulation.

2 特徴

HI-406Pは従来品と比較して、比誘電率を0.6低減することにより絶縁破壊電圧を12.1 kVから15.2 kVへ改善することができた。その他のエナメル線特性は従来品同等である。

3 開発の経緯

産業用モータのインバータ制御化により高電圧、高周波数が進み、従来のポリアミドイミドワニスの比誘電率ではモータの耐電圧性低下の要因であるインバータサージを抑制することは困難である。そのため、インバータサージを抑制する手法として、低誘電率材料を用いたポリアミドイミドワニスの開発を行ってきたが、熱劣化や吸湿環境において絶縁破壊電圧や軟化点が低下し特性を満足できない。

そこで当社は、ポリアミドイミドワニスの硬化皮膜中に空孔や反応性樹脂の微小な相分離構造を形作ることで、耐電圧および耐熱性に優れたポリアミドイミドワニスを開発した。

4 技術内容

1. HI-406Pの開発コンセプト

従来の低誘電率化の手法では、硬化皮膜の熱劣化、硬化被膜吸湿による絶縁破壊電圧低下の課題があった。これらの課題を克服するため、まず、**図1**に示すポリアミドイミド皮膜中に微小な空孔を形成することで低誘電率化を図った。また、ポリアミドイミド樹脂と比較して誘電率が低く、反応性や極性が異なる反応性樹脂を併用し、硬化後に**図2**に示すような構造周期20 nm程度の相分離構造を形成させることで、諸物性を低下させることなく、誘電率低減を図った。

2. 絶縁破壊電圧

絶縁破壊電圧を評価する指標として、巻線を用いたツイストペアによる絶縁破壊電圧にて評価した。**図3**、**図4**に熱劣化試験(260℃/168 h)、吸湿試験(60℃/90%R.H./24 h)後の絶縁破壊電圧を示す。従来のポリアミドイミド線と比較して、熱劣化試験後および吸湿試験後に高い絶縁破壊電圧を示す。

絶縁破壊電圧が向上した要因として比誘電率の低減が挙げられるが、それ以外にも微細な相分離構造をとることで、放電時の荷電粒子が低誘電率の空孔あるいは反応性樹脂の相を回り込むようにポリアミドイミド相に衝突するため、沿面距離を稼ぐことができ、また反射・散乱により荷電粒子の衝突エネルギーが減少したためと推定する。

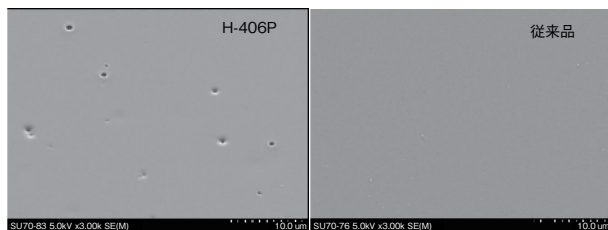


図1 HI-406P皮膜のSEM観察結果

Figure 1 Comparison of SEM observation results between HI-406P film and conventional film

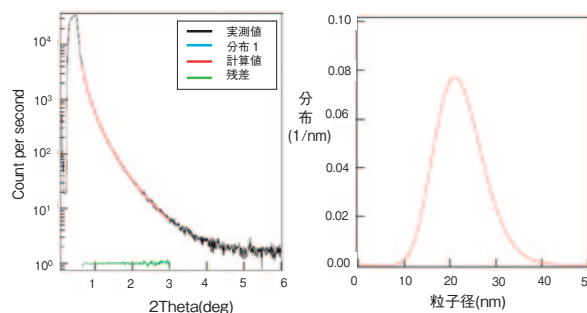


図2 HI-406P皮膜のX線小角散乱測定結果

Figure 2 Small angle X-ray scattering results of HI-406P film

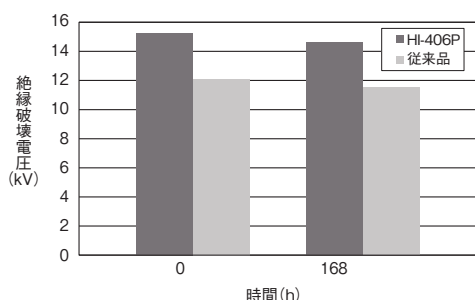


図3 熱劣化試験後(260°C)の絶縁破壊電圧

Figure 3 Comparison of breakdown voltage after heat resistance test between HI-406P and conventional PAI

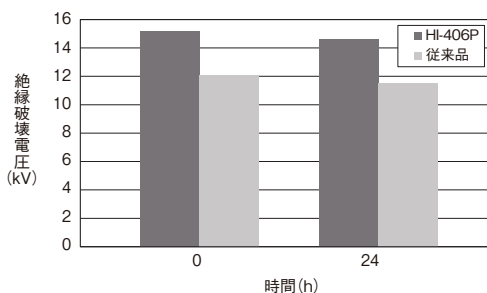


図4 吸湿試験後(60°C / 90% R.H.)の絶縁破壊電圧

Figure 4 Comparison of breakdown voltage after moisture absorption test (60°C / 90% R.H.) between HI-406P and conventional PAI

3. HI-406Pの一般特性

表1にHI-406Pの一般特性を示す。HI-406Pは従来品と比較して比誘電率を0.6低減するとともに絶縁破壊電圧を12.1 kVから15.2 kVへ改善することができた。その他のエナメル線特性は従来品同等であり、今後需要が急拡大する電動車用モータなどへの適用が可能と考える。

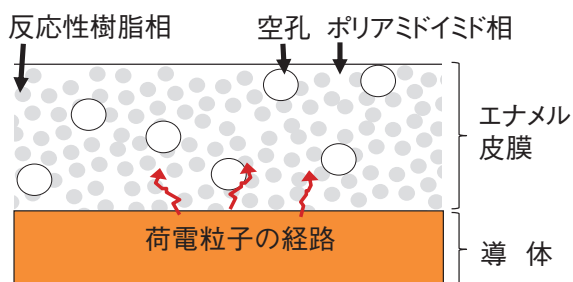


図5 エナメル皮膜断面の概念図

Figure 5 Schematic diagram of cross-section of enameled wire

表1 HI-406Pの一般特性

Table 1 General properties of HI-406P

項目	単位	条件	HI-406P	従来品
比誘電率	-	1 kHz	4.0	4.6
皮膜厚	mm	-	0.032	0.032
エナメル線外観	-	目視	良好	良好
可とう性 ²⁾	-	20%伸長	2倍径良	2倍径良
密着性 ²⁾	mm	急激伸長法	2.0	2.0
耐摩耗 ³⁾	N	一方向式	17.3	16.8
絶縁破壊電圧 ⁴⁾	kV	常態	15.2	12.1
耐軟化性 ⁵⁾	°C	荷重: 0.7 kg	453	449
グリセリン耐圧	kV	グリセリン/飽和食塩水=85/15	5.2	3.8

5 今後の展開

- ・さらなる低誘電率技術の開発
- ・次世代電動車用絶縁材料の開発

【特許関連】

特許第5896006号 特許第5804314号 特許第5880914号

【参考文献】

1) 菊池英行：省エネモータの信頼性向上に対応した耐インバー

タサージエナメル線，日立電線，21，85-92(2002)

2) JIS C 3216-3JA (2011)

3) JIS C 3216-3(2011)

4) JIS C 3216-5JA (2011)

5) JIS C 3216-6JA (2011)