

1次元PICシミュレーションによる後進波管の波動粒子相互作用に関する解析  
**Wave-particle interaction in a backward-wave oscillator  
 calculated by a 1D PIC simulation code**

石黒菜摘, 曾我之泰, 大竹達也, 岩渕啓佑, 吉田光宏<sup>A</sup>  
 N.Ishiguro, Y.Soga, T.Otake, K.Iwabuchi, M.Yoshida<sup>A</sup>

金沢大学, 高エネルギー加速器研究機構<sup>A</sup>  
 Kanazawa Univ., <sup>A</sup>High Energy Accelerator Research Organization

後進波発振管 (BWO) は, 遅波構造 (SWS) に電子ビームを入射し, 対向して伝播する後進波と相互作用させることで電磁波発振を得るものである。BWO は小型で定常発振するテラヘルツ光源として期待されているが, その出力は 1 THz で 1 mW に過ぎず, さらなる高出力化が求められている。発振原理である後進波と電子ビームの相互作用は非線形過程であり, 理論解析による高出力化のアプローチが極めて困難である。そこで我々は BWO の動作機構の解明を目指して, 後進波と電子ビームの波動粒子相互作用を時間・空間分解能を以て短時間で計算するシミュレータを開発した。本講演では, 発振効率に関して 3 次元電磁界解析ソフト CST による計算との比較を行い, 本シミュレータの妥当性について議論する。

我々はすでに本シミュレータと Rowe の 1 次元大信号理論[1]との比較を行っており, 線形理論で記述できる発振開始条件に関しては整合がとれている。一方非線形過程となる発振効率に関しては, 空間電荷が効かない条件(QC=0)のときはシミュレーション結果と Rowe の理論が一致しているのに対し, QC が有限の値をとるときは 理論よりも高い効率がシミュレーションで得られた。しかし図(a)に示すように, Putz らによる実験結果[2]は QC の増大と共に効率も増大しており, シミュレーション結果と同じである。このためシミュレーション結果のほうがより現実を反映していると考えられる。

そこで本シミュレータのさらなる妥当性を検証するため, 図(b)に示した 40 GHz 帯の SWS を対象に, 発振効率について CST による 3 次元計算との比較を行った結果を図(c)に示す。電流密度の増加に伴って発振効率・出力共に増加しており, シミュレーション結果と CST による計算結果がよく一致した。電流密度が  $0.75 \times 10^5 \text{ A/m}^2$  を下回ると発振せず, 発振開始条件となっていることが分かる。また電流密度が増加すると周波数プッシングが起こり, 結合インピーダンスが下がることで発振効率は減少する。本シミュレータでは電流密度のみを  $1.0 \times 10^5 \text{ A/m}^2$  から変化させているのに対し, CST は電流密度の変化とともに発振周波数も変化しているため, 両者の結果に多少の差ができたが, 本シミュレータの妥当性が充分確認できたといえる。

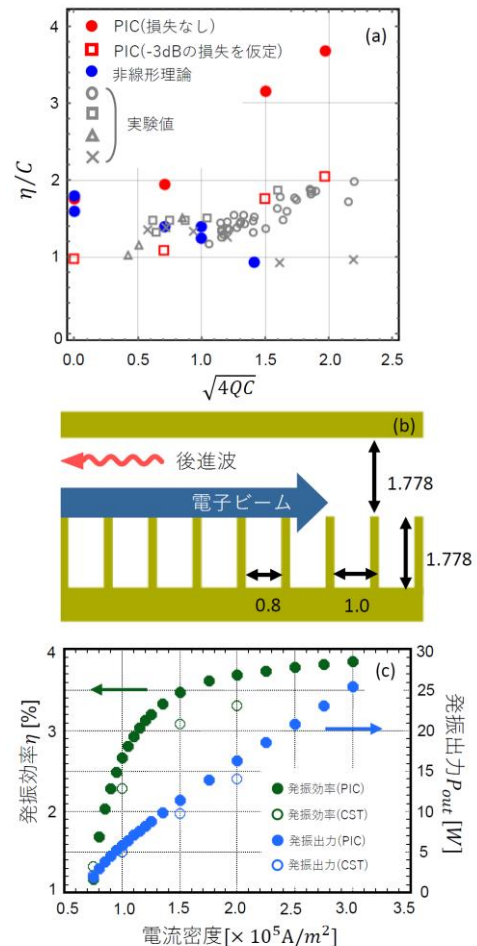


図 (a) 発振効率の空間電荷係数依存性。Cは電子ビームと遅波回路の結合度合いを表す結合係数 (b) SWS外略図 (c) 電流密度に対する発振効率と発振出力

[1] J. R. Rowe, Proc. of the Symposium on Electronic Waveguides, p.315, 1958, Polytechnic Press, N. Y.

[2] 小山次郎, 進行波管, pp.260-262, 1964, 丸善