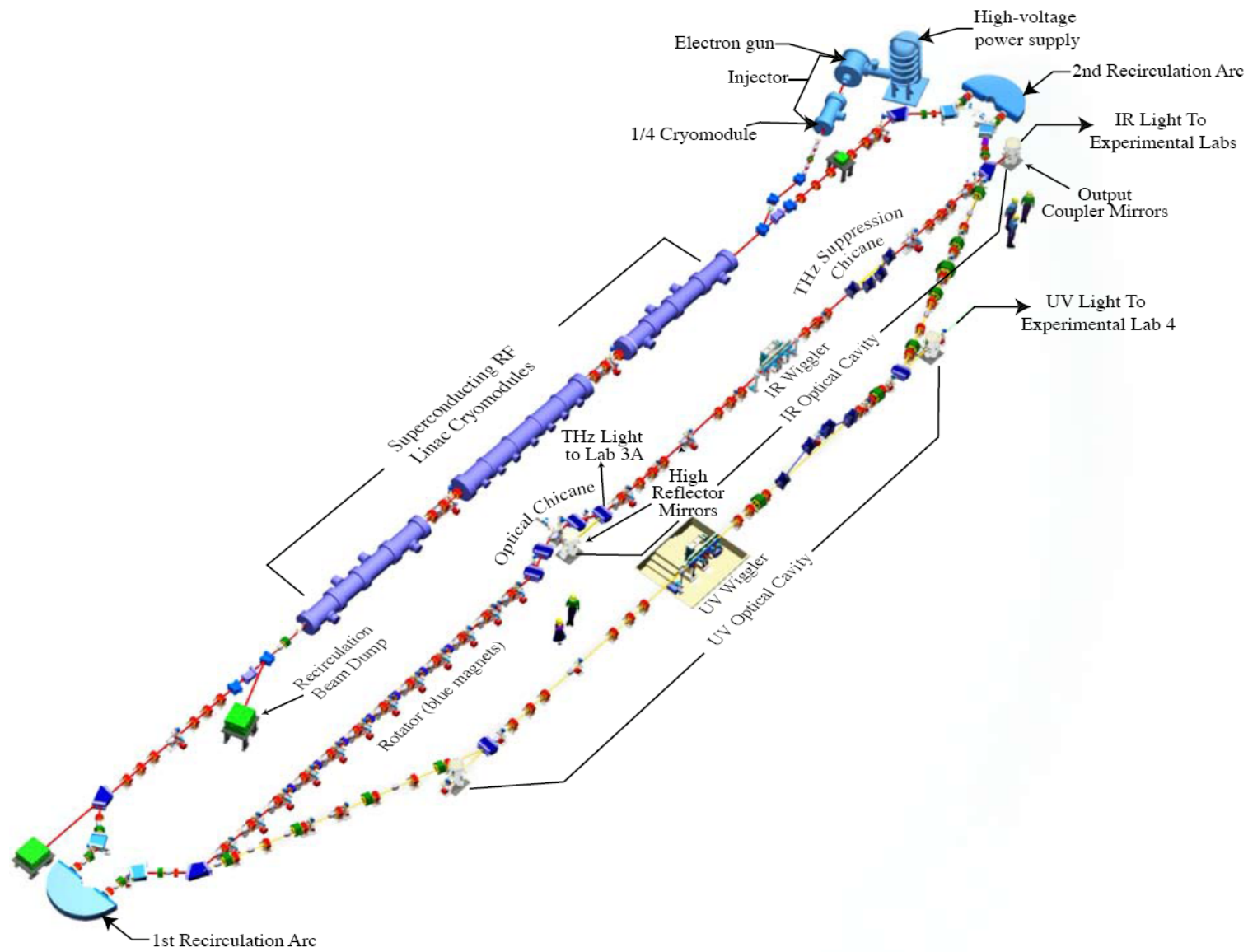


JLab-FELでのビーム損失 に関する調査のまとめ

KEK 加速器研究施設 坂中章悟

2012/01/27 ERL検討会

FEL加速器の構成



JLAB-FEL加速器

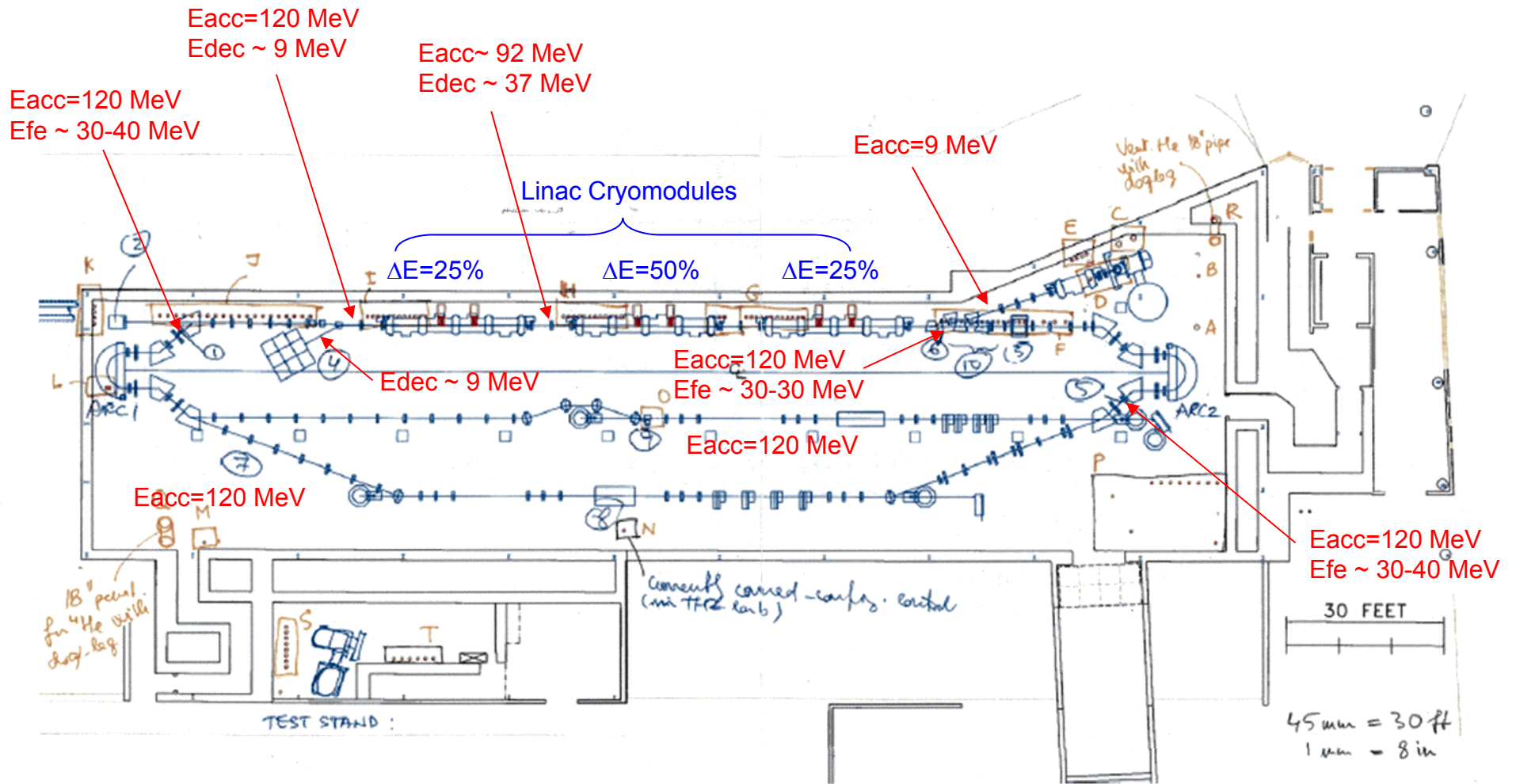
赤外線FEL

主リニアック



各部でのビームエネルギー(参考)

Steve Benson, Bob Legg
両氏に聞いた話をもとに記入



各部でのビームエネルギー
 E_{acc} : 加速されるビームのエネルギー
 E_{dec} : 減速されるビームのエネルギー
 E_{fe} : field emission 電子のエネルギー(典型値)

JLab-FELでのビーム損失の見積り

- JLab放射線責任者の Vashek Vylet氏らに話を聞いた。
- 実験室・電源室へ通じる貫通孔周辺の放射線遮蔽について、以前の検討資料が見あたらないものがあることが判った。このため貫通孔周辺への放射線遮蔽について、JLab放射線管理が再検討を行った。
- 検討結果をDraftのレポートにした： Vashek Vylet, “Radiation Safety Assessment of Shielding Penetrations at FEL”, JLAB-TN-10-045, April 20, 2011（出版前）。
- 遮蔽の前提となるビーム損失パターンは、Steven Benson 氏が提供した。測定値、推定値などが入り交じったものの模様。

ビーム損失の表

(参考文献) JLAB-TN-10-045,
draft (April 20, 2011), p.2 より引用.

| No | Source description | I[nA] | P[W] | Comment |
|----|--|-----------------|------|---|
| 1 | Losses at sextupole due to field emission: few tens of nA all the time | 30 | 1.2 | Routine source for penetrations "L" |
| 2 | 300 nA to shielded beam stop – infrequently | 300 | 36 | Treated case by case as needed – affects mostly penetrations in RCA |
| 3 | 300 nA to shielded beam stop | 300 | 36 | Could affect A, E, C, but well shielded – weak source |
| 4 | 10 MeV dump – full beam, strongly shielded – only some backscatter leakage | 10 ⁴ | 100 | Well shielded – weak source, under RCA |
| 5 | Losses at sextupole due to field emission: ~100 nA most of the time. No field emission losses when upstream viewers are inserted. | 100 | 4.0 | While this is similar to 1., as a measure of integrated losses over time, #5 never exhibits activation while #1 does. May affect "A" and "P". |
| 6 | Backward field emission of few tens of nA; has local shielding | 30 | 1.2 | Far from non-RCA penetrations – weak source |
| 7 | UV line: ~30 nA | 30 | 3.6 | Routine source for penetrations "Q" and "M" |
| 8 | UV wiggler (not in routine use yet): losses expected similar to IR wiggler: ≤100 nA in normal running, or ~30 nA in viewers in that area | 100 | 12 | Routine source for penetration N that is shielded and under configuration control |
| 9 | IR chicane | 150 | 18 | Routine source of penetration "O" which is heavily shielded |
| 10 | Part of this chicane is shielded, possible loss here up to 300 nA for 5 minutes at most | 300 | 36 | Could affect A, E, C, but partial shielding and short duration mitigate impact |

ビーム損失の表(説明)

(参考文献) JLAB-TN-10-045,
draft (April 20, 2011), p.2 より引用.

III. EXPECTED BEAM LOSS PATTERN

Numbers in the list below refer to beam loss locations designated by circled numbers on the drawing in Appendix 1. Presence of local shielding is noted where applicable. The assumed energy for fully accelerated beam is 120 MeV, which corresponds to current operating conditions. The energy of electrons produced by field emission is estimated to be in the 30 – 40 MeV range, we used 40 MeV in our calculations.

Besides the above losses, occasional losses up to ~300 nA for short periods are expected at locations of beam viewers during tune-up with pulsed beam. For example, viewers near the end of the UV and IR lines (ITV 8R12 and ITV 4F12) would be the closest sources for penetrations “P”. The worst accident scenario would be a loss of the full CW beam at a point. In this case there would be no energy recovery and maximum current that could be sustained with current RF power would be 1 mA.

Expected beam loss pattern (1) ビームダンプ関係

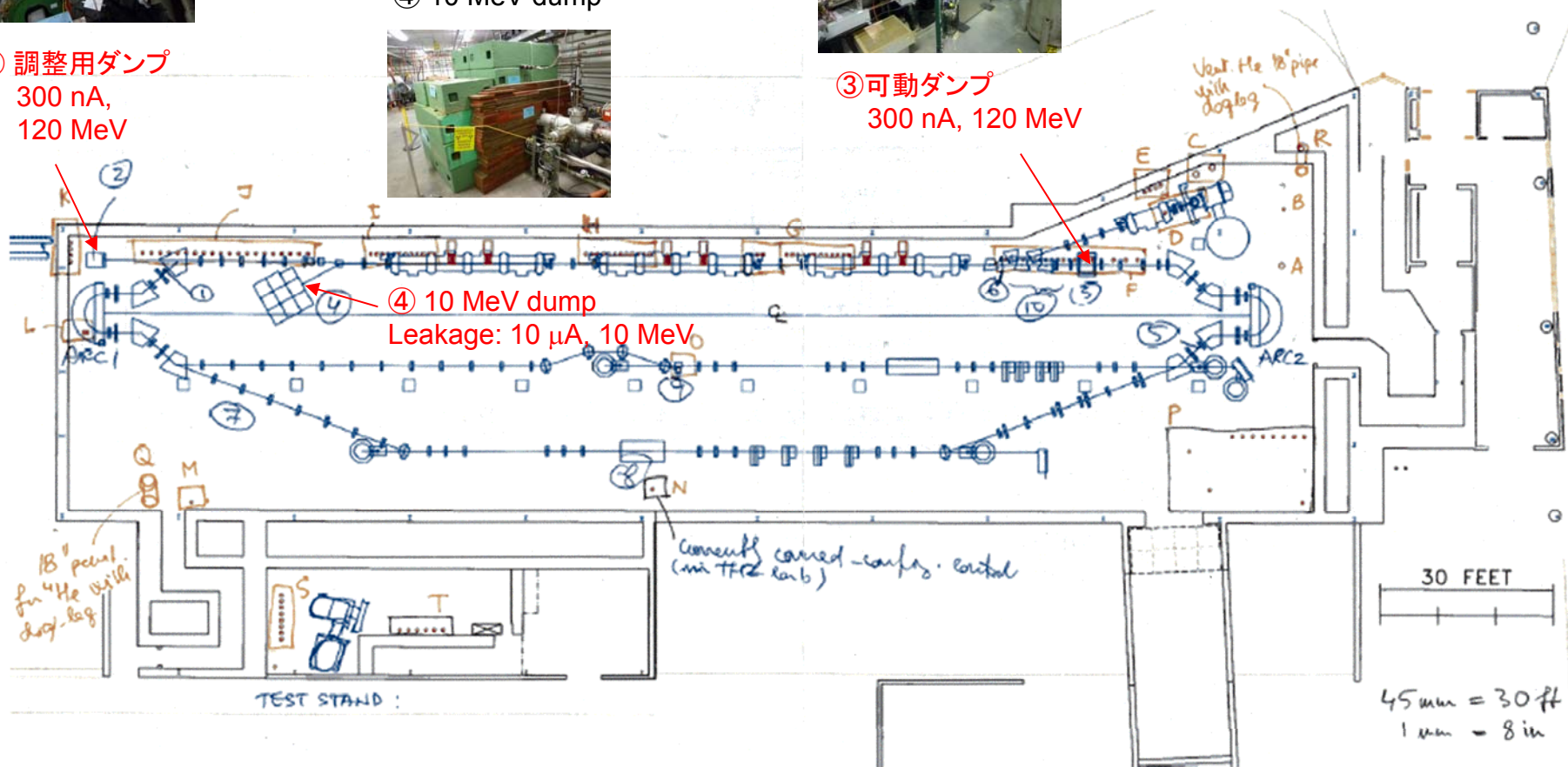


④ 10 MeV dump



③ 可動ダンプ
300 nA, 120 MeV

② 調整用ダンプ
300 nA,
120 MeV



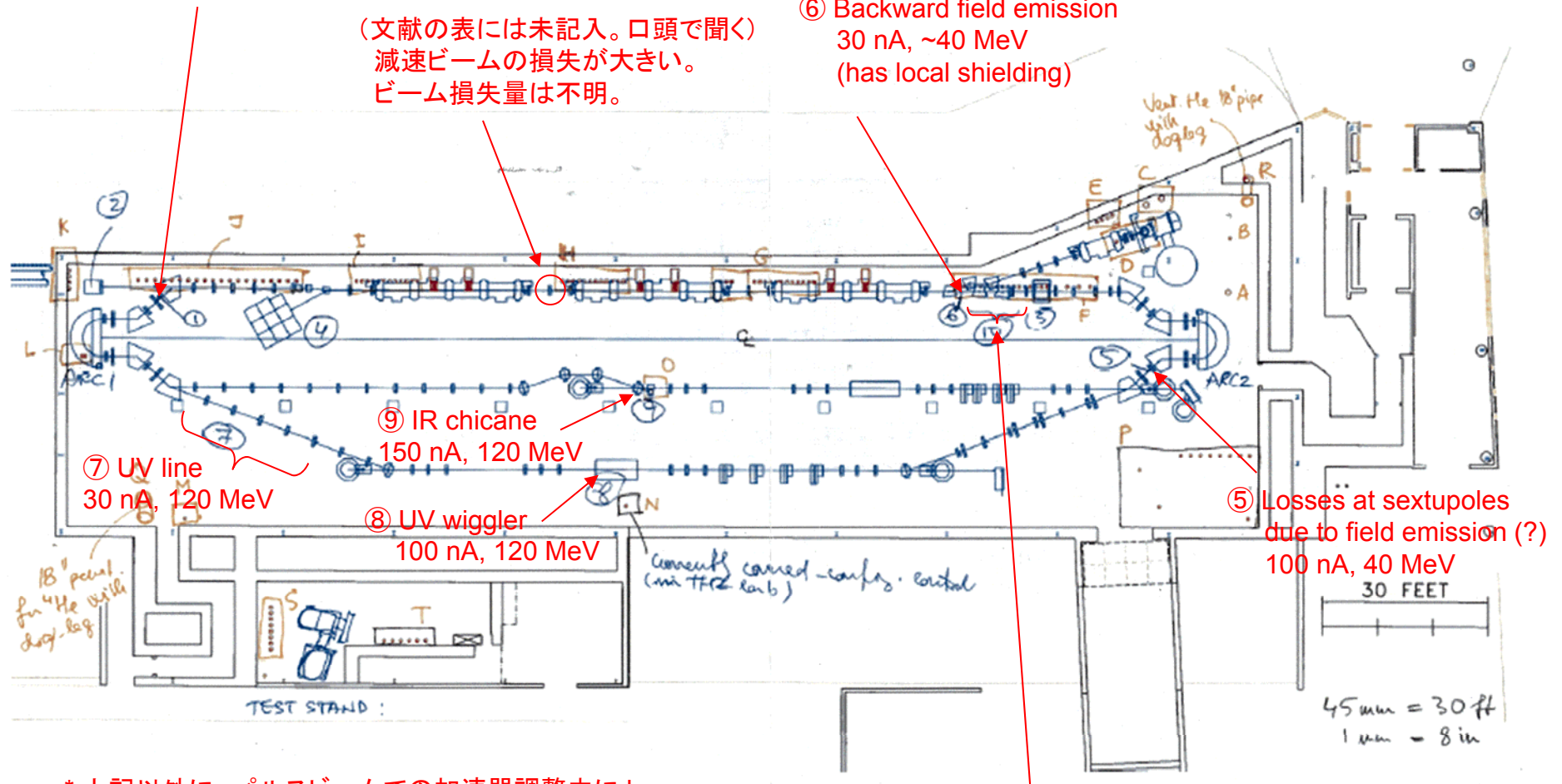
Cited from: JLAB-TN-10-045 (Draft), by Vashek Vylet, April 20, 2011

Expected beam loss pattern (2) ビームダンプ以外

① Losses at sextupole
due to field emission
30 nA, ~ 40 MeV

(文献の表には未記入。口頭で聞く)
減速ビームの損失が大きい。
ビーム損失量は不明。

⑥ Backward field emission
30 nA, ~40 MeV
(has local shielding)



* 上記以外に、パルスビームでの加速器調整中に beam viewer の位置で短時間 ~300 nA のビーム損失がある。

⑩ Part of this chicane is shielded,
possible loss here up to 300 nA for 5 minutes
at most (300 nA, 120 MeV, for 5 minutes)

Cited from: JLAB-TN-10-045 (Draft), by Vashek Vylet, April 20, 2011

ビーム損失に関するコメント(1)

Steve Benson氏

- ビーム損失には複数のソースがある:(1) 超伝導空洞からのfield emission, (2) ビーム調整中のロス(調整用ダンプ、スクリーン等)、など。
- Field emission によるロスはアーク部の6極電磁石部が多い。エネルギーは30 - 40 MeVと推定(ベンドの磁場をスイープして測定したとのこと)。
- 主ビームダンプのラインでは、 $\sim\mu\text{A}$ 程度のロスの可能性がある。これはレーザー発振とは関係ない。可動ダンプはvery hotの時があるので注意。
- 色収差が積み重なると直線部(ビームダンプ手前など)でもchromaticityが発生し、そこでビーム損失することがあるので、少なくともsecond order までの色収差補正が必要である。
- cERLでビーム損失を10 nAに抑えるのは難しいのではないか? 100 nAなら可能性があるだろう。JLabでは調整中のビーム電流は約300 nA。
- 可動ダンプ(第2アークの後)はビーム調整の為に本質的。調整中のビームが主加速空洞に入るとアークディテクターが動作するなどの問題があり、空洞を痛める恐れもある。(別の、主リニアック延長線上のダンプは本質的ではない)。
- コリメータを入れるなら、6次元位相空間で必要である。数 μA 以上のビームロスがあるとコリメータが溶ける恐れがあるので注意。Shielding と water-cooled collimator が必要だろう。

ビーム損失に関するコメント(2)

Bob Legg氏, Chris Tennant氏

- 3台の空洞モジュールが設置されている。上流側から2台目のモジュールの後に残留放射線のスポットがある。減速ビームの一部がロスしているものと思われる。
 - (Chris Tennant) ビームロスの原因の推測。ビームのcore とhalo でtransverse phase space でのマッチングが異なることがあり、core にマッチしたビームオプティクスではhaloに対してマッチングが取れない。このとき、ビームが減速されてanti-dampingを起こす時に halo が広がってロスすると思われる。
- 入射器空洞のモジュールは古く、field emission が大きい。合流用マグネット部でfield emissionによるビームロスが大きい。RF ON 時に 0.2 Sv/h との事(?)。
- ビームのtune-up の時には、平均電流 300 nA程度のパルスビームである。典型的な条件は、バンチ繰り返し 4.7 MHz, バンチ電荷 77 pC または 130 pC, マクロパルスの繰り返し 2 Hz, パルス幅 250 μ s である
- (Chris Tennant) FEL相互作用した後でビームのenergy spreadは10~15%広がるが、第2アークのR₅₆ とRF位相の肩のに載せることで energy compression を行うので、減速後のenergy spread を小さくすることができる。energy compression を重視するのでenergy recovery は完全ではない。(アークのenergy acceptance は約±6%)

まとめ

- JLab-FEL加速器におけるビーム損失について、Vaclav Vylet, Steve Benson, Bob Legg, Chris Tennant, Kevin Jordan の各氏から情報提供して頂いた。
- まとまった文献としては、上部貫通孔での遮蔽を再検討した JLAB-TN-10-045 を頂いた。2011/4/20 作成のドラフトバージョンである。
- ビームの最大電流(JLab-FELの場合約10 mA)には依存しないビーム損失、即ち超伝導空洞からの field emissionやビーム調整中の損失(JLabの場合 300 nA)も重要であることがわかった。
- 上記文献におけるビーム損失分布の仮定は、主に Steve Benson の経験に基づく。ビームロスモニター等を用いた過去の実験にある程度基づいているが、推定している部分も多いように思われる。(詳しい定量的なことを聞いても、はっきり答えられないことも多かった)。一応の目安程度に考えるのが良さそうである。
- JLabでは、ビーム調整用可動ダンプが重要であるとの事である。cERLでは必要か、必要ならばどのように設置するか、について検討が必要。