

# デューティ比の異なる方形波電圧励磁に対応した鉄損算定式の各種鉄心材への適用性評価

畠山 智行, \*中村 健二  
(株式会社 日立製作所, \*東北大学)

Applicability Study of Iron Loss Calculation Methods for Various Core Materials  
under Rectangular Voltage Excitation with Various Duty Ratios  
Tomoyuki Hatakeyama, \*Kenji Nakamura  
(Hitachi, Ltd., \*Tohoku University)

## はじめに

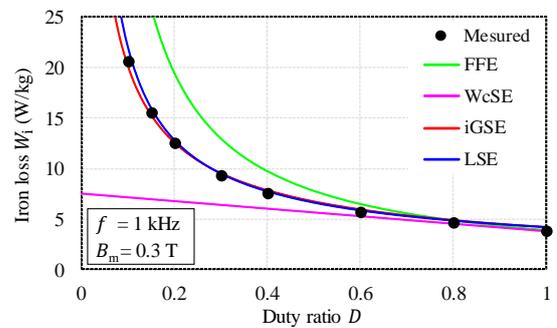
一般に鉄損算定式として知られる Steinmetz の実験式は、フルブリッジ型 DC-DC コンバータに用いられる高周波変圧器の励磁条件である、デューティ比が変化する正負対称の方形波電圧励磁下の鉄損を精度良く算定できない。この課題を解決するため、先行研究において種々の鉄損算定式が提案されてきたが、鉄心材に関する適用可能性の評価が十分とは言い難い。本稿では、4種の鉄損算定式を考察対象に挙げ、各種鉄心材に対する適用可能性について評価する。

## 評価方法

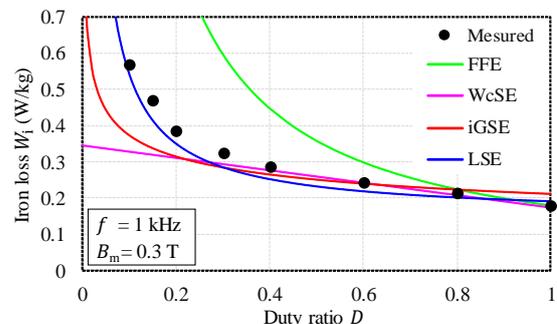
評価対象の鉄損算定式は次のとおりである。はじめに、Improved Generalized Steinmetz Equation (iGSE) は、Steinmetz の実験式の変数である周波数 $f$ と最大磁束密度 $B_m$ の代わりに、磁束密度変化率 ( $dB/dt$ ) を変数とする鉄損算定式である。次いで、 $dB/dt$ の波形率を用いる方法 (Form Factor Equation: FFE) は、Steinmetz の実験式に $dB/dt$ の波形率で決まる係数を乗じて鉄損を求める方法である。Waveform coefficient Steinmetz Equation (WcSE)も同様であり、Steinmetz の実験式に磁束密度波形で決まる係数を乗じる方法である。最後に、鉄損を発生要因毎に分離して計算する方法 (Loss Separation Equation: LSE) は、鉄損をヒステリシス損、渦電流損、異常渦電流損の3つの要因に分離し、それぞれを別々に算出して足し合わせる方法である。以上4種の鉄損算定式を用いて、デューティ比が変化する正負対称の方形波電圧励磁時の各種鉄心材の鉄損を算定するとともに、実測値と比較した。なお、実験に用いた鉄心はカットコアであり、鉄心材によらず形状、寸法は等しい。

## 評価結果

Fig. 1 (a), (b)に、3%方向性ケイ素鋼板、ナノ結晶軟磁性材における鉄損の実測値および計算値を示す。同図において、横軸はデューティ比 $D$ 、縦軸は単位重量あたりの鉄損 $W_i$ であり、デューティ比が小さくなるほど鉄損が増大することがわかる。本評価から得られた知見は次のとおりである。FFEは、算定精度が低く、デューティ比が変化する方形波電圧励磁時の鉄損の算定には適さない。次いで、WcSEは、簡便性に優れているが、鉄心材によってはデューティ比が小さい場合に誤差が大きくなる。iGSEは、算定精度と簡便性のバランスが取れており、鉄心材がケイ素鋼板の場合には有用である一方で、ナノ結晶軟磁性材のような薄板材の場合には、デューティ比が小さい場合に算定精度が悪化する。最後に、LSEは、鉄損の算定に鉄心材の高周波鉄損曲線が必要となるものの、鉄心材、デューティ比によらず算定精度が高い。



(a) 3% grain-oriented silicon steel



(b) Nanocrystalline soft magnetic material

Fig. 1 Comparison of calculated and measured iron losses.