

注：20090526 時点においては、未だ個人見解レベルの検討書です。詳しくは ERL-Gr へ。

Particle Accelerator Development Note

Compact ERL 建設のための基礎確認

～ 電子銃用 500kV/10mA 級高圧電源のための基礎資料 ～

報告者： 中村英滋 (加速器第六研究系)

要約

基礎的資料を集め、データベースとの意味合いで資料としてまとめる。

目次

概要	(要約・代表例)	p 1
序	(試算にあたってのイメージ)	p 2、3
計算結果 1	(フルスペック時)	p 4、5
計算結果 2	(1/10 スペック時)	p 6、7
計算結果 3	(分布の広がり方)	p 8
計算結果 4	(電荷量依存性)	p 9
まとめ		p 9
参考資料		p 9
補足	(計算論理の確認 2 例)	p 10、11

序：絶縁物の耐電界強度

== 理論限界概要 ==

物質名	破壊電界 (kV/cm)	物質名	破壊電界 (kV/cm)
空気	35.5	パラフィン	7 ~ 12
水素	15.5	ゴム	20 ~ 25
酸素	29.1	ポリエチレン	18 ~ 24
窒素	38.0	塩化ビニール	12 ~ 16
二酸化炭素	26.2	ベークライト	8 ~ 30
一酸化炭素	45.5	アルコール	700 ~ 800
アンモニア	56.7	四塩化炭素	1600
メタン	22.3	二硫化炭素	1400
プロパン	37.2	アセトン	640
アセチレン	75.3	ベンゼン	1500
マイカ	50 ~ 150	ニトロベンゾール	1300
鉛ガラス	5 ~ 20	トルエン	1300
長石磁器	30 ~ 35	キシレン	1500
ケーブル紙	6	クロロホルム	1000
ファイバー	7 ~ 10	変圧器油	1000
純水 (不純物濃度に依存)			

== 実用限界 ==

大気 : 10kV/cm
 変圧器油 : 一般的には概ね 320kV/cm
 SF6 : $E = 89 \times p^{0.6} (0.8)$

まず、Two-loop の第1周回部に焦点をあてる。主な指標は以下のとおり。

$$65 \text{ MeV}, 77\text{pC}/3\text{ps}-1\text{mm mrad (or } 7.7\text{pC}/0.1\text{ps}-0.1\text{mm mrad)}$$

$$(\quad = N / \quad)$$

Twiss parameters は現在設計の最適化を継続されているようで、且つ、場所によって大きく変化する。ただ、殆どの空間で ~16 m であるので、オーダー計算としてはこれを用いる。65MeV 時のビームサイズは概ね、下記ようになる。

$$\langle x \rangle \sim \sqrt{\frac{\epsilon \beta_{trans}}{\beta \gamma}} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_N \beta_{trans}}{\beta \gamma}} \sim 0.2[\text{mm}]$$

同時に、縦方向の長さ(バンチ長)を調べると、65MeV ではほぼ光速なので、

$$\langle s \rangle \sim c T \cdot 3E8 \times 3E-12 \sim 0.9[\text{mm}]$$

となり、アスペクト比が1前後の形となる。

Child-Langmuir 則

500kV, 7cm で約 170mA/mm²。

まとめ

最終目標のビーム状態のイメージ作りを行っている。ビーム電流が大きく、cERL でも MW クラスの大強度ビームになり、又、ビーム利用の観点から非常に密度が高く、自己場(空間電荷効果)による散逸が問題になると考えられ、これが加速電流値の上限指標の一つとなり得る。まずは単純なモデルで試算してみたが、数mで運動量が 1%かわる結果となり、好ましくない結果となった。近似精度はさほどよくはないが、オーダーでかわるものがあるとは考えにくい。シミュレーションでありがちな前提条件・評価式の再確認等慎重な検討が必要である。他の ERL の状況を反映させたいが、他では SEClimit を越えるような運転はされていない。GeV クラスでは小さいな問題であるが、100MeV クラスの中程度のエネルギー特有の問題である印象が強い。

< 参考資料 >

(ERL 関連) KEK Report 2007-7, T Shaftan.

(ERL 関連) KEK Proceedings 2007-8, Dec. 2007. KEK Proceedings 2008-16, Feb. 2009.

(ERL 関連) C.Hernandez-Garcia FEL-2004, 363.

(XFEL 関連) Z. Huang, PRST-AB 7, 080702 (2004).

(XFEL 関連) K. Bane, A. Chao, PRST-AB 5, 104401 (2002).

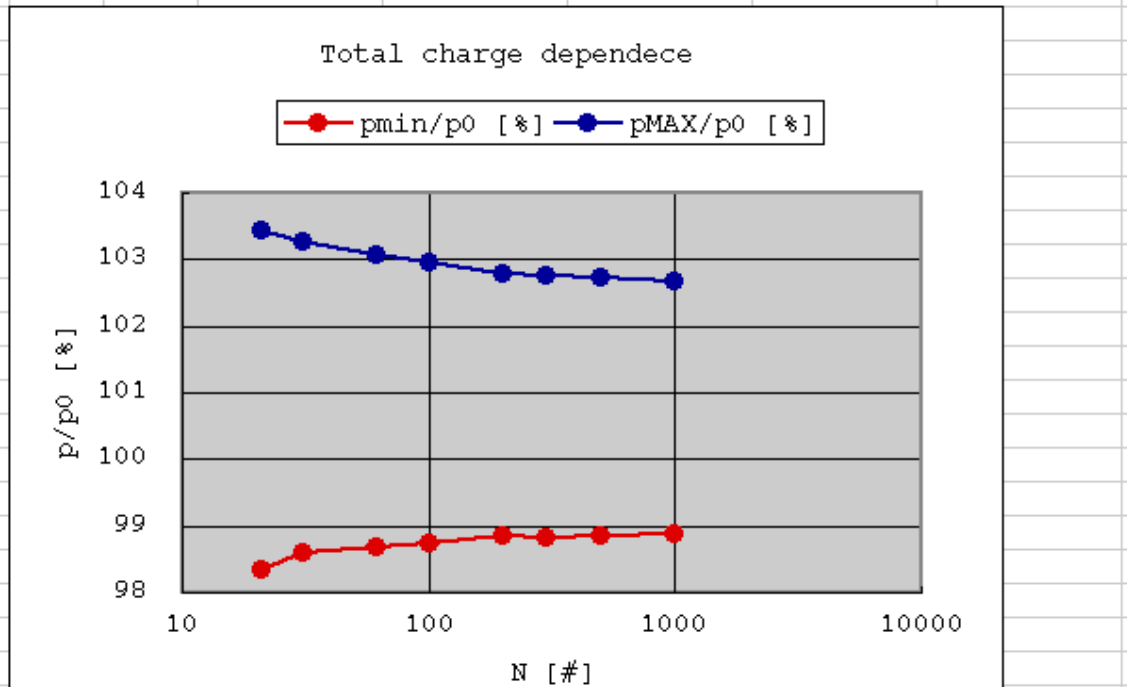
< 本論主修正履歴 >

v1: 起題 ; v2: 初期まとめと GL への起題用編集 ; v3: 周辺情報追加による本格化

補足 1 (計算論理確認): ディスク分割数の少なさの影響

0.77 pC (1mA), 65 MeV, 70 m, 3 ps, R0.2mm, gaussian profile

ERLcERLchargedep.xls		g0	128.201566	broh	0.21851453	
Q	0.77 [pC]	b0	0.99996958			
	N [#]	pmin [T m]	pMAX [T m]	pmin/p0 [%]	pMAX/p0 [%]	
976	25	1001	0.216046	0.224378	98.870	102.683
488	13	501	0.215994	0.224473	98.847	102.727
293	8	301	0.215957	0.224564	98.830	102.768
196	5	201	0.216028	0.224572	98.862	102.772
98	3	101	0.215775	0.22495	98.746	102.945
59	2	61	0.2156	0.225242	98.666	103.079
30	1	31	0.215455	0.225643	98.600	103.262
20	1	21	0.214874	0.226006	98.334	103.428

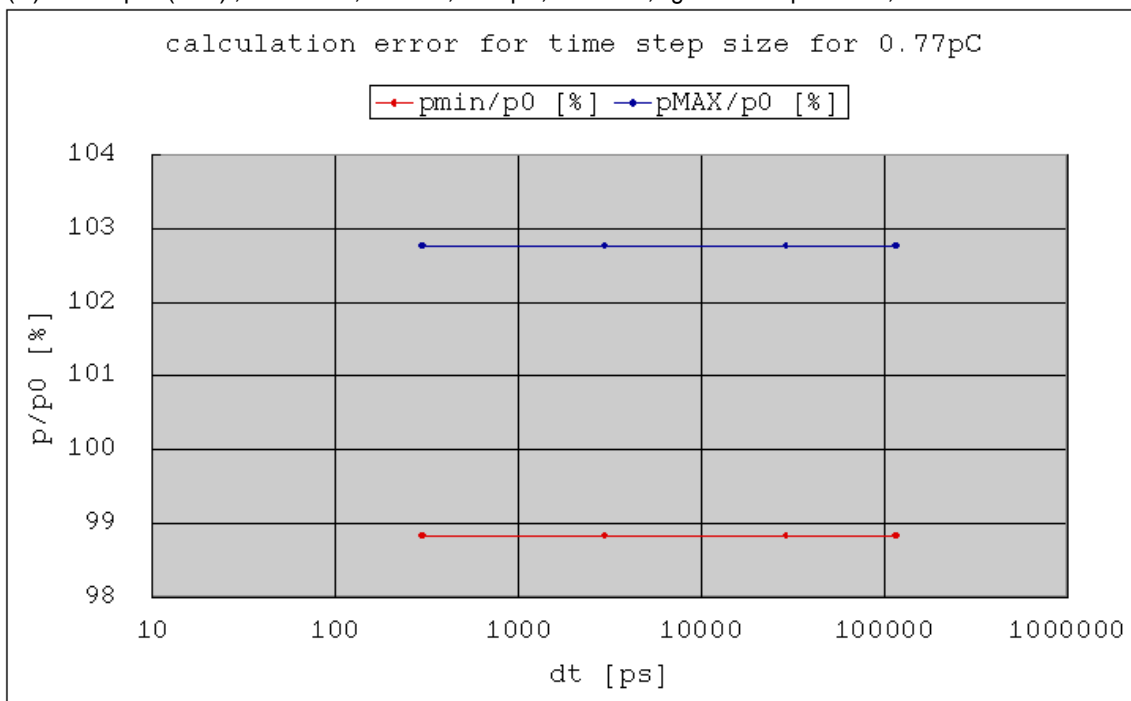


本文の計算は、時間をかけたくないので、N=301 としている。

補足 2 (計算論理確認): s 方向のステップ幅

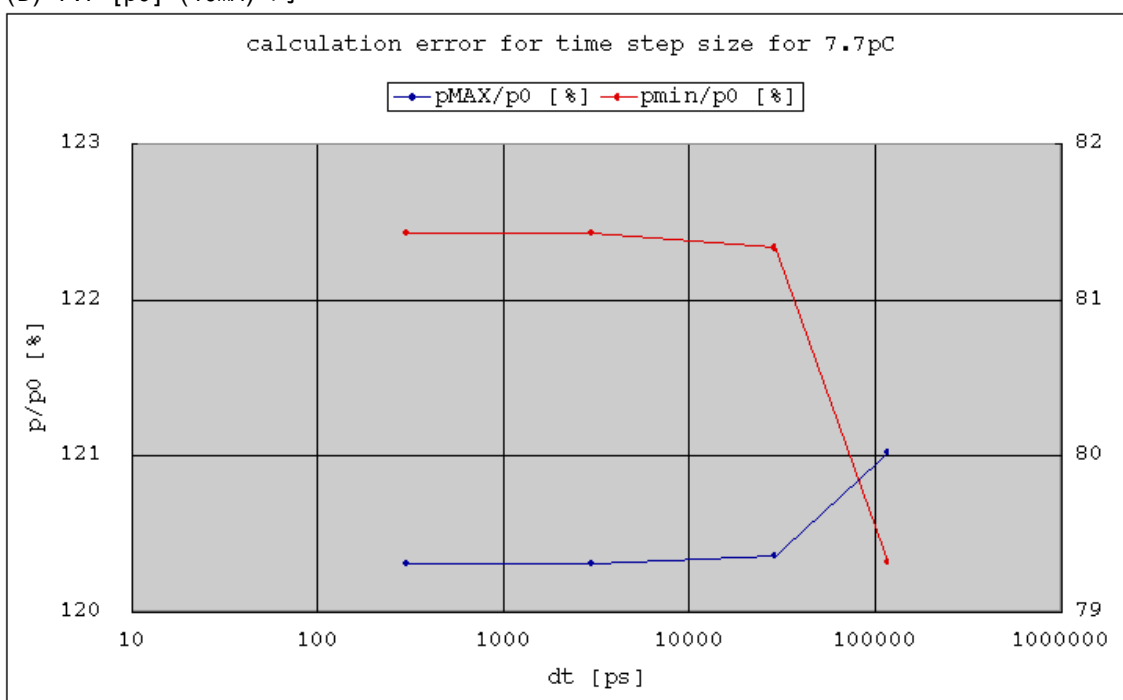
当然だが、電界による効果量絶対値がこれで決まるので、電荷量条件に依存する。

(A) 0.77 pC (1mA), 65 MeV, 70 m, 3 ps, R0.2mm, gaussian profile, N=301



安定

(B) 7.7 [pC] (10mA) 時



微差ではあるが不安定領域見え始め

本文の計算では左端の 300 [ps] を採用している。