

# アモルファス合金の鉄損算定式の改善

学生員 加藤 大貴\* 学生員 熊谷 崇宏 正員 日下 佳祐  
 上級会員 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Improvement of Iron Loss Evaluation Equation for Amorphous Alloys  
 Hirotaka Kato\*, Student Member, Takahiro Kumagai, Student Member, Keisuke Kusaka, Member  
 Jun-ichi Itoh, Senior Member (Nagaoka University of Technology)

キーワード: アモルファス合金, 鉄損, スタインメッツの実験式, iGSE  
 (Keywords: Amorphous Alloy, Iron loss, Steinmetz's equation, iGSE)

## 1. はじめに

アモルファス合金は低鉄損であることからモータコアへの適用に期待がされている。鉄損の計算にはスタインメッツの実験式やそれを拡張した iGSE が用いられる<sup>(1)</sup>。しかし、一般に iGSE はケイ素鋼板やフェライト材へ適用事例は多いが、アモルファス材へ適用した場合は近似精度が低下することがわかった。そこで、鉄損算定式の改善により近似精度の向上を図る。

## 2. 鉄損算定式の改善

低周波(~数 kHz)の場合、アモルファス合金は鉄損のうちヒステリシス損が相対的に大きい<sup>(2)</sup>。ヒステリシス損は磁束密度に対して強い非線形性があり<sup>(3)</sup>、従来のスタインメッツの実験式では特に磁束密度が低い領域で誤差が大きい。その結果、iGSE へ拡張した場合にも誤差が大きくなる。そこで提案する算定式では、(1)式に示すようにスタインメッツの実験式においてスタインメッツ係数  $k_n$ ,  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$  を磁束密度振幅  $B$  の大きさにより 2つの範囲に区分けして近似を行う。

$$P_v = k_n f^{\alpha_n} B^{\beta_n} \quad (B \leq 0.59T: n=1, B > 0.59T: n=2) \dots\dots\dots(1)$$

図 1 に矩形波電圧印加時の磁束密度波形概形を示す。(1)式のスタインメッツ係数を iGSE へ代入し、拡張することで、図 1 に示す正弦波以外の電圧波形にも対応する算定式(2)式を得る。

$$P_v = \frac{1}{T} \int_0^T k_{in} \left| \frac{dB}{dt} \right|^{\alpha_n} (\Delta B)^{\beta_n - \alpha_n} dt \quad (B \leq 0.59T: n=1, B > 0.59T: n=2) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $k_{in}$  は  $k_n$ ,  $\alpha_n$ ,  $\beta_n$  より計算できる iGSE 係数である。

## 3. 実験結果

図 2 にアモルファス合金に正弦波電圧を印加した際の鉄損測定値と、スタインメッツの実験式および提案する算定

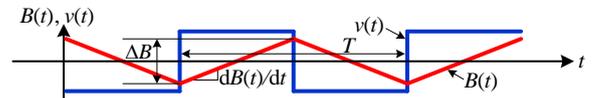


Fig.1 Voltage and flux density waveforms.

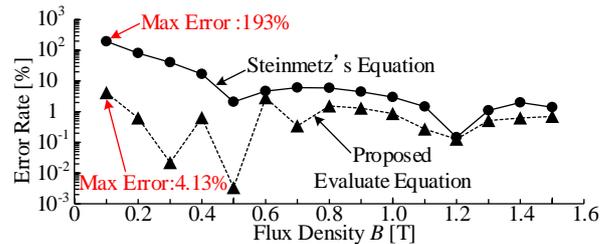


Fig.2 Estimation error of evaluation equation. (Sine wave, 1kHz)

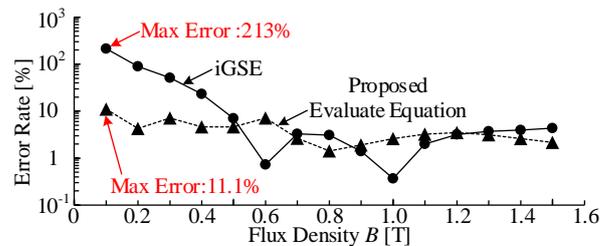


Fig.3 Estimation error of evaluation equation. (Square wave, 1kHz)

式(1)式で計算した鉄損推定値との誤差率を示す。提案する算定式による鉄損推定値は、測定値に対して最大誤差を 193% から 4.13% まで改善している。

図 3 にアモルファス合金に矩形波電圧を印加した際の鉄損測定値と、iGSE および提案する算定式(2)式で、計算した鉄損推定値との誤差率を示す。従来の算定式に比べ提案する算定式では広範囲において高精度である。とりわけ低磁束密度域では、最大誤差を 213% から 11.1% まで改善している。

## 文 献

- (1) JONAS MÜHLETHALER, ETH ZURICH, pp.207 (2017)
- (2) Kumagai, Sakurai, Itoh, ICEMS, No.LS2D-1, pp.258-262 (2020)
- (3) F.J.G. Landgraf, JMMM, No.320, pp.531-534 (2008)