

入射器超伝導空洞の振幅、 位相誤差の影響(1)

2009年1月30日(金)10時～
第33回ビームダイナミクスWGミーティング
KEK 3号館5F会議室

高エネルギー加速器研究機構 放射光源研究系
宮島 司

計算の目的

- CERL入射器超伝導空洞(3台)およびバンチャー空洞のパワーソースの仕様を決めるため
- RFの振幅、位相、周波数の許容誤差を見積もる
- 計算のステップ
 1. 入射器超伝導空洞出口での計算(RF電磁場による加速と収束の影響の評価)
 2. 合流部出口での計算(分散関数のある場所での影響の評価)
- 今回の計算では入射器超伝導空洞3台のRFの振幅と位相の誤差について計算した

計算方法(ステップ1)

- 振幅、位相、周波数の誤差がビームの質に与える影響を調べる
- 入射器超伝導空洞: 3台
- 入射器バンチャー空洞: 1台
- 加速空洞で設定する量: RF電磁場の振幅、位相、周波数

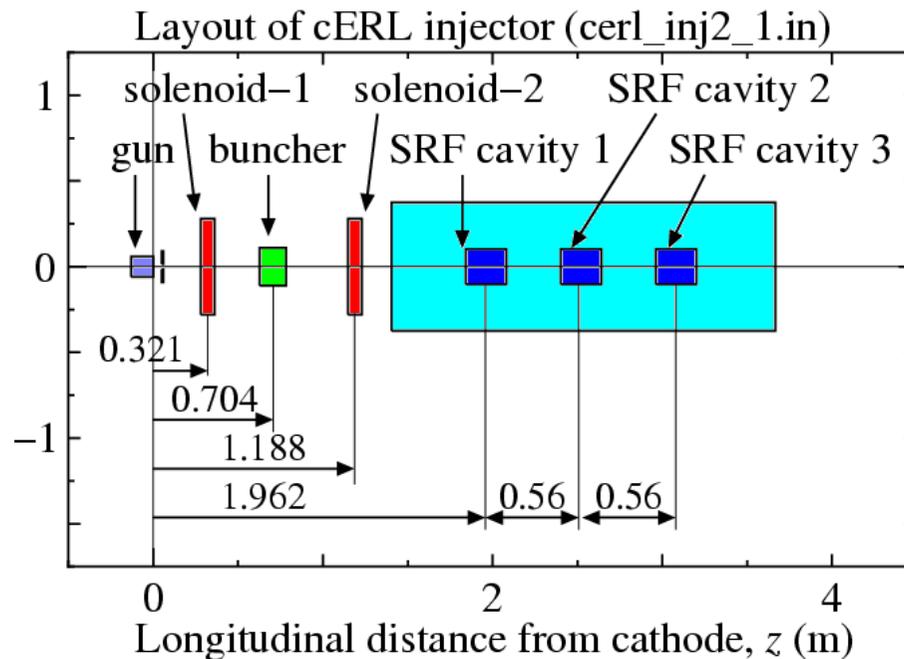
- 空洞1台ずつに、振幅、位相の誤差を与える
- GPTを用いて、空間電荷効果を含んだトラッキングを行う
- 空洞出口(カソード面から 4.5 mの位置)まで計算
- 計算する物理量:
 - 規格化エミッタンス
 - rmsビームサイズ
 - rmsバンチ長
 - 運動エネルギー
 - rmsエネルギー拡がり
 - 空洞出口までの到達時間

計算方法(ステップ2)

- 合流部(分散関数あり)での影響(エネルギー拡がり、到達時間のずれ)を調べる
- 単粒子計算:
 - 合流部入口から出口まで
 - ステップ1で計算した、ビームのエネルギー、エネルギー拡がりを利用
 - 空間電荷効果なし
 - 電子のエネルギーと出発時間を変えて、合流部出口での影響を調べる
- 複数粒子計算:
 - 超伝導空洞入口から合流部出口まで
 - 空間電荷効果あり
 - 分散関数、空間電荷効果を含んだ全ての影響を調べる(時間が掛かる)

今回の計算

- ステップ1: カソード面から空洞出口まで
- 入射器超伝導空洞3台 (バンチャー空洞の解析はこれから)
- 位相と振幅の誤差 (周波数誤差の解析もこれから)
- 出口でのビームエネルギー: 2通りについて計算 (4 MeV, 8 MeV)



誤差を与えたパラメタ: 6つ

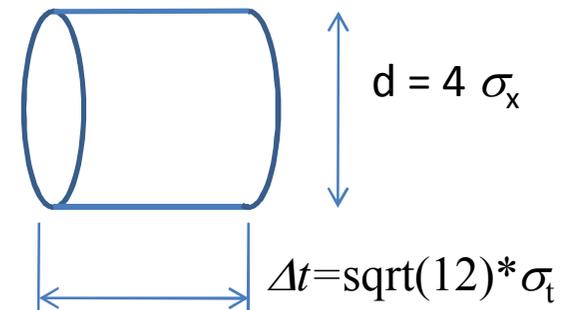
SCA01: 振幅、位相

SCA02: 振幅、位相

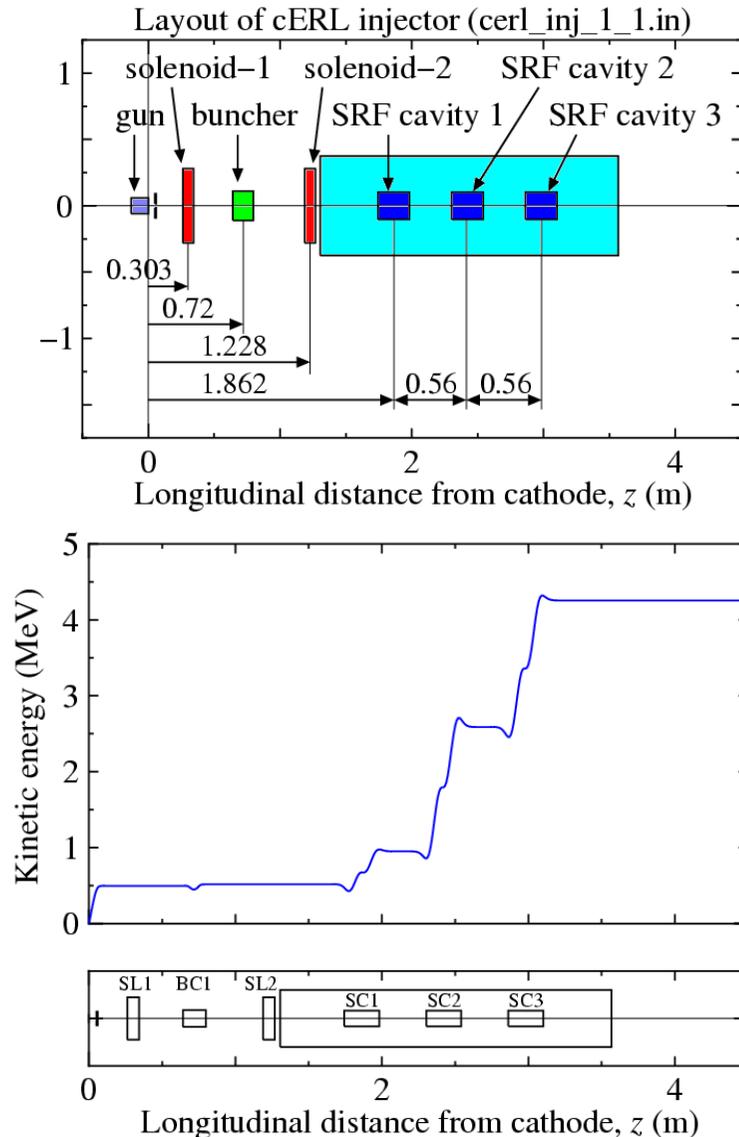
SCA03: 振幅、位相

$z=4.5$ mの位置で物理量を計算

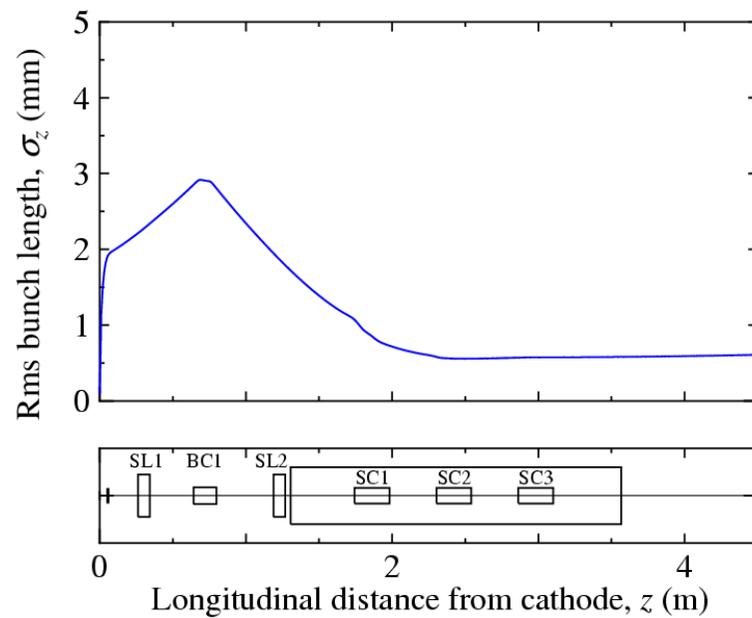
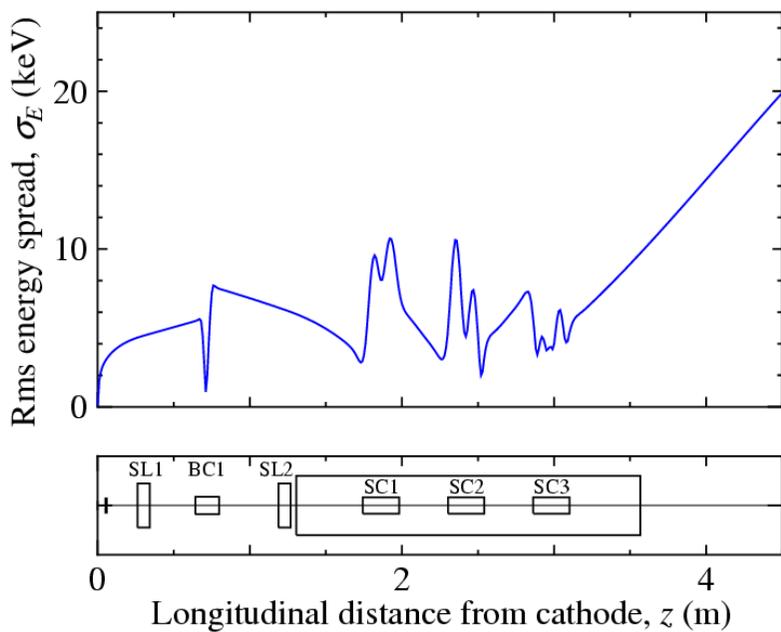
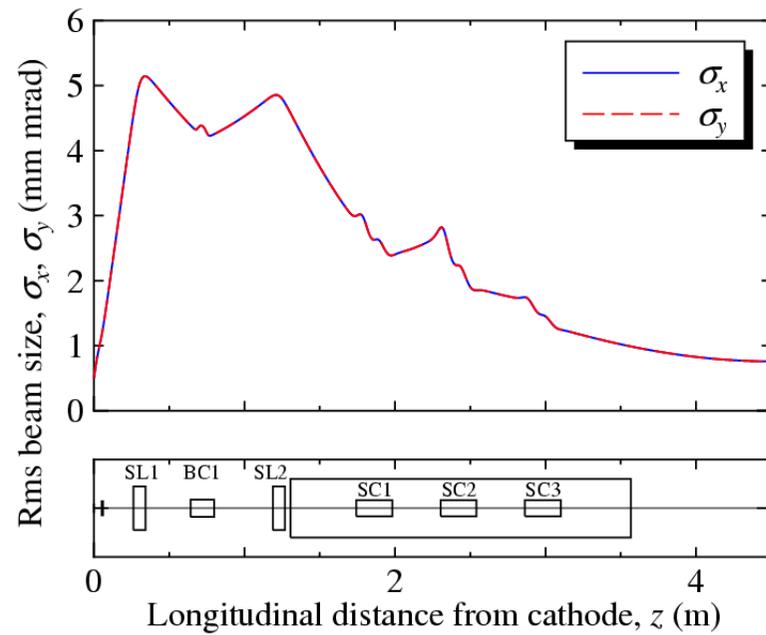
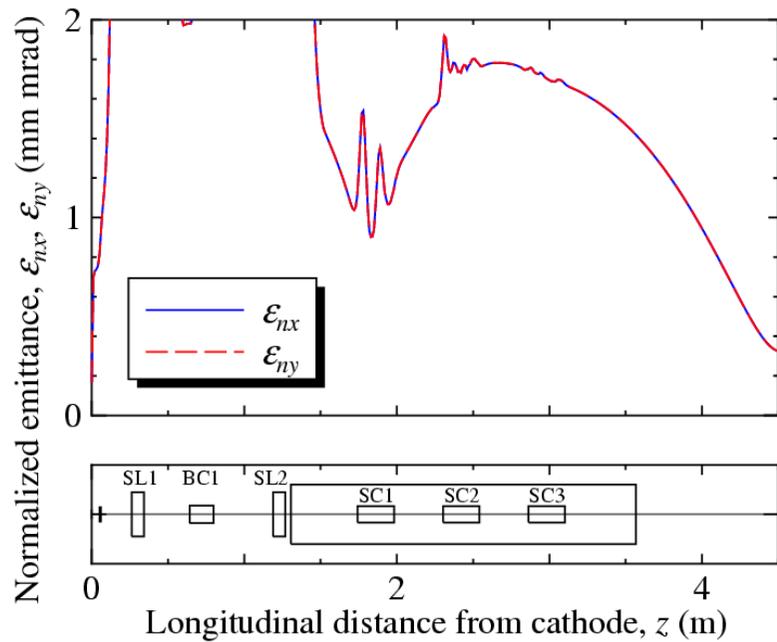
カソード表面での初期粒子分布: ビア缶



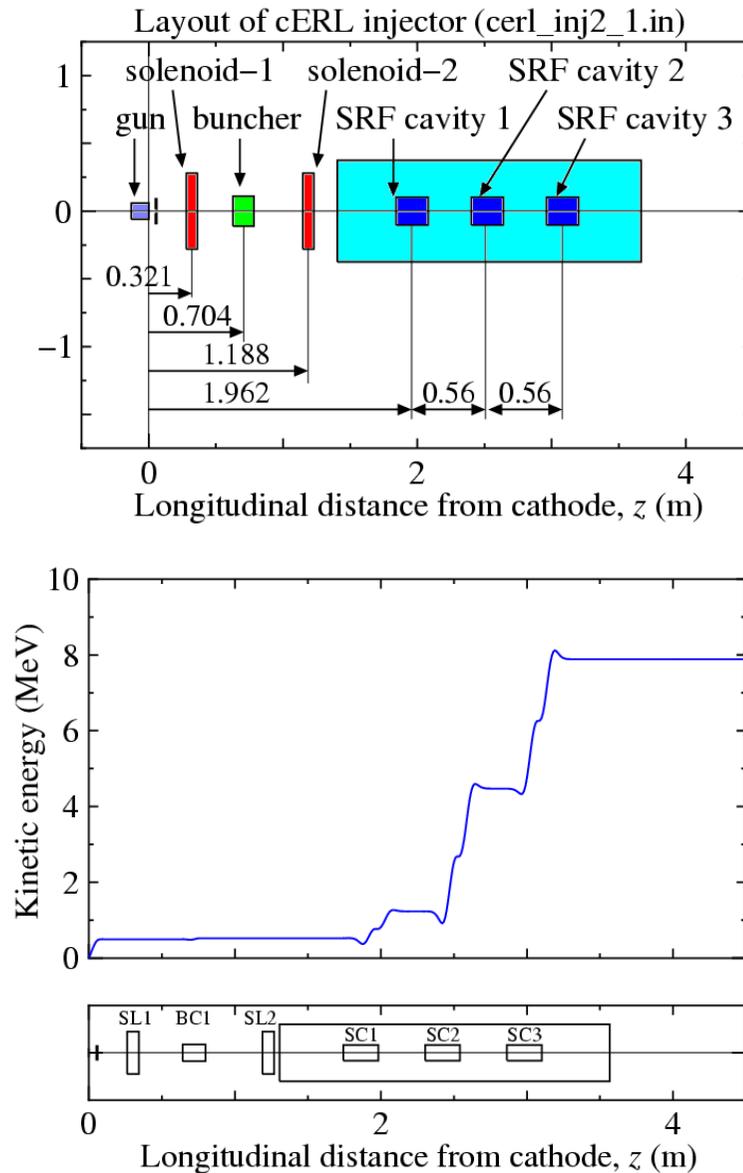
低エネルギーモード



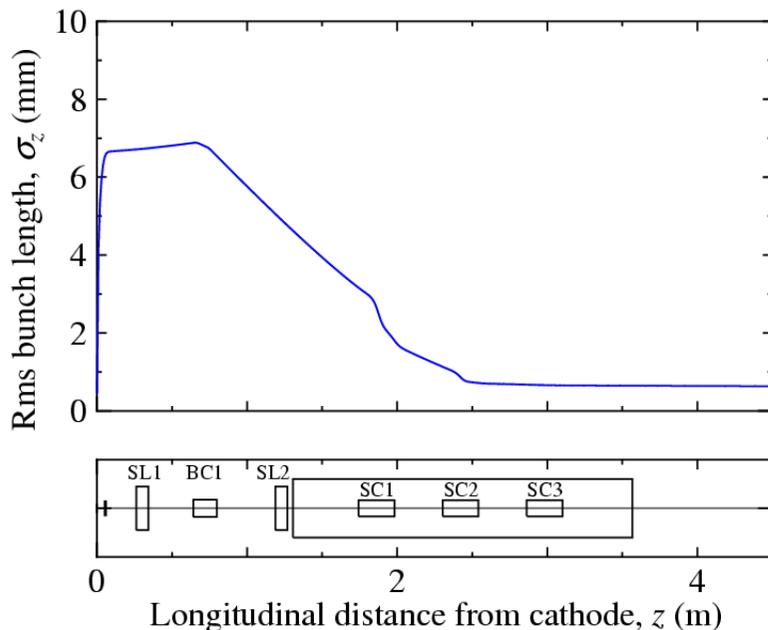
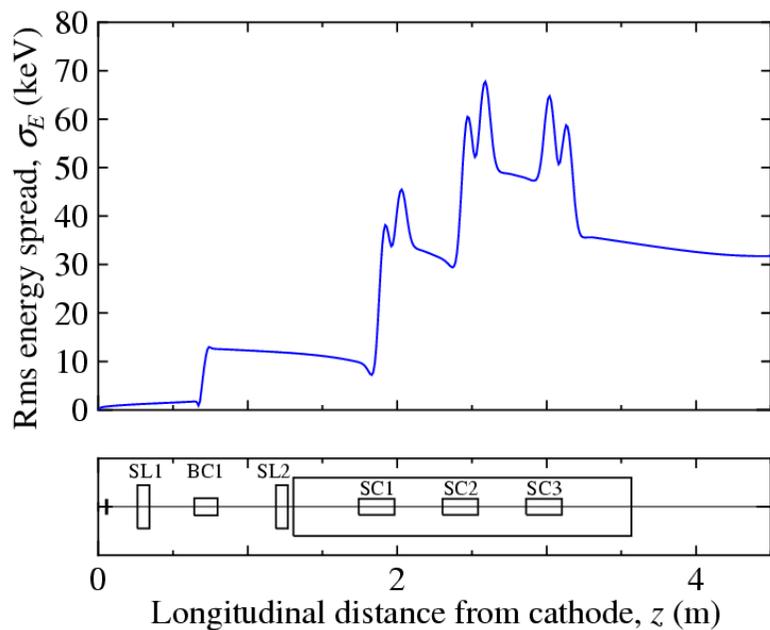
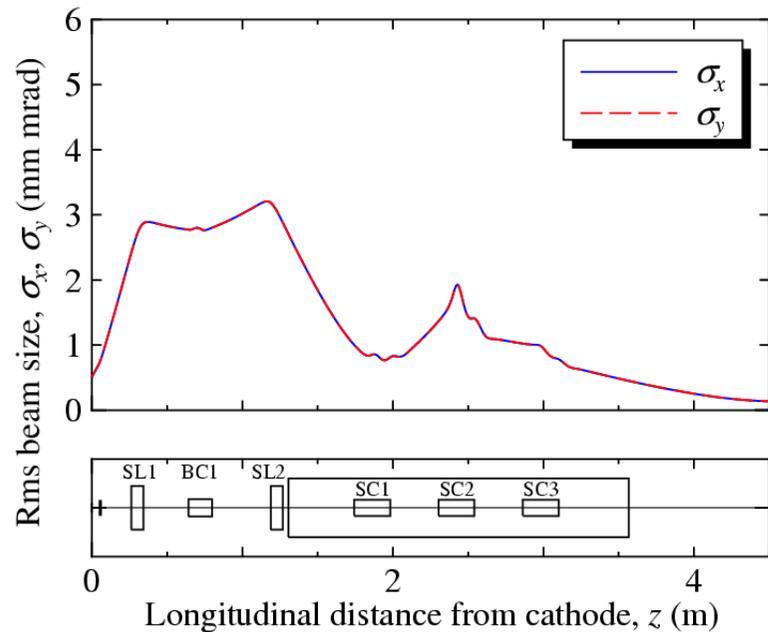
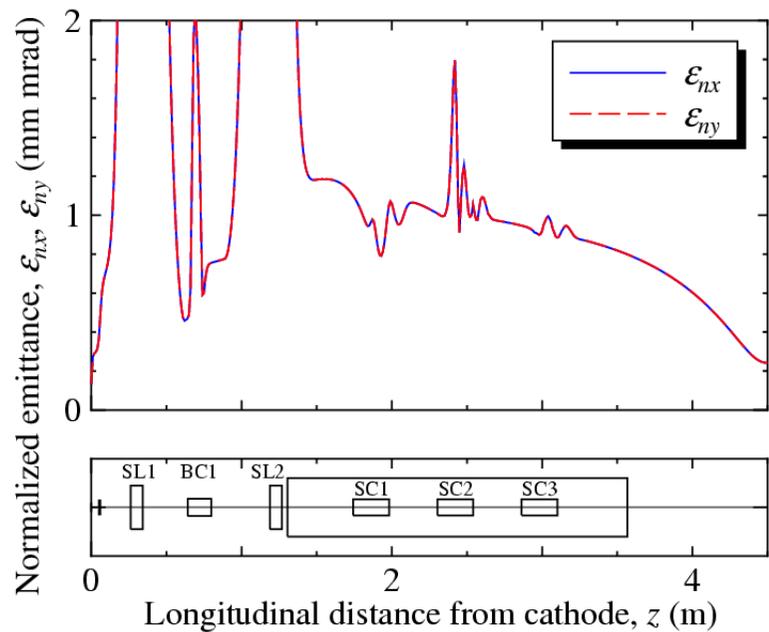
- Max(E_z) = 15 MV/m に制限
- 粒子数 : 50 k particles
- 空間電荷効果計算(3d-mesh, MGCG)
- ビームサイズ : 0.502931 mm
- レーザーパルス長 : 5.00164 ps
- ソレノイド1の磁場 : 0.0403844 T
- ソレノイド2の磁場 : 0.0242315 T
- バンチャー空洞の加速電場 : 2.53649 MV/m
- 1番目SRFの加速電場 : 5.00035 MV/m
- 2番目SRFの加速電場 : 15 MV/m
- 3番目SRFの加速電場 : 15 MV/m
- バンチャー空洞の位相 : -90度
- 1番目SRFの位相 : -26.759度
- 2番目SRFの位相 : 9.97711度
- 3番目SRFの位相 : -9.80328度
- ソレノイド1の中心位置 : 0.303 m
- ソレノイド2の中心位置 : 0.72 m
- バンチャー空洞の中心位置 : 1.228 m



高エネルギーモード



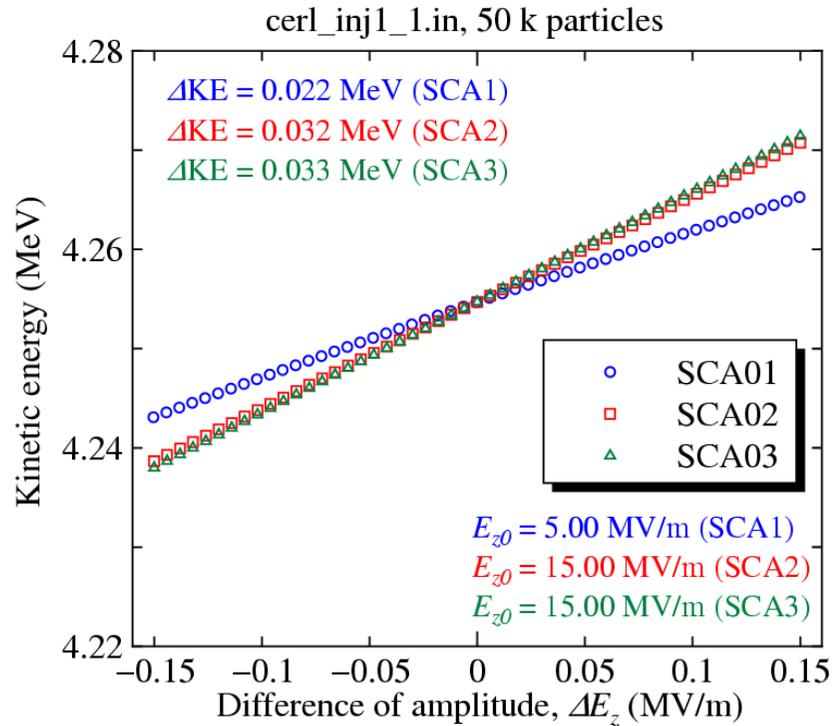
- $\text{Max}(E_z) = 30 \text{ MV/m}$ に制限(E_{acc} で 30 MV/m)
- バンチ電荷: -80pC
- 粒子数: 20 k particles
- 空間電荷効果計算(3d-mesh, CG)
- ビームサイズ: 0.503367 mm
- レーザーパルス長: 25.2024 ps
- ソレノイド1の磁場: 0.0370703 T
- ソレノイド2の磁場: 0.0297391 T
- バンチャー空洞の加速電場: 1.25906 MV/m
- 1番目SRFの加速電場: 8.1881 MV/m
- 2番目SRFの加速電場: 29.99 MV/m
- 3番目SRFの加速電場: 30.0 MV/m
- バンチャー空洞の位相: -89.801度
- 1番目SRFの位相: -39.8224度
- 2番目SRFの位相: -16.5836度
- 3番目SRFの位相: 9.81271度
- ソレノイド1の中心位置: 0.321 m
- ソレノイド2の中心位置: 0.704 m
- バンチャー空洞の中心位置: 1.128 m



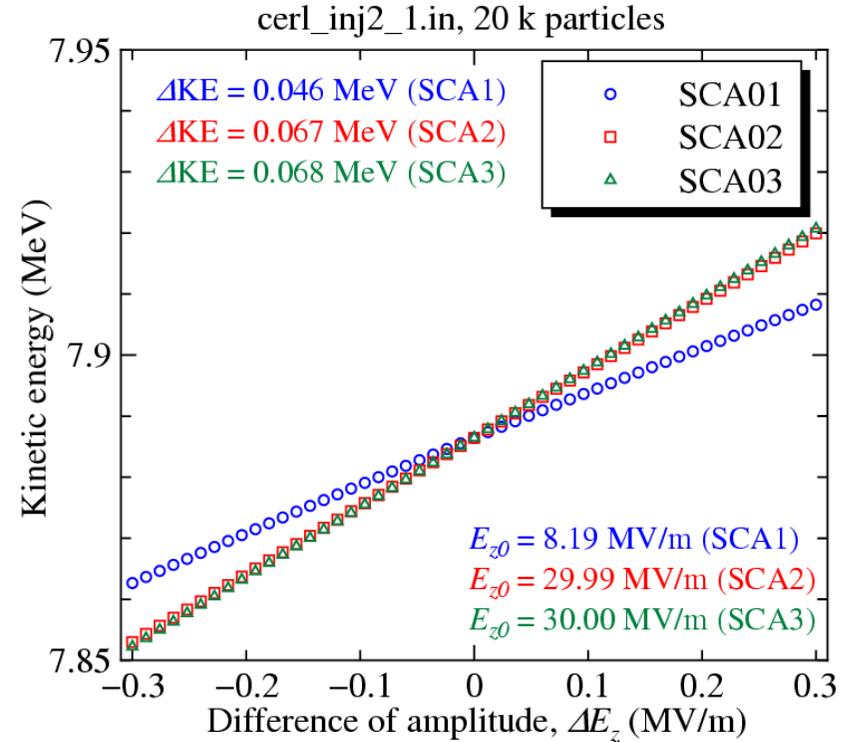
入射器超伝導空洞の振幅誤差(1)

運動エネルギー

低エネルギーモード: ± 0.15 MV/m



高エネルギーモード: ± 0.3 MV/m

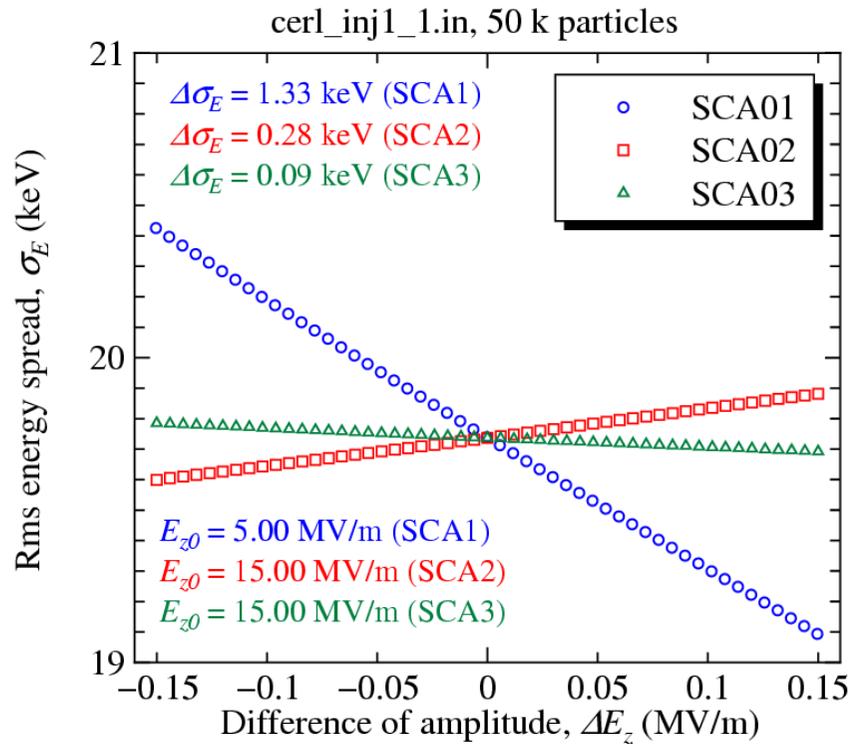


- 低エネルギーモード: 33 keV (SCA3), 0.79%
- 高エネルギーモード: 68 keV (SCA3), 0.87%

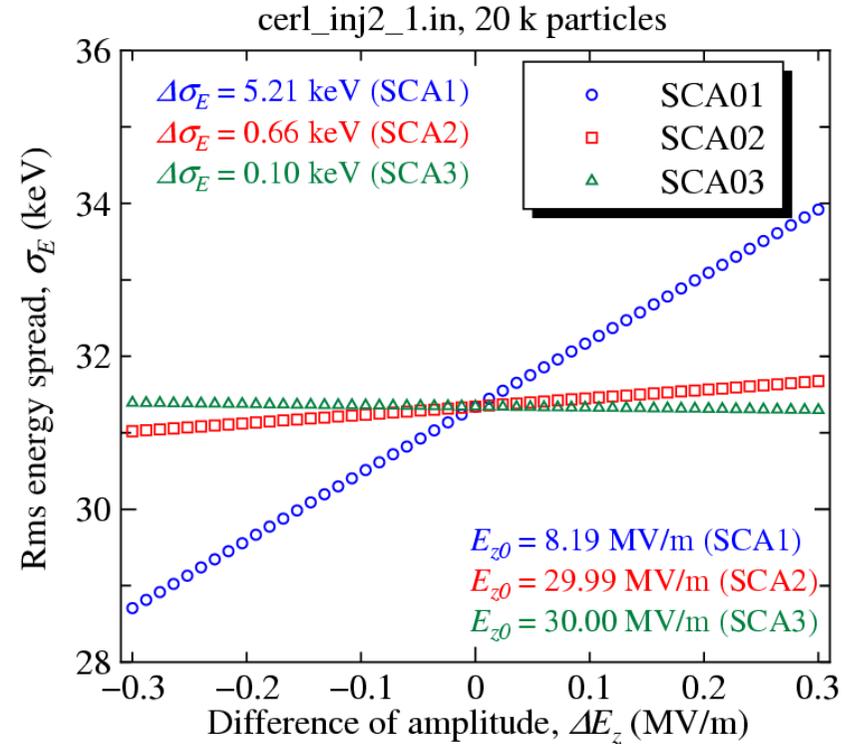
入射器超伝導空洞の振幅誤差(2)

rmsエネルギー拡がり

低エネルギーモード: ± 0.15 MV/m



高エネルギーモード: ± 0.3 MV/m

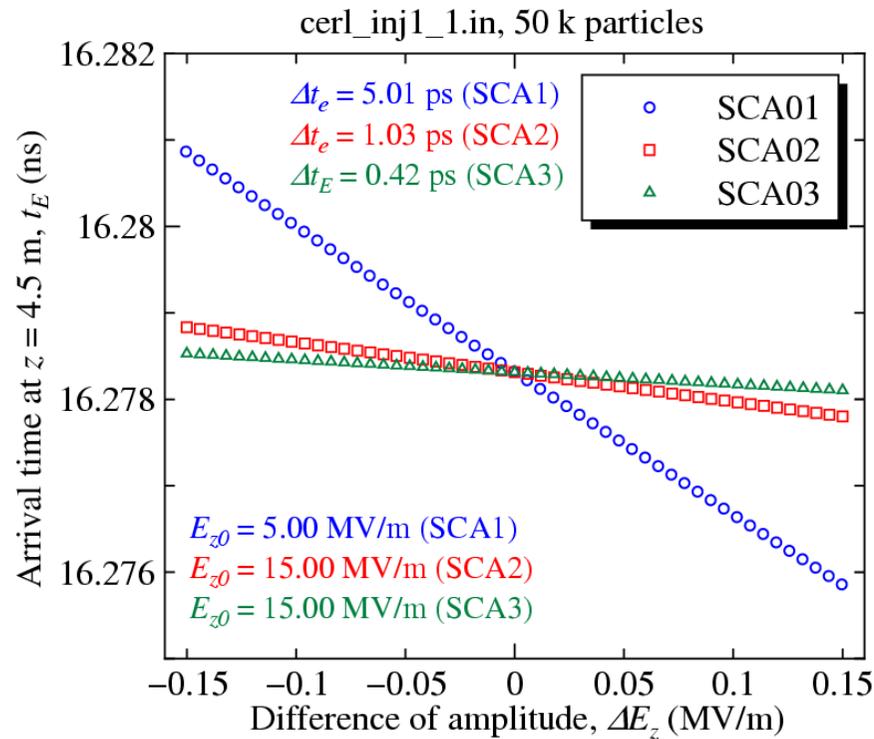


- 低エネルギーモード: 1.33 keV (SCA1), 6.75%
- 高エネルギーモード: 5.21 keV (SCA1), 16.63%

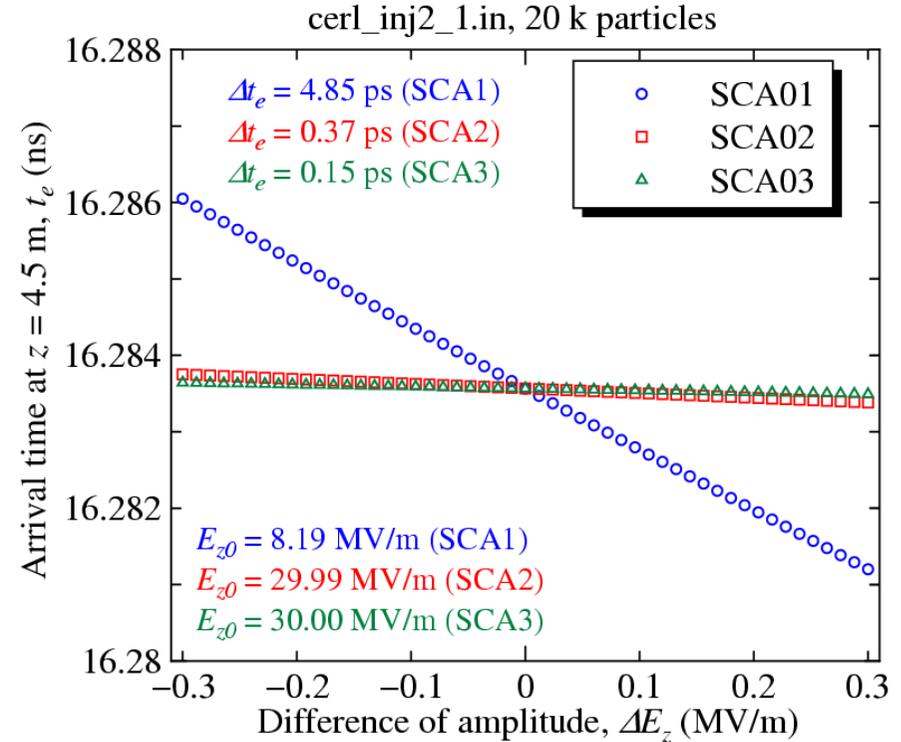
入射器超伝導空洞の振幅誤差(3)

$z = 4.5$ mまでの到達時間

低エネルギーモード: ± 0.15 MV/m



高エネルギーモード: ± 0.3 MV/m



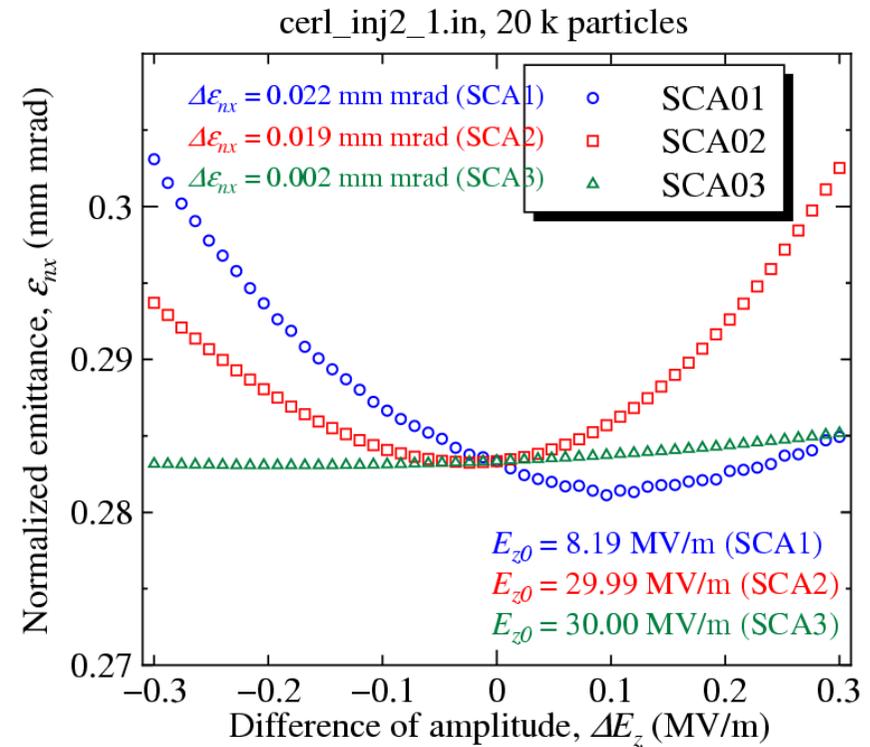
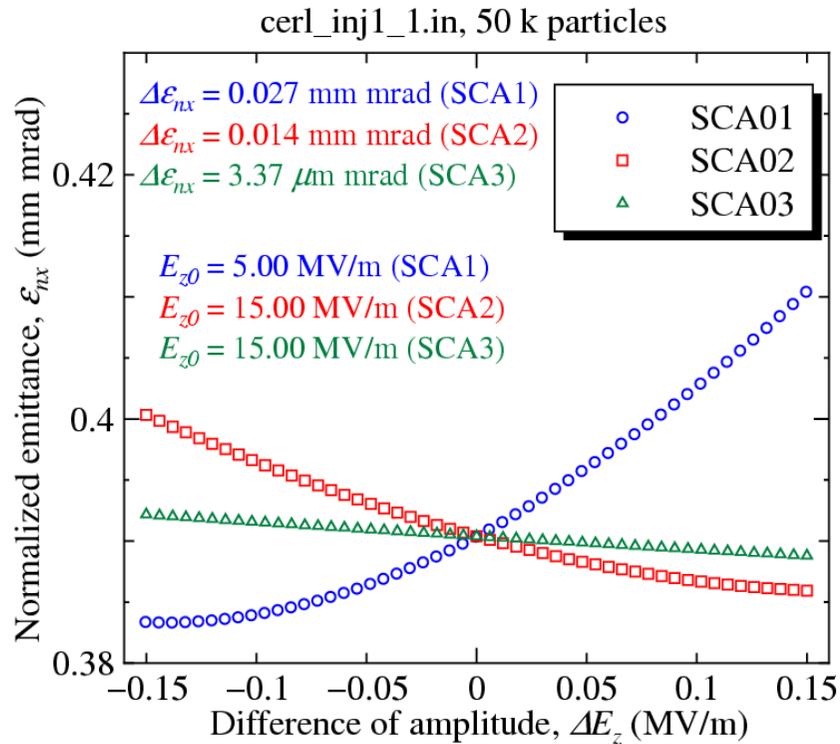
- 低エネルギーモード: 5.01 ps (SCA1), 0.03%
- 高エネルギーモード: 4.85 ps (SCA1), 0.03%

入射器超伝導空洞の振幅誤差(4)

規格化rmsエミッタンス

低エネルギーモード: ± 0.15 MV/m

高エネルギーモード: ± 0.3 MV/m



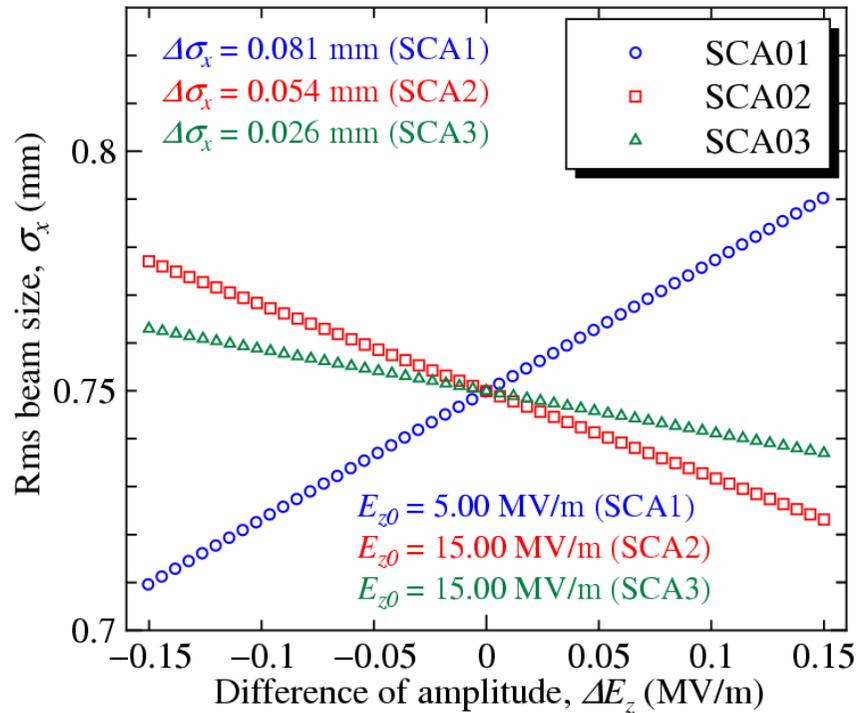
- 低エネルギーモード: 0.027 mm mrad (SCA1), 6.94%
- 高エネルギーモード: 0.022 mm mrad (SCA1), 7.75%

入射器超伝導空洞の振幅誤差(5)

rms水平方向ビームサイズ

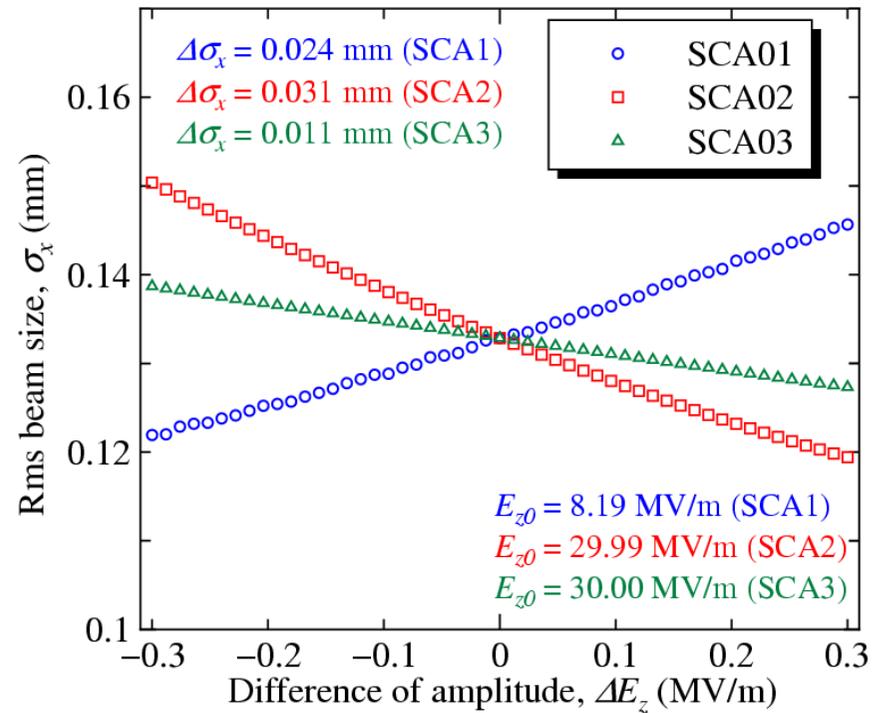
低エネルギーモード: ± 0.15 MV/m

cerl_inj1_1.in, 50 k particles



高エネルギーモード: ± 0.3 MV/m

cerl_inj2_1.in, 20 k particles

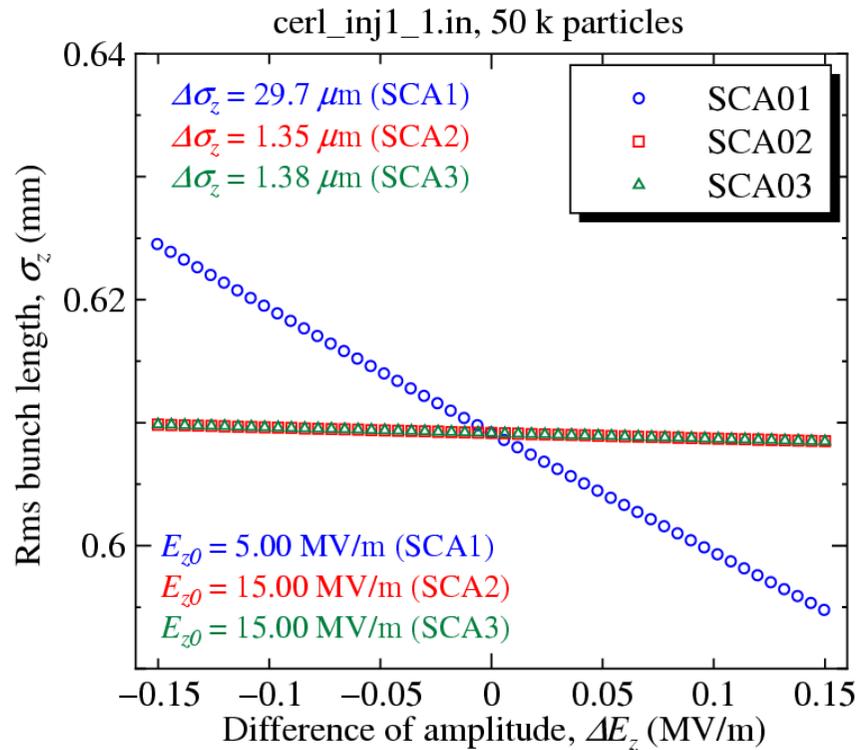


- 低エネルギーモード: 0.081 mm (SCA1), 10.75%
- 高エネルギーモード: 0.031 mm (SCA2), 23.28%

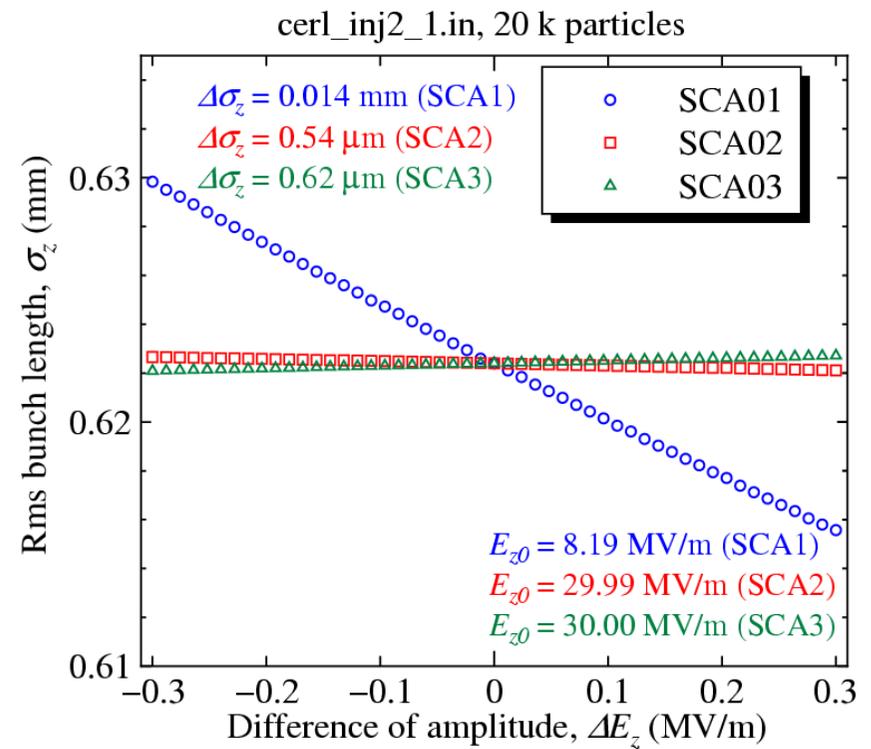
入射器超伝導空洞の振幅誤差(6)

rmsバンチ長

低エネルギーモード: ± 0.15 MV/m



高エネルギーモード: ± 0.3 MV/m

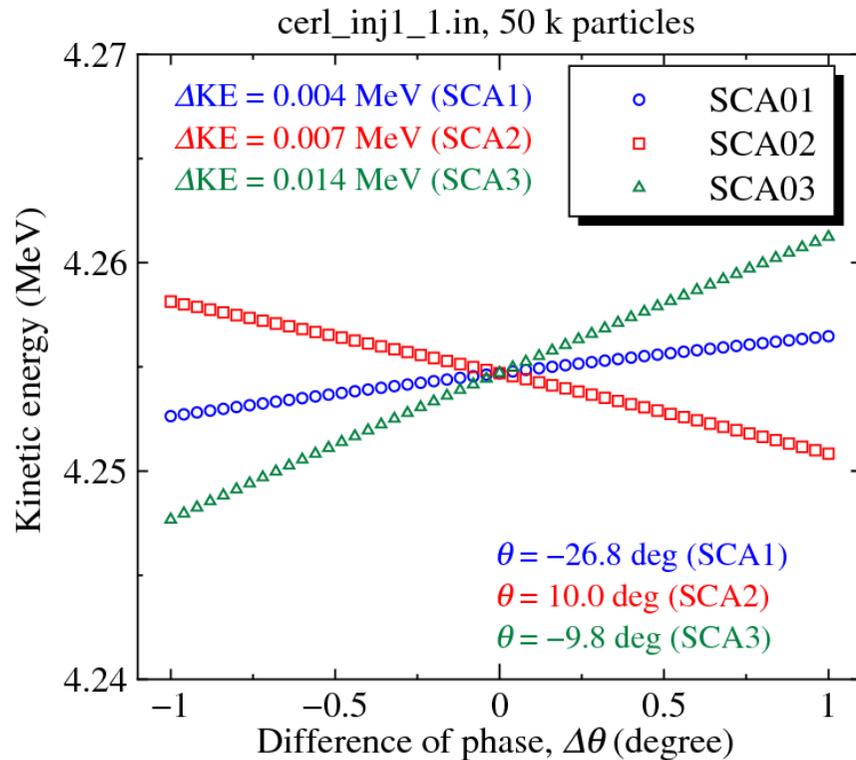


- 低エネルギーモード: $29.7 \mu\text{m}$ (SCA1), 4.88%
- 高エネルギーモード: $14.3 \mu\text{m}$ (SCA1), 2.29%

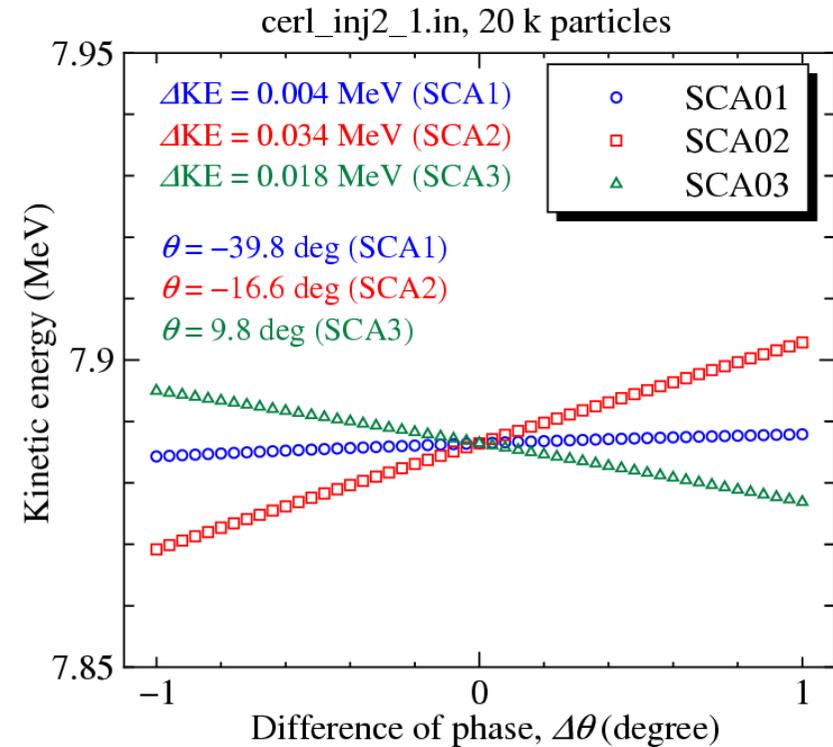
入射器超伝導空洞の位相誤差(1)

運動エネルギー

低エネルギーモード: ± 1 度



高エネルギーモード: ± 1 度



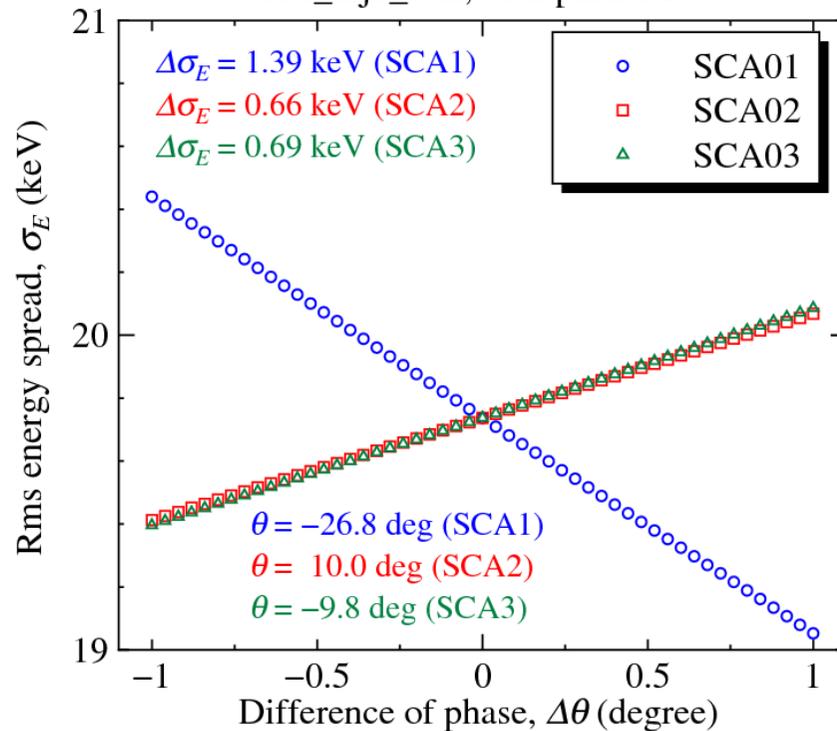
- 低エネルギーモード: 14 keV (SCA3), 0.32%
- 高エネルギーモード: 34 keV (SCA2), 0.43%

入射器超伝導空洞の位相誤差(2)

rmsエネルギー拡がり

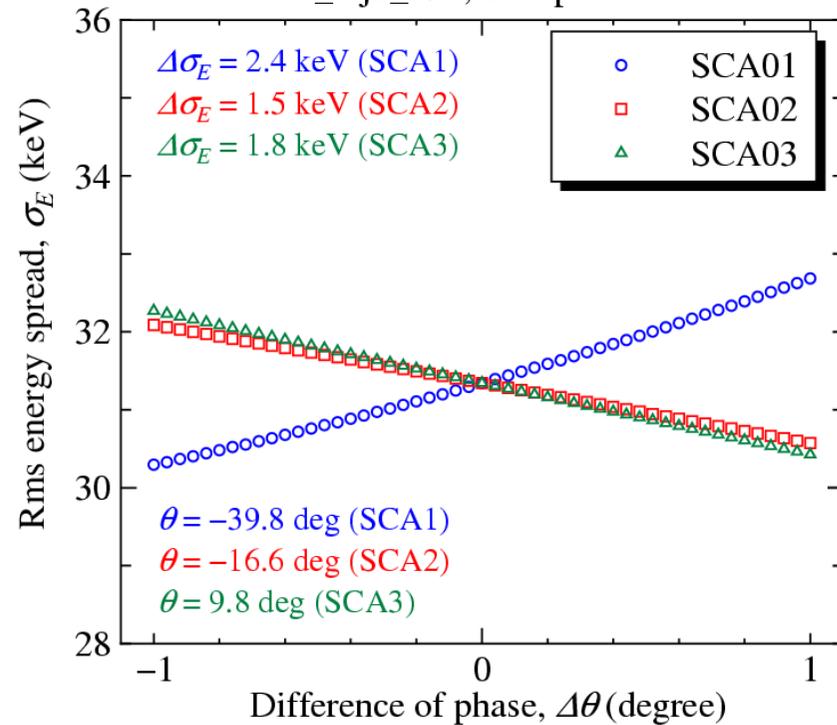
低エネルギーモード: ± 1 度

cerl_inj1_1.in, 50 k particles



高エネルギーモード: ± 1 度

cerl_inj2_1.in, 20 k particles

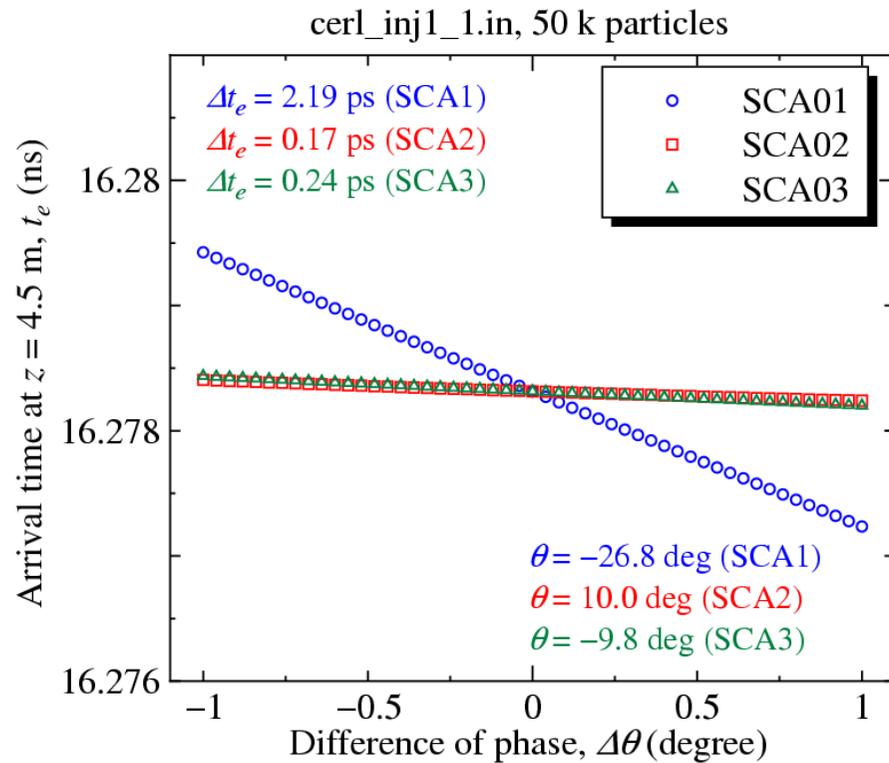


- 低エネルギーモード: 1.39 keV (SCA1), 7.03%
- 高エネルギーモード: 2.4 keV (SCA1), 7.62%

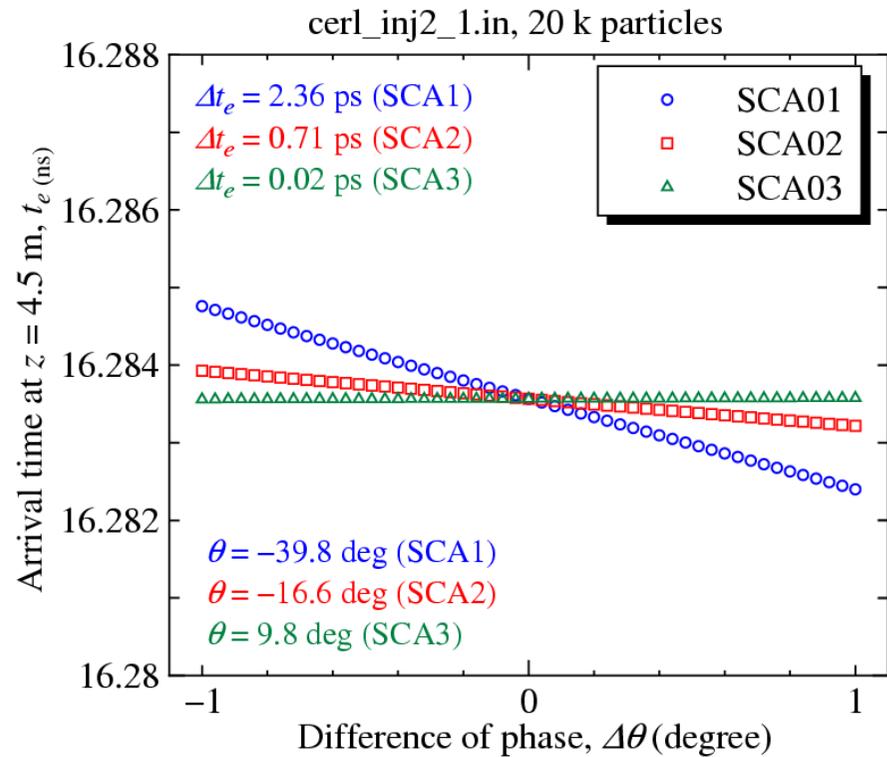
入射器超伝導空洞の位相誤差(3)

$z = 4.5$ mまでの到達時間

低エネルギーモード: ± 1 度



高エネルギーモード: ± 1 度

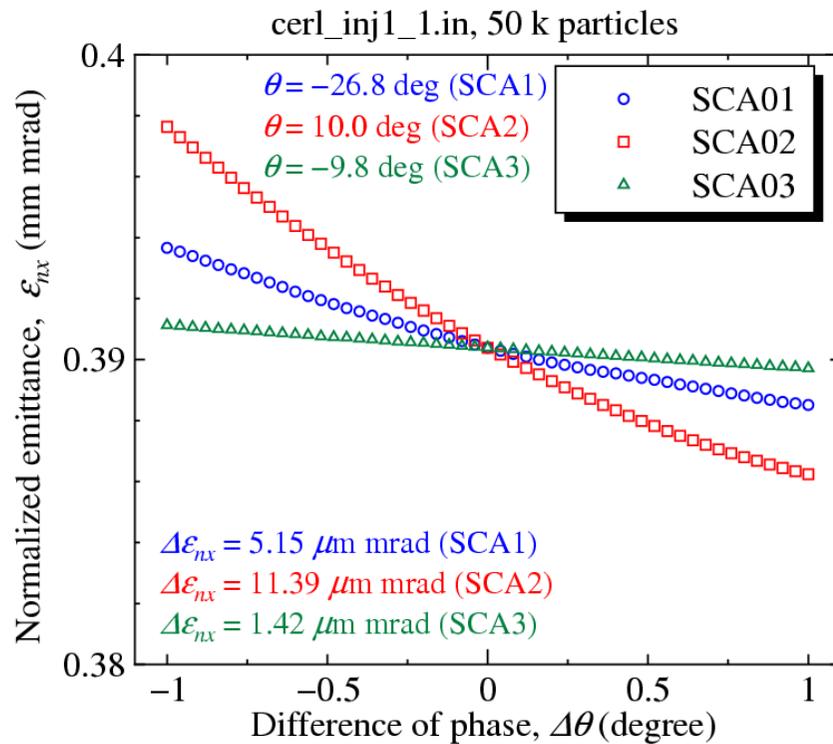


- 低エネルギーモード: 2.19 ps (SCA1), 0.013%
- 高エネルギーモード: 2.36 ps (SCA1), 0.014%

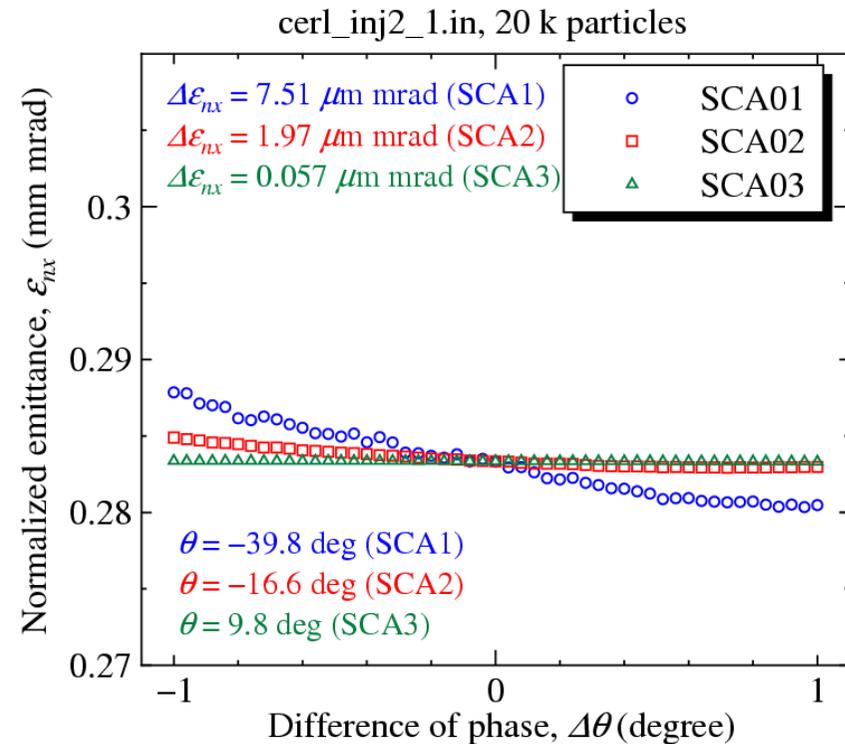
入射器超伝導空洞の位相誤差(4)

規格化rmsエミッタンス

低エネルギーモード: ± 1 度



高エネルギーモード: ± 1 度

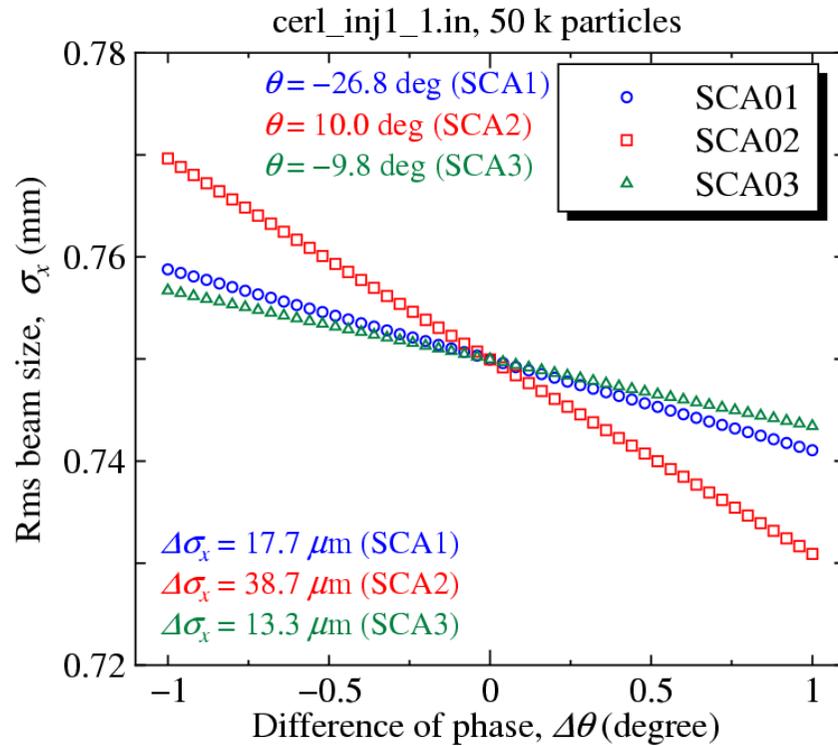


- 低エネルギーモード: **11.39 $\mu\text{m mrad}$ (SCA2), 2.92%**
- 高エネルギーモード: **7.51 $\mu\text{m mrad}$ (SCA1), 2.65%**

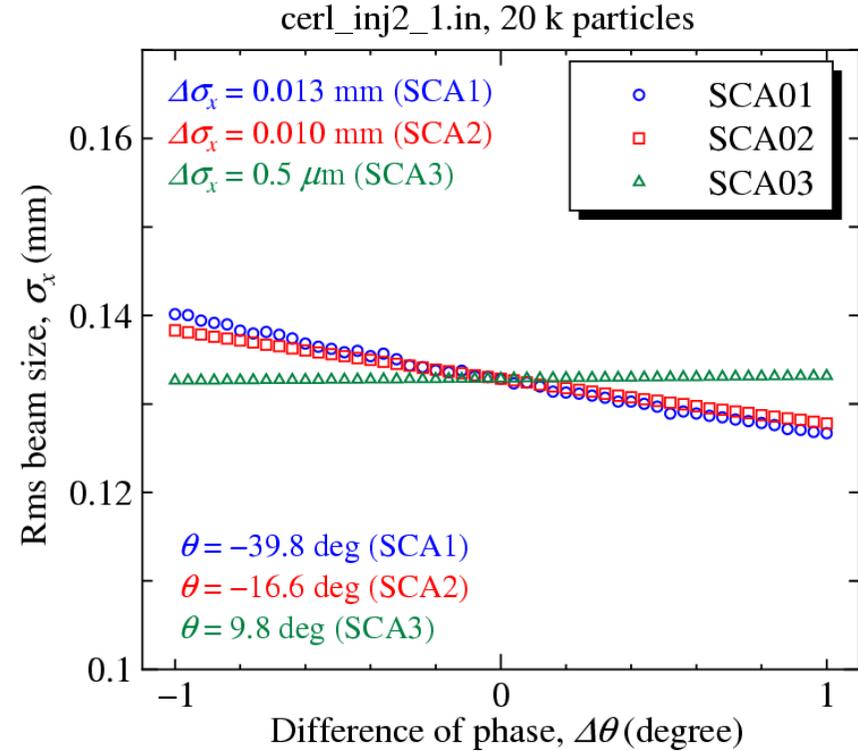
入射器超伝導空洞の位相誤差(5)

rms水平方向ビームサイズ

低エネルギーモード: ± 1 度



高エネルギーモード: ± 1 度

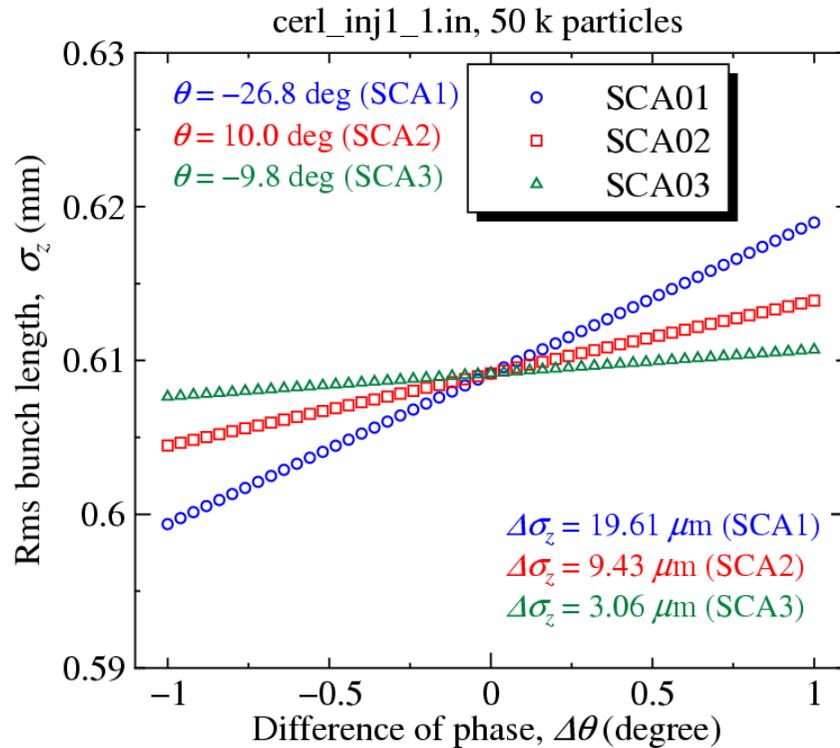


- 低エネルギーモード: **38.7 μm (SCA2), 5.16%**
- 高エネルギーモード: **13.4 μm (SCA1), 10.12%**

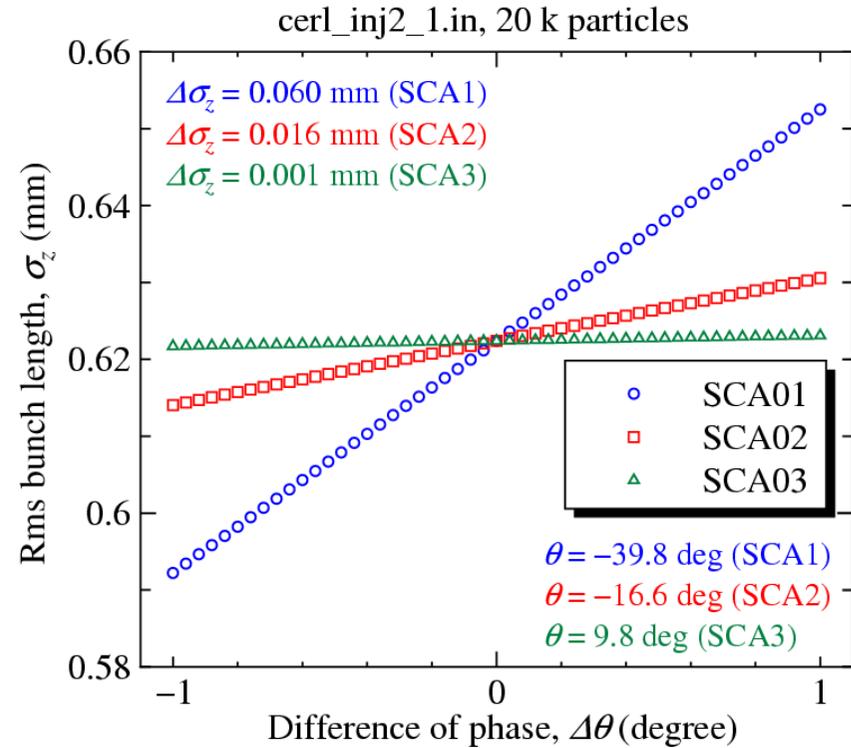
入射器超伝導空洞の位相誤差(6)

rmsバンチ長

低エネルギーモード: ± 1 度



高エネルギーモード: ± 1 度



- 低エネルギーモード: $19.61 \mu\text{m}$ (SCA1), 3.22%
- 高エネルギーモード: $60.3 \mu\text{m}$ (SCA1), 9.69%

まとめ

超伝導空洞3台の振幅誤差

- 振幅誤差の影響(1台ずつ振幅誤差を与えた)
- エミッタンス以外は振幅の変化に対して線形

	低エネルギーモード	高エネルギーモード
振幅の変化(MV/m)	±0.15 MV/m	±0.3 MV/m
振幅変化の比(30MV/m)に対して	±0.5%	±1.0%
運動エネルギーの変化	0.79% (SCA3)	0.87% (SCA3)
エネルギー拡がりの変化	6.75% (SCA1)	16.63% (SCA1)
到達時間の変化	0.03% (SCA1)	0.03% (SCA1)
規格化エミッタンスの変化	6.94% (SCA1)	7.75% (SCA1)
Rmsビームサイズの変化	10.75% (SCA1)	23.28% (SCA2)
バンチ長の変化	4.88% (SCA1)	2.29% (SCA1)

まとめ

超伝導空洞3台の位相誤差

- 位相誤差の影響(1台ずつ位相誤差を与えた)
- エミッタンス以外は位相の変化に対して線形

	低エネルギーモード	高エネルギーモード
位相の変化(MV/m)	±1 degree	±1 degree
運動エネルギーの変化	0.32% (SCA3)	0.43% (SCA2)
エネルギー拡がりの変化	7.03% (SCA1)	7.62% (SCA1)
到達時間の変化	0.013% (SCA1)	0.014% (SCA1)
規格化エミッタンスの変化	2.92% (SCA2)	2.65% (SCA1)
Rmsビームサイズの変化	5.16% (SCA2)	10.12% (SCA1)
バンチ長の変化	3.22% (SCA1)	9.69% (SCA1)

この後は、合流部の影響を見るために計算ステップ2を開始する予定