

Acceleration of deflected particles during transient periods of the chopper operation

2001.3.9 T. Kato

結論：SDTL 以降では、チョッパーの過渡部分に起因する粒子損失はないと予測する。

1. はじめに (まとめ)

チョッパーの定格電圧により蹴られた粒子は、MEBT スクレーパによりカットされる。チョッパー電圧の過渡的な期間中、不十分に蹴られた粒子 (unstable particle と呼ぶ) は、その蹴られ方に応じて次の3種類の振る舞いをする。

- 1) MEBT スクレーパによりカットされる。
- 2) DTL のアクセプタンスからはずれて、DTL でロスする。
- 3) DTL を通過した粒子は、SDTL、ACS を通過して、ロスせずに最後まで加速される。

DTL を通過した粒子 (第3項) については、以下の結論となった。

- 1) その後のリニアックにおいてロスする事はないと予測する。
- 2) 正常なバンチと比べると、そのエミッタンスの位置がずれているので、加速管のエラーに対しては敏感となっている。
- 3) 横エミッタンスを制限する為の L3BT のスクレーパでカットする事は可能と思われる。
- 4) 前項のカット粒子数を減らす事に意味があるとするれば、SDTL のタンクの間スクレーパをおいて、実現出来る。SDTL スクレーパがカットする unstable particles の割合は、unstable particles 全体の約 47% となり、MEBT 入射電流のおよそ 0.11% である。

本項では、チョッパーの過渡状態で蹴られたバンチの SDTL(191MeV)までのシミュレーション結果を示す。SDTL には2台のスクレーパを設置した (S 4(62MeV)、S 7(72MeV)タンクの後)。スクレーパ位置は normal bunch に対してはビームロスがないように選んだ。チョッパー過渡電圧は、定格の、0.65、0.5、0.4、0.3、0.1 倍の5種類を選んだ。これは KEK Report 97-16 p.4-13 に拠っている。MEBT のシミュレーションは数年前の粒子数 3200 個の結果を利用した。なお、以前に行った粒子数が 9600 個の MEBT 計算結果は、現在行方を検索中なので、それが見つかった時点で、追試補完を行う予定。

2. 計算結果

2.1 計算仕様とビームの性質

電流：50 mA、各種エラーなし、x,y,z のマッチングをさせて後続の加速管に入射。

MEBT 入射粒子数 3200。

SDTL 出射ビーム x-emittance (normalized)

rms: 0.234 pi mm-mrad

100%: 5.22 pi mm-mrad

2.2 加速管の各ステージでの生存粒子数

RFD voltage	MEBT out	DTL out	SDTL out	生存率
0.1	3174	3174	3142	0.982
0.3	2889	2561	1831	0.572
0.4	2436	1377	766	0.239
0.5	1790	379	170	0.053
0.65	808	16	8	0.0025

以前に行った DTL のタンクの間にはスクレーバを置く場合の結果に比べると、生存率は 2 倍程度悪い結果となっている。

2.3 出射ビームエミッタンス

それぞれの場合の SDTL の出力エミッタンスを図 1 - 図 5 に示す。外側の緑の丸円は、エミッタンス(20pi mm-mrad) が出射時に占める範囲を示している。これは SDTL のアクセプタンスの約半分値である。赤丸は normal bunch。青丸は chopped bunch。

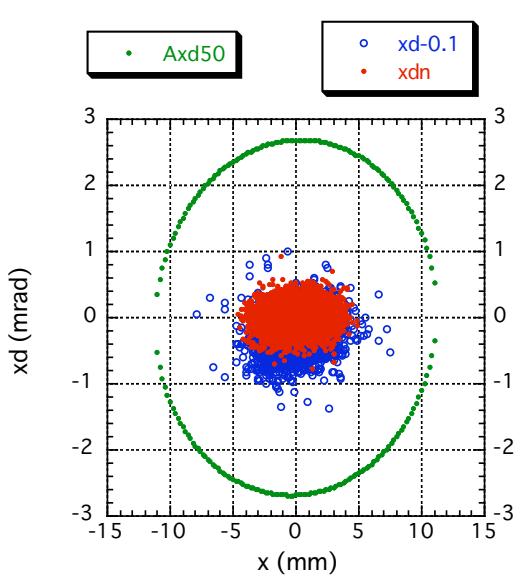


図 1 RFD=0.1。

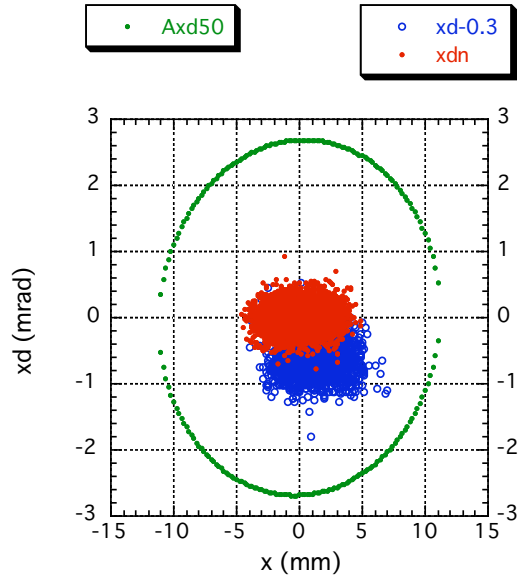


図 2 RFD=0.3。

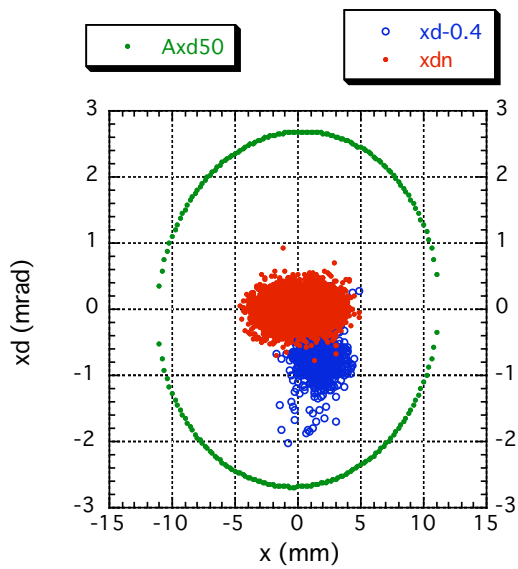


図3 RFD=0.4。

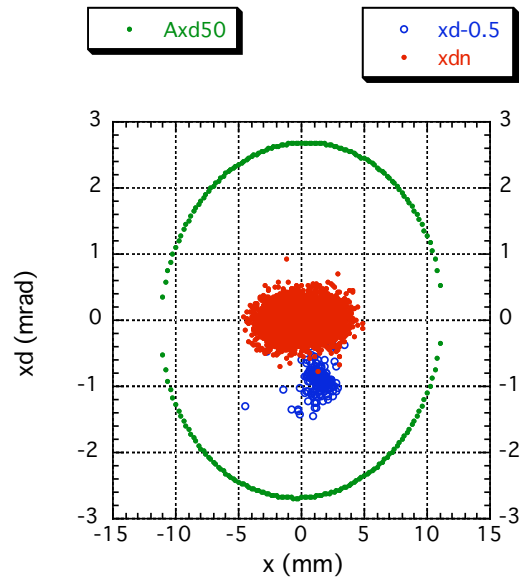


図4 RFD=0.5。

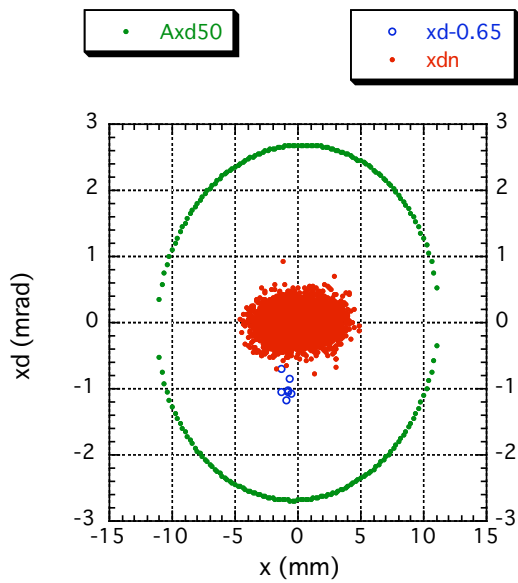


図5 RFD=0.65。

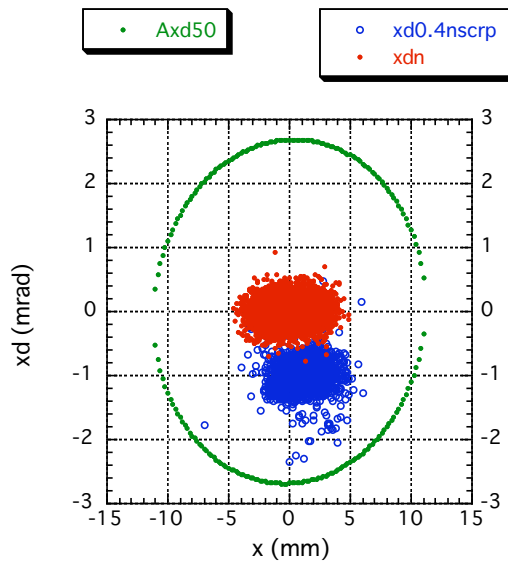


図6 スクレーパー使用なし。RFD=0.4。

SDTL スクレーパーを使用しない場合の出射エミッタンスを (RFD=0.4) を図6 に示す。

2.3 ビーム損失の位置

RFD=0.4 の場合の SDTL 内部のスクレーパーによるビームロス分布を図7 に示す。

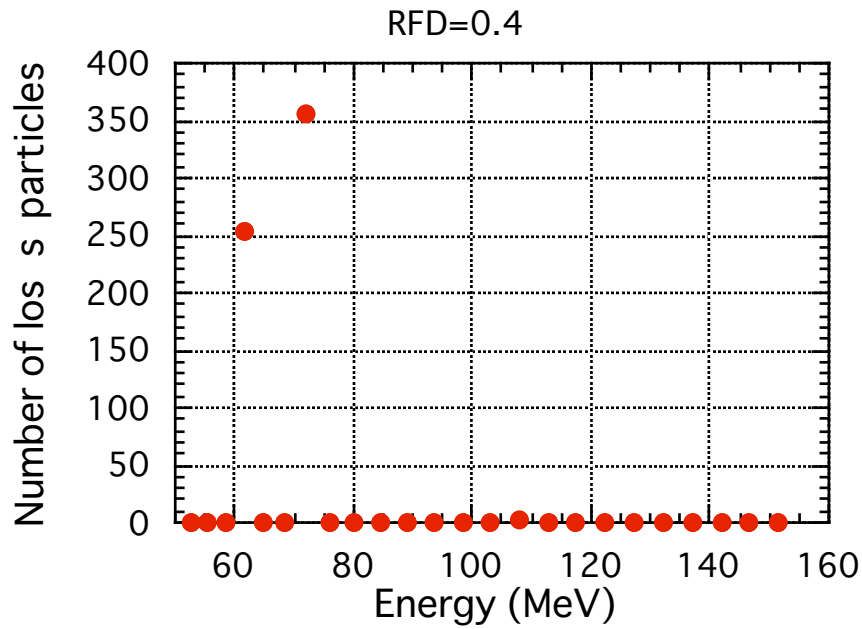


図7 SDTL 内のビーム損失位置(RFD=0.4 の場合)。

DTL内のビーム損失の分布を図8に示す。ここでは、各RFD電圧の場合のビーム損失を積算している。

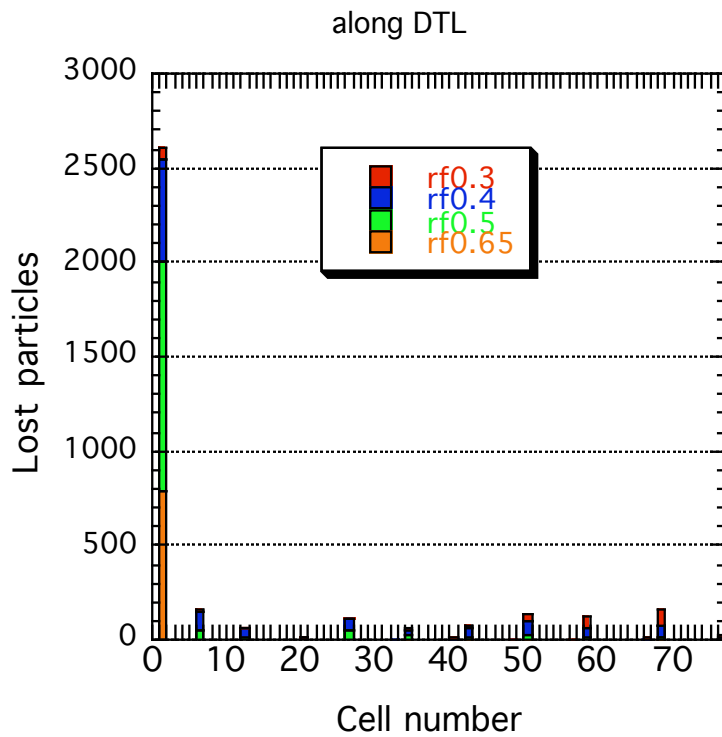


図8 DTL 内のビーム損失の分布。

2.4 ビーム損失の程度

チョッパーの負荷QL が 10 の場合には、チョッパー電圧の立ち上がり時には、RFD=0.4 と

RFD=0.65 を考えればよく、立ち下がり時には、RFD=0.5 を考えればよい (KEK Report 97-16)。実際には、増幅器の立ち上がり特性が 15 nsec 程度とすれば、全体としての立ち上がり特性は劣化するので、QL=10 の場合に得られた結果を 2 倍する事で対応する (QL~15-20 を想定)。2001 年 5 月には、実際のチョッパー空洞の特性測定が予定されている。

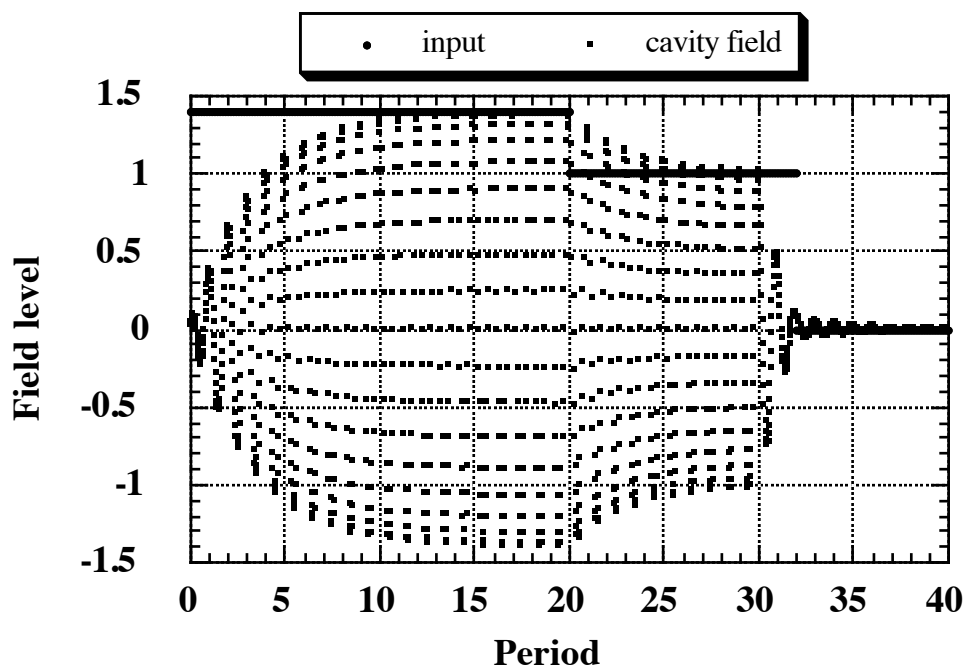


図 QL=10 の場合のチョッパー空洞波形。

2.4.1 SDTL スクレーパによるビーム損失

表にスクレーパでのロスをもとめた。実際には、この 2 倍以上が予想される。ここでは、チョップする前の平均電流を比較の基準とする。

	Loss ratio	Loss current	Loss power	Particle energy
Scrapper-1	4.4E-4	0.55 micro A	34 W	61.6 MeV
Scrapper-2	6.4E-4	0.80 micro A	58 W	72.2 MeV

SDTL 出口の unstable particles の割合は、0.12%となる。実際には、この 2 倍以上が予想される。

2.4.2 DTL 入り口のビーム損失

平均ビームロス電流は 5.4 micro A、ロス電力は 16W となる。実際には、この 2 倍以上が予想される。

3. 考察

図 3 と図 6 を比べると、スクレーパの働きがわかる。スクレーパ位置と normal beam size との間には、

まだ余裕があるように見えるので、スクレーパの効率を更に最適化する事は可能と思われる。今回のシミュレーションでは、normal beam には全く影響がないようにスクレーパ位置を決めたので、こうした結果となったと思われる。

今回の計算結果より、以下の結論を導いた。

- 1) 不十分にチョップされた粒子は、SDTL アクセプタンスの 50%以内に入っているため、その後のリニアック中でロスとなる事はない。DTL と SDTL に妥当なエラー（電場 1 度 1 %、四極磁石変位 50 micron）を設定してもロスする事はない。
- 2) SDTL の間にスクレーパを設置するかどうかは、ビームロスによる放射化をどのように分布させるかという観点から決める事が適当である。
- 3) DTL 入り口での unstable particles のロス対策として、DTL タンクの入り口にビームストッパーを設けるとよい。メンテナンス等に便利と思われる。