

QUESTにおける反射計計測による多重壁反射効果

Multiple wall-reflection effect in reflectometry measurement on QUEST

芦田竜一¹, 尾形大地¹, 柚木美羽¹, 福山雅治¹, 恩地拓己², 池添竜也², 出射浩²

Ashida Ryuichi¹, Ogata Daichi¹, Yunoki Miu¹, Fukuyama Masaharu¹,
Onshi Takumi², Ikezoe Ryuya², Idei Hiroshi²

九大総理工¹, 九大応力研²

IGSES Kyushu Univ.¹, RIAM Kyushu Univ.²

マイクロ波反射計はプラズマ核融合の研究において、密度分布や密度揺動の計測のために広く使用されている [1]。この技術は入射波と、周波数に対応するプラズマのカットオフ層で反射された反射波の位相遅れの計測に基づいている。九州大学の球状トカマク装置 QUEST においては、この位相遅れを正しく計測するために AM 反射計、ヘテロダイン検波システムの開発が行われてきた [2,3]。これまでの研究で、QUEST 容器内で計測を行った際、計測される反射波の波形に大きな乱れが生じることがわかっている。これは多重壁反射効果に起因していることが予想された [4]。

本研究では、フーリエ解析を用いて、多重壁反射モデルの検討、適切な位相遅れの解析を行った。容器内に入射された電磁波の位相遅れと伝搬距離の関係を一対一対応で求めるためには、周波数の近い二つの異なる電磁波が必要となる。そのため、容器内に $f_{\text{USB/LSB}} = 10\text{GHz} \pm 70\text{MHz}$ の波を入射し、それぞれの反射波をヘテロダイン検波し、その差を見ることで位相変化を求めるが、計測した位相差は図1のように大きく乱れたものとなっていた。図2のように、一回反射の成分と多重壁反射の成分が合成されていると考え次のようにモデル化した。

$$E_{\text{USB/LSB}} = E_1 + E_2 + \dots + E_n + \dots$$

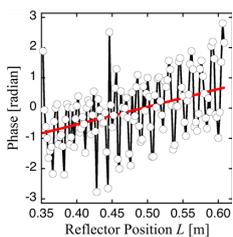


図1 受信した位相差

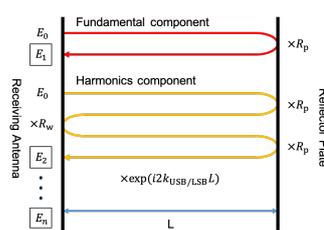


図2 多重壁反射モデル

$$= E_0 R_p \exp(i2k_{\text{USB/LSB}}L) \times \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} R_p^n R_w^n \exp(i2nk_{\text{USB/LSB}}L) \right) = \frac{E_0 R_p \exp(i2k_{\text{USB/LSB}}L)}{1 - R_p R_w \exp(i2k_{\text{USB/LSB}}L)}$$

得られたデータをフーリエ変換することにより、図3のように一回反射の成分、多重壁反射の成分が確認された。これより提案したモデルが正しいとする主張を支持する結果が得られた。次に多重壁反射の成分を除去し、逆フーリエ変換することにより、適切な位相遅れを求めることを試みたが、フーリエ変換のターミネーションの影響から複数の周波数成分が現れた。これを改善するために、計算時にステップ長を適切な値に補正することにより図4のような求めたいピークのためのグラフが得られた。

[1] E. Mazzucato, *Rev. Sci. Instrum.* **69** (1998) 2201.

[2] E de Luna et al., *Plasma Phys, Control. Fusion* **37** (2008) 925.

[3] H.Idei et al., *J. Plasma Fusion Res. Ser.* **9** (2010) 112.

[4] H.Idei et al., *Rev. Sci. Instrum.* **85** (2014) 11D842.

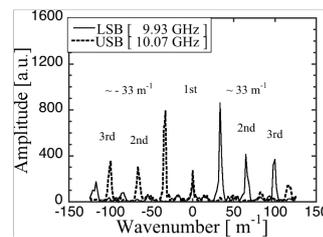


図3 受信した波の FFT

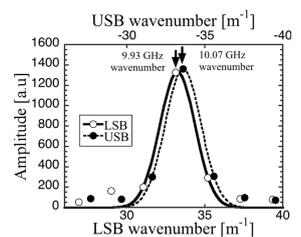


図4 補正後の FFT