

# 耐冷媒性自己融着エナメル線

松下電器産業株式会社  
松下モータエキスパート株式会社  
パナソニックコンプレッサ-R&Dセンター-マレーシア  
ユニマック  
フジクラマレーシア  
巻線事業部

近藤 憲 司  
水 上 裕 文  
神 藤 正 行  
中 尾 裕 彦<sup>1</sup>  
高 橋 重 美<sup>2</sup>  
中 野 恵 司<sup>3</sup>

## Self-Bonding Enameled Wire With Refrigerant Resistance

K. Kondo, H. Mizukami, M. Shinto, Y. Nakao,  
S. Takahashi & K. Nakano

自己融着エナメル線SLB-FTは、1980年代よりハーメチックモータシステムに使用されている。近年、その優れた特性が見直され、大きな需要がでてきている。しかし、SLB-FTは二つの技術的課題によりある種のモデルへの適用が制限されていた。課題の一つはSLB-FTが冷凍機油中に添加される極圧剤を減少させる恐れがあること、もう一つは高占積率の機種への巻線が難しいことである。

新規耐冷媒性自己融着エナメル線 SLB-FMは、上記課題を解決したものであり、さらに耐熱性などの特性も従来のものより向上している。

Self-bonding wire, SLB-FT, has been used in hermetic motor systems since 1980s. Recently, there have been great demands for self-bonding wire because its excellent property is attracted. However, two technical problems restrict the application of self-bonding wire for some model of hermetic motors. One problem is that SLB-FT could reduce the amount of extreme pressure agent added in refrigeration oil. Another is that it is difficult to wind the SLB-FT to the model with high space factor.

Novel self-bonding enameled wire, SLB-FM, have resolved these technical problems. Further, other properties such as bonding property at high temperature are improved.

### 1. ま え が き

自己融着エナメル線はエナメル皮膜の最外層に融着性の皮膜を設けたものであり、巻線後加熱処理等の方法にてコイルを固着させて使用するもので、従来の含浸ワニスによるコイル固着に比べ、作業時間の短縮、環境負荷の低減、機器の信頼性の向上等さまざまなメリットがある。このため家電、自動車用電装品、電子機器、変圧器といったさまざまな電気・電子機器用コイルとして広く用いられるようになってきている。

当社（フジクラマレーシア、ユニマック）においてもさまざまな用途向けとして自己融着エナメル線を製造・販売しているが、中でも1982年に製造を開始した耐冷媒用の耐熱自己融着エナメル線（SB-FT）は特筆すべきものである<sup>1) 2)</sup>。これはエポキシ樹脂系の主剤と硬化剤とからなる融着皮膜を最外層に持つものであり、エナメル線の状態で

は融着皮膜が半硬化の状態となっている。この自己融着エナメル線を使用したコイルを加熱することにより、電線どおしが固着するとともに皮膜の硬化が進み、厳しい条件下で使用されるハーメチックモータシステム中でも安定な絶縁皮膜を形成する。しかし、SB-FTは融着皮膜が半硬化の状態であるが故、巻線時の加工劣化の影響を受けやすいという欠点を持っていたため、さらに自己潤滑化した耐熱自己融着エナメル線（商品名SLB-FT）となり現在にいたっている<sup>3)</sup>。

近年、エアコン等のハーメチックモータに自己融着エナメル線を使用することによる信頼性の向上等の優位性が再認識され、市場が拡大する傾向にあったが、以下の2点が制約条件となっていた。

(1) ハーメチックモータの機種によってはモータの摺動による摩耗を軽減する目的で、冷凍機油中に図1に示すようなリン酸トリクレジル（TCP）、リン酸トリフェニル（TPP）といったリン酸エステル系の極圧剤を添加する場合がある<sup>4)</sup>が、自己融着エナメル線を使用すると、極圧剤と自己融着層の成分が反応し、極圧剤の濃度が低下する可能性がある。

1 技術部

2 ゼネラルマネージャ

3 主席部員

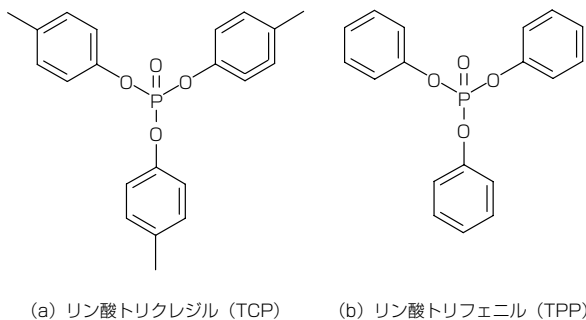


図1 極圧剤の分子構造

Fig. 1. Molecular structure of the extreme pressure agents.

(2) 近年、ハーメチックモータの占積率は増大しており、エナメル線に対する潤滑性能の要求も高まっている。しかし、自己融着エナメル線の潤滑性能は一般の自己潤滑エナメル線と比較すると劣っており、高占積率の機種への適用は難しい。

これらの問題点を解決するため、われわれは種々検討した結果、基本的な電線特性および耐冷媒性を維持したまま、極圧剤との反応性および電線の潤滑性を改善したSLB-FMを開発したので、従来型の冷媒用自己融着エナメル線(SLB-FT)と比較評価した結果について紹介する。

## 2. 極圧剤との適合性の改善

### 2.1 極圧剤との適合性評価の方法

冷凍機油中の極圧剤の濃度を調べる方法として、本稿では赤外分析による方法を採用した。図2にSUNISO 4GS(日本サン石油 商品名)に極圧剤として0.5, 1.0, 2.0%のリン酸トリクレジル(TCP)を添加した冷凍機油の赤外スペクトルを示す。

ここでピークA(1,458cm<sup>-1</sup>)はSUNISO 4GS由来のピーク(CH<sub>2</sub>はさみ変角振動)、ピークB(972cm<sup>-1</sup>)はTCP由来のピーク(P-O-φのP-O伸縮振動)となっている<sup>5)</sup>。このスペクトルより、添加したTCPの濃度によってピークBの吸光度が変化していることがわかる。実際の冷凍システムにおいて極圧剤が減少する際には、リン酸エステルのP-O-φ結合が切断されると考えられるため、赤外スペクトルの測定により極圧剤の濃度を推定可能と考えた。

次にこのスペクトルのSUNISO 4GS由来のピークAとTCP由来のピークBとの吸光度比(B/A)により検量線を引くことを試みた。図3に示すように吸光度比はTCPの添加量にほぼ比例することがわかった。

次にこの方法の有効性を確認するため、実際の系を模擬しオートクレーブに自己融着エナメル線(160℃にて2hrs加熱硬化させたもの)、冷凍機油(TCPを2%添加したSUNISO 4GS)、および冷媒(R22)を封入し、150℃にて168hrsのエージング試験を実施した。このとき、TCPの

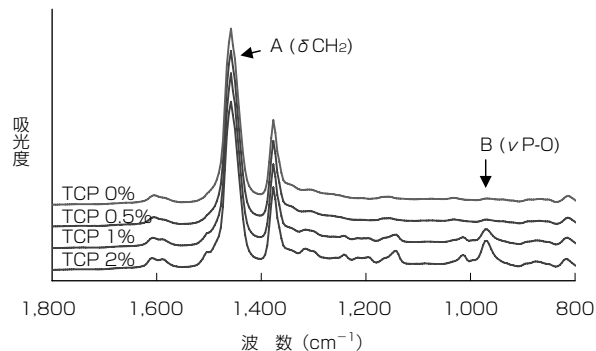


図2 極圧剤を添加した冷凍機油の赤外スペクトル  
Fig. 2. Infrared spectra of the refrigeration oil added extreme pressure agent.

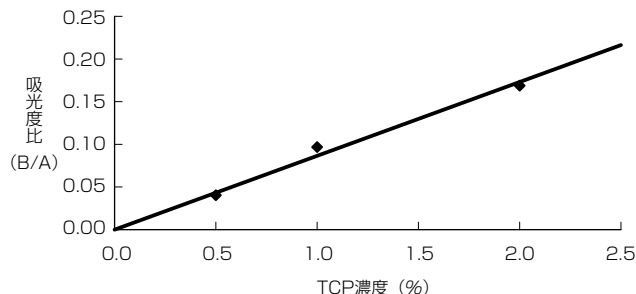


図3 TCP濃度に対する吸光度比  
Fig. 3. Absorbance ratio vs. TCP content.

表1 従来型自己融着エナメル線での加速試験におけるTCP残率

Table 1. TCP residual rate in accelerated test of conventional self-bonding enameled wire.

項目	吸光度比 (B/A)	TCP濃度	TCP残率
初期値	0.17	2.0%	100%
150℃×168hrs後	0.11	1.3%	65%

劣化を促進するため自己融着エナメル線と冷凍機油の重量比は10:1にて実施した。この結果、赤外分析によりTCPの減少を確認することができた(表1)。なお、表中で初期のTCP濃度に対する試験後のTCP濃度の比をTCP残率という指標で表現しているが、以下、このTCP残率を使用し議論を進める。

### 2.2 従来型自己融着エナメル線の耐極圧剤特性

自己融着エナメル線と極圧剤との反応メカニズムを調べるため、従来型自己融着エナメル線の融着皮膜の材料である主剤と硬化剤それぞれの樹脂固形物を用いて同様のエージング試験を行い、TCP残率の調査を実施した。このとき、試験温度は150℃、試験時間は168hrsとした。この結果、主剤を入れた系では極圧剤の減少がほとんどみられなかったのに対し、硬化剤を入れた系では封入量に比例する

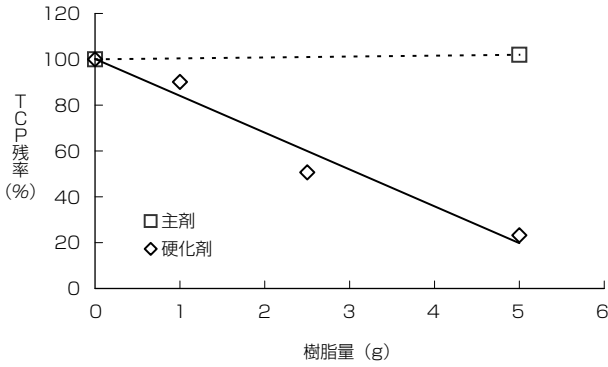


図4 自己融着層の材料の相違によるTCP残率  
Fig. 4. TCP residual rate vs. materials of self-bonding layer.

形でTCP残率が減少することがわかった(図4)。すなわち自己融着エナメル線の成分である硬化剤が、その配合量に比例する形でTCP残率の低下に影響すると推測された。

次に、自己融着層中の硬化剤量を従来品の20%、50%となるように調整した材料を用いて自己融着エナメル線を作製し、同様のエージング試験を実施した。このとき、エージング試験実施前に自己融着エナメル線を160℃、180℃、200℃の温度にてそれぞれ2hrs加熱硬化させたものを試験に供した。また、エージングの温度は150℃、時間は168hrsとした。この結果、硬化剤量の多いものほど、また、加熱硬化温度の低いものほどTCP残率が低くなることがわかった(図5)。

以上の結果より、TCP残率の反応メカニズムを考察する。極圧剤は融着層中の硬化剤と反応することにより減量するが、硬化剤量を減らすことにより、また加熱硬化温度を上げることにより極圧剤の減少は軽減される。これは硬化剤の量が少ない場合は融着層中の活性基の絶対量が少ないことによる効果、加熱硬化温度を上げた場合はより硬化が進み硬化剤の未反応残基が減少することによる効果と思われる。

### 2.3 硬化剤の変更による効果

前項で述べたように従来型の自己融着線SLB-FTに使用する硬化剤(以下、硬化剤Aと呼ぶ)を減量すること、加熱硬化温度を高めることにより極圧剤の減少を軽減することが可能であることがわかったが、硬化剤の量を減らす場合にはSLB-FTの長所である耐熱性、耐冷媒性の特性低下、加熱硬化温度を上げる場合には自己融着線の絶縁皮膜やシステム中のその他の有機材料の劣化を促進させるという点があるため、安易にこれらの手法をとることは難しい。また、これらの手法をとったとしても長期的に見た場合、極圧剤が限界値以下に低下する可能性もある。

そこで、硬化剤の成分自体を未反応残基が残りにくいタイプのもの(以下、硬化剤Bと呼ぶ)へ変更することを試みた。まず硬化剤Bを硬化剤Aのかわりに使い、通常SLB-FTを製造するのと同様の方法にて自己融着エナメル線を製造した。このとき硬化剤BはSLB-FTの硬化剤Aの配合

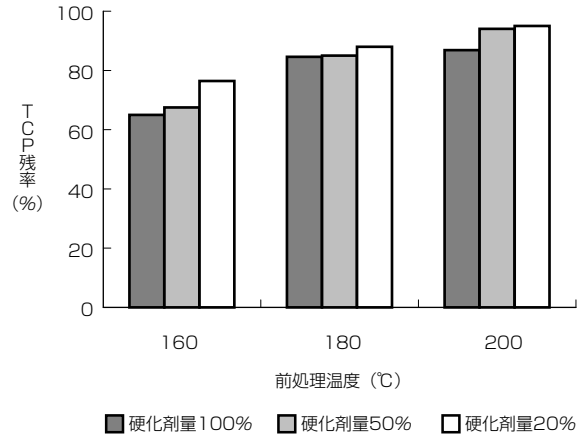


図5 各前処理温度における硬化剤量とTCP残率の関係  
Fig. 5. Relationship between TCP residual rate and the content of cross-linking agent in each pre-heat temperature.

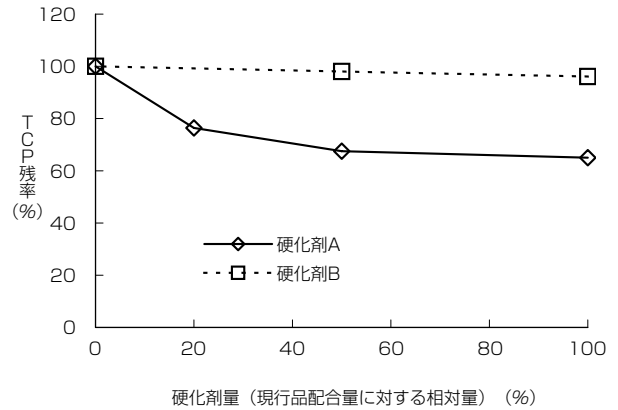


図6 硬化剤の種類とTCP残率の関係  
Fig. 6. Relationship between type of cross-linking agent and TCP residual rate.

量と等モルになる分量配合したものを100%とし、100%および50%のものを製造した。

次いで、これまでと同様の方法にてTCP残率の測定を実施した。ただし、加熱硬化条件は160℃、2hrs、冷媒浸漬条件はR22、SUNISO 4GS+2% TCP、150℃×168hrsとした。この結果、硬化剤Bでは、ほとんどTCPの低下がみられなかった(図6)。さらに、配合量100%のものについて浸漬時間を500hrsまで延ばし、同様の方法にてTCP残率を確認したところ、やや低下はみられるものの、硬化剤Aを用いた従来型自己融着エナメル線と比べ大幅に極圧剤との反応性を改善できることが確認できた(図7)。

### 3. 潤滑特性の改善

ハーメチックモータ用途として当社では、ポリアミドイミドオーバーコートH種ポリエステルイミド線(商品名FTWA, FTWH-S等)や、ポリアミドイミドオーバーコー

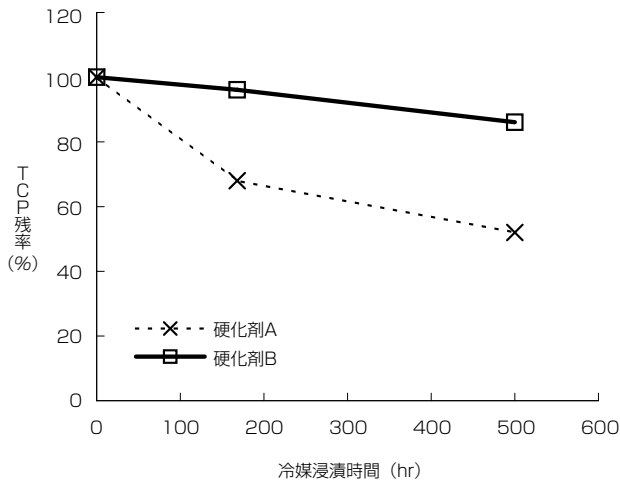


図7 長期浸漬によるTCP残率の変化  
Fig. 7. TCP residual rate after long term aging.

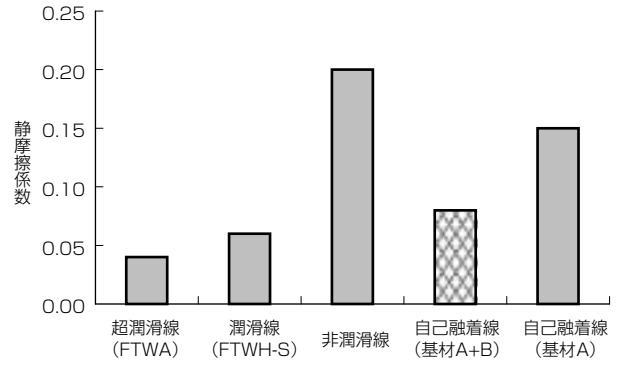


図8 各種エナメル線の静摩擦係数  
Fig. 8. Static friction coefficient of each enameled wire.

表2 自己融着エナメル線の一般特性  
Table 2. General characteristics of self-bonding enameled wire.

品名		単位	SLB-FM [開発品]	SLB-FT [従来品]	試験方法
サイズ			0.75	0.75	
寸法	導体径	mm	0.742	0.743	JIS C3003 (5.2)
	絶縁外径	mm	0.793	0.795	
	仕上径	mm	0.820	0.823	
	絶縁厚	mm	0.026	0.026	
	ボンド厚	mm	0.014	0.014	
ピンホール		-	良	良	JIS C3003 (6c)
絶縁破壊		kV	14.0	14.4	JIS C3003 (10.2)
軟化		℃	389	392	JIS C3003 (11.2)
ヒートショック		-	良	良	NEMA MW1000 (3.5)
耐摩耗		N	17.0	16.4	JIS C3003 (9)
軟らかさ		°	51	53	JIS C3003 (19.2b)
伸び		%	32.5	31.5	JIS C3003 (18.1)
融着性 160℃×2hrs		N	161	135	NEMA MW1000 (3.57)
静摩擦係数		-	0.082	0.139	FMS-0009-(1) (6.16)
可とう性		-	良	良	JIS C3003 (7.2)
密着性		-	良	良	JIS C3003 (8.1)
導体抵抗		Ω/km	38.71	38.89	JIS C3003 (17)

トH種ポリエステル線（商品名 FTWP等）を上市している。一方、従来型の自己融着エナメル線であるSLB-FTは自己潤滑化はされているものの、上記一般線と比べると適用できる機種に限りがある。

自己融着エナメル線と一般線との潤滑特性の差は、その基材となる樹脂の違いによるところが大きい。すなわち、一般線では硬く強靱なポリアミドイミド樹脂が使用されるのに対し、自己融着エナメル線ではエポキシ系の樹脂が使用されている。さらに自己融着エナメル線は半硬化の状態出荷されるため、電線表面はより柔らかい状態となっている。

これを解決するため自己融着層の基材として従来品で使用していた基材Aに加え、より剛直な骨格を持つ基材Bを添加することを試みた。製造したワイヤの潤滑特性の評価

は静摩擦係数によった。基材Bを加えることにより潤滑特性は従来型の自己融着線に比べ改良され、静摩擦係数は自動巻線機での量産が可能と考えられる0.10以下という水準に到達させることができた（図8）。

#### 4. 開発品の基本特性および耐冷媒性

上述したように自己融着層に使用する樹脂の基材および硬化剤を変更することにより、極圧剤との反応性およびエナメル線の潤滑特性を改善できることがわかった。以上の2点を盛り込むことにより、新規にSLB-FMを開発した。以下にSLB-FMの諸特性を従来品であるSLB-FTと比較する形で紹介する。なお、試験には0.75φの線径のものを用いた。

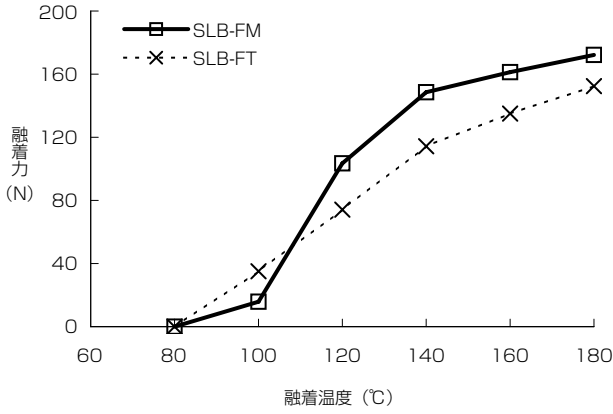


図9 融着温度と融着力の関係

Fig. 9. Relationship between bonding temperature and bond strength.

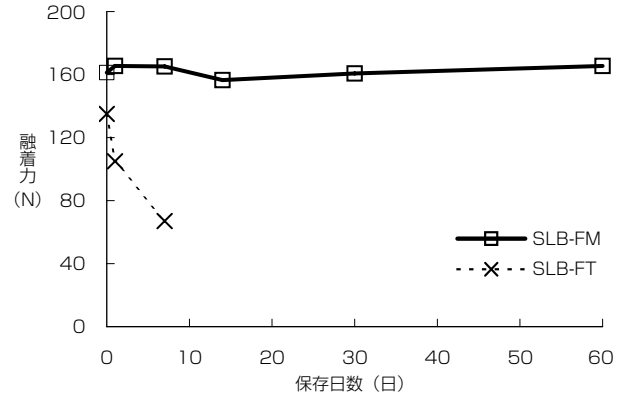


図11 80°Cでの保存性

Fig. 11. Wire life under 80°C conditions.

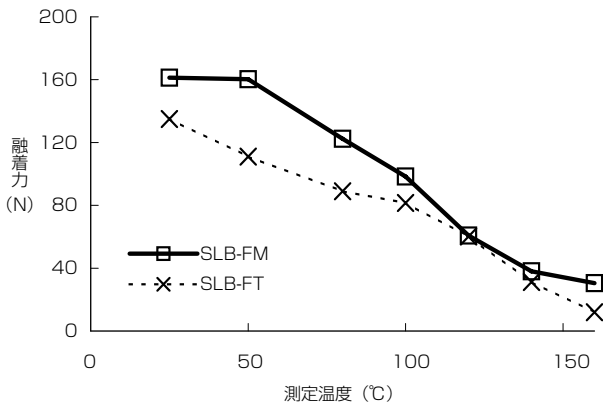


図10 高温下での融着力

Fig. 10. Bond strength under high temperature.

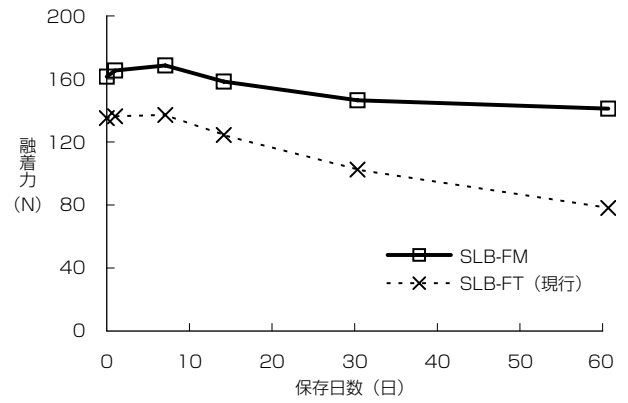


図12 50°C高湿度下での保存性

Fig. 12. Wire life under 50°C, high humidity conditions.

#### 4.1 一般特性

表2にエナメル線の一般特性の結果を示す。静摩擦係数，融着力等の特性を除きSLB-FMとSLB-FTとでほとんど差のないことが確認できた。

#### 4.2 融着特性

加熱融着温度と融着強度の関係を図9に示す。このとき加熱時間は2hrsとし，試験はNEMA MW1000 3.57に従った。SLB-FTは加熱温度に比例するような形で融着強度が増すのに対し，SLB-FMでは120°C前後から急激に融着強度が増加している点が異なるが，いずれも160°C付近で十分な融着強度が得られ，実用上は大きな差はないと考えられる。

次に高温雰囲気における融着強度を測定した(図10)。このとき，試験片はNEMA MW1000に従い，160°C×2hrsの条件にて加熱融着させたものを用いた。SLB-FTは温度上昇による融着強度の低下が室温付近から起きているのに対し，SLB-FMでは50°Cでも室温での融着強度を維持している。また，160°C雰囲気下ではSLB-FTの融着強

度がほとんどなくなっているのに対し，SLB-FMでは若干の強度を維持している。このように高温雰囲気下における融着特性に関しては，開発品であるSLB-FMが優れていることがわかった。

#### 4.3 保存安定性

自己融着エナメル線は半硬化の状態出荷されるため，保存状態によっては実際に巻線を行う前に硬化が進み接着しなくなる可能性がある。そこで，過酷な条件での保存安定性を調査した。試験はエナメル線をNEMA MW1000の方法に従いヘリカルコイルとしたものを試験片とし，これを所定の条件にて保存した後，160°Cで加熱融着させて融着力を測定した。

保存温度を80°Cとした場合，SLB-FTは1日経過後から大幅に融着力の低下が起きたのに対し，SLB-FMでは60日経過した後も十分高い融着力を維持していた(図11)。

一方，湿度90%以上，温度50°Cの条件で保存を行った場合でも，SLB-FTに比べSLB-FMの融着力の低下はわず

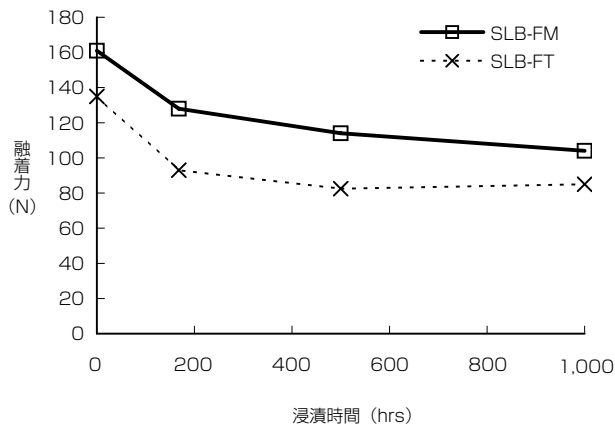


図13 長期冷媒浸漬後の融着力  
Fig. 13. Bond strength after soaking in R-22.

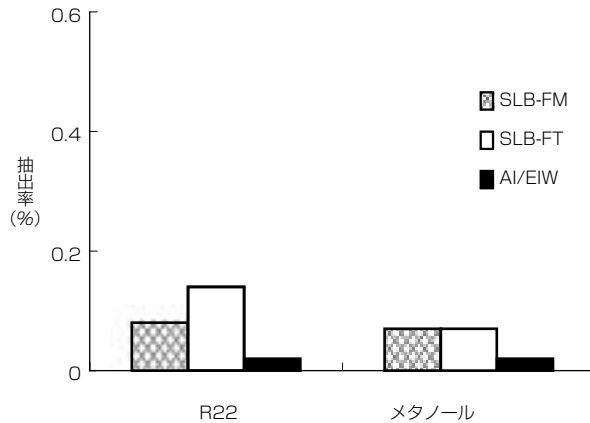


図15 冷媒およびメタノール抽出率  
Fig. 15. Extraction properties.

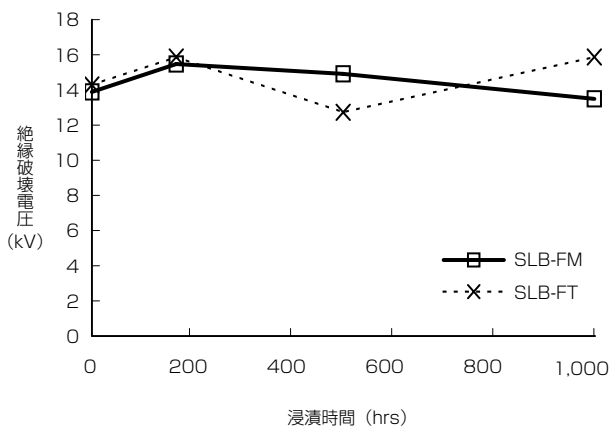


図14 長期冷媒浸漬後の絶縁破壊電圧  
Fig. 14. Breakdown voltage after soaking in R-22.

かであった (図12)。

#### 4.4 耐冷媒性

冷媒浸漬による電線特性 (融着性および絶縁破壊電圧) の影響を調査するため、以下の条件にて加速劣化試験を実施した。

- ① 冷媒/冷凍機油 : R22/精製鉱油 (TCP入り)
- ② 試験片前処理条件: 160℃×2hrs加熱
- ③ 冷媒浸漬条件 : 150℃×168, 500, 1,000 hrs
- ④ 評価項目 : 融着力, 絶縁破壊電圧

(1) 融着力に関してはSLB-FMの方がSLB-FTよりも全般的に高い融着力を有している。また、いずれも冷媒浸漬による低下が見られる (図13)。これは皮膜内に冷媒および冷凍機油が浸透することにより、皮膜が柔らかくなった影響であると考えられるが、ある一定時間経過後は融着力の低下は緩やかになることから、さらに時間を延長してもある程度の融着力は維持できるものと考えられる。

(2) 絶縁破壊電圧については、1,000hrsまででほとん

ど特性低下は起きていない結果となっている (図14)。以上の結果より、SLB-FMはSLB-FTと比べ同等以上の耐冷媒性を有していることがわかる。

#### 4.5 抽出性

ハーメチックモータ用のエナメル線は冷媒に直接浸かる形で使用される。このためエナメル線からの冷媒等による抽出物の量が多いと、システム全体に影響を及ぼす可能性がある。特に自己融着エナメル線の場合は、一般のエナメル線と比べ冷媒抽出率が高いため重要な特性となる。

試験は冷媒 (R22) の他、極性溶媒としてメタノールでの抽出性を調査した。試験片はいずれも160℃にて2hrs加熱硬化させたものを用い、冷媒抽出は80℃×168hrs、メタノール抽出はソックスレー法により実施した。

図15に示すように、冷媒、メタノールのいずれにおいてもSLB-FMの抽出率はSLB-FTと同等以下の結果となった。しかし、一般のエナメル線 (AI/EIW) と比較すると抽出量は多かった。

### 5. 実機での評価

#### 5.1 巻線性 (挿入性)

前述したようにエナメル線の特性としての潤滑特性については、新規開発品のSLB-FMで改善がみられたが、これにより実際の適用範囲が広がったかどうかを確認するため、これまでの自己融着線SLB-FTではスロットへの挿入が難しいので適用対象外であった最大占積率65%以上の機種のうち5機種を選定し、実際にコイルを製造して有効性を確認した。

表3に示すように、今回調査した5機種すべてにおいて良好な挿入性を示した。

#### 5.2 耐久試験による信頼性評価

新規開発したSLB-FMは従来の自己融着線SLB-FTと材質的に異なるものとなっている。このため実機にて耐久試験を実施し、モータ自体の特性および冷凍機油への影響を調査した。表4に示すとおり、いずれの条件においても良

表3 挿入性評価結果  
Table 3. Results of insertability test.

項目	占積率*1		使用電線サイズ		巻線可否
	最大値 (%)	平均値 (%)	主コイル	補助コイル	
機種 A	66	62	0.9	0.85	○
機種 B	70	65	0.85, 0.90	0.9	○
機種 C	68	65	0.90, 0.95	0.95	○
機種 D	66	61	0.95	0.8	○
機種 E	66	61	0.97, 1.0	0.77, 0.75	○

\*1 SLB-FTは通常最大占積率65%以下の占積率の機種に適用

表4 ハーメチックモータシステムにおける耐久試験結果  
Table 4. Results of life test in hermetic-motor systems.

冷媒/冷凍機油			R22/精製鉱油		R410A/エーテル油	
試験条件			連続1,000hrs	断続1,000hrs	連続1,000hrs	断続1,000hrs
モータ特性	電流, 入力特性		良	良	良	良
	試験後コイル	外観	良	良	良	良
		固着力	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
冷凍機油特性	動粘度	40℃	良好	良好	良好	良好
		100℃	良好	良好	良好	良好
	全酸価		問題なし	問題なし	問題なし	問題なし
	添加剤残存率	極圧剤	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
		酸化防止剤	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
夾雑物		なし	なし	なし	なし	

運転時のコイル温度は結果として120~130℃であった。

表5 総合評価結果

Table 5. Total evaluation for new self-bonding enameled wire.

品名	SLB-FM	SLB-FT	AI/EIW (参考)
極圧剤適合性	○	×	○
巻線性 (挿入性)	○	×	◎
一般特性	○	○	○
融着性	○	○	-
保存安定性	○	△	○
耐冷媒性	○	○	○
抽出性	△	△	○

◎ 特に良好な状態

○ 良好な状態

△ 使用可能であるが改善が望まれる状態

× 使用不可の状態

好な結果が得られた。特に、極圧剤の減少はみられず、当初の目的を達することができた。

## 6. むすび

本稿で紹介した検討結果を表5に示す。開発した自己融着エナメル線 (SLB-FM) は、ハーメチック用途としての基本特性において従来の自己融着エナメル線 (SLB-FT)

と同等以上の性能を維持しつつ、これまでの制約条件となっていたリン酸エステル系の極圧剤との適合性およびコイル製造時の挿入性の2点について改善されている。この結果、SLB-FMを適用することにより自己融着エナメル線の使用可能機種を拡大することができた。

抽出率に関しては一般のエナメル線と比較すると多く、これを改善することにより、より系内の不純物を嫌う冷蔵庫等への適用も可能となってくるため、今後の課題としたい。

## 参考文献

- 1) 瀬野尾ほか：耐熱自己接着エナメル線について、藤倉電線技報, 第59号, pp.29-35, 1978
- 2) 茶畑ほか：耐熱自己接着エナメル線について - 第2報 その耐冷媒性-, 藤倉電線技報, 第62号, pp.29-35, 1981
- 3) 中野ほか：自己潤滑自己接着エナメル線について、藤倉電線技報, 第63号, pp.81-90, 1981
- 4) 安達：摩耗防止剤・極圧剤, 三菱石油 技術資料 No.83, pp.21-27, 1995
- 5) 中西ほか：赤外線吸収スペクトル-定性と演習- (改訂版) [定性編], 第21版, 1986, 南江堂