

# アモルファス積鉄心変圧器

Amorphous Stacked-Core Transformer

宮田 英司\*

Eiji Miyata

矢後 克二\*\*

Katsuji Yago

廻間 正樹\*\*\*

Masaki Kaima

小林 春夫\*\*\*

Haruo Kobayashi

A three-phase 500kVA stacked-core transformer using POWERCORE strip with laminated amorphous ribbons has been developed. Prior to manufacturing, the core cutting methods were studied and from this research it was confirmed that the optimum cutting performance could be achieved by using the proper shearing machine. Following this, the effects of the core construction on no-load characteristics in single-phase and three-phase core models were investigated. As a result, the mitered joint construction was found to be optimum, as is also the case with grain oriented silicon steel strips. Due to the development of the three-phase 500kVA stacked-core transformer, the no-load loss rate was reduced to approximately 30 percent of that of the existing distribution transformer.

## 1 まえがき

鉄心材料にアモルファス磁性材料を使用した変圧器の試作結果は、これまでに数多く報告されており、その鉄損低減効果は広く認められているところである。これら報告のほとんどは巻鉄心の場合であるが、これを積鉄心に適用した場合においても、大幅な鉄損低減が期待される。

当社ではすでに報告したように、75kVAの積鉄心変圧器を製作し、現行品に比べて鉄損が約40%に低減されるという結果を得ている。しかし、アモルファス材料の素材厚さが約25 $\mu$ mと非常に薄いために、積層工数が増加し、かつ自動化を図ることも困難な状況であった。

この欠点を改善する一つの手段として、最近アモルファス材料の製造メーカーであるアライド社より、これを多枚数積層した材料（パワーコア）が発表された。そこで今回パワーコアを用いて積鉄心変圧器の試作を行ったので、ここに報告する。

## 2 切断方法の検討

パワーコアは、アライド社のアモルファス材料であるMETGLAS 2605S-2(幅102mm)を6枚積層して一体化し、厚さ0.13mmとしたものである。しかし、そのためにアモルファス合金の短所である脆化が素材の時より一層進んでおり、切断加工を困難なものとしている。

この問題を解決するため、最初に切断方法について検討を行った。

### 2.1 加熱切断

アライド社の資料によれば、切断に先立ちその部分を

局部的に加熱することによって、良好な切断が得られることが報告されている。

そこで、最適な加熱条件を求めするために、図1に示す加熱電極を用い、切断部分を温度150~300 $^{\circ}$ Cの範囲に加熱し、2種類の切断機構によるシヤー切断試験を行った。その結果を表1に示す。

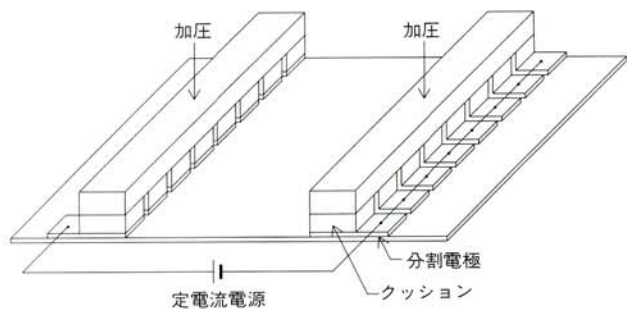


図1/加熱電極

Fig. 1/Heating electrode

表1/加熱切断試験結果

Tab. 1/Cutting test results of POWERCORE

加熱温度 $^{\circ}$ C		300	250	200	150
シヤー切断機	機構1	○	×	×	×
	機構2	○	○	○	×

判定...○:良 ×:不良

この結果から、切断機構1では300 $^{\circ}$ Cに加熱することによって良好な切断が得られ、これを改良した機構2では200 $^{\circ}$ Cにおいても、良好な切断が得られることがわかった。なお、図2に300 $^{\circ}$ Cに加熱した場合の温度分布を表す写真、図3に150 $^{\circ}$ C及び300 $^{\circ}$ Cで切断した場合の切断面の写真を示す。

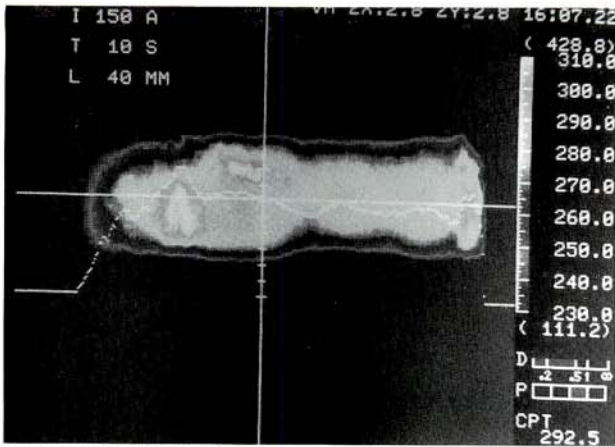


図2/加熱部の温度分布  
Fig. 2/Temperature distribution

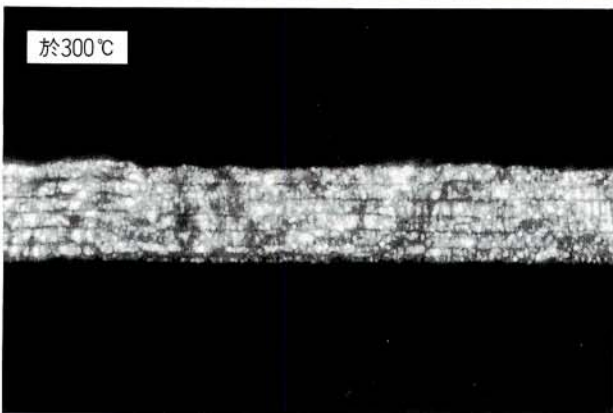
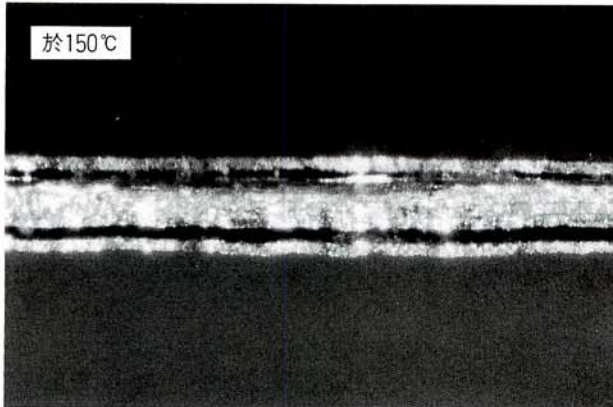


図3/切断面(加熱時)  
Fig. 3/Cutting surface (heating)

## 2.2 常温切断

加熱切断の場合は、試料を所定温度まで加熱するのに数秒間を必要とし、加工時間が大幅に増加するので、常温での各種切断方法についても検討した。その結果を表2に示す。

表2からわかるように、レーザー、プラズマ及び砥石による切断方法では切断部に割れ、溶融、変形等を生じ、また、パンチ、プレス、通常のシヤー(シヤー1)では、バリ、欠け等の不具合が生じた。しかし、切断速度及び切断部の機構を改良したシヤー2の方法では、良好な結果を得ることができた。この場合の切断部の写真を図4に示す。

以上の結果から、適切なシヤー切断機を使用することによって、常温でも十分切断可能であることが判明した。

表2/常温切断試験結果

Tab. 2/Cutting test results at room temperature

切断方法	所見	判定
レーザー	切断部に割れ発生	×
プラズマ	切断部溶融	×
砥石	切断部に熱ひずみ変形発生	×
パンチ	切断部にバリ発生	△
プレス	切断部にヒゲ状バリ割れ発生	△
シヤー1	切断部に欠け発生	△
シヤー2	良好	○

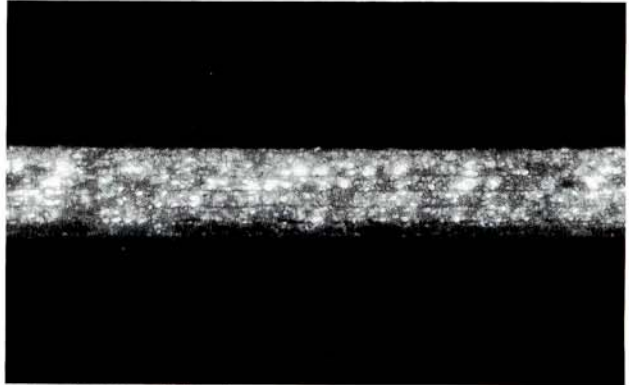


図4/切断面(常温)  
Fig. 4/Cutting surface (room temperature)

## 3 モデルによる積方式の検討

実器製作に先立ち、単相及び3相の鉄心モデルにて、積方式が無負荷特性に及ぼす影響について検討した。

なお、アモルファス材料では、所定特性を得るために磁場焼鈍が必要であるが、パワーコアの場合は積層時にあらかじめ焼鈍されているので、鉄心組立後の焼鈍は行っていない。

### 3.1 単相鉄心モデル

パワーコアを用いて図5(a)、(b)に示す単相鉄心モデルを製作し、無負荷特性を測定した。その結果を図6に示す。

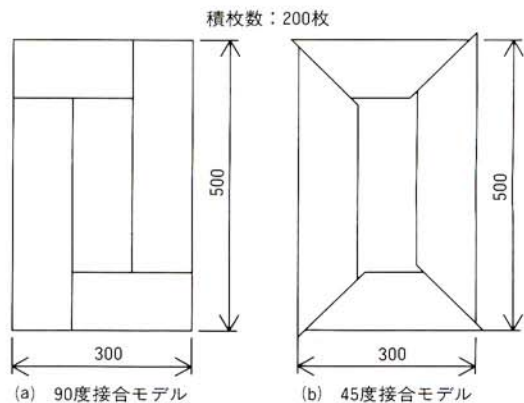


図5/単相鉄心モデル  
Fig. 5/Single phase core model

図6からわかるように、鉄損、励磁容量共、図5(b)の45度接合の方が、図5(a)の90度接合より小さい。これより、アモルファス材料にもリボン軸方向を基準にした磁気異方性の存在することがわかる。また、特性の差が予想以上にあったが、これは、45度接合の場合には、接合部が機械加工後の切断面で衝合しているのに対し、90度接合の場合は、パワーコアが製造されたままのトリミングされていない不揃いな端面で衝合しているためであると考えられる。

なお、単板の値に対する鉄損の増加率は、45度接合で約1.2倍、90度接合で約2.7倍である。

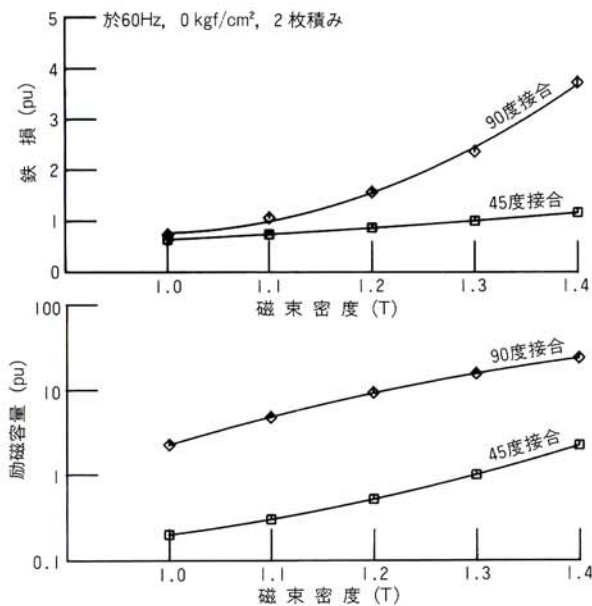


図6/単相鉄心モデル無負荷特性

Fig. 6/No-load characteristics

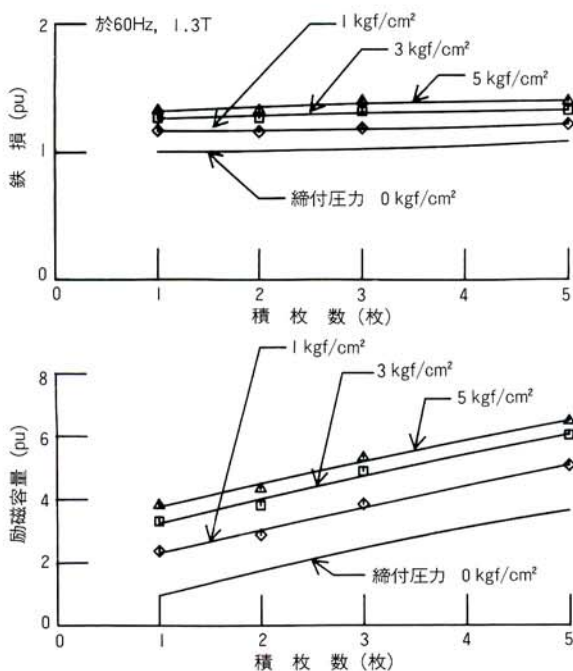


図7/積枚数、締付圧力の影響

Fig. 7/Influence of stacking number of strip and compressive force to core

次に、鉄心積層時の同時積枚数及び積層後の鉄心締付圧力の影響を調べるため、45度接合のモデルを用いて同時積枚数を1～5枚、鉄心締付圧力を0～5 kgf/cm<sup>2</sup>と変え、60Hz、1.3Tにおける無負荷特性を測定した。その結果を図7に示す。この結果から、同時積枚数の鉄損に対する影響は少ないが、励磁容量は積枚数の増加と共に増加する。また、鉄心締付圧力が増加すれば、鉄損、励磁容量共に増加することがわかる。

### 3.2 3相鉄心モデル

同様な試験を、図8(a)、(b)、(c)に示す3相鉄心モデルについて行った結果を図9に示す。図9から、45度接合と90度接合との差異は単相鉄心モデルの場合と同様な傾向にあることがわかる。

なお、単板の値に対する鉄損の増加率は、それぞれ、約3.0、1.8及び1.3倍である。

また、45度接合モデルにより、鉄心締付圧力を0～3 kgf/cm<sup>2</sup>の範囲に変え、60Hz、1.3Tにおける無負荷特性を測定した結果を図10に示す。図10からも締付圧力の増加に伴って特性の悪くなることがわかる。

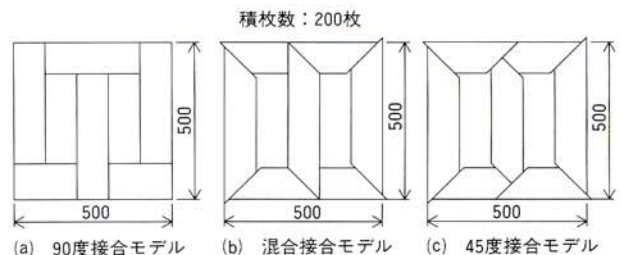


図8/3相鉄心モデル

Fig. 8/Three phase core model

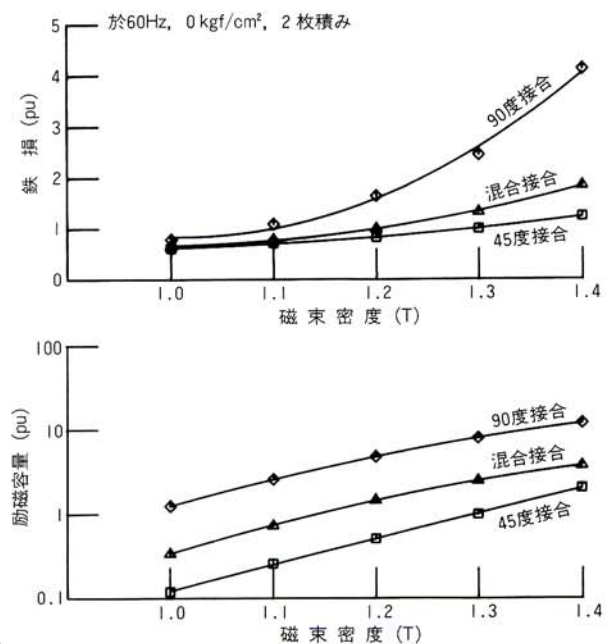


図9/3相鉄心モデル無負荷特性

Fig. 9/No-load characteristics

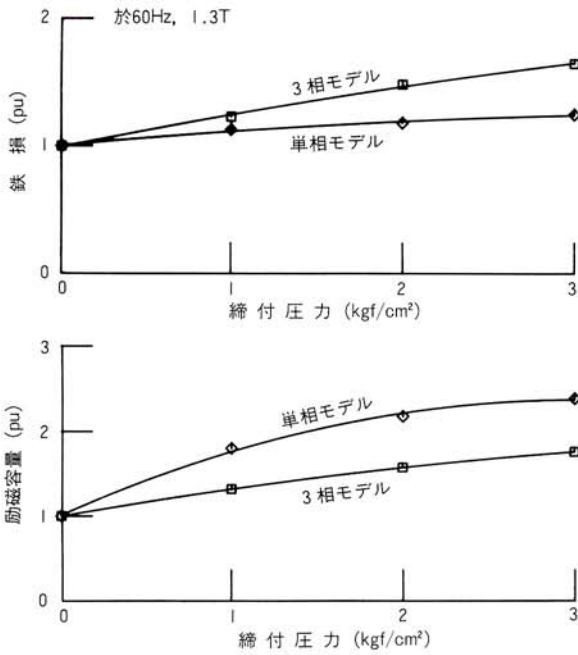


図10/締付圧力の影響

Fig. 10/Influence of compressive force to core

## 4 アモルファス積鉄心変圧器

以上の検討結果を基に、パワーコアを用い、表3の仕様で積鉄心変圧器の試作を行った。接合方式は前記鉄心モデルによる試験の結果から45度接合とした。

表3/アモルファス積鉄心変圧器の仕様

Tab. 3/Specification of amorphous stacked-core transformer

項目	仕様
形式	屋外油入自冷式
相数	3相
周波数	60Hz
定格容量	500kVA
一次電圧	6600V
二次電圧	210V
結線	星形-三角形

試作したアモルファス積鉄心変圧器と現行けい素鋼板積鉄心変圧器の寸法・総質量・油量及び特性試験結果の比較を表4に、また、試作器の鉄心・中身及び外観の写真を図11(a)(b)、図12に示す。



図11(a)/鉄心組立

Fig. 11(a)/Core assembling



図11(b)/中身組立

Fig. 11(b)/Core and coil

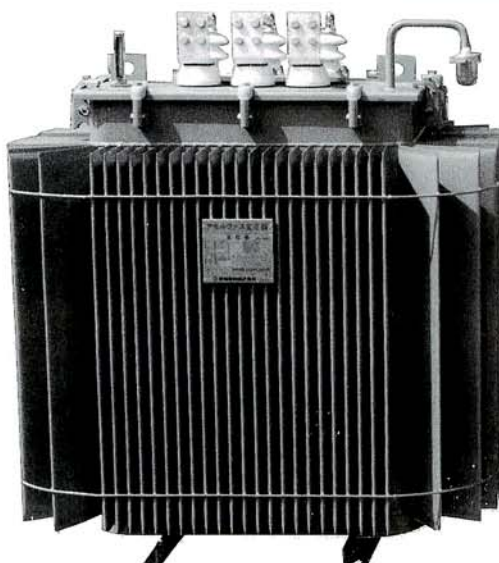


図12/500kVA積鉄心変圧器 (左: 試作器 右: 現行器)

Fig. 12/500kVA stacked-core transformer (Left: Amorphous tr. Right: Silicon steel tr.)

表4/寸法・総質量・油量及び特性試験結果

Tab. 4/Dimensions, weights and test results

項目	アモルファス変圧器	現行変圧器
幅 mm	1180	1220
奥行 mm	940	860
高さ mm	1320	1320
総質量 kg	1620	1260
油量 ℓ	200	260
無負荷電流 %	0.49	0.74
無負荷損 W	295	970
負荷損 W	5800	5840
インピーダンス電圧 %	4.81	3.83

表4からわかるように、鉄心をアモルファス材料とすることによって、外形寸法は現行変圧器とほぼ同一であるにもかかわらず、無負荷電流は約66%、無負荷損は約30%と大幅に無負荷特性が改善されている。

アモルファス鉄心は製造工程中に応力の影響を受けることが予想されるため、工程中における無負荷特性の変化を測定した。その結果を図13に示す。この結果から、いくぶんか無負荷損の増加が認められるが、完成品は鉄心組立直後と大差ないことがわかる。

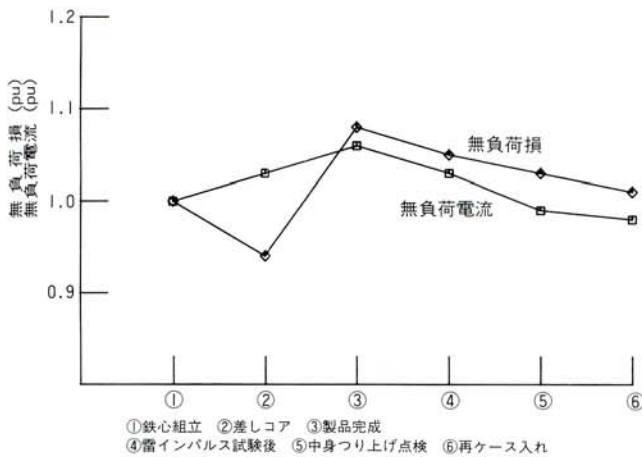


図13/製造工程における無負荷特性の変化

Fig. 13/Variation of no-load characteristics in manufacturing process

## 5 あとがき

アモルファス磁性材料の優れた特性を、中大形変圧器にも生かすために、3相500kVAの積鉄心変圧器を試作した結果、無負荷特性は、現行変圧器に比べて大幅に改善され、所期の目的を達成することができた。

更に、本器の長時間課電試験を実施し、長期信頼性の検証を行う計画である。

最後に、アモルファス積鉄心変圧器の製作にあたり御協力戴いた関係各位に対し深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- (1) 柳沢、矢後、広江、廻間：アモルファス変圧器（第一報、第二報） 愛知電機技報 No.2、No.3
- (2) 小松、宮田、矢後、廻間：積層アモルファス合金鉄心材料の切断方法 昭和61年度電気関係学会東海支部連合大会 No.116
- (3) 小松、宮田、神谷、矢後：積層アモルファス合金積鉄心の積み方式と鉄損特性 昭和62年度電気学会全国大会 No.230