

# 耐熱整流子片用マイカ板MP3010の特性

## Properties of Heat Resistant Commutator-Segment Micaplate MP3010

The authors have recently developed a heat resistant commutator-segment mica plate, MS 3010, out of a special combination of phlogopite mica splitting with an inorganic binder. Its compressible properties at elevated temperatures, modulus of compression, sliding characteristic and compressible strength show extremely high thermal stability. Also, it keeps its normal state characteristics almost intact even after a long period of heating and pressure treatment, suggesting the possibility of curtailment or elimination of seasoning processes. When used in the commutator of a DC motor this unusual mica plate can withstand such high temperatures originated by the TIG welding of the riser part, without sustaining any carbonization of its binder component. This offers a shorter period of manufacture for DC motor commutators.

石崎英八\* *Eihachi Ishizaki*  
 田嶋基文\* *Motofumi Tajima*  
 矢代克己\* *Katsumi Yashiro*

### 1 緒 言

従来、一般直流電動機の整流子片用マイカ板として、MP30（セラック系接着剤を使用）およびMP30-F<sub>3</sub>（日立化成工業株式会社の商品名エポキシ系接着剤を使用）が使用されてきた。しかし整流子製作工程における長時間にわたるシーズニング工程の短縮、かつ作業性にすぐれたTIG溶接（ライザ部と電機子コイルとの接続）に適する整流子片用マイカ板の出現は渴望久しいものがあつた。この要望にこたえるため、耐熱性のすぐれた特殊無機接着剤の開発とはがしマイカの選択によって、耐熱整流子片用マイカ板の初国産化に到達し、MP3010として製品化した。また製品化にあたり、外国製整流子片用マイカ板（以下、外国マイカ板と略す）を入手し特性を比較したが、耐熱整流子片用マイカ板MP3010（以下、MP3010と略す）は外国マイカ板に比べて、同等あるいはそれ以上にすぐれていることがわかつた。本報告ではMP3010の特性を中心にその概要を述べる。

### 2 供試試料

表1は、試験に供した整流子片用マイカ板を示すものである。

### 3 特 性

#### 3.1 試験方法

表2および図1～図3は、整流子片用マイカ板に関する試験方法の要点を示すものである。

#### 3.2 一般特性

表3はMP3010の一般特性をMP30、MP30-F<sub>3</sub>および外国マイカ板と比較して示すもので、また図4は、MP3010の厚さの分布を示すものである。MP3010の厚さ精度はMP30およびMP30-F<sub>3</sub>と同等であるが、外国マイカ板と比較するとすぐれている。常温圧縮率はMP30、MP30-F<sub>3</sub>と同程度であるが、外国マイカ板表面無処理および表面処理品ともMP3010より約2倍大きい。これはマイカ板の縮まりが悪く、初期圧縮でのひずみが大いいためである。加熱圧縮率では、MP30は300

°Cで座屈破壊をおこし、MP30-F<sub>3</sub>は座屈破壊しないが、圧縮率が200°Cの約2倍増大する。MP3010は加熱安定性がすぐれ、300°Cまでの温度特性をとった結果、300°Cでもわずかに

表1 供試試料 試験に供した整流子片用マイカ板の種類を示す。

Table 1 Test Samples

供 試 試 料		原料マイカ	接 着 剤
名 称	記 号		
耐熱整流子片用マイカ板	MP3010-0.85mm	軟質はがしマイカ	無機質接着剤
外国整流子片用マイカ板	0.025in	軟質はがしマイカ	無機質接着剤
整流子片用マイカ板	MP30-0.85mm	軟質はがしマイカ	セラックワニス
	MP30F <sub>3</sub> -0.85mm	軟質はがしマイカ	エポキシワニス

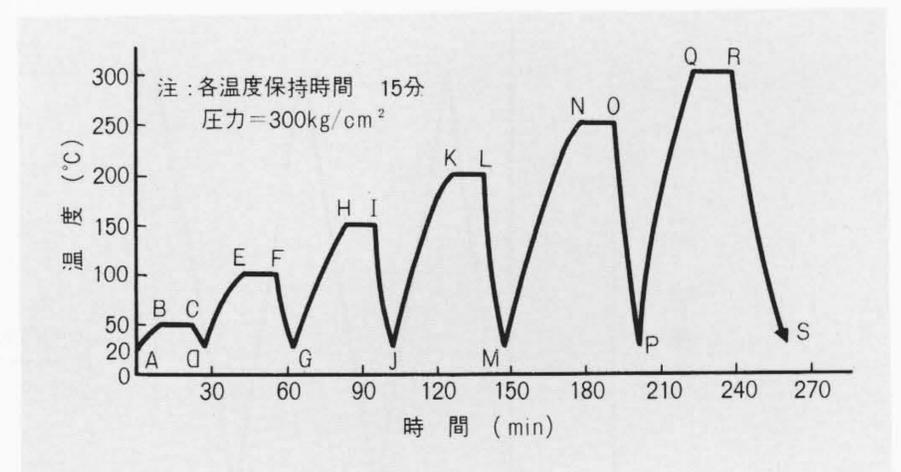


図1 加熱圧縮特性における加熱スケジュール 圧力300kg/cm<sup>2</sup>としたときの温度変化とマイカ板の圧縮率をまとめる場合の加熱スケジュールを示す。

Fig. 1 Heating Schedule for Measurement of Compressibility at 300kg/cm<sup>2</sup>

\*日立化成工業株式会社山崎工場

表2 マイカ板の試験方法 整流子片用マイカ板の試験方法の概要を示す。

Table 2 Test Methods of Mica Plate

No.	試験項目	適用規格	試験方法の要点
1	厚さ	JIS C 2116	外側マイクロメータで30箇所測定 最大, 最小, 平均値を求める。
2	幅および長さ		巻尺 (精度 $\frac{1}{2}$ mm) で3箇所測定
3	重量		上皿ばね式指示はかり測定
4	密度	JIS C 2116	試料の大きさ100mm×100mm
5	マイカ含有量	"	試料約2g 550°C×30分焼却
6	接着剤量	"	"
7	加熱減量	"	" 550°C×30分加熱
8	圧縮性	"	試料の大きさ: 45mm×45mm×約10mm厚 初圧: 5 kg/cm <sup>2</sup> , 終圧: 300kg/cm <sup>2</sup> 温度条件: RT, 200°C, 250°C, 300°C
9	絶縁破壊電圧	"	電極: 直径25mmφ, 2.5Rの面とりを行なったもの。5箇所の最低と平均値
10	吸湿絶縁抵抗		500V電動メガ, 40°C-90%RH恒温恒湿そう使用
11	加熱圧縮特性		試料の大きさ: 45mm×45mm×10mm厚 300kg/cm <sup>2</sup> の圧力を一定に加え, 図1に示す加熱サイクルを与え, 各温度における圧縮率を求める。 $\text{圧縮率} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ $T_1$ : 常温-300kg/cm <sup>2</sup> 加圧時の厚さ (mm) $T_2$ : 各温度-300kg/cm <sup>2</sup> 加圧時の厚さ (mm)
12	圧縮弾性特性		試料の大きさ: 45mm×45mm×約10mm厚 初圧10kg/cm <sup>2</sup> , 次に図3に示す加圧および加熱スケジュールにしたがって, 各温度, 圧力時点の圧縮率を求める。 圧縮弾性率と圧縮弾性率係数は圧力100~500kg/cm <sup>2</sup> の範囲で次の式により算出し, 求める。 $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ $C = \frac{\log e\sigma_B - \log e\sigma_A}{\epsilon_B - \epsilon_A}$ ここで, $E$ = 圧縮弾性率 (kg/cm <sup>2</sup> ) $\sigma$ = 圧力 (kg/cm <sup>2</sup> ) $\epsilon$ = 圧縮率 $C$ = 圧縮弾性係数 $\sigma_B$ のときのひずみ $\epsilon_B$ $\sigma_A$ のときのひずみ $\epsilon_A$
13	スベリ特性		試料の大きさ: 50mm×80mm, 温度一定 (200°C, 250°C, 300°C) 圧力は10~700kg/cm <sup>2</sup> まで変え, このときのすべり量をダイヤルゲージで読みとる。すべり試験装置は図3のとおり。
14	圧縮強度		試験片の大きさ: 25mm×10mm×2枚重ね 加圧速度: 10t/min 温度特性は熱盤を所定の温度に調節し, 試験片を金具の間にはさみ約100kgの圧力を5分間加え, その後昇圧し圧縮強度を求める。
15	切断性		20mm×40mmにハンドカッターで100片切断し, 層割れの発生率を調べる。

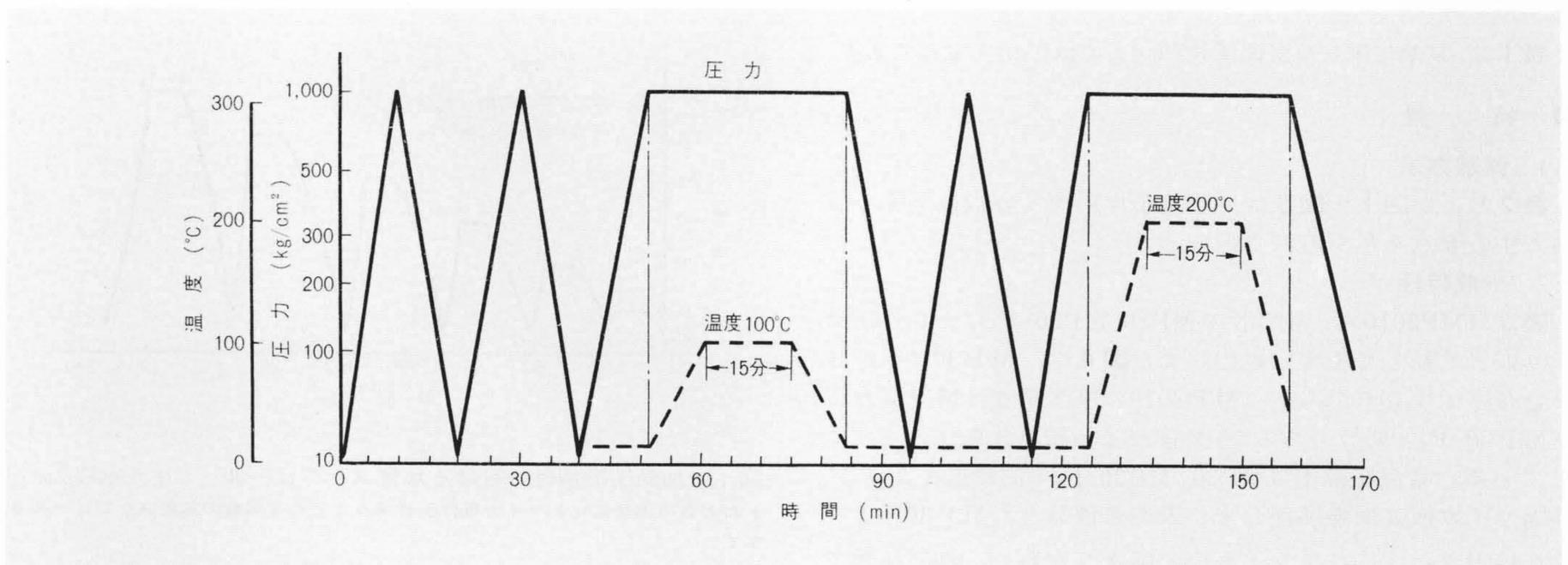


図2 圧縮弾性特性の加圧および加熱スケジュール 電動機の運転による整流子の温度上昇, 運転停止による温度の降下によって整流子が膨張または収縮し, 段間マイカにかかる面圧が増減する。段間マイカに弾性がないと塑性変形を起こす。段間マイカの圧縮弾性の測定スケジュールを示す。

Fig. 2 Heating and Press Schedule for Compressible Modulus

増加する程度で、温度依存性の少ない特性を示している。外国マイカ板の表面無処理品はMP3010と同等であるが、表面処理品は200°Cで表面ワニスが軟化し著しくしみだし、表面無処理品あるいはMP3010の約3～5倍大きい値を示す。絶縁破壊電圧はMP30およびMP30-F<sub>3</sub>と比べて約25%低い。これは無機接着剤と有機接着剤の差に原因するものであるが、約25%低い絶縁破壊電圧は機器の定格電圧および試験電圧から考えても実用的に問題となる数値ではない。

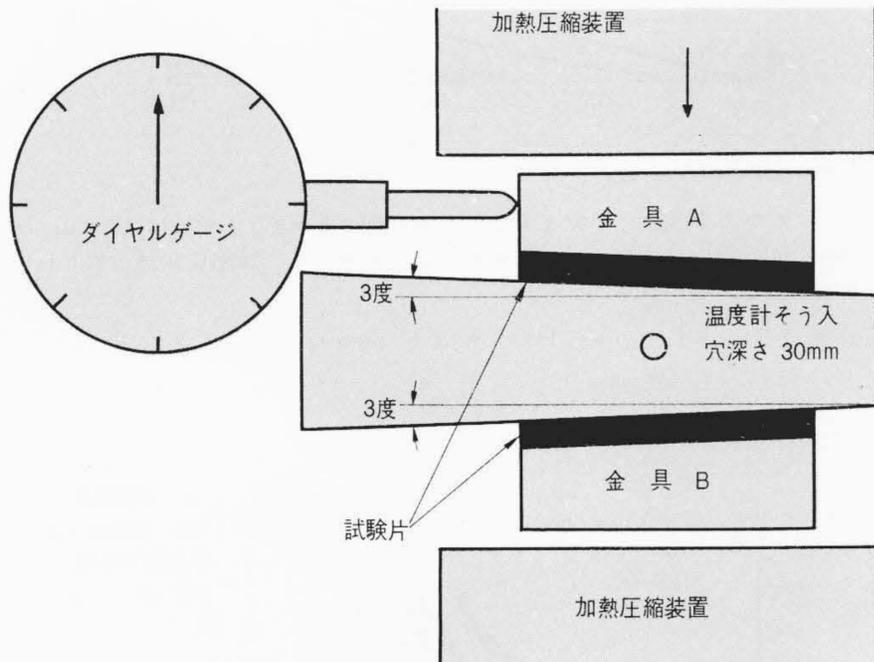


図3 すべり試験装置 各種マイカ板のすべり特性を試験する装置を示す。

Fig. 3 Test Equipment for Stability under Heat and Pressure

### 3.3 加熱圧縮特性

図5は、加熱圧縮特性を示すものである。MP30およびMP30-F<sub>3</sub>は、200°Cあるいは250°C付近に変曲点が見られる。MP3010は試験温度が高くなるに従って圧縮率は漸増するが、なだらかな曲線を描き、すぐれた加熱安定性を示している。外国マイカ板の表面無処理品は、圧縮率がわずかに大きいのが、ほぼ同等の特性を示している。表面処理品は低温領域において圧縮率が大きく、約80～100°Cになると処理ワニスのしみ

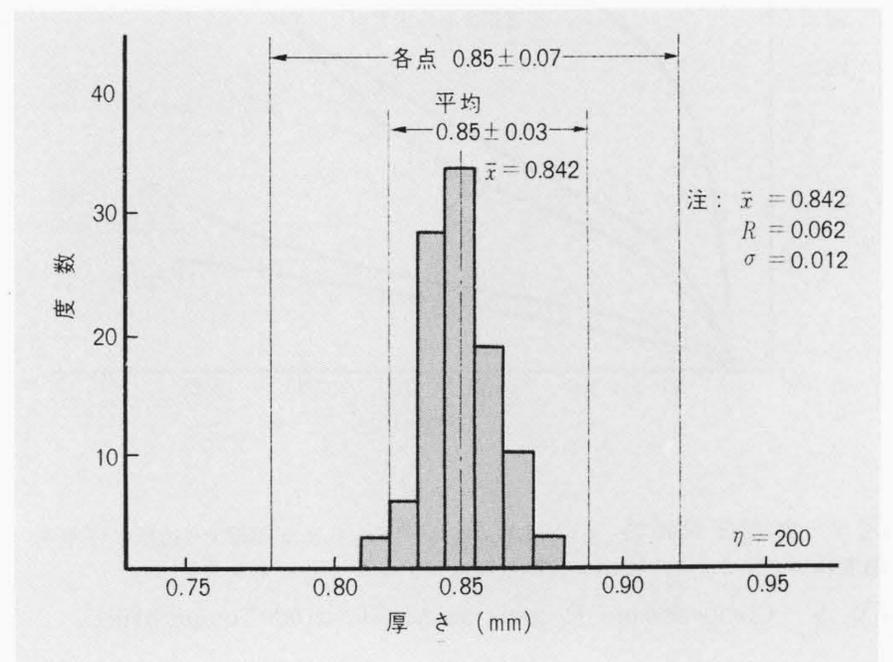


図4 MP3010 0.85tの厚さ分布 MP3010の厚さ精度を示す。

Fig. 4 Histogram of Thickness

表3 耐熱整流子片用マイカ板の一般特性(特性値の一例) 日立化成株式会社製品、整流子片用と外国耐熱整流子片用マイカ板の特性比較を示す。

Table 3 General Properties of Heat Resistant Commutator-Segment Mica Plate

試験項目	供試料	耐熱整流子片用マイカ板	整流子片用マイカ板(セラック系)	整流子片用マイカ板(エポキシ系)	外国整流子片用マイカ板		規格値	
		MP3010-0.85	MP30-0.85	MP30-F <sub>3</sub> -0.85	表面処理品	表面無処理品	MP3010-0.85	MP30 MP30-F <sub>3</sub> -0.85
厚さ (mm)	最大	0.880	0.860	0.880	0.985	0.985	0.85 ± 0.07	0.85 ± 0.06
	最小	0.815	0.810	0.830	0.840	0.760		
	平均	0.842	0.840	0.862	0.929	0.899		
寸法 (mm)		456 × 912	458 × 912	457 × 913	407 × 915	406 × 915	455 × 910 ± 5/0	455 × 910 ± 5/0
重量 (g/枚)		880	930	932	810	800	—	—
密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.44	2.64	2.59	2.34	2.4	≥ 2.3	≥ 2.5
加熱減量 (%) (500°C-30分)		0.21	—	—	1.44	0.10	≤ 0.5	—
常温圧縮率 (%)		3.7	3.9	4.1	7.61	6.55	≤ 4.5	≤ 4.5
加熱圧縮率 (%)	200°C	0.38	0.92	1.1	2.46	0.52	—	≤ 2.5
	250°C	0.44	1.7	1.6	2.50	0.55	—	—
	300°C	0.53	—	2.0	2.70	0.73	≤ 1.5	—
圧縮後の外観		良	良	良	ワニスしみ出しあり	良	*	*
絶縁破壊電圧 (kV)	最低	22.0	36.0	38.6	22.4	26.4	≥ 10	≥ 10
	平均	29.0	38.6	39.5	28.2	30.0	≥ 13	≥ 13
切断性 40mm × 20mm (%)		0	0	0	18	0	—	—

注1. 外国整流子片用マイカ板=軟質マイカ  
 表面処理品=セラックワニス表面処理  
 表面無処理品=表面処理なし  
 2. \*印=接着剤のしみ出しまたはマイカ片のすべり出しのないこと。

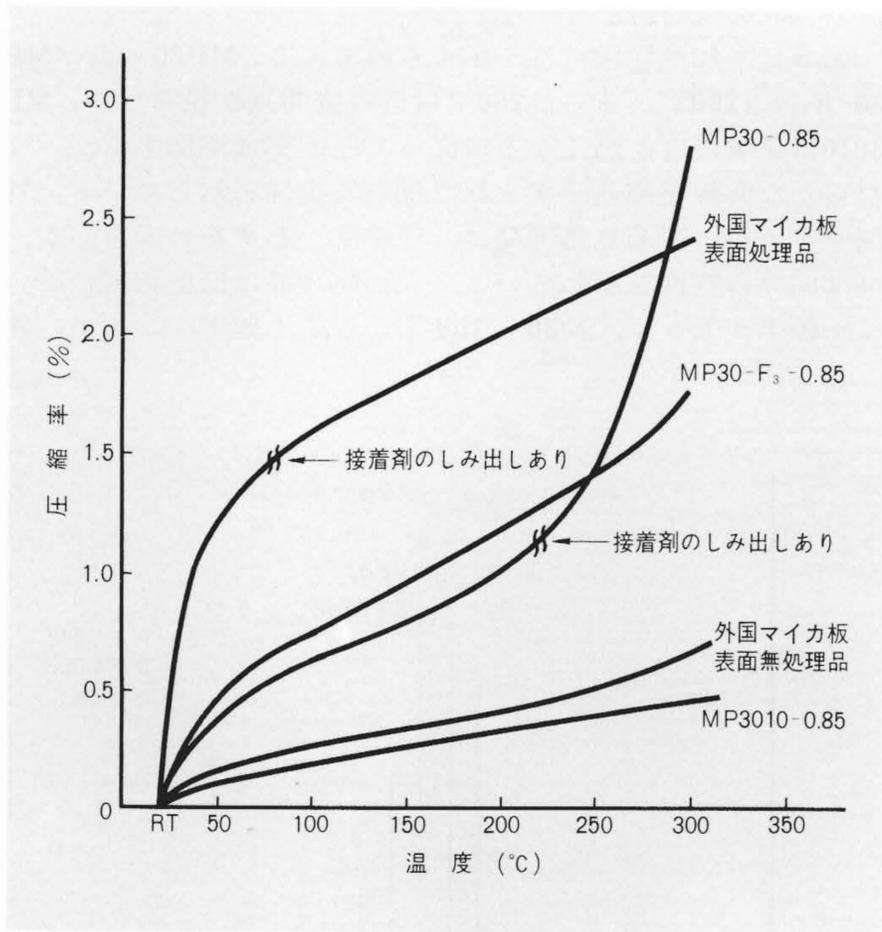


図5 加熱圧縮特性 圧力300kg/cm<sup>2</sup>下における各種マイカ板の圧縮率の温度特性を示す。MP3010は温度依存性が少ないことがわかる。

Fig. 5 Compressible Properties at Elevated Temperature

出しが著しく、圧縮ひずみは300℃時点で表面無処理品およびMP3010に比較して約5倍大きい値を示している。

### 3.4 すべり特性

図6は、すべり特性を示すものである。MP30は200℃で圧力が300kg/cm<sup>2</sup>以上になると、接着剤が熱軟化し、すべり量が急増する。MP30-F<sub>3</sub>は接着剤がエポキシ系であり、耐熱性がすぐれているため、熱軟化しにくく、MP30よりすべり特性は著しく改善されている。MP3010はMP30-F<sub>3</sub>よりさらに耐熱性がすぐれ、300℃で圧力が700kg/cm<sup>2</sup>でもすべり量が0.02mm程度で著しく少ない。外国マイカ板の表面処理品および表面無処理品ともMP3010と同じ特性を示している。

### 3.5 圧縮弾性特性

電動機の運転による整流子の温度上昇および運転停止による温度の降下によって、整流子が膨張または収縮し、この際段間マイカにかかる面圧がかなり増減する。段間マイカに十分な弾性がないと塑性変形を起こし、機器の停止中に整流子片間の面圧が減少し、運転開始時の遠心力によって段間マイカが飛び出すことになるので、圧縮弾性特性は整流子片用マイカ板として重要な特性である。図7および表4は、この圧縮弾性特性を示すものである。

MP30は常温ではMP30-F<sub>3</sub>およびMP3010と同等の弾性特性を示すが、試験温度を高くすると、圧縮ひずみの変化が大きく、200℃を越えると接着剤の軟化が著しくなり破壊に至る。MP30-F<sub>3</sub>はMP30より耐熱性がすぐれ、250℃以上では圧縮ひずみが急増する。MP3010はさらに耐熱性がすぐれており、常温において加圧-除圧を2回くり返すと安定した弾性ヒステリシス曲線を描く。試験温度を高くしても新たに圧縮されるひずみ量が少なく、加熱安定性がすぐれており、かつ圧縮弾性係数はMP30およびMP30-F<sub>3</sub>と同等で、整流子製作の作業は現行どおりにできる。常温における塑性変形量は整流子のシーズニング工程において片間面圧の不均一を吸収緩和

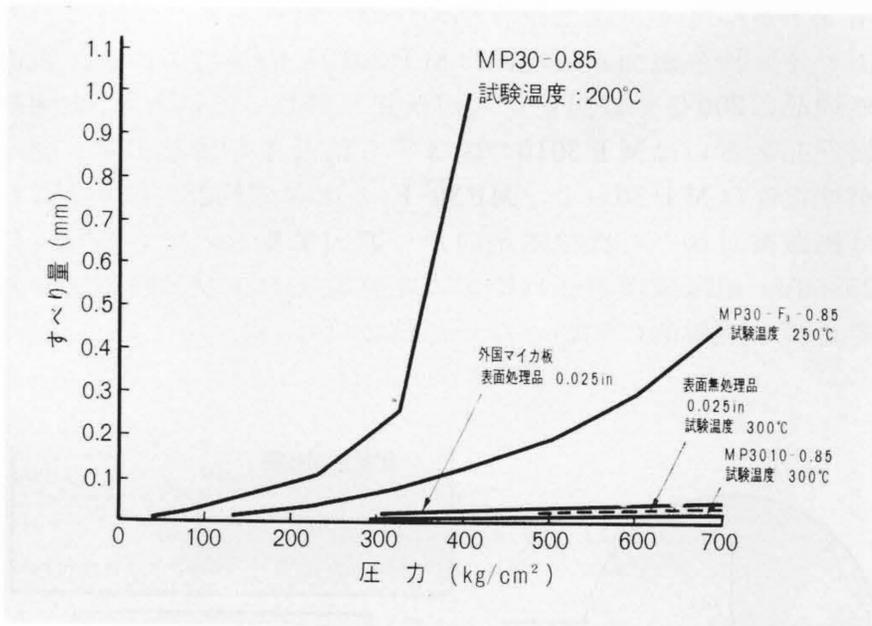


図6 すべり特性 マイカ板のすべり特性を示す。MP3010は300℃、圧力100~700kg/cm<sup>2</sup>まで変えてもほとんどすべりがなく、加熱安定性がすぐれていることがわかる。

Fig. 6 Stability under Heat and Pressure

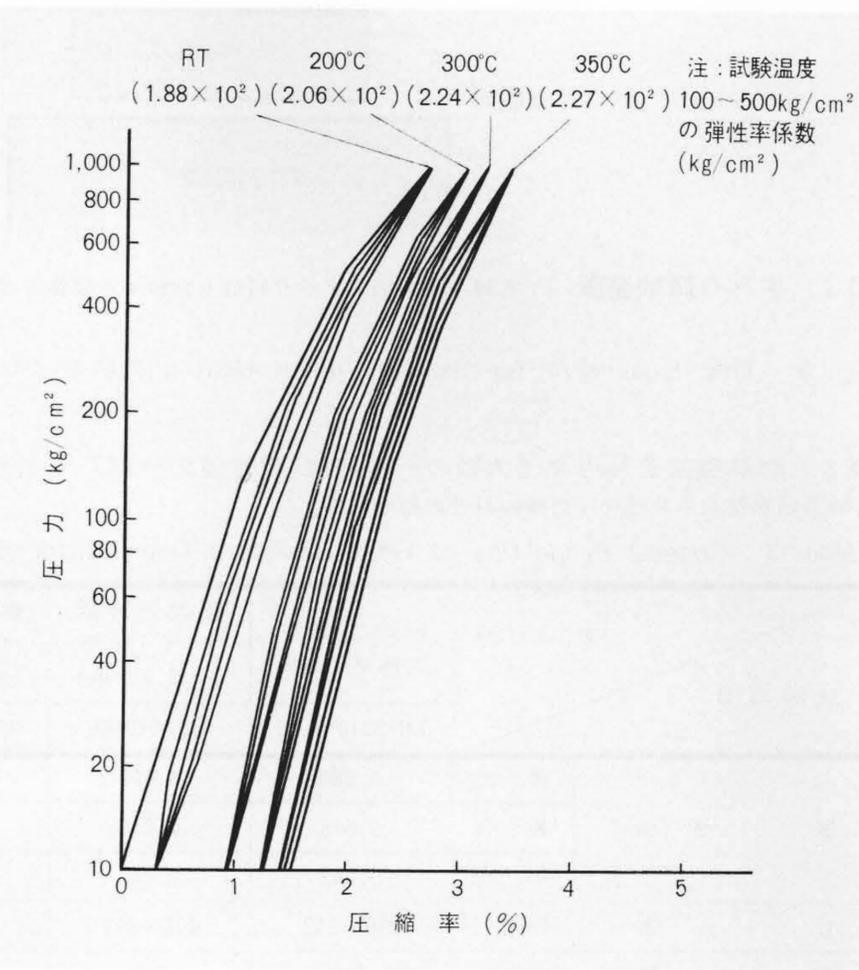


図7 MP3010-0.85の圧縮弾性特性 MP3010の圧縮弾性係数を求める曲線である。圧縮弾性係数は各温度、圧力100~500kg/cm<sup>2</sup>の範囲で求める。

Fig. 7 MP3010-0.85 Modulus of Compression

表4 圧縮弾性係数 各種マイカ板の圧縮弾性係数を示す。MP3010はMP30およびMP30-F<sub>3</sub>と同等の圧縮弾性係数を示す。

Table 4 Test Results of Compressible Modulus

供試料 測定温度	MP30	MP30-F <sub>3</sub>	MP3010	外国マイカ板	
				表面処理品	表面無処理品
RT	2.04 × 10 <sup>2</sup>	1.99 × 10 <sup>2</sup>	1.88 × 10 <sup>2</sup>	1.47 × 10 <sup>2</sup>	1.26 × 10 <sup>2</sup>
100℃	2.24 × 10 <sup>2</sup>	2.12 × 10 <sup>2</sup>	—	1.57 × 10 <sup>2</sup>	1.36 × 10 <sup>2</sup>
200℃	2.5 × 10 <sup>2</sup>	2.88 × 10 <sup>2</sup>	2.06 × 10 <sup>2</sup>	1.53 × 10 <sup>2</sup>	1.64 × 10 <sup>2</sup>
250℃	—	3.84 × 10 <sup>2</sup>	—	"	1.58 × 10 <sup>2</sup>
300℃	—	—	2.24 × 10 <sup>2</sup>	1.57 × 10 <sup>2</sup>	1.30 × 10 <sup>2</sup>
350℃	—	—	2.27 × 10 <sup>2</sup>	—	—

するのに役立つ。MP3010は350°Cで圧力1000kg/cm<sup>2</sup>の圧力に十分耐える。外国マイカ板は表面処理の有無にかかわらず、弾性ヒステリシス現象を示すが、この配はゆるやかで100～500 kg/cm<sup>2</sup>における弾性係数はMP3010より小さい。外国マイカ板の弾性係数が小さいのは、使用している原料マイカの圧縮率が大きいと考える。

### 3.6 吸湿絶縁抵抗

図8は模擬整流子を示すものであるが、マイカ板を銅バー間にはさみ、約300 kg/cm<sup>2</sup>の圧力で締め付け、40°C-90%RHの恒(こう)温恒湿そう内で銅バー間の絶縁抵抗の経日変化を測定した。図9は、その結果を示すものである。MP30およびMP30-F<sub>3</sub>は200～2,000MΩで同等の特性を示すが、MP3010は吸湿処理2日で約50～90MΩまで低下し、その後も徐々に低下し、10日間で10～30MΩになるが、それ以降30日間はほとんど低下は認められない。10MΩ程度あれば実用上問題はないものとする。外国マイカ板は、表面処理の有無にかかわらず、吸湿による絶縁抵抗の低下が著しく、MP3010と比較して劣る。

### 3.7 圧縮強度の温度特性

図10は圧縮強度の温度特性を示すものである。MP30は200°Cになると急激に低下する。MP3010はMP30より耐熱性がすぐれ、300°Cでも圧縮強度はほとんど低下せず、すぐれた加熱安定性を示す。外国マイカ板の表面無処理品も若干低下するが、MP3010と同等の特性を示す。表面処理品は150°Cにおける強度が表面無処理品およびMP3010に比較し約35%低いが、温度による強度低下の傾向は表面無処理品と同様である。

## 4 MP3010の実機への応用検討

一般直流電動機の整流子片段間絶縁には、セラック系接着剤またはエポキシ系接着剤を用いたマイカ板のほかに、ビニルアルキド系接着剤を用いたものも使用されているが、セラック系接着剤を用いたマイカ板が主流である。セラック系接着剤を用いたマイカ板では接着剤の硬化および粘(か)らしを

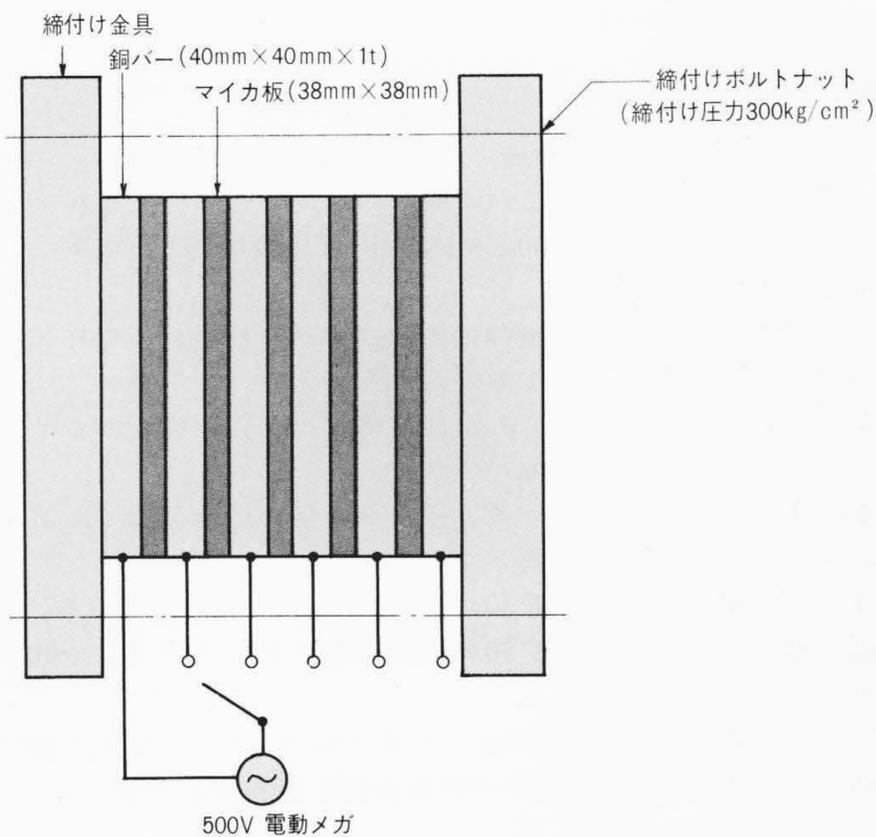


図8 吸湿絶縁抵抗測定試料 各種マイカ板の吸湿時の絶縁抵抗を測定する試料を示す。

Fig. 8 Test Specimen of Moisture Resistance

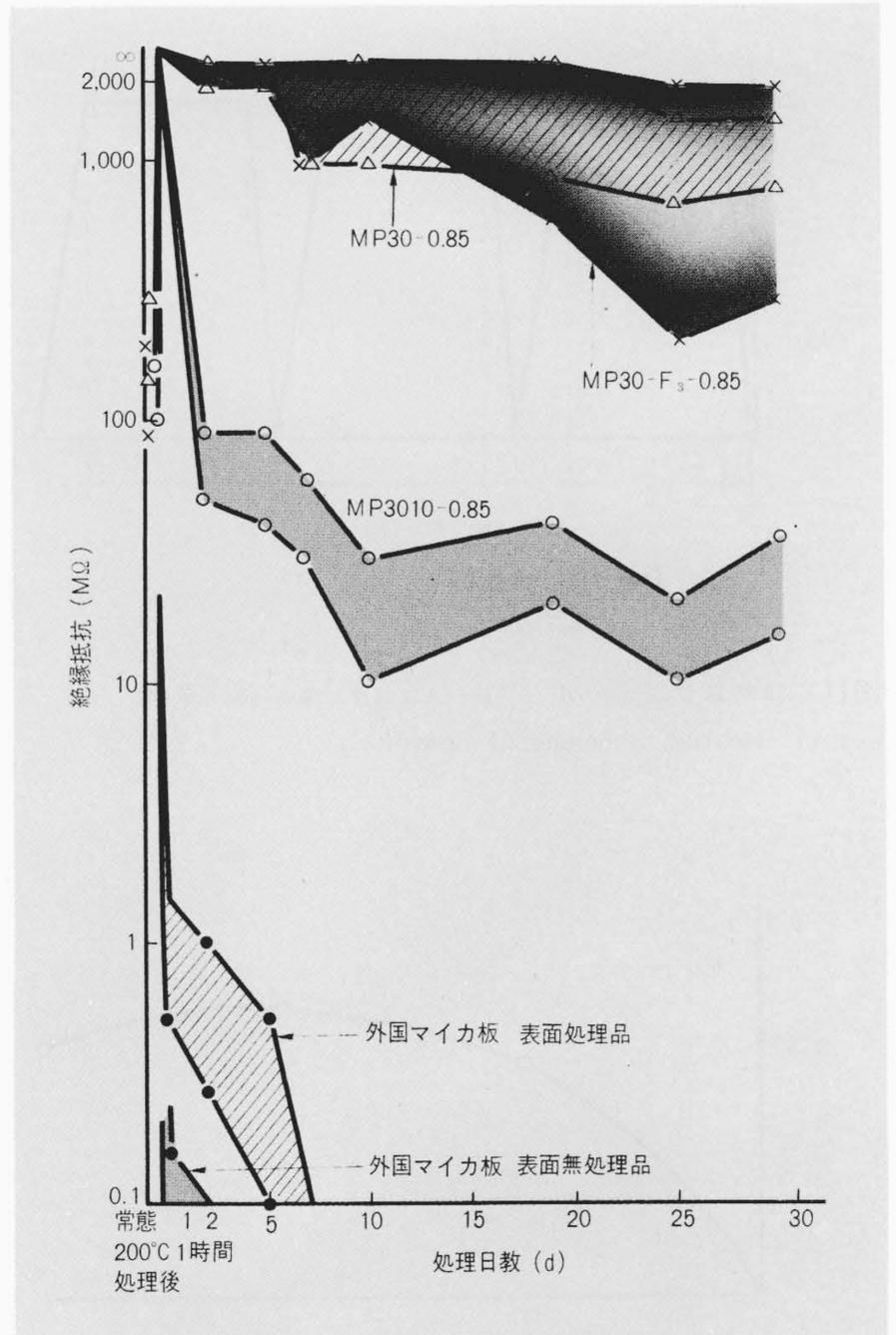


図9 40°C 90%RHにおける吸湿絶縁抵抗の変化 整流子片間モデルによる各種マイカ板の吸湿時の絶縁抵抗を示す。

Fig. 9 Insulating Resistance at 40°C-90%RH

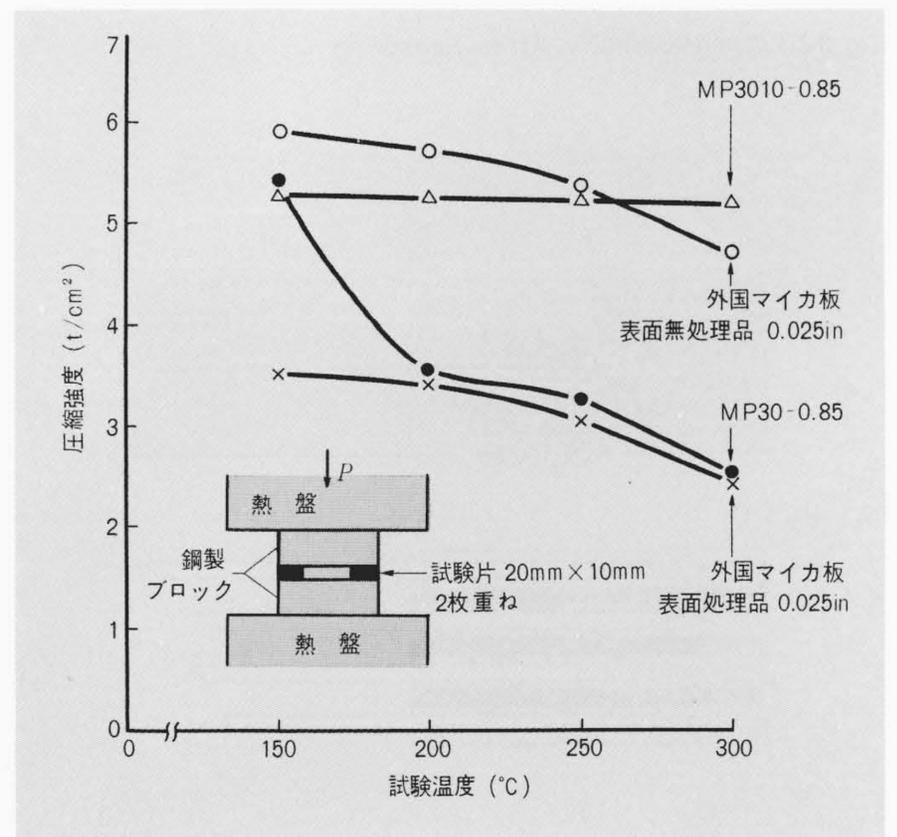


図10 圧縮強度の温度特性 各種マイカ板の圧縮強度の温度特性を示す。MP3010は温度依存性が少ないことがわかる。

Fig. 10 Relation of Compressible Strength and Temperature

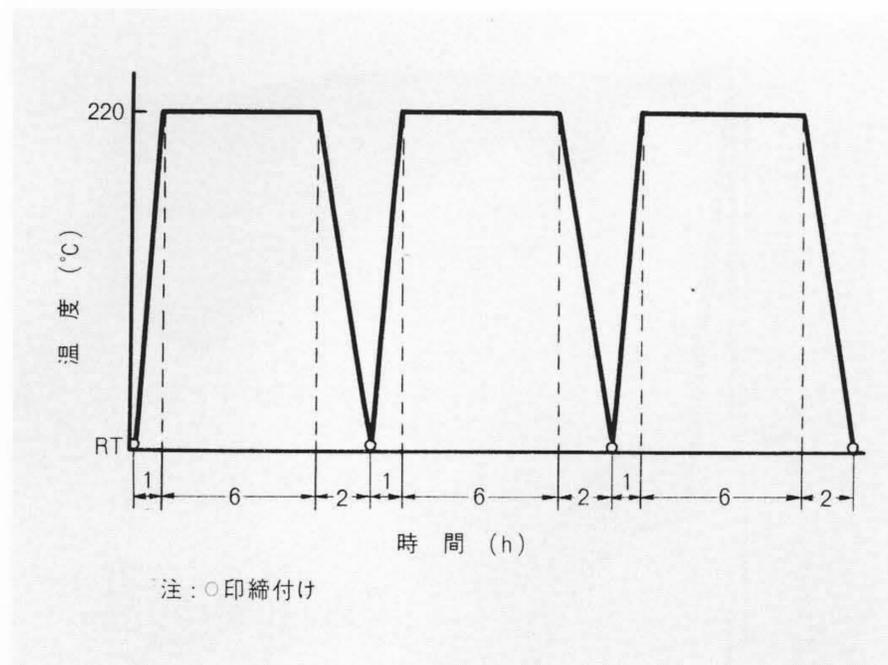


図11 加熱スケジュール シーズニング工程の一例を示す。  
Fig. 11 Heating Schedule of Seasoning

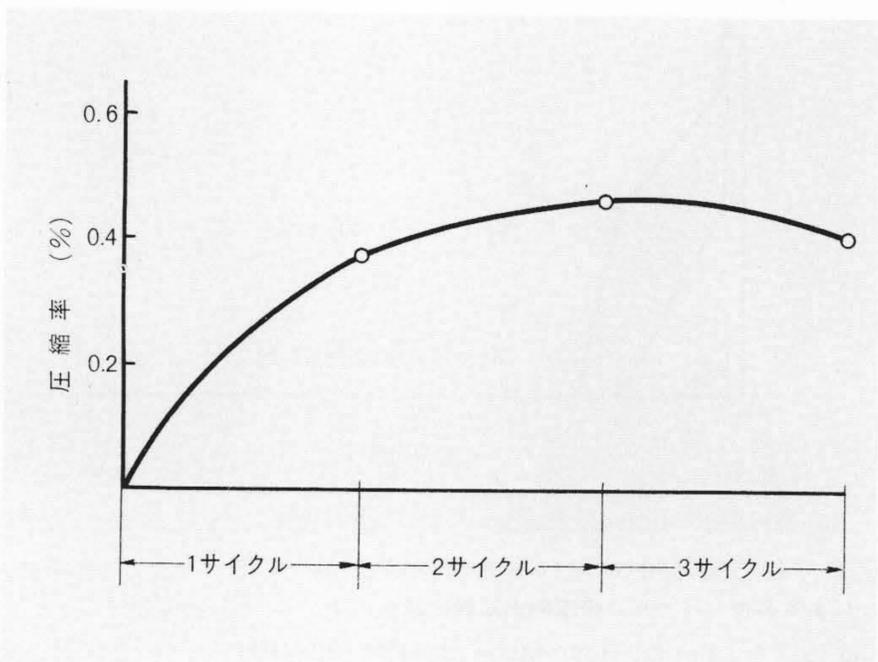


図12 各サイクルにおける圧縮率の変化 段間マイカのシーズニング工程サイクルの圧縮率曲線を示す。サイクルをくり返しても圧縮率はほとんど変化がない。  
Fig. 12 Compressibility After Seasoning

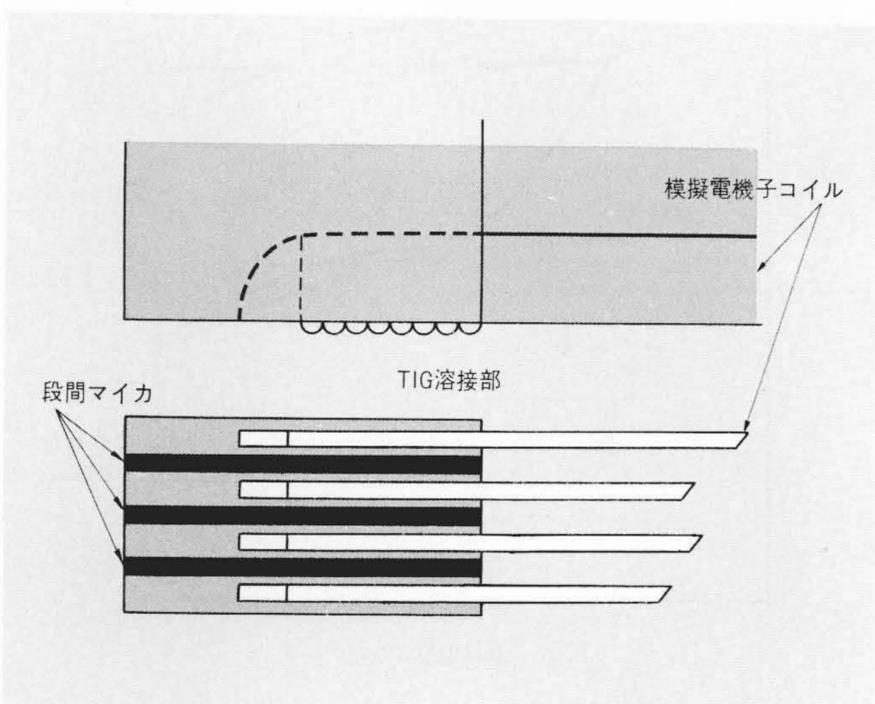


図13 TIG溶接用模擬整流子 TIG溶接時の発煙性、TIG溶接後の外観およびインパルス電圧試験用模擬整流子を示す。  
Fig. 13 Commutator Model for TIG Welding

表5 TIG溶接性検討結果 TIG溶接時の発煙性、TIG溶接後の外観およびインパルス耐電圧で可否を判定した。

Table 5 Test Results of TIG Welding

供試料	発煙性	外観	インパルス耐電圧
MP3010	◎	○	○
外マイカ板	表面処理品	×	×
	表面無処理品	◎	○

備考 ◎印：非常に良い △印：やや悪い  
○印：良い ×印：悪い

十分行ない、銅バーとのなじみを持たせるために長時間のシーズニング工程が必要である。また、ライザ部の溶接時に接着剤が炭化し、電気特性を著しく低下させる。これら作業上の難点を改善するため、無機質系接着剤を用いたMP3010の実機への応用について検討した。

#### 4.1 シーズニング特性

40mm×40mmの試験片を厚さ約10mmになるように積み重ね、常温で約400kg/cm<sup>2</sup>の圧力を加えて締め付け、210°Cの加熱乾燥機に入れ、図11に示すスケジュールで加熱し寸法(厚さ)の変化を測定した。図12は、その結果を示すものである。3サイクルまでくり返したが第1回の締め付け時点ではほぼ飽和点に達し、その後の締め付けではわずかに変化する程度である。したがって、整流子製シーズニング工程の短縮が実現した。

#### 4.2 TIG溶接性

MP30およびMP30-F<sub>3</sub>などのように有機接着剤を用いたマイカ板は、TIG溶接時炭化する。炭化防止に種々の工夫が凝らされているが、作業性が悪く、作業工数が多くなる欠点がある。図13は模擬整流子を示すものである。また表5は、TIG溶接後の耐電圧試験結果を示すものである。インパルス耐電圧試験ではMP3010が外国マイカ板の表面処理品と同等であるが、表面処理品はTIG溶接後の状態あるいはブラシがけ程度では炭化した表面ワニスが取れず、電気特性を低下させている。

### 5 結 言

新しく開発した耐熱整流子片用マイカ板MP3010について、一般特性、特殊試験および実機への応用について、現行の整流子片用マイカ板MP30とMP30-F<sub>3</sub>と比較検討し、以下に示すような結果を得た。

- (1) 加熱圧縮特性、圧縮弾性特性、すべり特性および圧縮強度はきわめてすぐれた加熱安定性を示す。
- (2) 長時間加熱加圧しても常態特性とほとんど変化がなく、シーズニング工程の短縮ができた。
- (3) TIG溶接によるマイカ接着剤の炭化は全くなく、溶接前後の特別な作業が不要となる。
- (4) 厚さ精度は現行MP30およびMP30-F<sub>3</sub>と同等である。
- (5) 吸湿絶縁抵抗はMP30およびMP30-F<sub>3</sub>に比べてやや低い実用上十分な値である。

終わりに臨み本研究に終始ご指導ご協力いただいた日立製作所日立工場、同日立研究所の関係各位に深謝する次第である。

#### 参考文献

- (1) 田嶋：「整流子片用マイカ板の圧縮特性に関する二、三の考察」日立評論 46, 824 (昭39-5)