

主空洞フィールド・エミッション電子 の損失シミュレーション

オリガ コンスタンティノワ
中村 典雄
梅森 健成
エンリコ チェンニ

ビームダイナミクス打ち合わせ
09/03(水)14:00

Contents

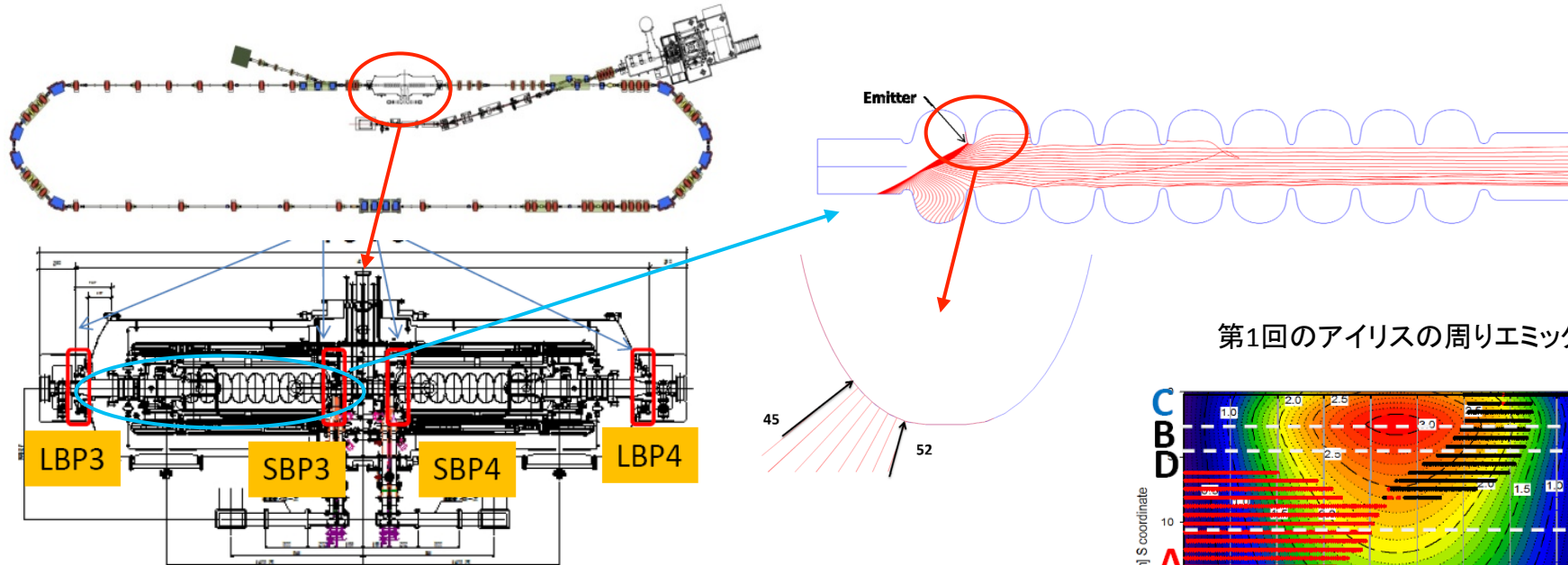
- はじめのコメント
- Field emission issues*Cenniさんの計算方法
- シミュレーションについて
 - シミュレーションの方法
 - Simulation background
 - Input distribution generation
- トラッキング結果：順方向
- トラッキング結果：逆方向
- まとめ
- その後の計算について

はじめのコメント

- cERLのコミッショニングの時に主空洞からフィールド・エミッションが1つの問題となった。
- その後の運転でフィールド・エMISSIONのレベルが上昇することが起きた。
- この計算の目的はビームダイナミックスを考えながら、フィールド・エMISSIONの損失点と損失電流を評価することである。その最初のステップはシミュレーション方法を決めることである。

Field emission issues*

*Cenniさんの計算方法

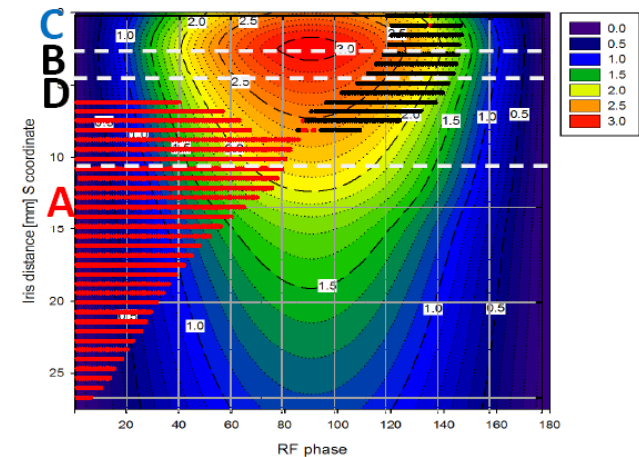


第1回のアイリスの周りエミッタの場所

Field emission parameters	
Acceleration field	15 MV/m
Surface field peak	45 MV/m
Aperture	40 mm
Enhancement parameter	100
Emission area size	$8 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$
Emitted electron energy	0.27~28.41 MeV
Emitted current	0.56~957.04 nA
Time interval	$\pm 3 \text{ ps}$
Number of emitters	8
Number of electrons	1181
Beam momentum	39.14

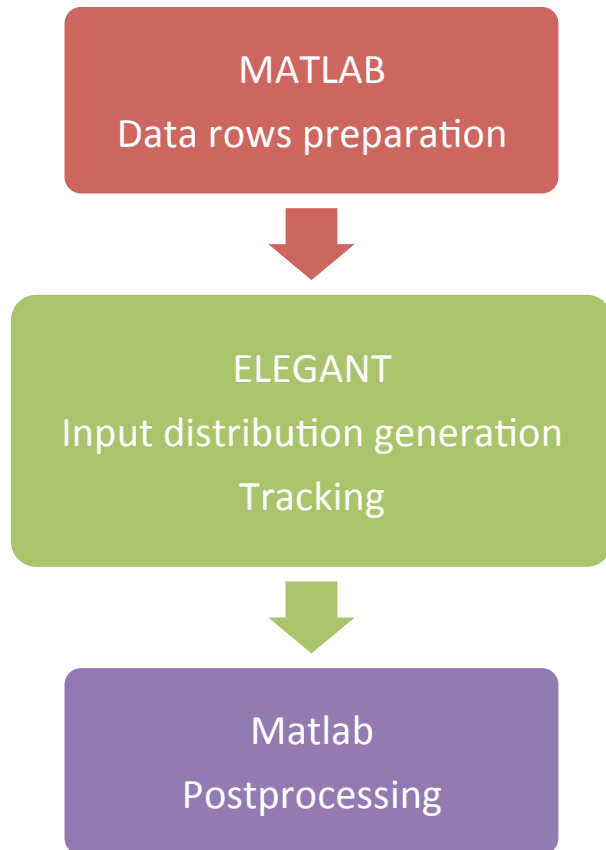
頂いたInput dataは
フィールド・エミッション
が空洞の右側(LBP)ま
で飛んでいます

E. Cenni, KEK, 2012



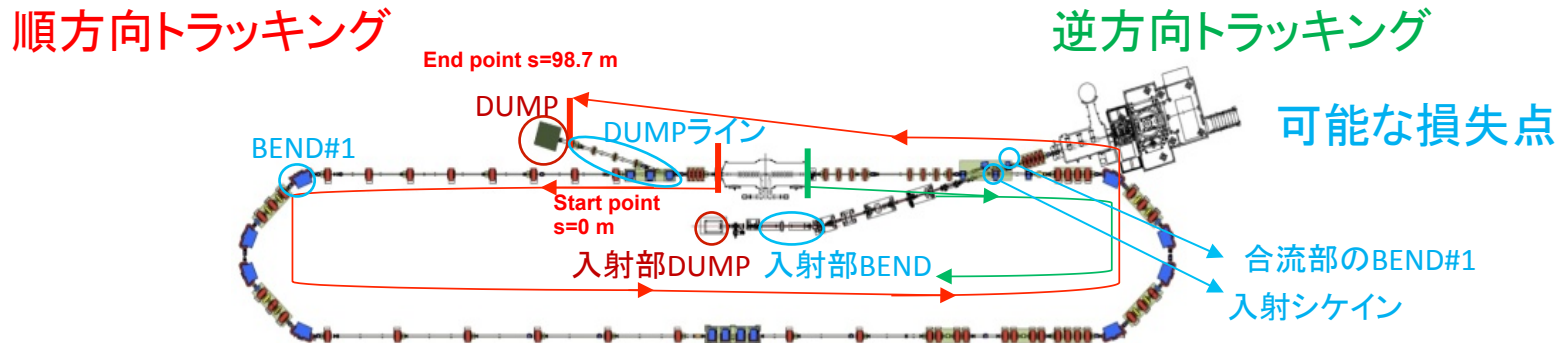
Black dots are trajectories that
reach cavity right end (LBP)
Red dots are trajectories that
reach cavity left end (SBP)

Simulation workflow



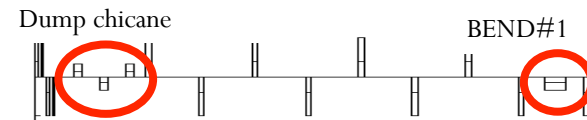
- Upload the data, obtained by Dr. Cenni (MATLAB code)
- Generate input distribution for ELEGANT (*.bin file)
- Modify the lattice file to make use of the symplectic integration elements (ELEGANT code)
- Prepare the beam lines for upstream and downstream tracking
- Tracking (ELEGANT)
- Post processing (MATLAB)

Simulation background



Beam parameters	Simulation	cERL目的(実際の状態)
Maximum energy	20 MeV	20 MeV
Total beam current	10 mA	10 – 100 mA (10mA)
Repetition	1.3 GHz	1.3 GHz
Charge per bunch	7.7 pC	7.7 – 77 pC (20fC~20pC)
Norm. beam emittance	1 mm·mrad	0.1 – 1.0 mm·mrad
Rms momentum spread	$1 \cdot 10^{-3}$	$< 3 \cdot 10^{-4}$
Bunch length	2 ps	1 – 3 ps

順方向ラティス



逆方向ラティス

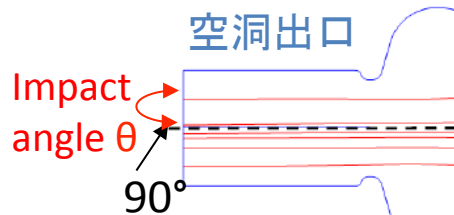


- Modify the lattice file to make use of the symplectic integration elements (ELEGANT code)

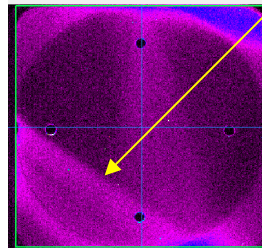
- EDRIFT drift space
- CSBEND bending magnet
- KQUAD quadrupole magnet
- KSEXT sextuple magnet

Input distribution generation

- Output distribution file contains (x, y, xp, yp, t, p) rows
- Distribution is flat
- X, [m] data obtained from "Pos [cm]" row
- Y, [m] data obtained accordingly: $Y = -0.36 * X$
- XP, YP [rad] data obtained from "Impact angle" row:
 $XP = X/Z = \tan(\theta) * \cos(\varphi)$; $YP = Y/Z = \tan(\theta) * \sin(\varphi)$
- T is generated using random numbers ($\pm 3ps$ interval)
- $P = \beta v$ data obtained from "Impact energy" row



FEの写真、
cam11、
2014/05/27



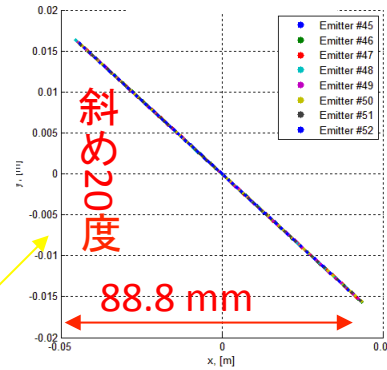
Output data example
(* .bin file)

```

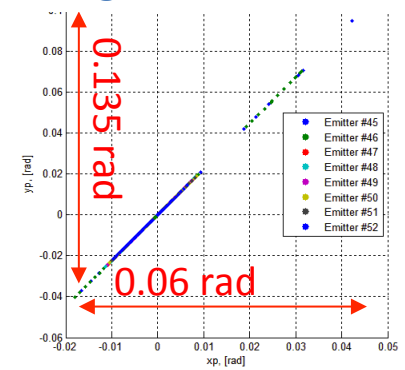
@DDS1
#description text="phase space", contents="phase space"
#column name=x, units=m, type=double, #end
#column name=xp, symbol="x", type=double, #end
#column name=y, units=m, type=double, #end
#column name=yp, symbol="y", type=double, #end
#column name=t, units=s, type=double, #end
#column name=p, units="m$beta$nc", type=double, #end
#data
mode=ascii
#end
1181
0.038558 0.009339 -0.013881 -0.013881 2.407291e-12 2.830211e+07
-0.006785 -0.000095 0.002442 0.002442 -2.997806e-12 1.851004e+07
0.009654 0.002923 -0.003476 -0.003476 -1.003199e-13 2.466278e+07
0.031916 0.042319 -0.011490 -0.011490 -2.115152e-12 2.672569e+05
0.023071 0.021579 -0.008305 -0.008305 -1.110047e-12 9.003438e+05
    
```

空洞の出口分布、Emitters #45~52

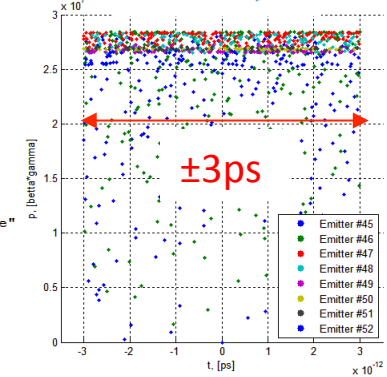
X,Y分布



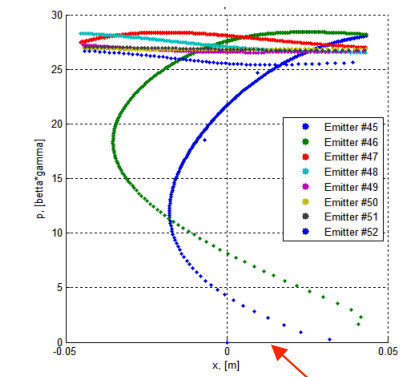
Angular distribution



バンチ長



Phase space distribution

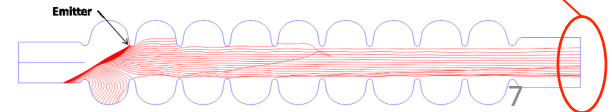


Input data example

	A	B	C	D	E	F
1	Eacc [MV/m]	Pos [cm]	Energy [eV]	Impact angle	Emitter #	Current [A]
2	15	3.855774	14462376	88.68907397	45	9.36E-07
3	15	-0.67846	9458630.1	89.98662203	45	9.56E-07
4	15	0.965443	12602679	89.58966307	45	9.57E-07
5	15	3.191616	136568.26	84.07941156	45	9.45E-07
6	15	2.30708	460075.68	85.57512426	45	9.44E-07
7	15	1.787438	809623.77	85.72269598	45	9.43E-07
8	15	1.292157	1132710.3	86.15615441	45	9.41E-07
9	15	0.868967	1431180.6	86.60263099	45	9.40E-07
10	15	0.509513	1709340.4	87.00980081	45	9.38E-07
11	15	0.205506	1969520.1	87.36752111	45	9.37E-07
12	15	-0.05453	2214373.6	87.68124989	45	9.36E-07

平成26年 9月 4日

ビームダイナミクス打ち合わせ



トラッキング結果：順方向

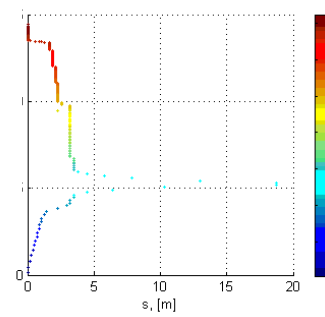
ELEGANT output data example

Emitter #45, n simulated = 221

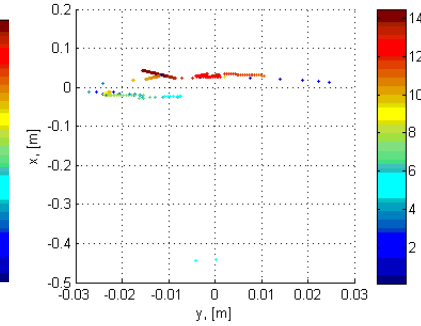
```
Printout for SDDS file FEtest1.lost
```

x	xp	y	yp	s	p	particleID	Pass
m		m		m	m\$be\$nc		
-4.446047e-001	-1.000472e+000	-4.073155e-003	-7.581885e-004	1.874165e+001	1.013565e+007	28	0
-4.422644e-001	-1.000274e+000	1.821566e-004	-4.469417e-004	1.874165e+001	1.039212e+007	29	0
-2.371698e-002	-4.899488e-004	-8.021044e-003	-1.096008e-003	1.301625e+001	1.064820e+007	30	0
-2.339339e-002	-6.500065e-004	-9.023575e-003	-1.453988e-003	1.033625e+001	9.870259e+006	27	0
-2.387078e-002	-8.129544e-004	-7.992603e-003	-1.819010e-003	7.856248e+000	1.089638e+007	31	0
-2.333405e-002	-1.092014e-003	-9.679284e-003	-2.442985e-003	6.376248e+000	9.598289e+006	26	0
-2.400680e-002	-1.109973e-003	-8.009253e-003	-2.484001e-003	5.776248e+000	1.113913e+007	32	0
-2.388558e-002	-1.381973e-003	-7.530993e-003	-3.091002e-003	4.496248e+000	1.137676e+007	33	0
-2.310004e-002	-1.576968e-003	-1.009765e-002	-3.529006e-003	4.496248e+000	9.319668e+006	25	0
-2.388998e-002	-1.629995e-003	-7.423655e-003	-3.646997e-003	3.786248e+000	1.160996e+007	34	0
-2.423442e-002	-1.861995e-003	-8.131581e-003	-4.166996e-003	3.486248e+000	1.183857e+007	35	0
-2.498462e-002	-2.076995e-003	-9.800734e-003	-4.645996e-003	3.486248e+000	1.206284e+007	36	0
-2.564810e-002	-2.273995e-003	-1.134547e-002	-5.086996e-003	3.486248e+000	1.228344e+007	37	0

FEエネルギー

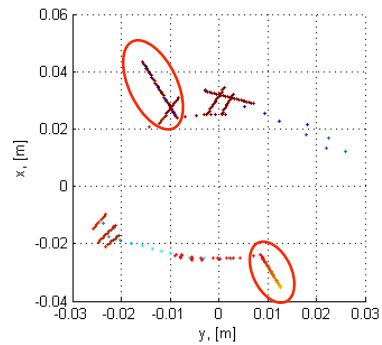


x,y分布

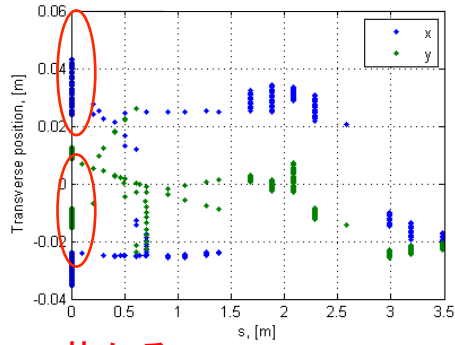


Emitter #46, n simulated = 293

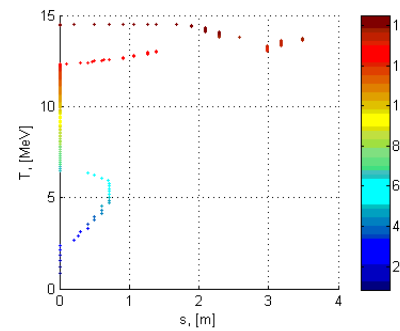
x,y分布



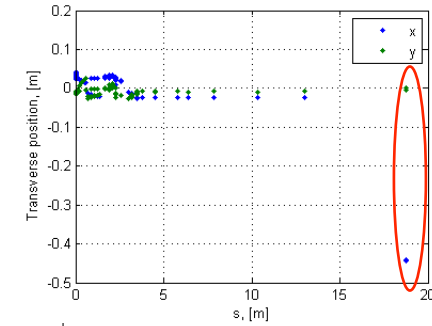
x,y対s



FEエネルギー

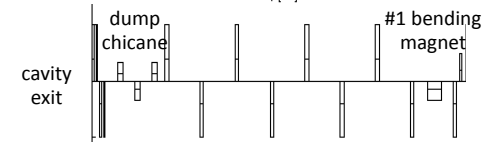
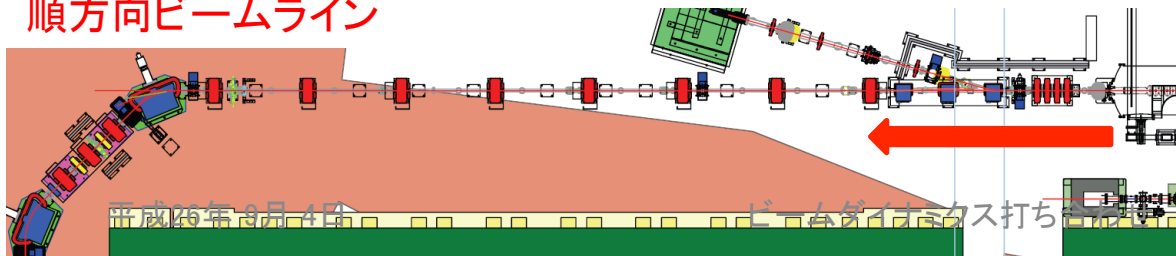


x,y対s



Aperture で落ちる

順方向ビームライン

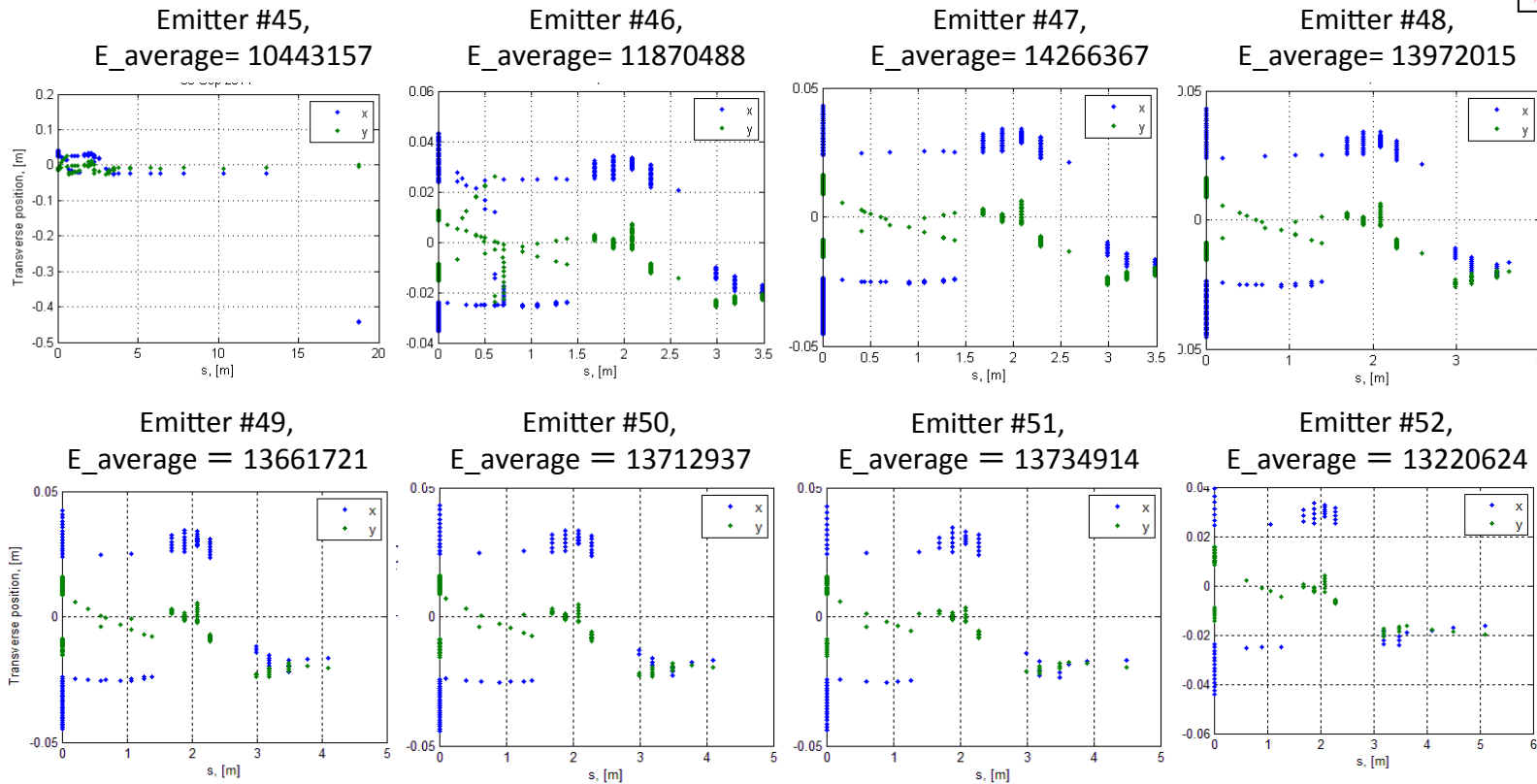
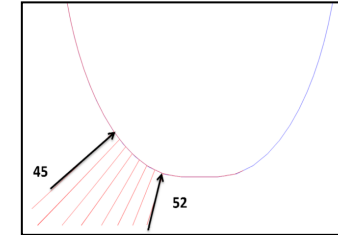


遠くまで飛んでいる

各エミッターの損失分布

FORWARD

- The difference in energy is due to the electrons flight path and electric field phase
- The electrons can be accelerated or decelerated due to the electric field orientation while they are passing through each cavity cell

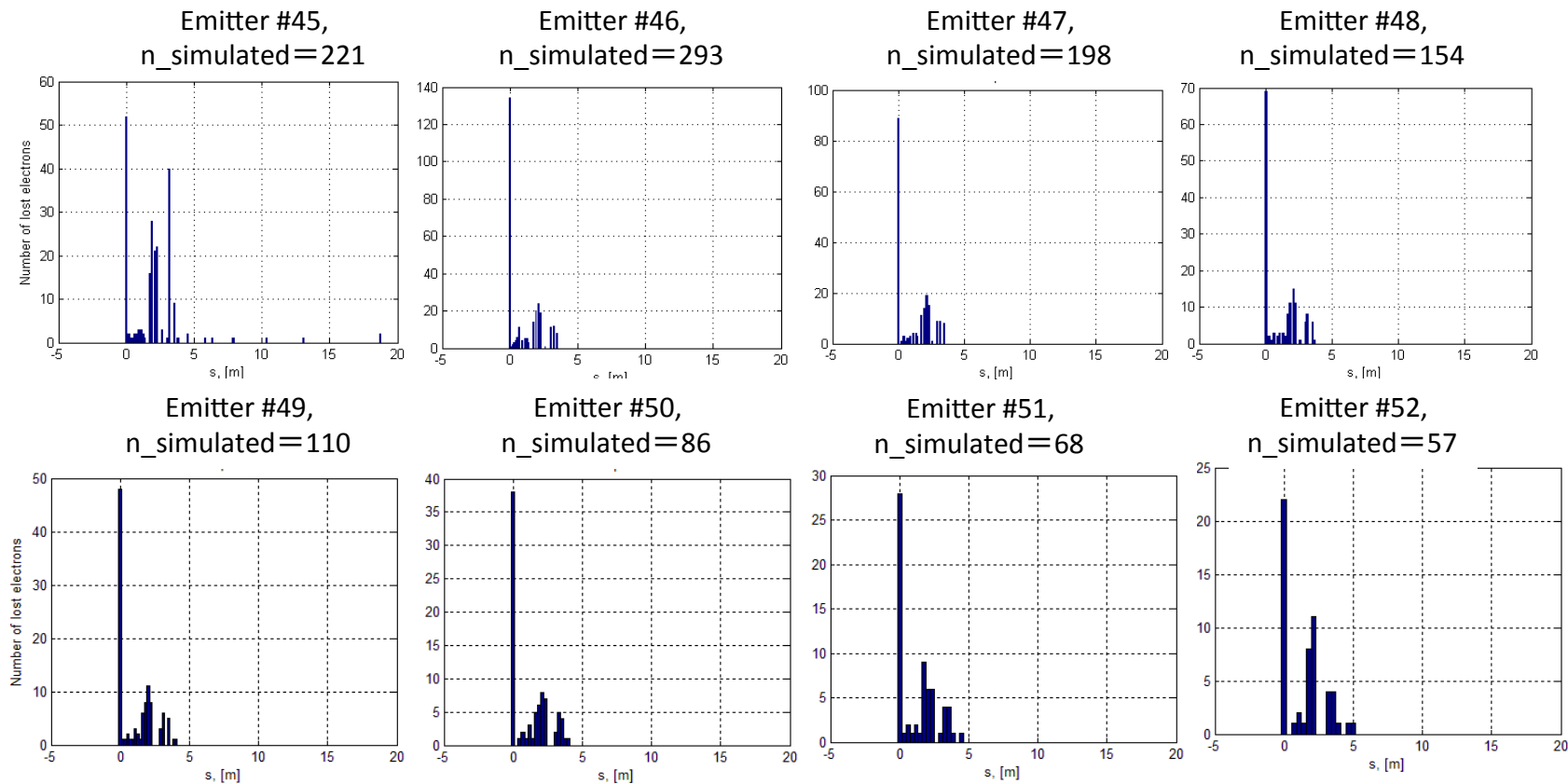


x,y対s

損失したFE電子の分布

FORWARD

- Output fileのSデータ → [smin, smax] → Divide into same intervals → Calculate number of particles in each interval → Plot (MATLAB)

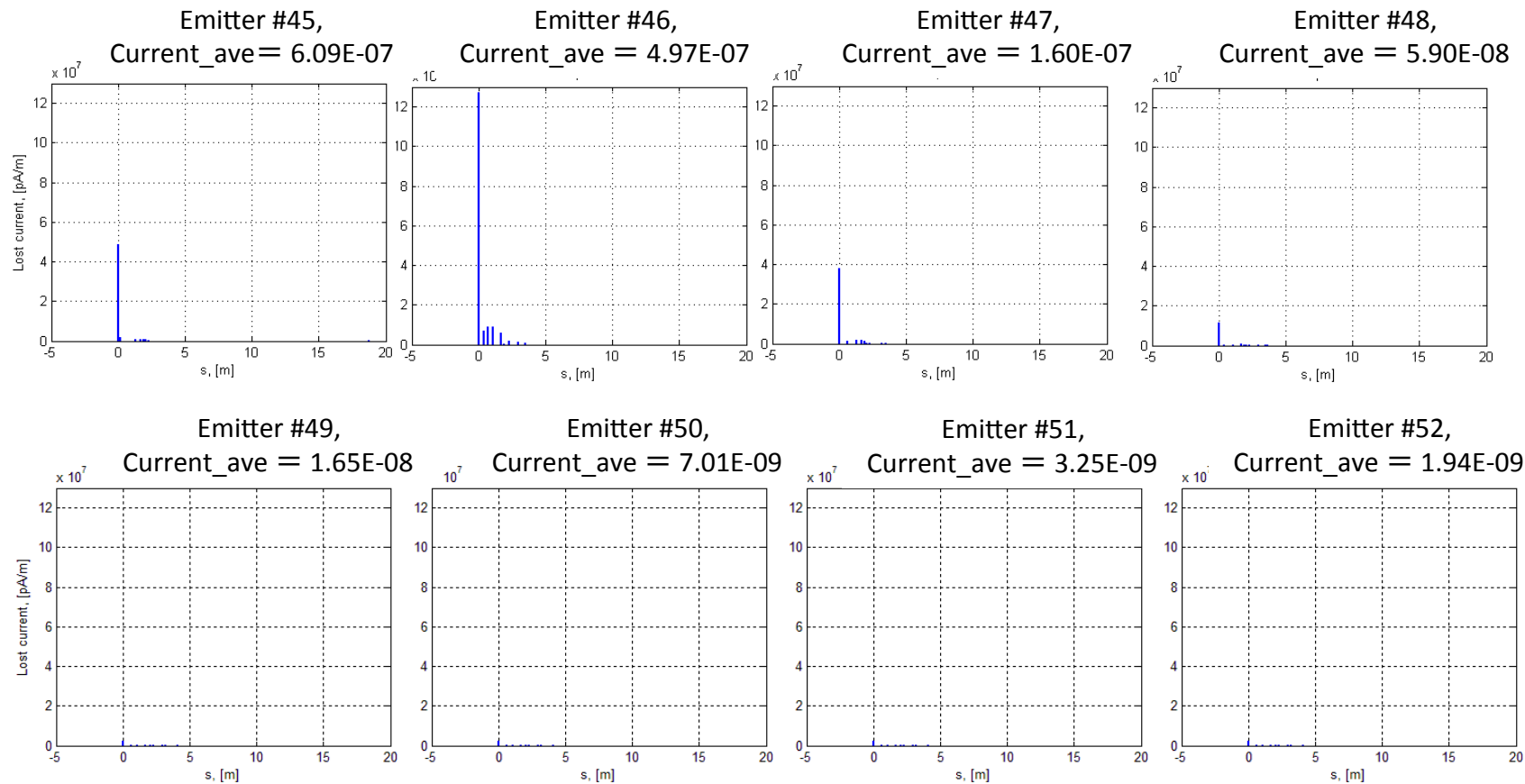


Lost currentの測定

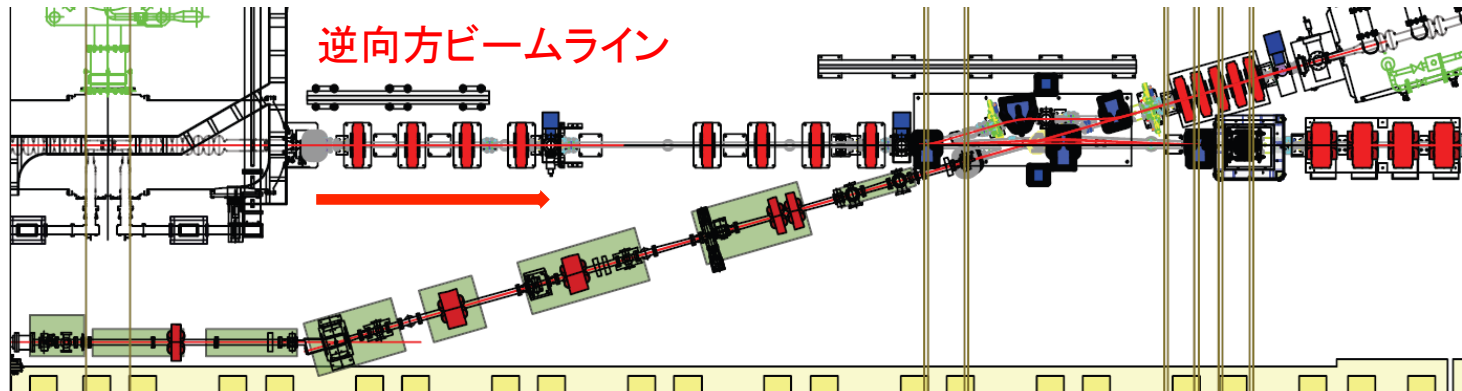
FORWARD

- CenniさんのFE Currentデータ * Number of particles in each interval →
→ Plot 対Output fileのSデータ (MATLAB)

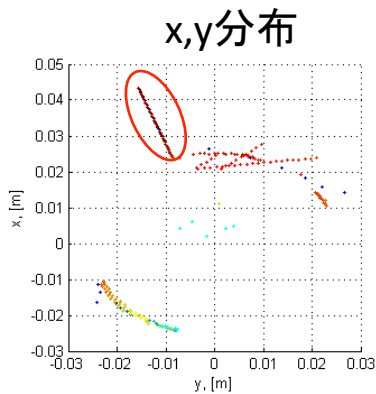
Same scale!
12E+7 pA/m



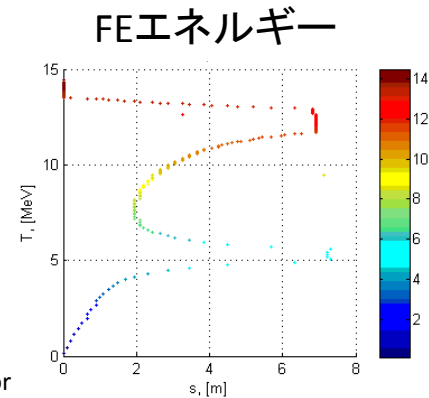
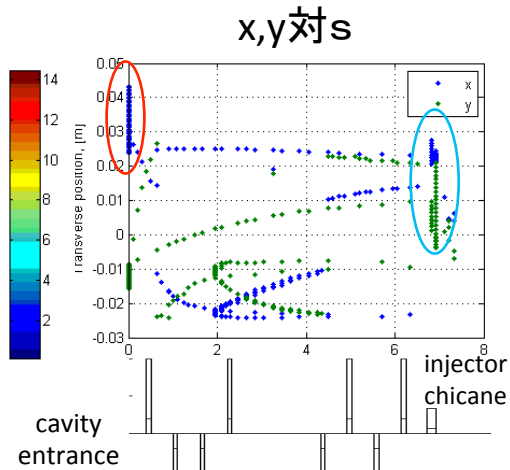
トラッキング結果：逆方向



Emitter #45, $n_{\text{simulated}} = 221$



Aperture で落ちる

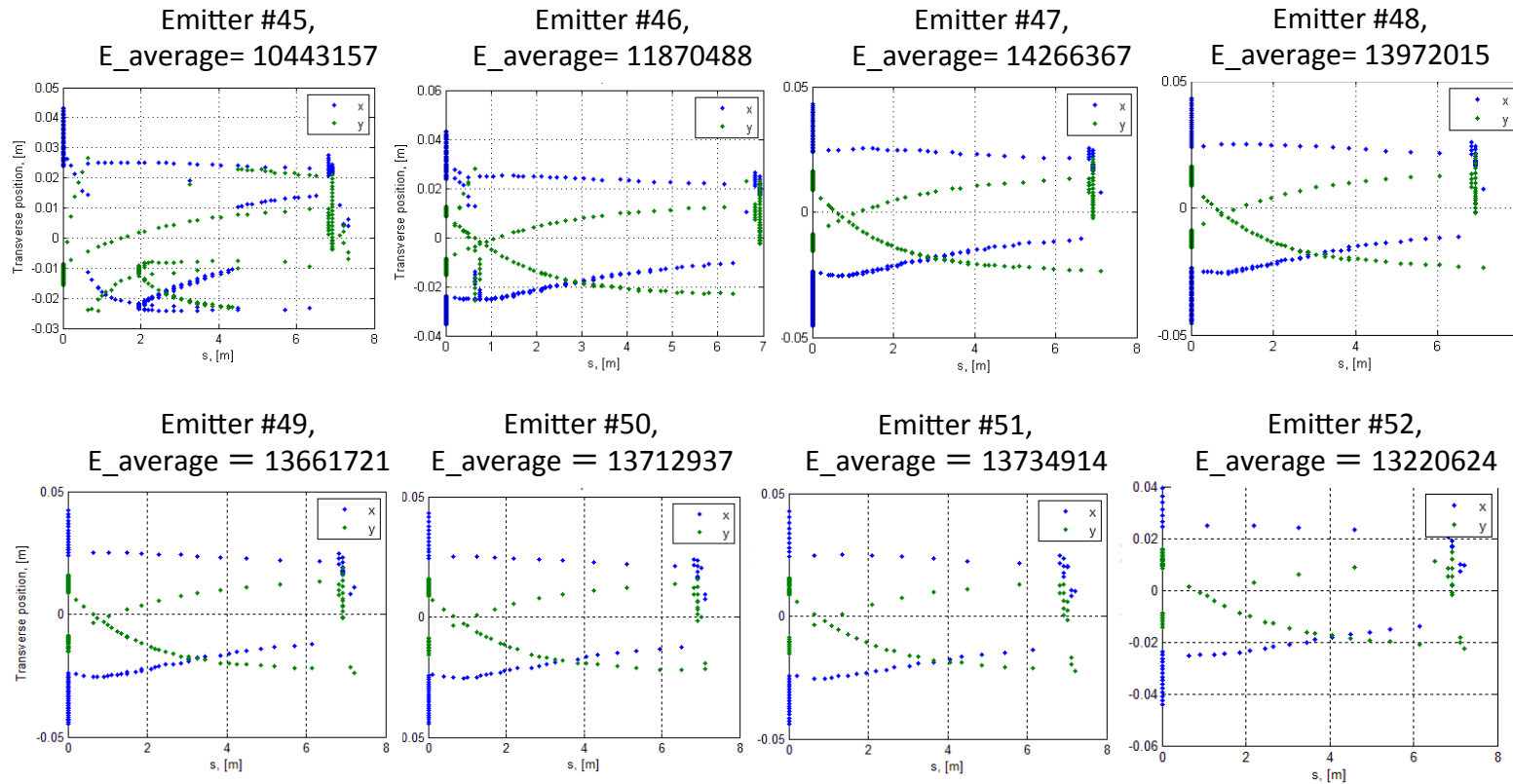
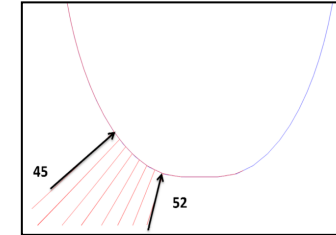


ビームダイナミクス打ち合わせ

各エミッターの損失分布

BACK

- The difference in energy is due to the electrons flight path and electric field phase
- The electrons can be accelerated or decelerated due to the electric field orientation while they are passing through each cavity cell

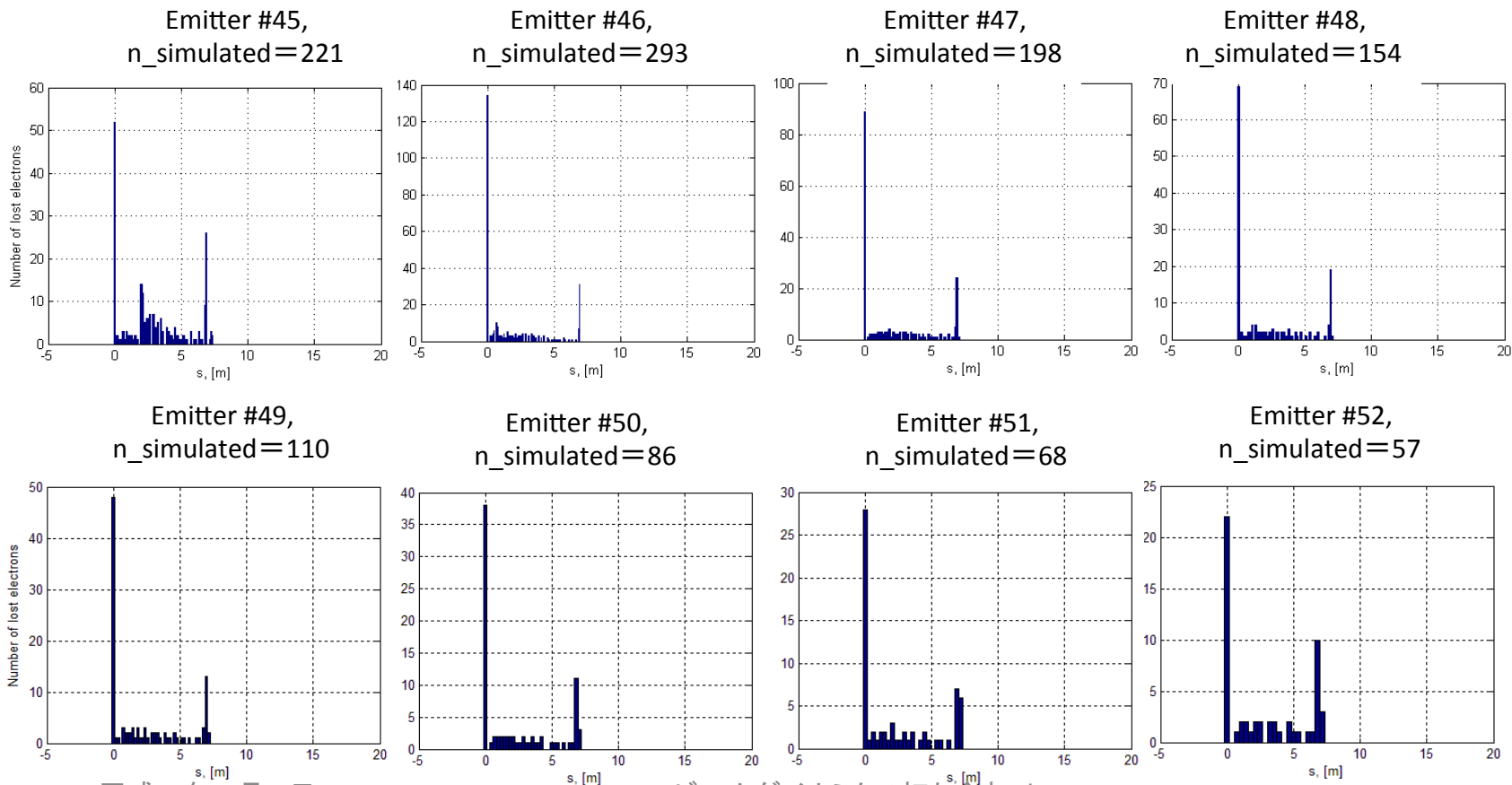


x,y対s

損失したFE電子の分布

BACK

- Output fileのSデータ → [smin, smax] → Divide into same intervals → Calculate number of particles in each interval → Plot (MATLAB)



平成26年 9月 4日

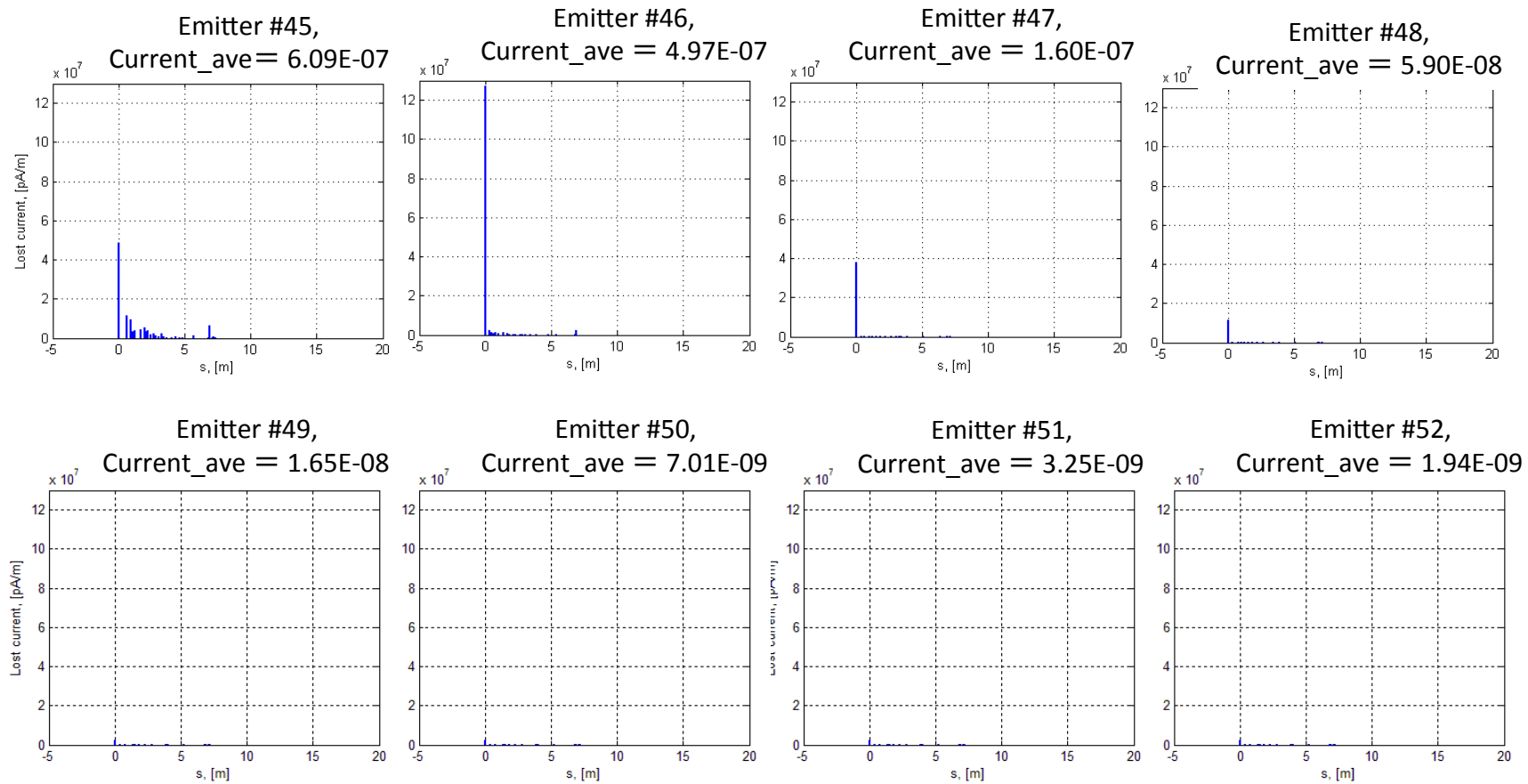
ビームダイナミクス打ち合わせ

Lost currentの測定

BACK

- CenniさんのFE Currentデータ * Number of particles in each interval →
→ Plot 対Output fileのSデータ (MATLAB)

Same scale!
12E+7 pA/m



Lost currentのまとめ

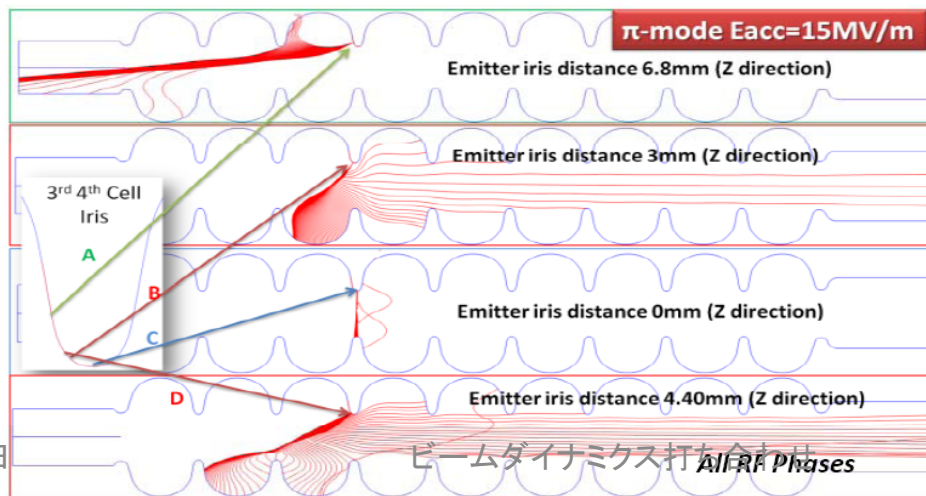
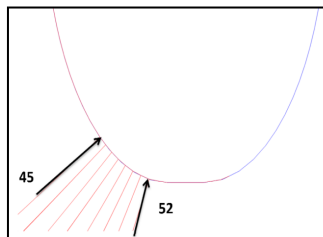
WITH PEAK

		Emitter#45	Emitter#46	Emitter#47	Emitter#48	Emitter#49	Emitter#50	Emitter#51	Emitter#52
forward	peak, [pA/m]	4.86E+07	1.27E+08	3.82E+07	1.17E+07	2.21E+06	6.76E+05	2.19E+05	9.56E+04
	average, [pA/m]	1.06E+07	5.78E+07	1.44E+07	4.19E+06	7.45E+05	2.34E+05	7.46E+04	3.10E+04
back	peak, [pA/m]	4.86E+07	1.27E+08	3.82E+07	1.17E+07	2.21E+06	6.76E+05	2.19E+05	9.56E+04
	average, [pA/m]	2.03E+07	3.05E+07	7.69E+06	2.30E+06	4.36E+05	1.38E+05	4.57E+04	2.02E+04

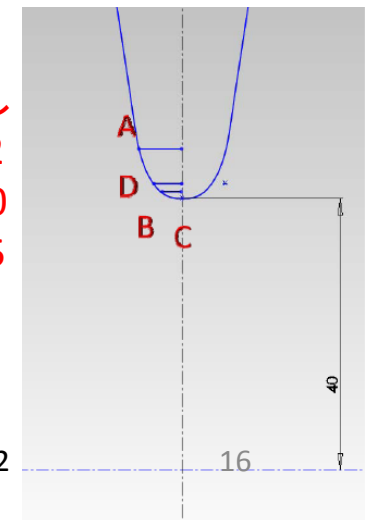
Emits back more than forward!

NO PEAK

		Emitter#45	Emitter#46	Emitter#47	Emitter#48	Emitter#49	Emitter#50	Emitter#51	Emitter#52
forward	peak, [pA/m]	1.67E+06	8.82E+06	1.72E+06	5.10E+05	1.35E+05	4.34E+04	1.93E+04	1.18E+04
	average, [pA/m]	2.85E+05	9.71E+06	1.87E+06	5.24E+05	9.90E+04	3.50E+04	1.52E+04	6.39E+03
back	peak, [pA/m]	1.14E+07	2.13E+06	4.62E+05	1.32E+05	3.53E+04	1.22E+04	5.25E+03	4.66E+03
	average, [pA/m]	1.09E+07	1.96E+06	3.99E+05	1.12E+05	2.53E+04	9.72E+03	4.73E+03	3.05E+03



Emitter C->なし
 Emitter B->#52
 Emitter D->#50
 Emitter A->#45



平成26年 9月 4日

E. Cenni, KEK, 2012

まとめ

- 放出された電子の大部分は空洞の出口から約2.5 mで始まるダンプシケインで失われ、生き残った電子も空洞の出口から18.7 m離れた偏向電磁石 #1までに完全に失われた。
- 一方、逆方向に伝播するFE電子は、全て空洞の入口から7.1 m離れている入射シケインで失われた。
- FEのシミュレーション結果が出来ているが、実際のcERLの実験状態とまだ比べにくい。その理由：
 - 空洞の2台の測定は必要である。
 - FEの時間に対する空洞の位相結果がまだ足りない。
- それで、シミュレーション結果より、シミュレーションの方法の確認が出来た。

今後の課題

- Cenniさんに09/01FEの時間に対した空洞の位相が含まれているデータを受け取ったー→シミュレーションの修正が可能
- 空洞の2台の計算のため、CST Studio suitへ実際の空洞のデザインを入れて、確認を行う。
- エミッターAを含む測定
- FE issuesを理解するため、コードを使ってPhase scan, Energy scan

Acknowledges

- 測定の準備、測定中のcross-check、色々なアドバイスを中村さんに感謝します
- 測定のため大事なInputデータの生成、説明、測定のアドバイスをCenniさんに感謝します
- 空洞の物理の説明、CST Studio suitの使い方の手伝いといろいろな大事なアドバイスを梅森さんに感謝します

御清聴をどうもありがとうございます！