

搬送波を用いたホール素子磁気計測の予備実験

謝 睿 村山 真道 筒井 広明 飯尾 俊二（東京工業大学）

磁場閉じ込め装置における磁気計測は、プラズマ制御や平衡計算のために非常に重要なツールである。特に平衡を求める CCS 法を行うため、また不安定性のモード（分布）を測定するためには、局所的な磁気計測を行う必要がある。特に小型装置ではプラズマの位置・形状推定、モードの測定のために最大で数十キロヘルツの信号を伝送する必要がある。局所的な磁場を測定する方法として、ピックアップコイル（微小なコイル）を用いる方法や、ホールセンサを用いた方法がある [1] が、これらは電磁ノイズの影響を受けやすく、トロイダル磁場コイル・ポロイダル磁場コイルの電源装置から発せられる電磁ノイズ環境下で測定を行うことは困難である。そこで本発表では、搬送波によって駆動されたホール素子によって局所磁場を測定する手法を提案する。この手法ではホール素子に印加されている磁場によって搬送波を変調することで、電磁ノイズが存在する周波数帯域を避けて信号を伝送することができる。さらに複数の周波数帯域を利用することで、従来方式では実現できない信号の多重化も可能である。提案する測定構成を図 1 に示す。

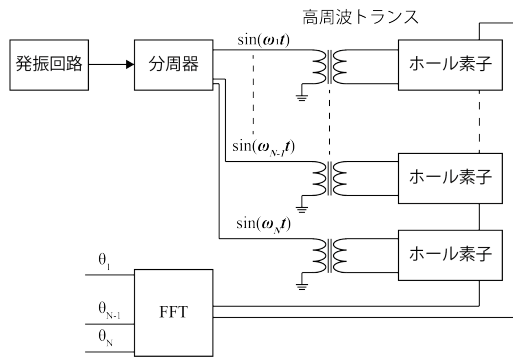


図 1: 駆動電流の周波数を変えることによる周波数分割多重化を行った局所磁場計測システム

この構成において、適切な駆動周波数 $\omega_1, \dots, \omega_{N-1}, \omega_N$ を設定する必要がある。まず、以下でどの程度の高周波までホール効果が動作可能であることを示す。ホール効果は電子の運動方程式 (式 1) から導出される。

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) - \gamma \mathbf{v} \quad (1)$$

この式において、 m, q, \mathbf{v} はそれぞれ電子の質量、素電荷、速度であり、 \mathbf{B} は外部から加えられる磁場とする。この方程式を解くとホール素子の駆動

電圧に対する応答の時定数はおよそ 0.01ns となる。これにより、原理上ホール素子の駆動周波数は GHz 程度の高周波まで可能である。

次に、駆動周波数の間隔を決める。ホール素子の構造上、磁場がない状態でも常に出力端子から搬送波が出力されている。磁場がある状態では、ホール効果による電圧が足されて出力される。その結果、磁場による位相変調となるが、局所磁場計測に必要なプラズマ揺動の周波数は最大でも数十から数百 kHz 程度であり、必要な占有帯域幅は最大でも 1MHz 程度であると考えられる。このことから、 $\omega_1, \dots, \omega_{N-1}, \omega_N$ は 1MHz 間隔で設定すればよい。以上のことより、駆動周波数は MHz から GHz の周波数を 1MHz 程度間隔で利用すればよいことがわかる。

予備実験として、ホール素子の駆動電圧に高周波を印加した実験を図に示す。ネオジウム磁石を近づけることで磁場を加えた。磁場を加えることで出力波形の位相が変化していることがわかる。

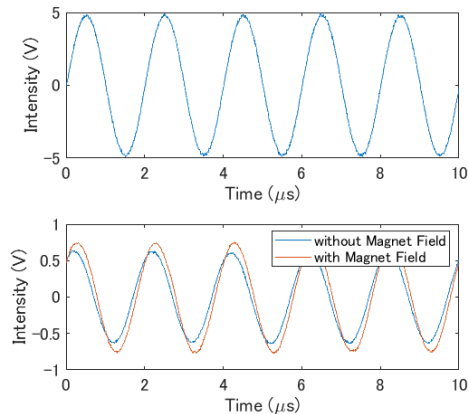


図 2: 500kHz で駆動したホール電圧（上：ホール素子の入力電圧、下：出力電圧）。

参考文献

- [1] 最近の磁気計測事情, 榊原 悟, 栗原研一
- [2] Siles, M. Q. (2016). Metal Hall sensors for measurement of magnetic field on fusion devices, (July).