

# ジョセフソン接合からのカオス発生シミュレーションにおける素子パラメータ依存性

## Junction parameter dependences of Josephson chaos simulations

茨城大学 °日渡 涼, 田村 幸英, 島影 尚

Ibaraki Univ., °Ryo Hiwatashi, Yukihide Tamura, Hisashi Shimakage

E-mail: 15nm616r@vc.ibaraki.ac.jp

マイクロ波照射されたジョセフソン接合の電極間電圧波形は、ある条件のもとではカオスとなることが一般に知られている[1]。我々は、ジョセフソン素子として YBCO 段差型接合を想定したカオス発生シミュレーションを行っている[2]。本報告では、ジョセフソン接合からのカオス発生パラメータ依存性の調査を行ったので報告する。

ジョセフソン接合は、 $I=I_c \sin\phi$  に従うジョセフソン電流を担う項と、抵抗と容量成分に流れる電流を担う項が並列に構成されている等価回路を考え、外部からマイクロ波を照射した項を付け加えて回路方程式を立て、数値計算を行った。4 次のルンゲクッタ法により電圧の時間発展を求め、それをもとにリアプノフ指数を計算し、カオス状態かどうかを判定した。シミュレーションにおいて使用する素子パラメータは、実際の素子で実現可能な値を考慮した。一般の YBCO ジョセフソン接合の  $I_c R_N$  積が約 2mV であることから抵抗値と臨界電流値を本シミュレーションでは、 $I_c=1\text{mA}$ 、 $R_N=2\Omega$  とし、マッカンバー係数が 1 となるよう、静電容量値を  $C=82.3\text{fF}$  と定めた。また、今回は簡便なカオス発生回路の動作を視野に入れ、ゼロバイアス電流でのシミュレーションとした。照射周波数が 100GHz から 1THz の範囲での状態を調査したところ、カオス状態は得られなかったため、実際の素子の作製によるパラメータ調整を想定した抵抗値、静電容量値の調整を検討した。最初に、抵抗値に関して、素子への抵抗の並列シャントを想定し、抵抗値の減少によるカオス発生依存性を調査した。抵抗値を  $2\Omega$  から  $1\Omega$  まで減少させながら、シミュレーションを行ったが、カオスとなる周波数は現れなかったため、次に静電容量シャントによる静電容量値増加を想定したシミュレーションを行った。その結果、静電容量を 3 倍以上にすると、カオスの発生する領域が現れた。図 1 は、静電容量が 3 倍、4 倍、5 倍のときの抵抗と周波数を変化させたときにカオス状態と判定された点をプロットしたものである。図 1 から、カオスの発生する抵抗値には下限があり、静電容量の増加に伴って、下限値は小さくなった。さらに、抵抗が  $2\Omega$  の時の周波数帯域幅を比較すると、静電容量の増加は、カオス発生領域の周波数帯域幅を広げることが分かった。また、傾向として、静電容量の増加は、カオス発生領域を低周波数帯にシフトさせることも分かった。

図 1 の結果の中から静電容量値が 3 倍におけるリアプノフ指数が一番大きい 265[GHz]の照射周波数を用い、そこから得た電圧波形をフーリエ変換した結果を図 2 に示す。265[GHz]の鋭いピーク以下では、ホワイトノイズ的になっており、得られた信号はカオスであることが示唆された。今後は、実際の素子パラメータをどのようにして変更していくかを検討していく予定である。

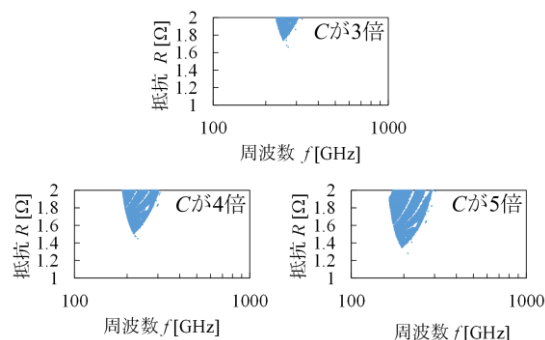


図 1 カオス発生領域

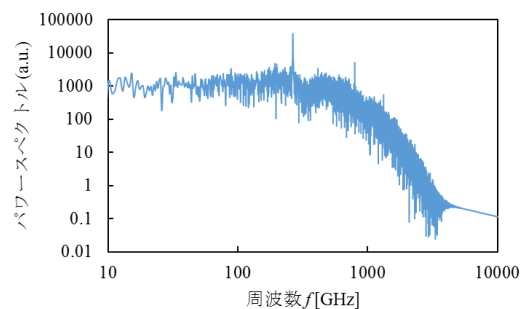


図 2 C が 3 倍で R が 1.85Ω のときのパワースペクトル図

### 参考文献

- [1] Y. Braiman, I. Goldhirsch, Phys. Rev. Lett. 66, 2545 (1991)
- [2] H. Shimakage, Y. Tamura, IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol. 25, No. 3, 1800604 (2015)