

光陰極直流電子銃から 500keV-mA電子ビームの生成



原子力機構



高エネ研



広島大



名古屋大

西森信行、永井良治、松葉俊哉、羽島良一
山本将博、宮島司、本田洋介、内山隆司
飯島北斗、栗木雅夫
桑原真人

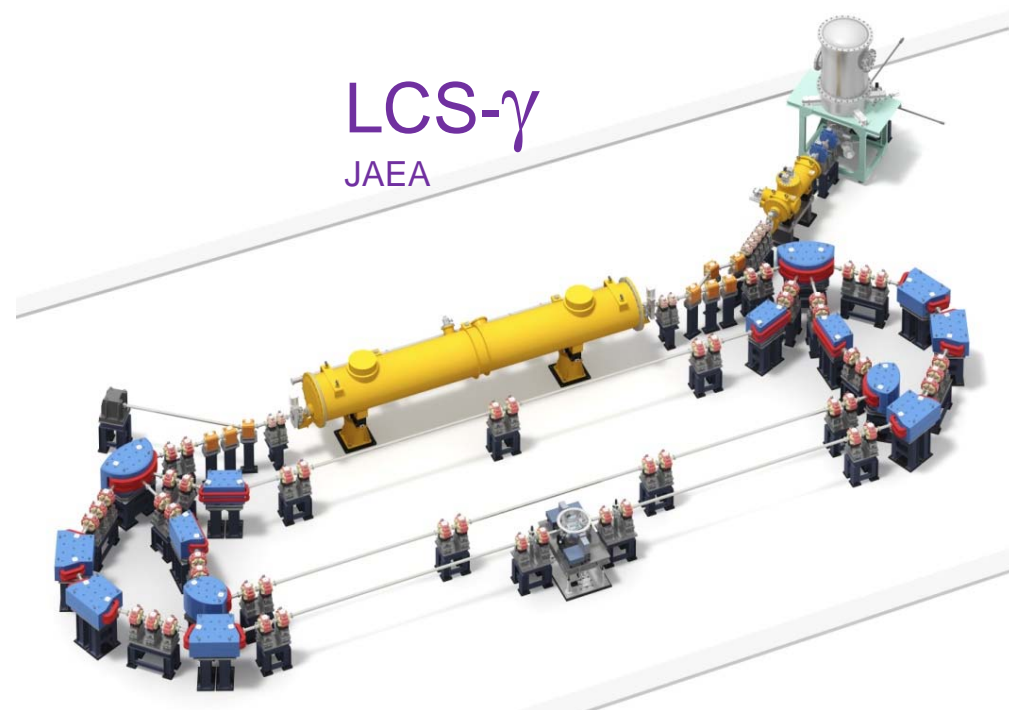
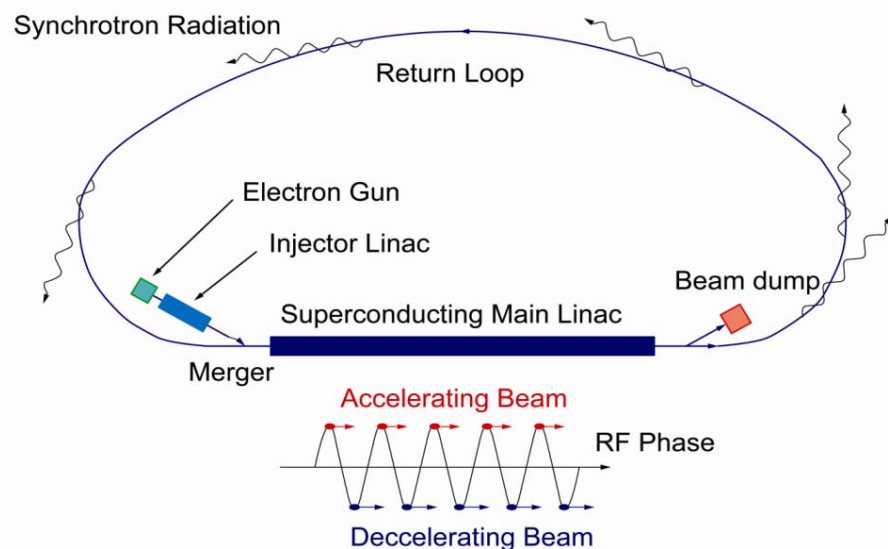
第10回日本加速器学会年会
2013年8月5日 名古屋大学東山キャンパス

次世代ERL放射光源

- 回折限界のX線放射光源 (第3世代光源の100倍の輝度)
- 短バンチ (サブピコ秒)
- XFEL ($\Delta\omega/\omega = 10^{-6}-10^{-8}$ XFELは 10^{-3})

- レーザーコンプトン散乱(LCS)ガンマ線光源 (既存光源比6桁以上のフラックス)

使用済み核燃料や溶融核燃料の非破壊分析

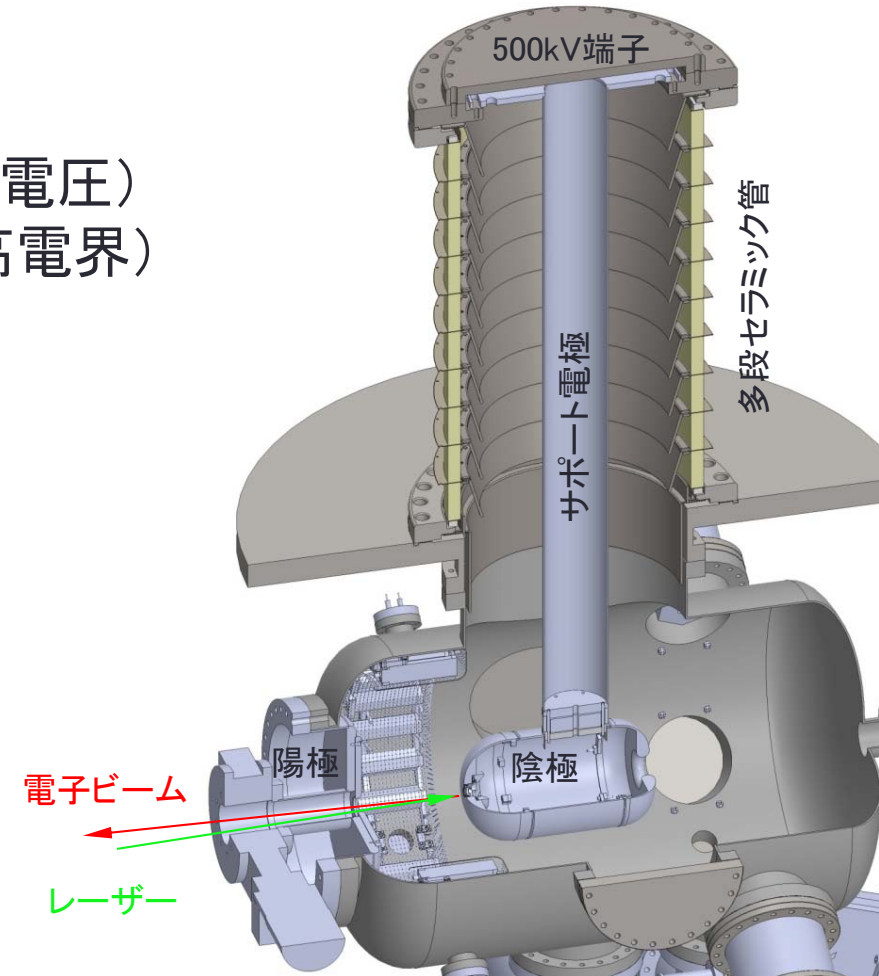


次世代光源電子銃開発の目的

低エミッタンス大電流ビーム生成を実現

- 電子銃下流でのエミッタンス劣化を抑制(高電圧)
- カソード表面でのエミッタンス劣化を抑制(高電界)
- 大強度X、 γ 線を生成(大電流)

光陰極直流電子銃仕様	目標値
電圧	500kV
電界	>5MV/m
電流	100mA
規格化エミッタンス	0.1-1 μ mrad



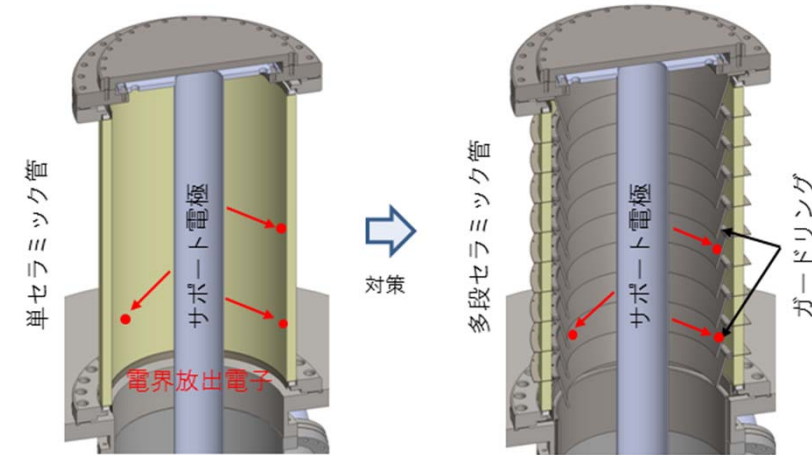
500kV光陰極直流電子銃は1991年に提案され、日米欧中で開発中。
放電問題のため、長らく運転電圧は350kVに留まっていた。
そこで、高電圧実現による低エミッタンス化を最優先に開発を開始

高電圧化の課題：放電問題を独自技術で解決

1: サポート電極からの表面電界放出電子対策

- 多段セラミック管の採用

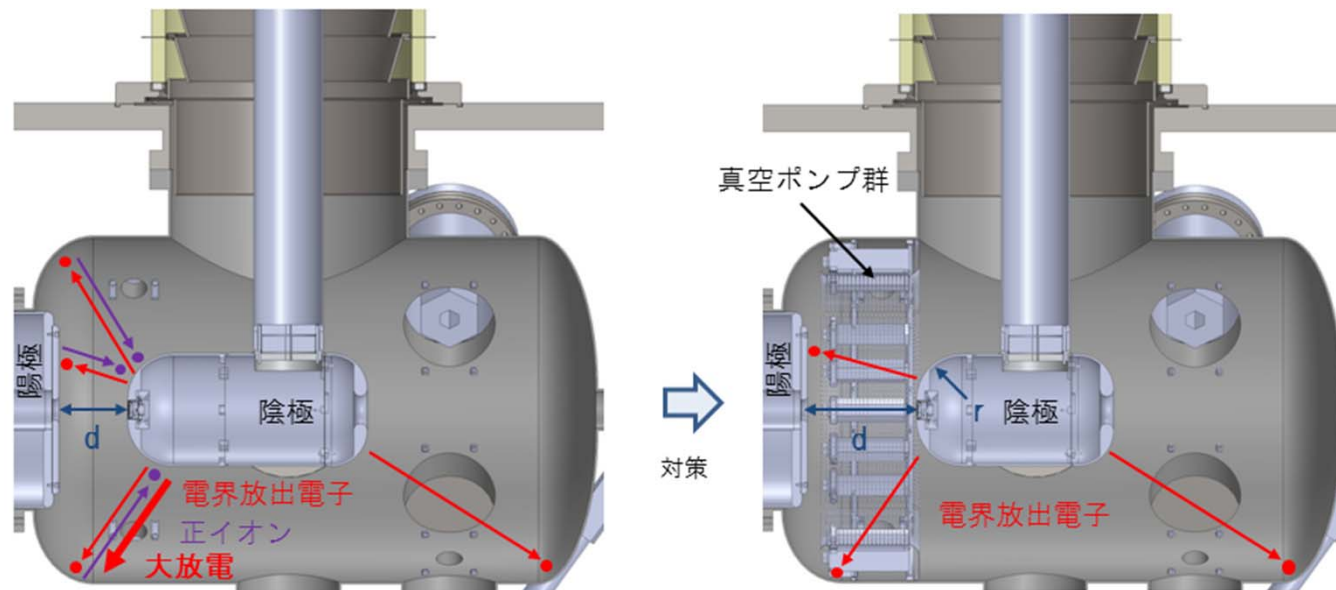
R. Nagai, et al., Rev. Sci. Instrum. 81, 033304 (2010)



2: 陰極からの表面電界放出電子→ガス(イオン)生成→大放電 対策

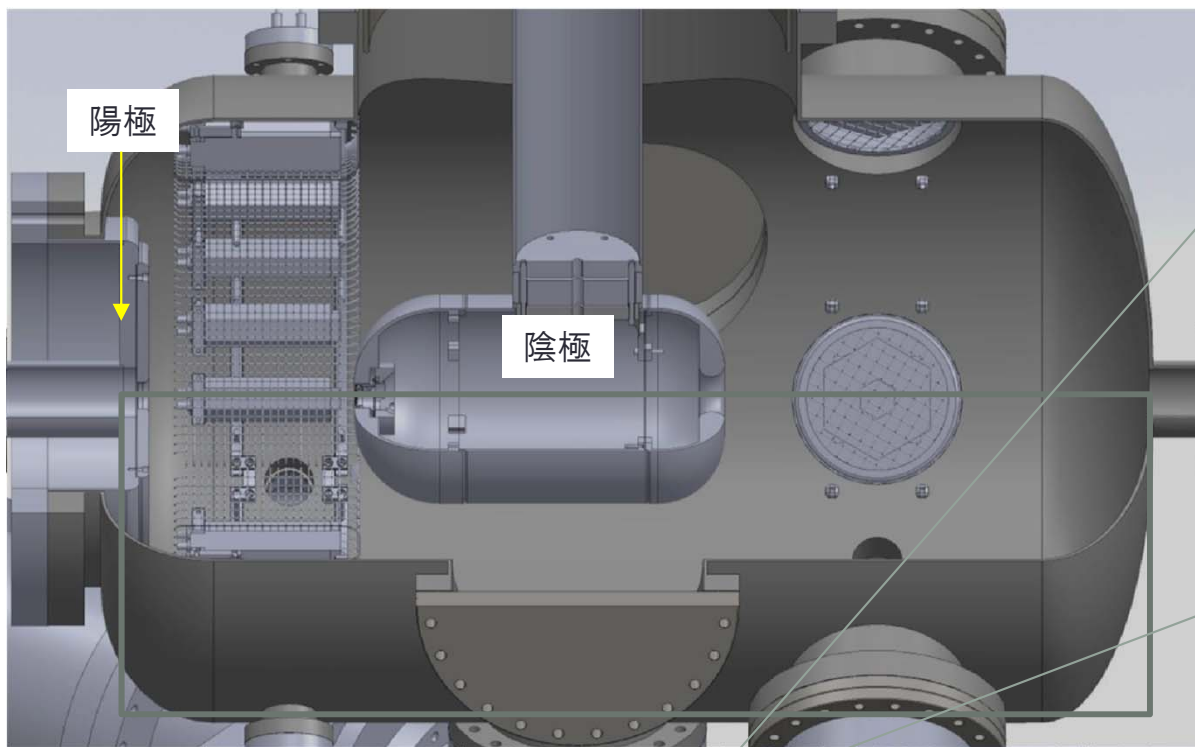
- 真空ポンプ設置によるガス生成減
- 電極距離増で陽極電場を半減しイオン生成を減(d調整)
- 光陰極電場減を $6.7 \rightarrow 5.8 \text{ MV/m}$ にとどめエミッタンス劣化防止(r調整)

ビーム生成条件下で
500kV安定印加に成功

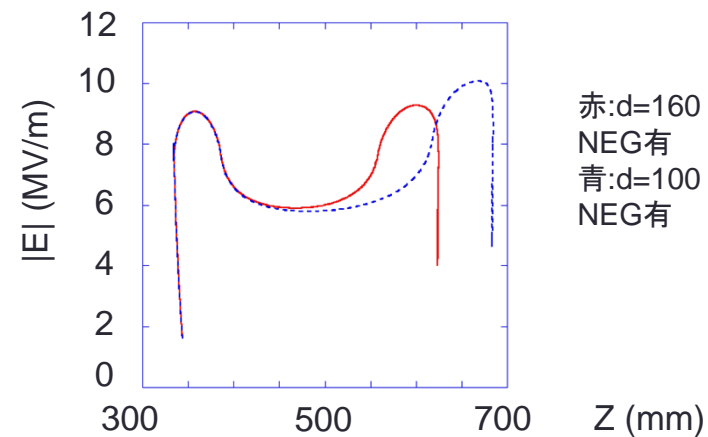
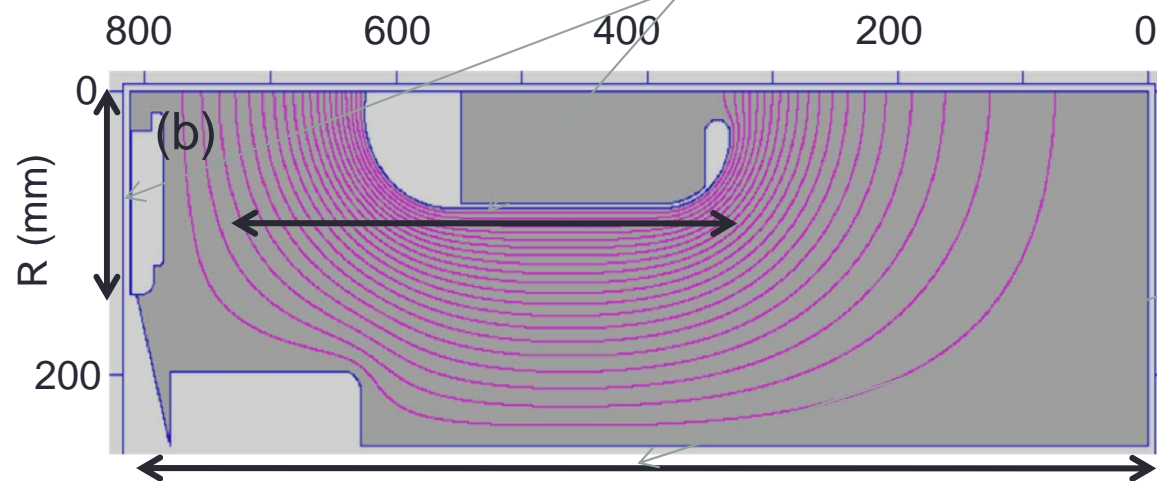


N. Nishimori, et al., Appl. Phys. Lett. 102, 234103 (2013)

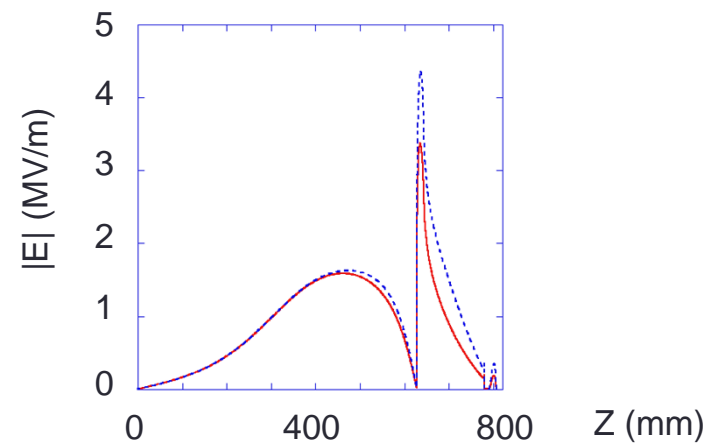
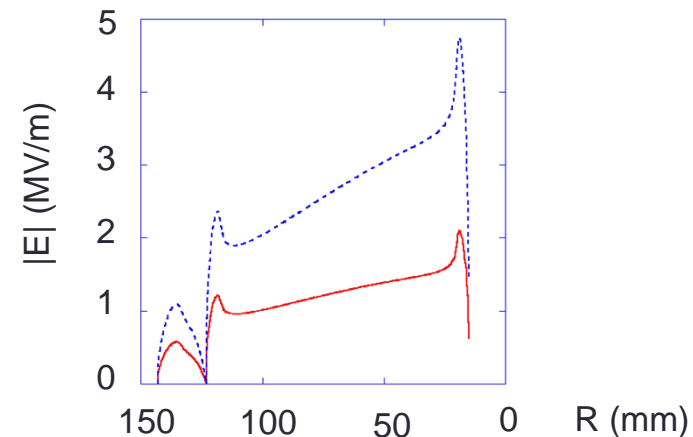
加速ギャップ長と表面電場



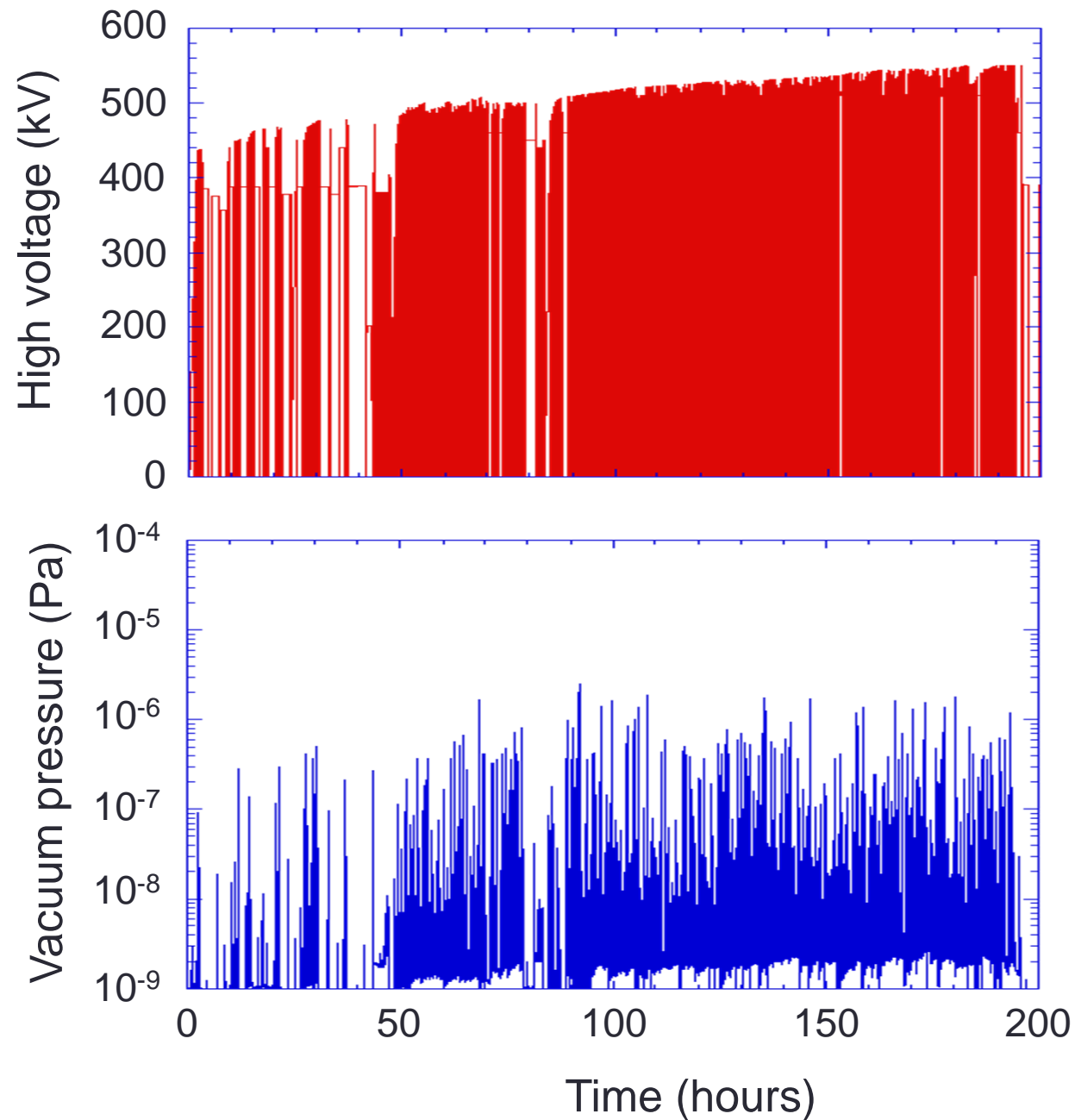
Z (mm)



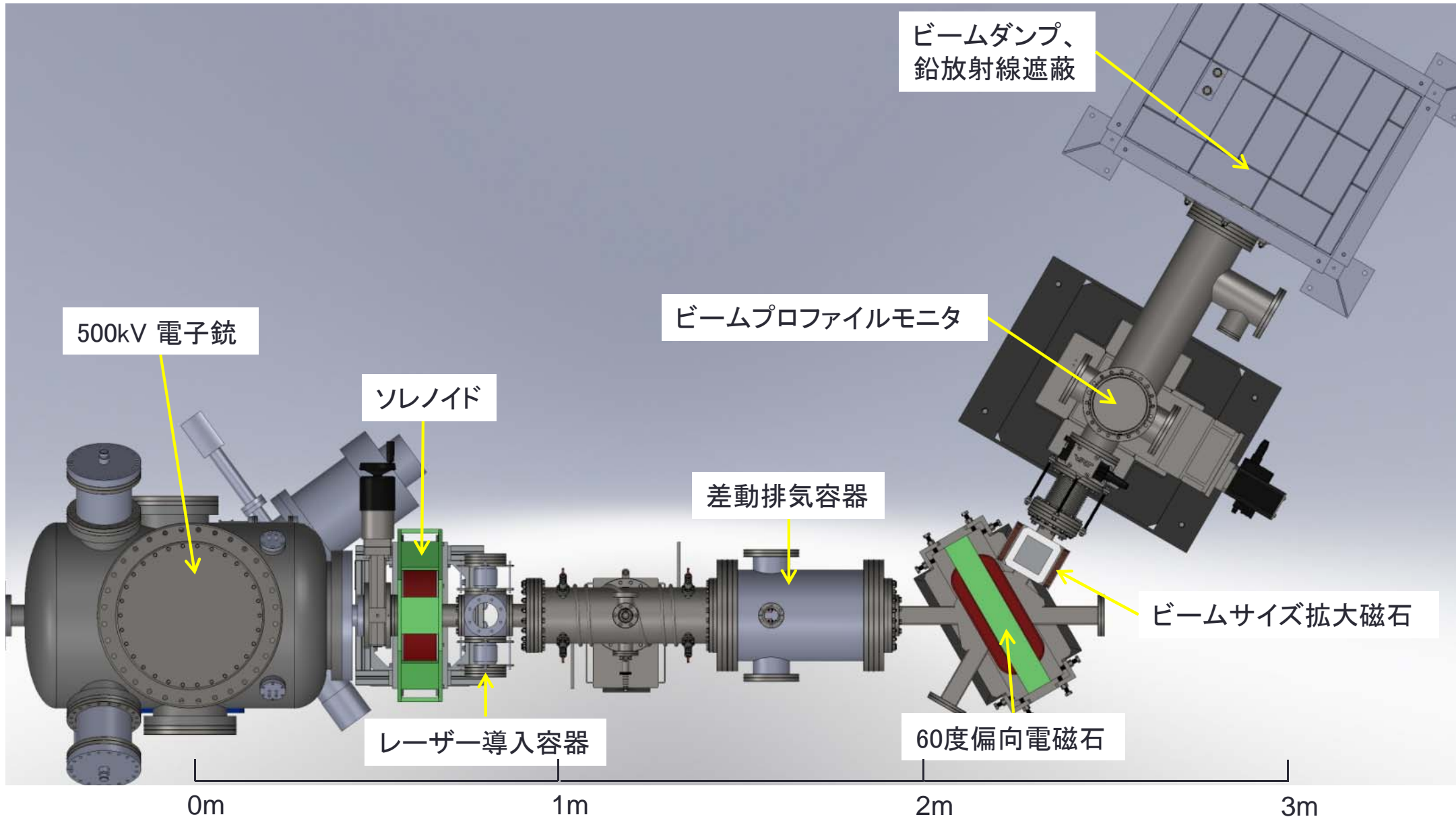
赤:d=160
NEG有
青:d=100
NEG有



HVコンディショニング (ギャップ長160mm)



電子銃ビームライン

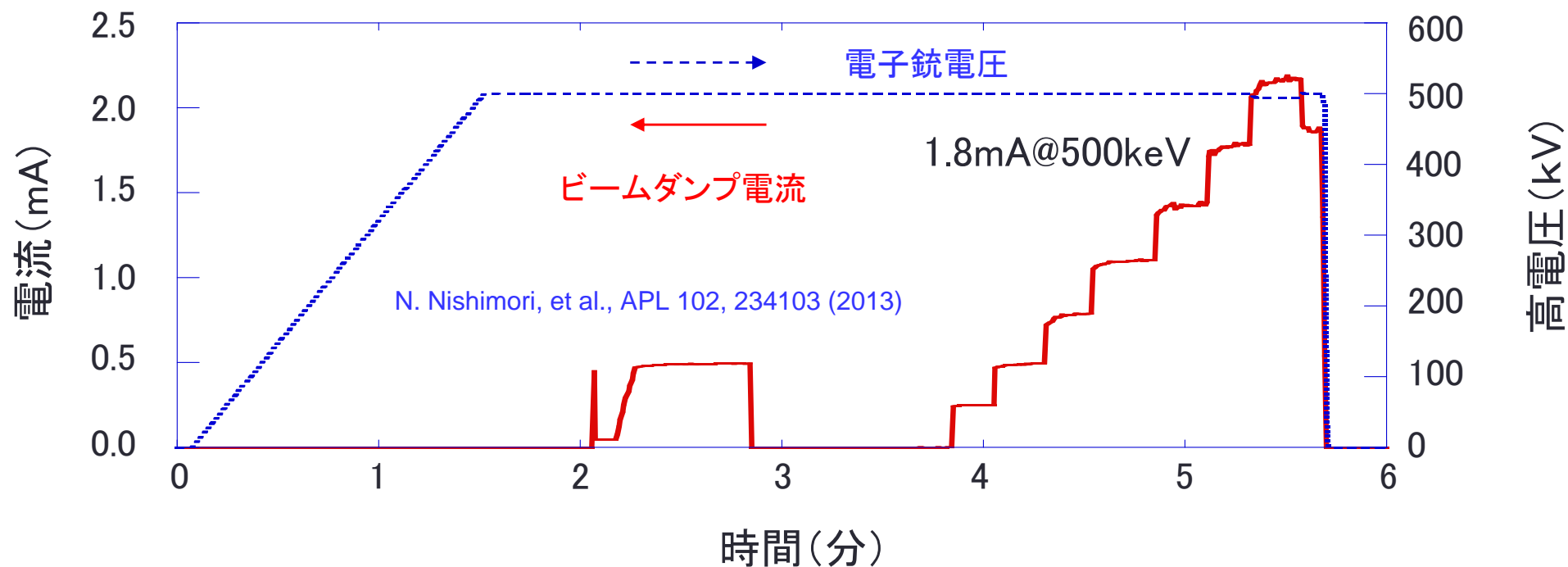


ビームプロファイル



ビームサイズ拡大電磁石でビーム走査し、プロフィールモニタ位置で2cm角に広げる。
ビームダンプではおよそ4cm角。

500keVビーム生成試験



プレスリリース 2013年3月14日

「次世代光源用光陰極直流電子銃から500keV大電流ビーム生成に成功」

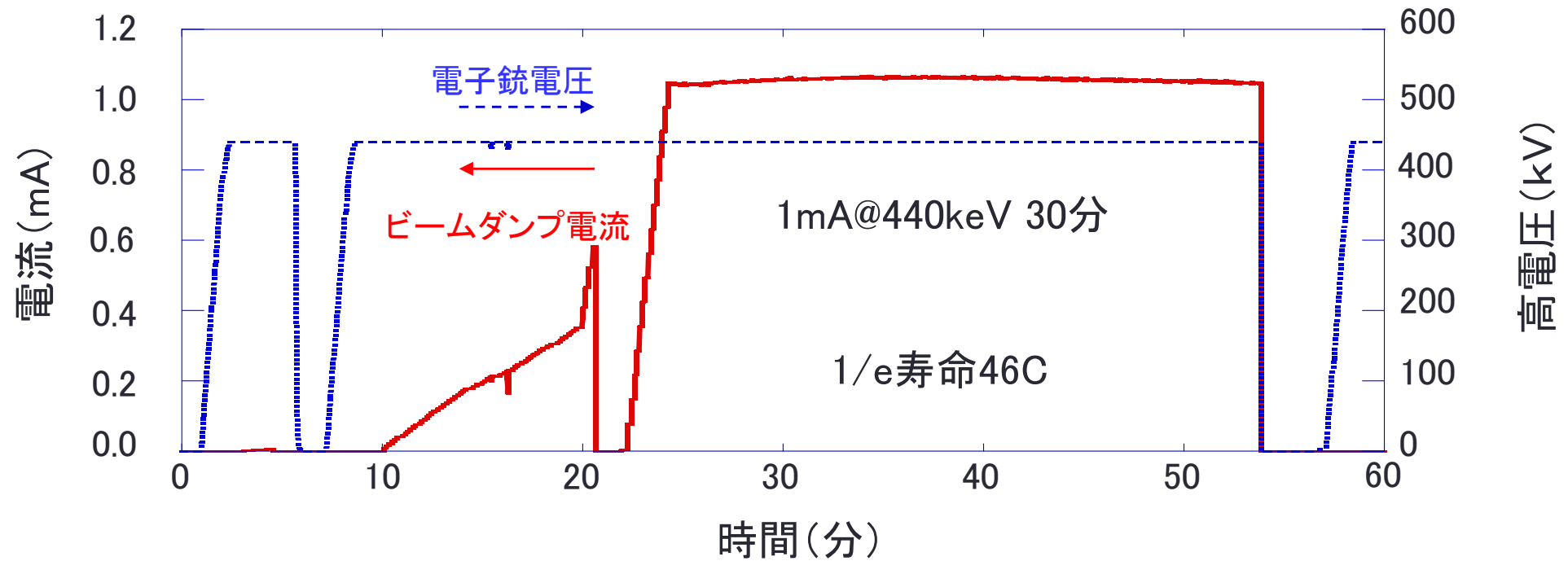
日刊工業新聞 2013年3月19日朝刊29面

「原子力機構など、500キロ電子ボルトの大電流ビーム生成一次世代光源に道」

日本経済産業新聞 2013年4月4日朝刊11面

「瞬時の化学反応動画に 原子力機構 撮影時にX線点滅」

440keVビーム1mA長時間運転試験



cERL (次世代光源用試験加速器)



電子銃のcERLへの移設と立ち上げ(JAEAとKEK共同作業)



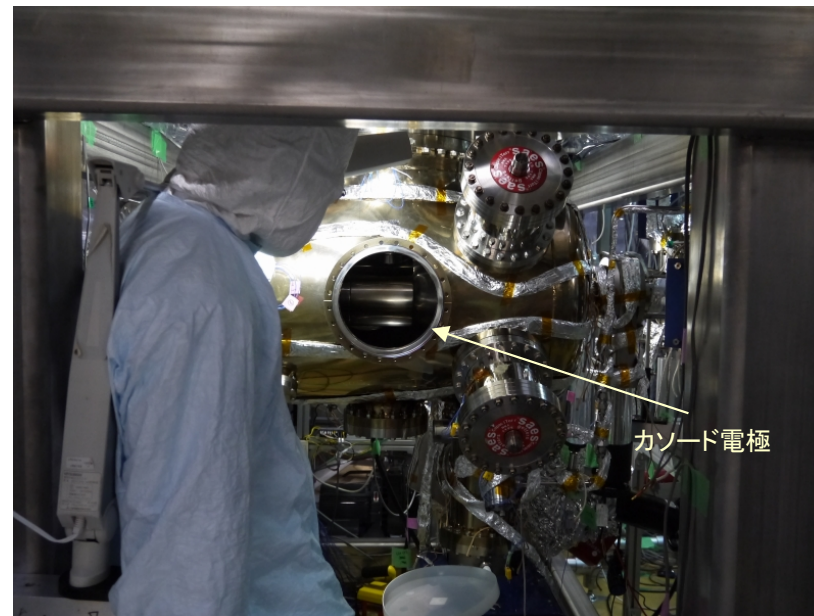
シールド内で電子銃の足場組み立て(2012/10/22)



クリーンブース内で電子銃チェンバの組み立て(2012/10/23)

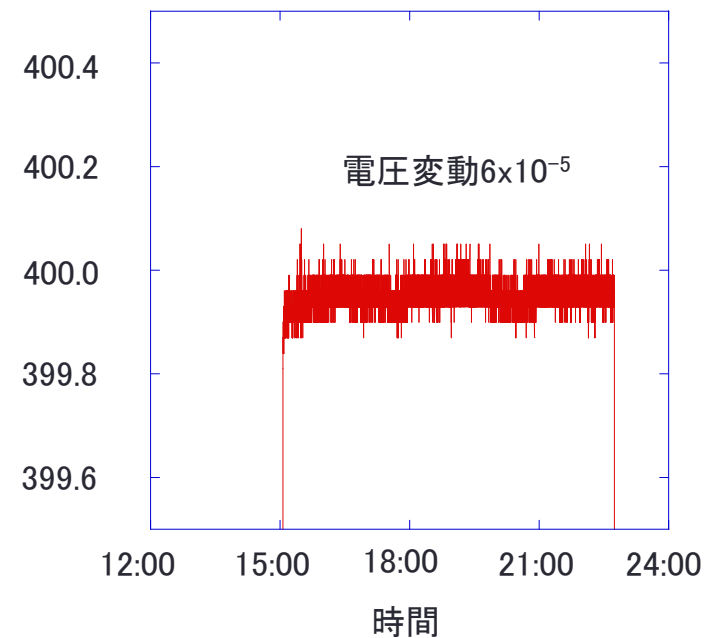
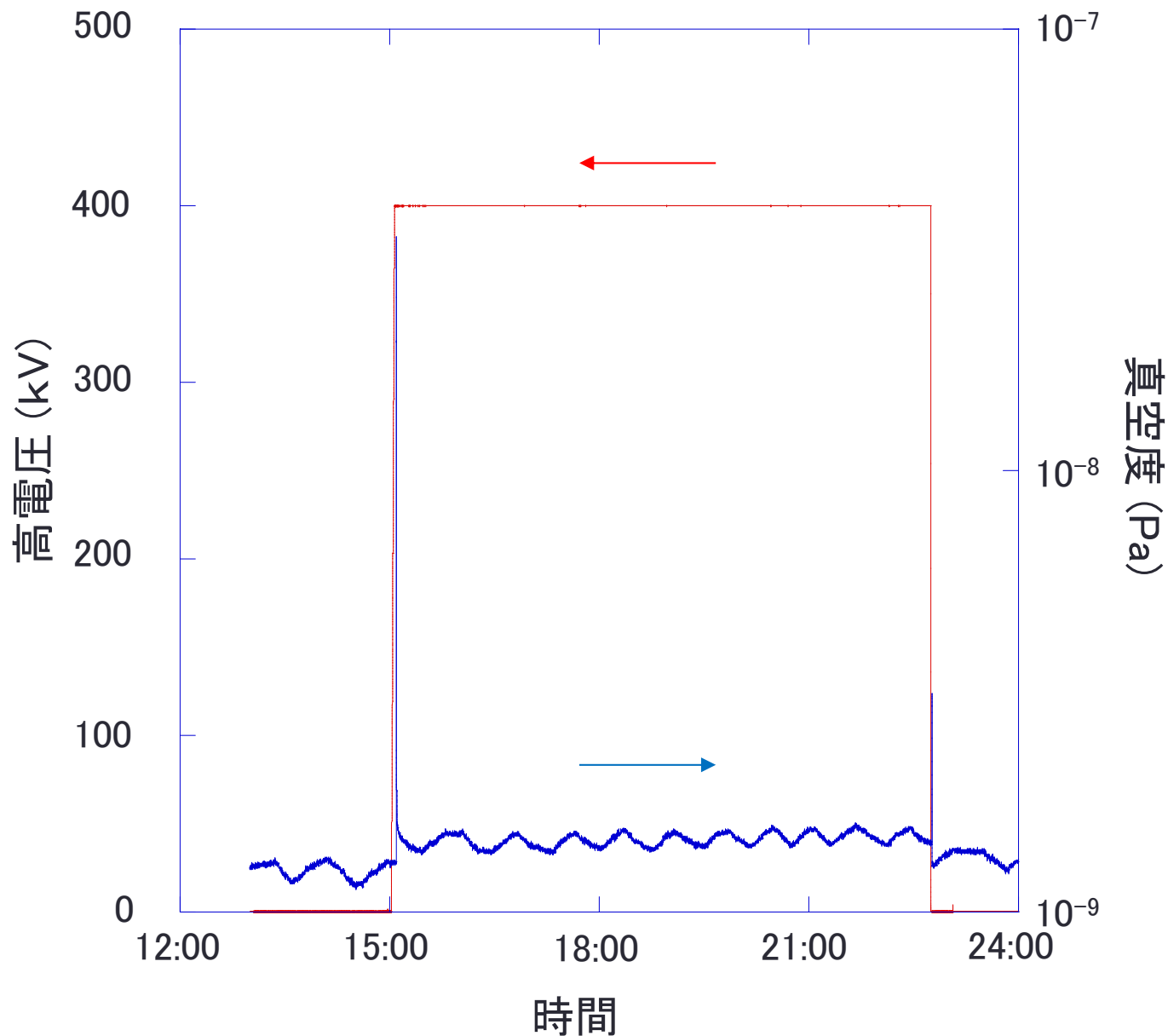


組み立てられた電子銃のSF6タンク(2012/10/30)



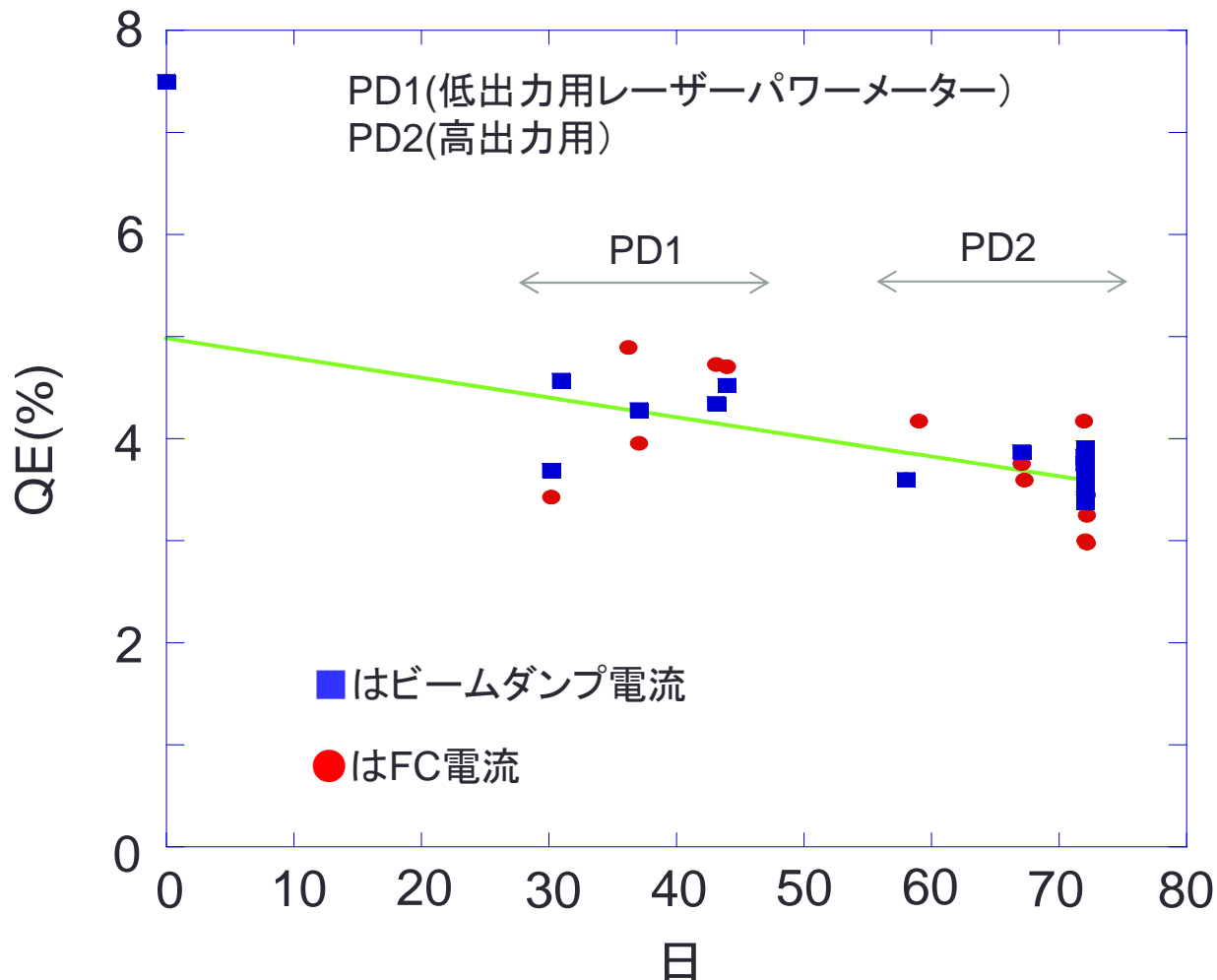
カソード電極の取付け(2013/3/5)

ビーム運転中の電子銃の安定性



- 安定な高電圧印加
- 長時間電圧変動は 6.3×10^{-5} 程度
- 400kV印加 延べ200時間程度 (4/22-6/28)
- 真空度は 1.4×10^{-9} Pa (下流ビームライン接続時)

GaAsカソード 寿命



ビームダンプとビームラインFCで電流測定、
レーザーパワー値からQE。

YoYo7.5%@532nm (4/15) 0日に設定

30日から80日までを最小2乗法でフィット
1/e寿命は5000時間(7ヶ月程度)

100 μ A以下の
cERLコミッションングには充分使える目処。

- レーザーパワーの校正は
本田洋介 「ERL試験加速器入射部における光陰極電子銃用レーザーシステムの開発」 SAP107

第一電子銃開発状況

JAEAでの試験結果

- ✓ ビーム生成条件で500kV安定印加、光陰極表面電界5.8MV/mを達成し、高電圧技術を確立
- ✓ 世界に先駆け500keV-1.8mA ビーム生成に成功

cERLでの試験結果

- ✓ 390keVビームを安定に供給(無放電、光陰極無交換)
- ✓ GaAsカソードの1/e暗寿命は7ヶ月。
- 入射器コミッショニング開始
 - 宮島司 (KEK)「compact ERL 入射器コミッショニング運転」MOOT13
 - 本田洋介 (KEK)「ERL試験加速器入射部における縦(横)方向ビーム性能評価」SUP010,SUP011

残された課題

- 高電圧電源の能力不足の解消(500kV-10mAを目指す)
- 多段セラミック管の修理(10段を8段で使用している。来春修理しcERLで500keVビーム生成)
- カソード開発

謝辞:本研究は文科省受託研究:量子ビーム基盤技術の助成を受けたものである。

光陰極直流電子銃の発展

