

高輝度電子銃開発



原子力機構

西森信行、永井良治、松葉俊哉、羽島良一



高工ネ研

山本将博、宮島司、本田洋介



広島大

飯島北斗、栗木雅夫



名古屋大

桑原真人、奥見正治、中西彊

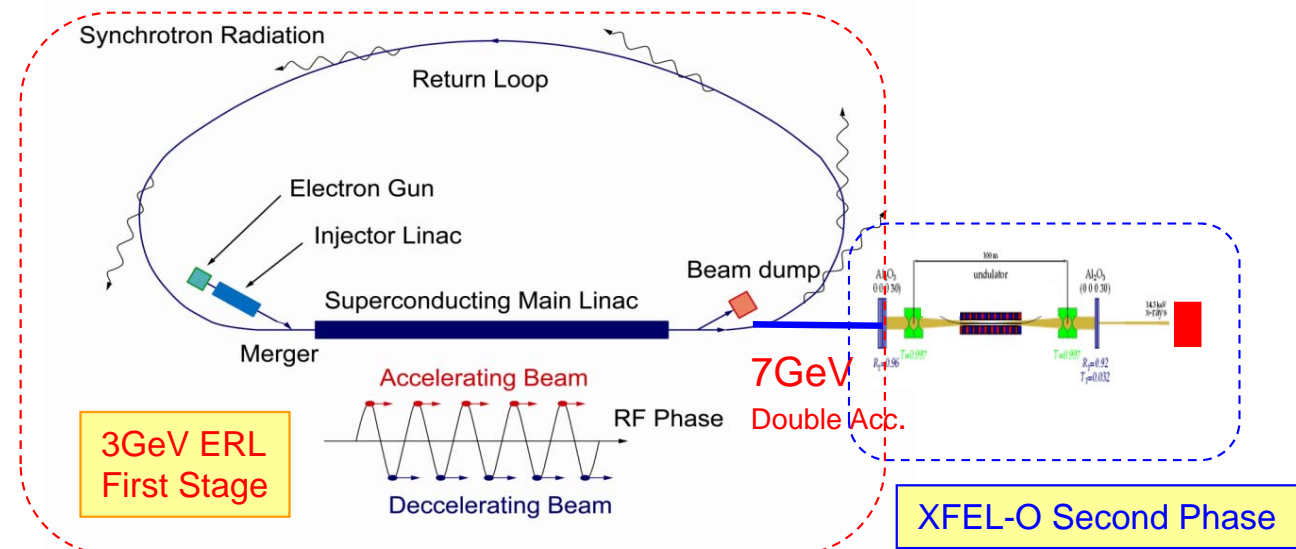
ERL計画推進委員会

2012年6月12日

アウトライン

- はじめに
- 分割型セラミック管
- ビーム運転条件での高電圧印加試験
- ビーム生成試験
- 第2電子銃
- まとめ

From S. Sakanaka FLS2012



コンパクトERL



エネルギー 35/245 MeV
電流 10mA
規格化エミッタンス 0.1 – 1 mm \cdot mrad

高輝度大電流電子銃が必要!

電子銃

(‘12 10月インストール
‘13 3月ビーム生成)



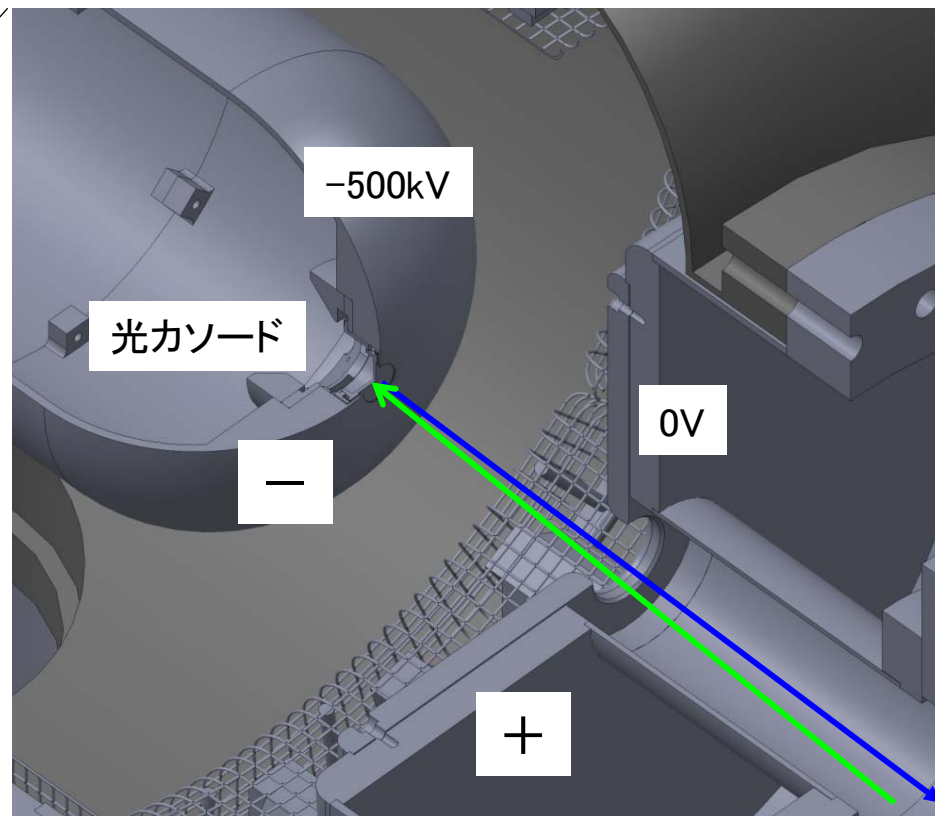
電子銃パラメーター	目標値
DC電圧	500kV
電流	10mA
規格化エミッタンス	0.1–1 mm \cdot mrad
真空度	$<1 \times 10^{-9}$ Pa

DC光陰極電子銃の構造

分割型セラミック管

高電圧端子

サポートロッド



NEGポンプ
(18000 l/s)

電子ビーム

レーザー

電子銃真空容器

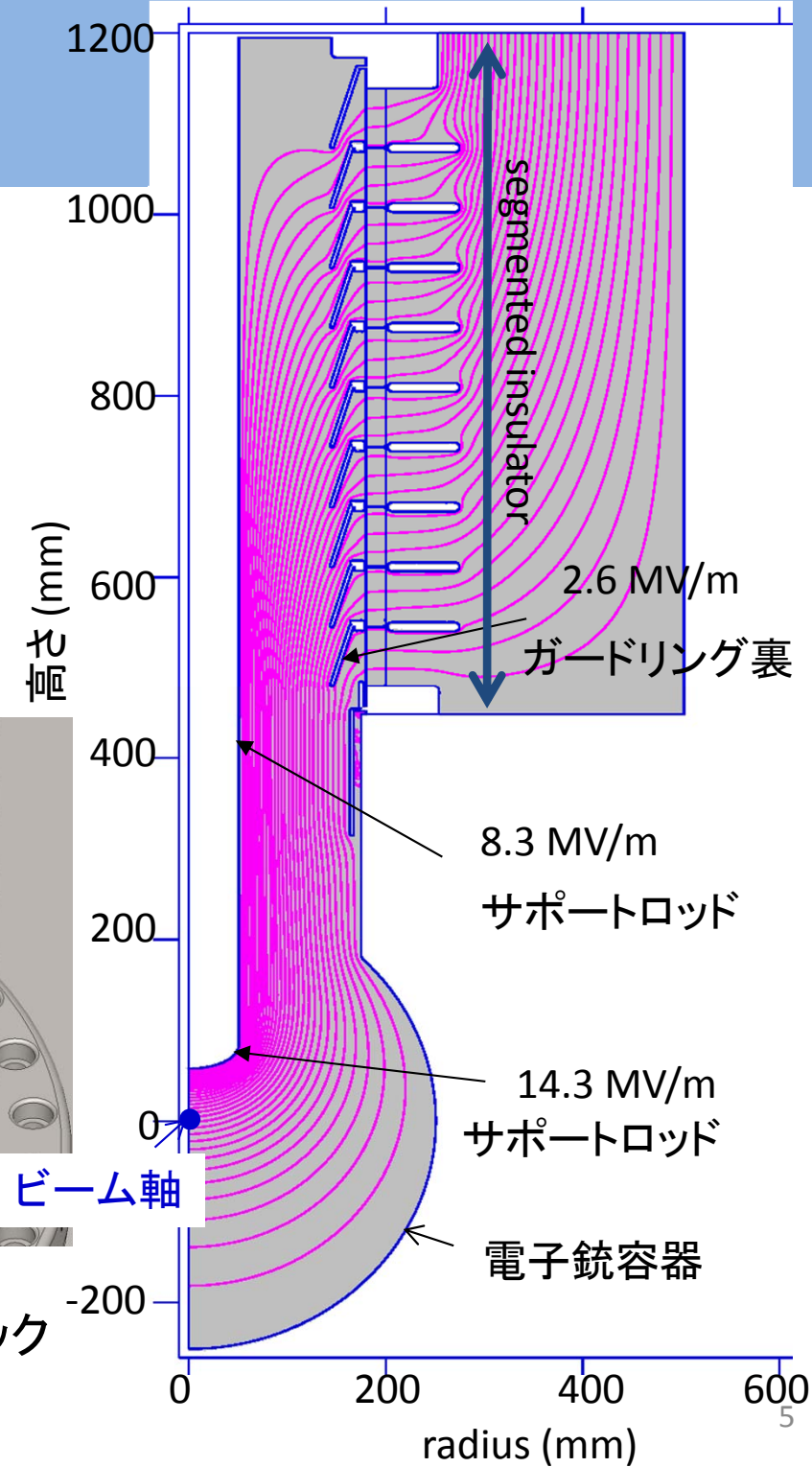
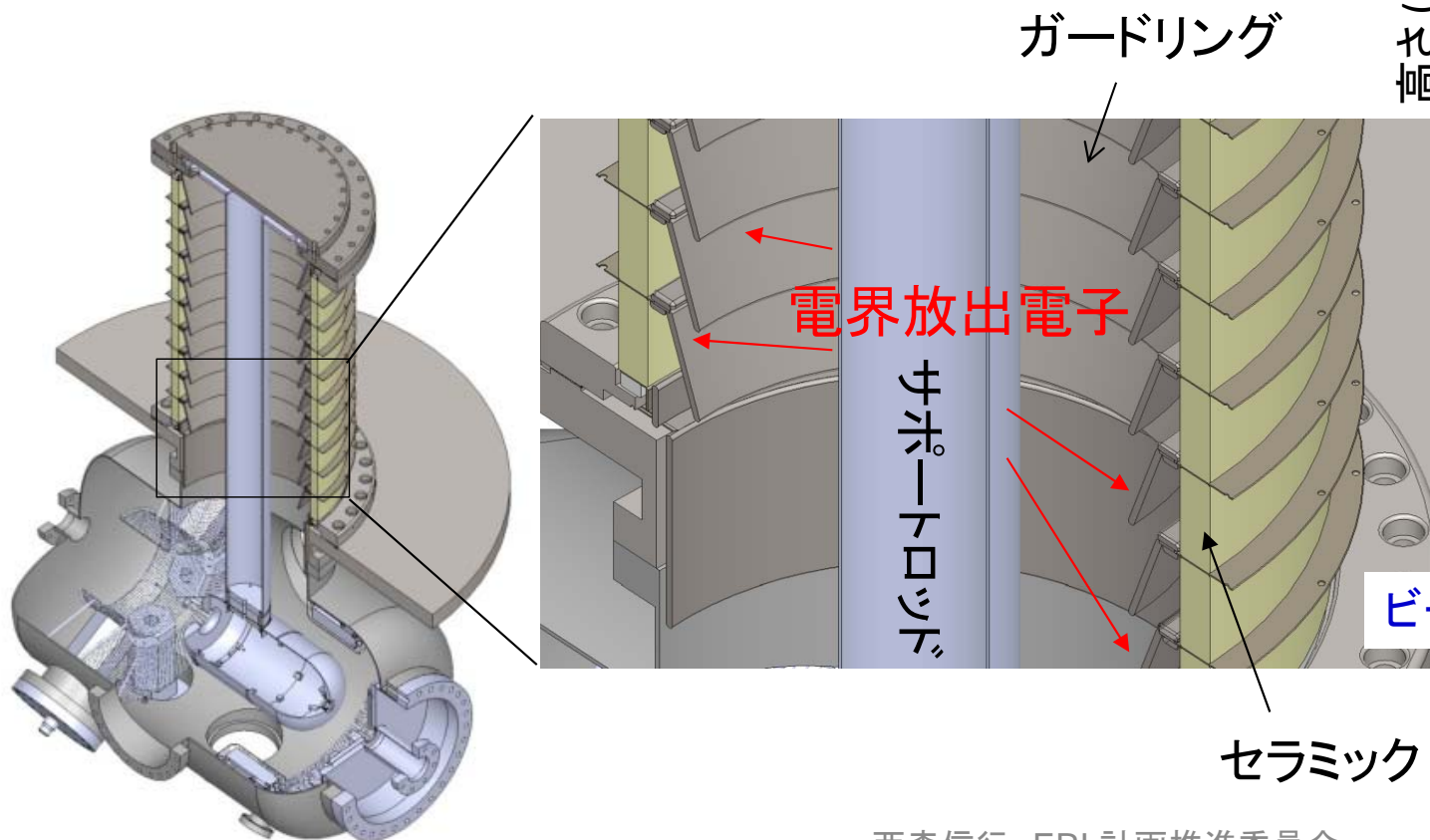
電子源下流でのエミッタンス劣化を防ぐため500kV以上の高電圧

低エネルギー部でのエミッタンス劣化を防ぐため光カソード表面に高電界

分割型セラミック管

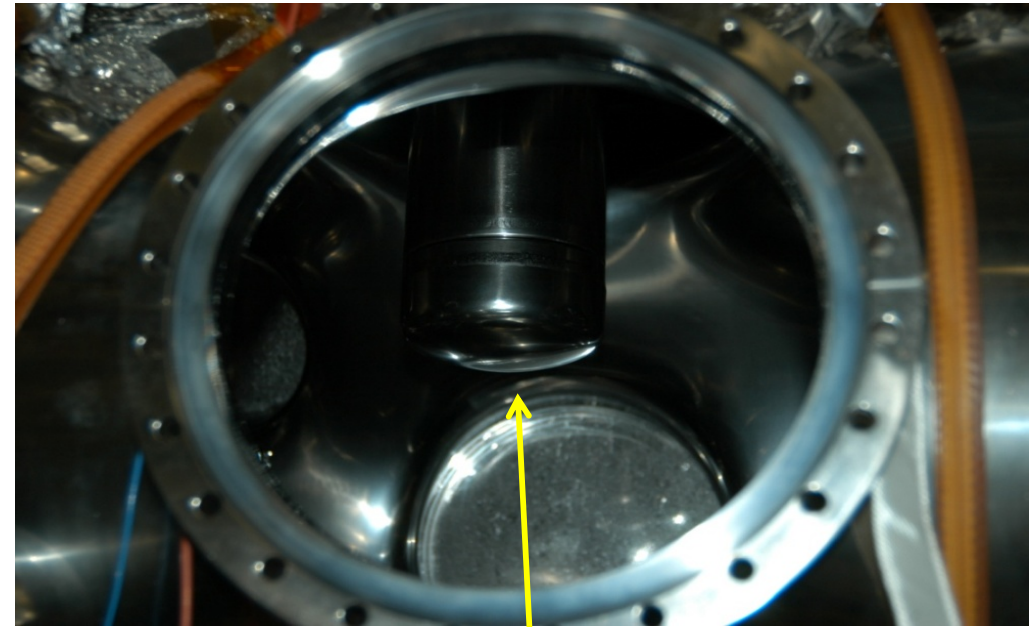
問題点: 電界放出電子のセラミック管への影響
(コーネル大、Jlabではセラミック管に穴、
運転電圧350kVに制限)

解決策: 分割型セラミック管とガードリングを採用し、
セラミックへの最大電界を1/3以下に抑制



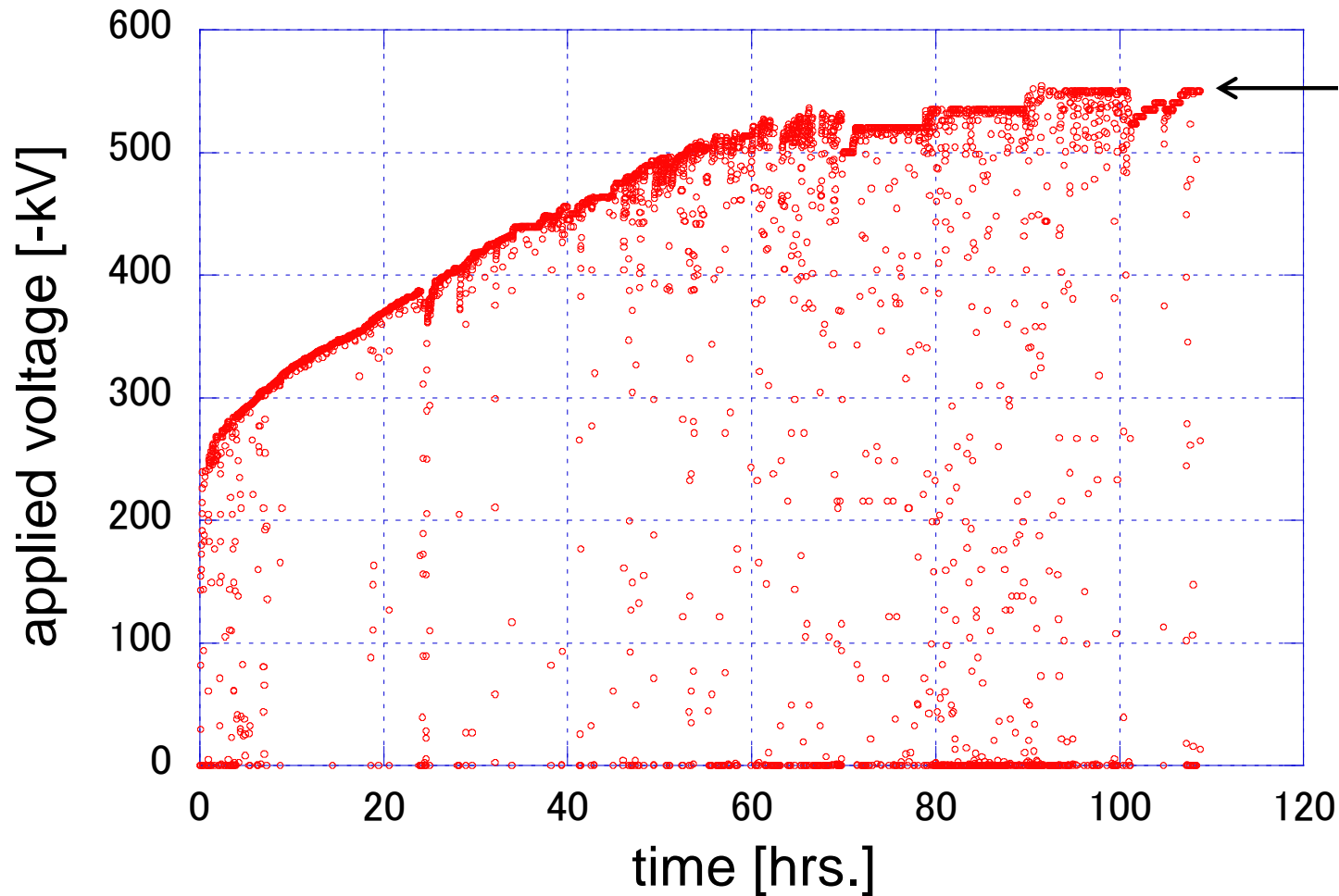
サポートロッドの高電圧テスト

サポートロッド



電極の代わりにダミーキャップ

高電圧印加試験@JAEA



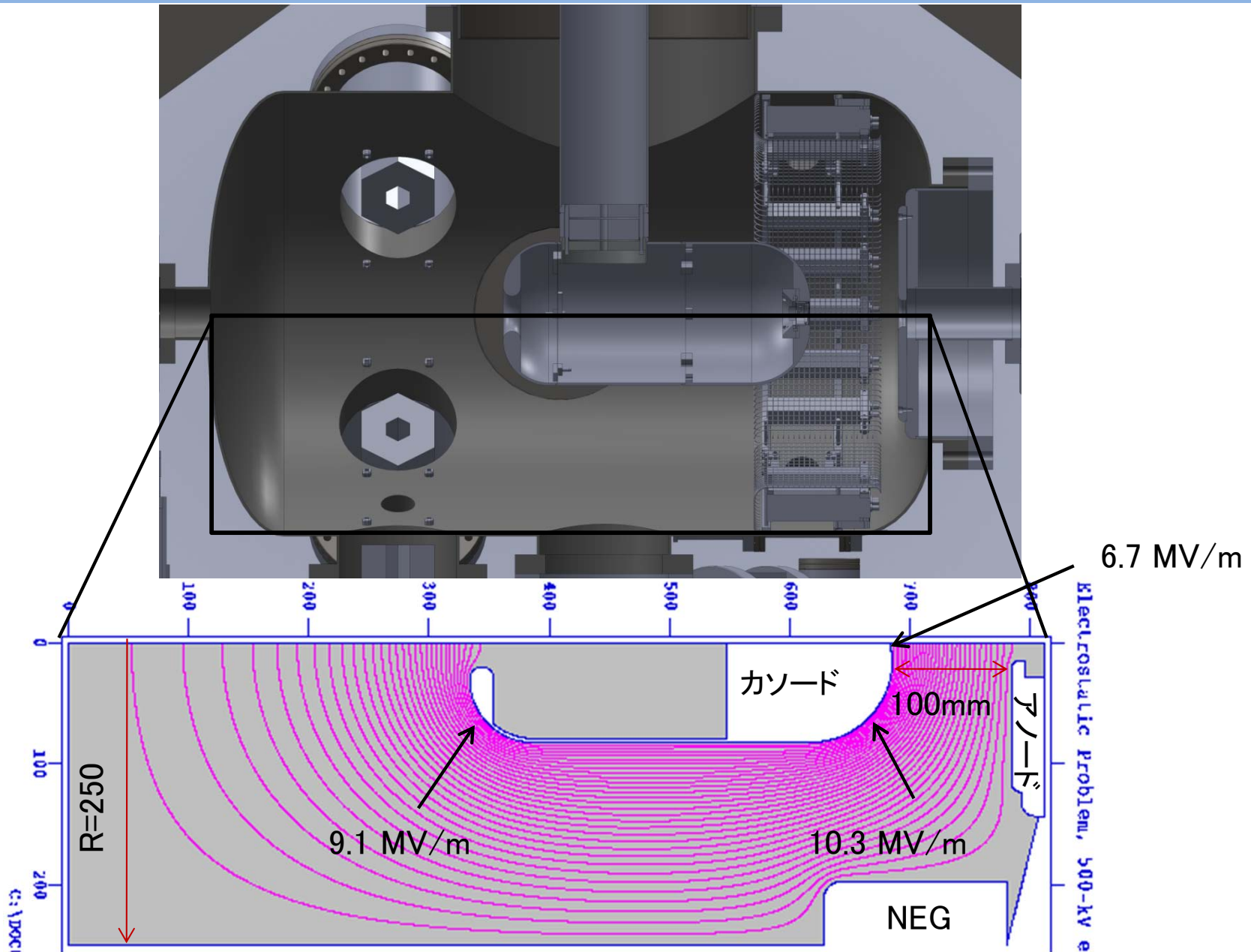
550kV印加
(四半世紀達成できなかった
500kV印加が可能に)

510kV—8時間連続運転
にも成功

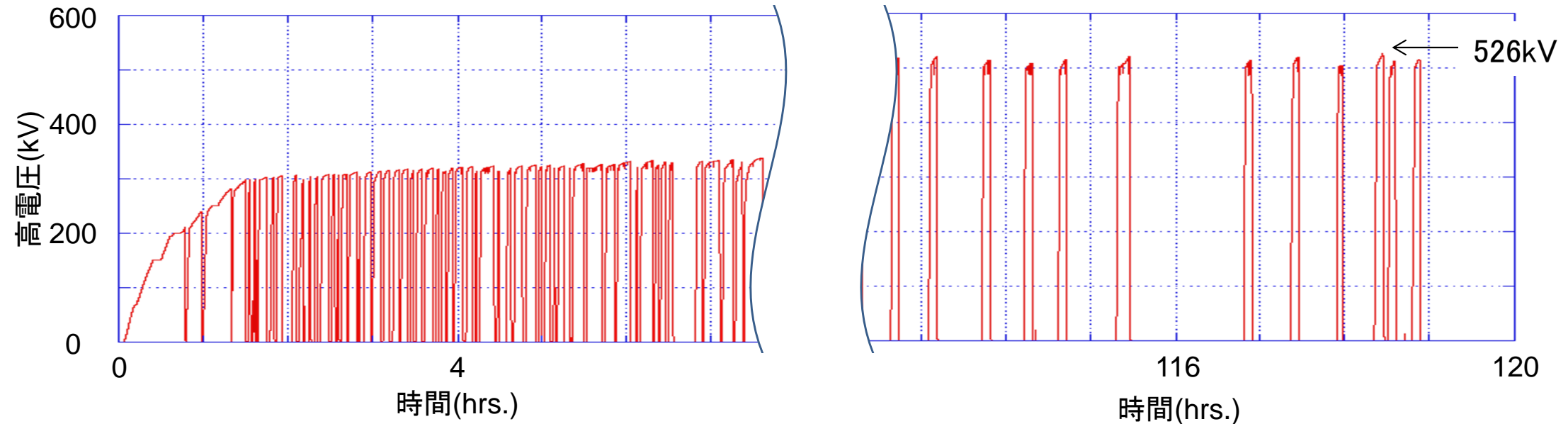
根源的な障害解決との認識から
世界のDC光陰極電子銃
Jlab(米)
コーネル大(米)
IHEP(中国)
KEK(日)
も分割型セラミック採用へ

R. Nagai et al., "High-voltage testing of a 500-kV dc photocathode electron gun", RSI. 81 033304 (2010).

カソード電極: 静電場計算

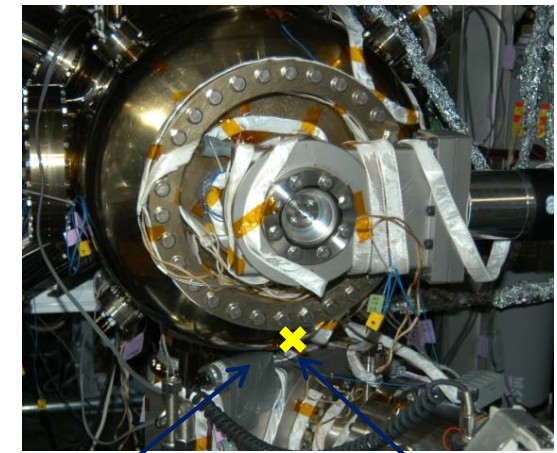
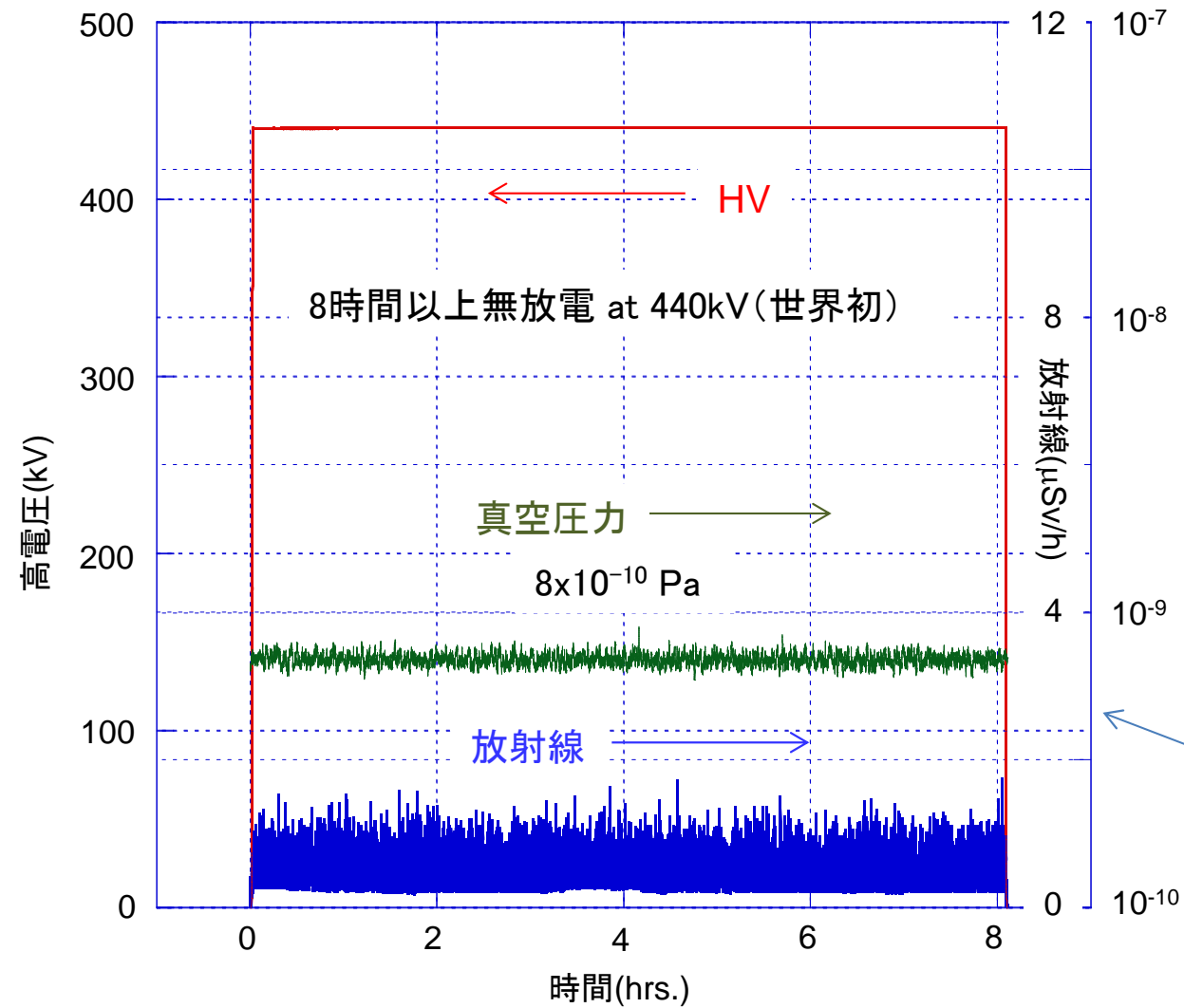


ビーム運転条件での高電圧印加試験

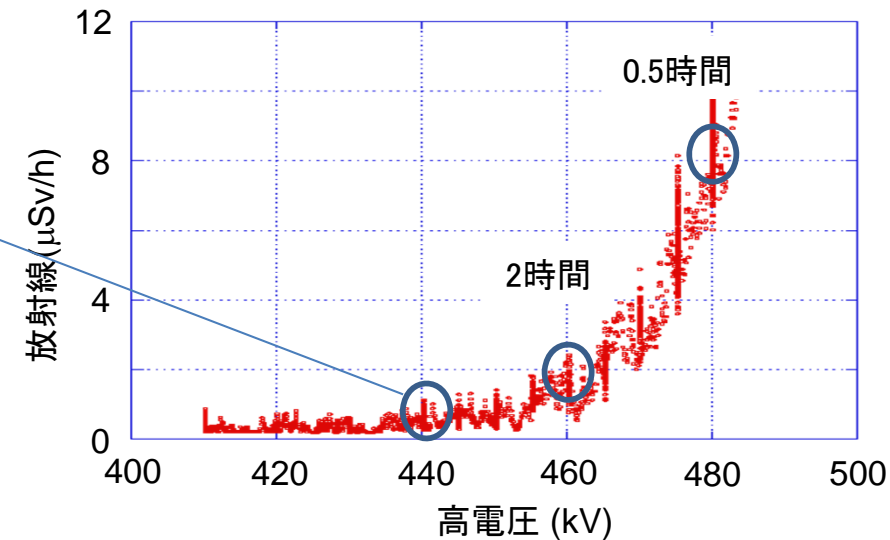


- 526kV印加に成功(世界初)
- 真空容器内の粉塵による電界放出暗電流の解決が新たな課題
 - よりクリーンな環境下での作業
 - 電極形状を変更し、電子銃容器の電界を下げる('12年9月実施予定)
 - ...

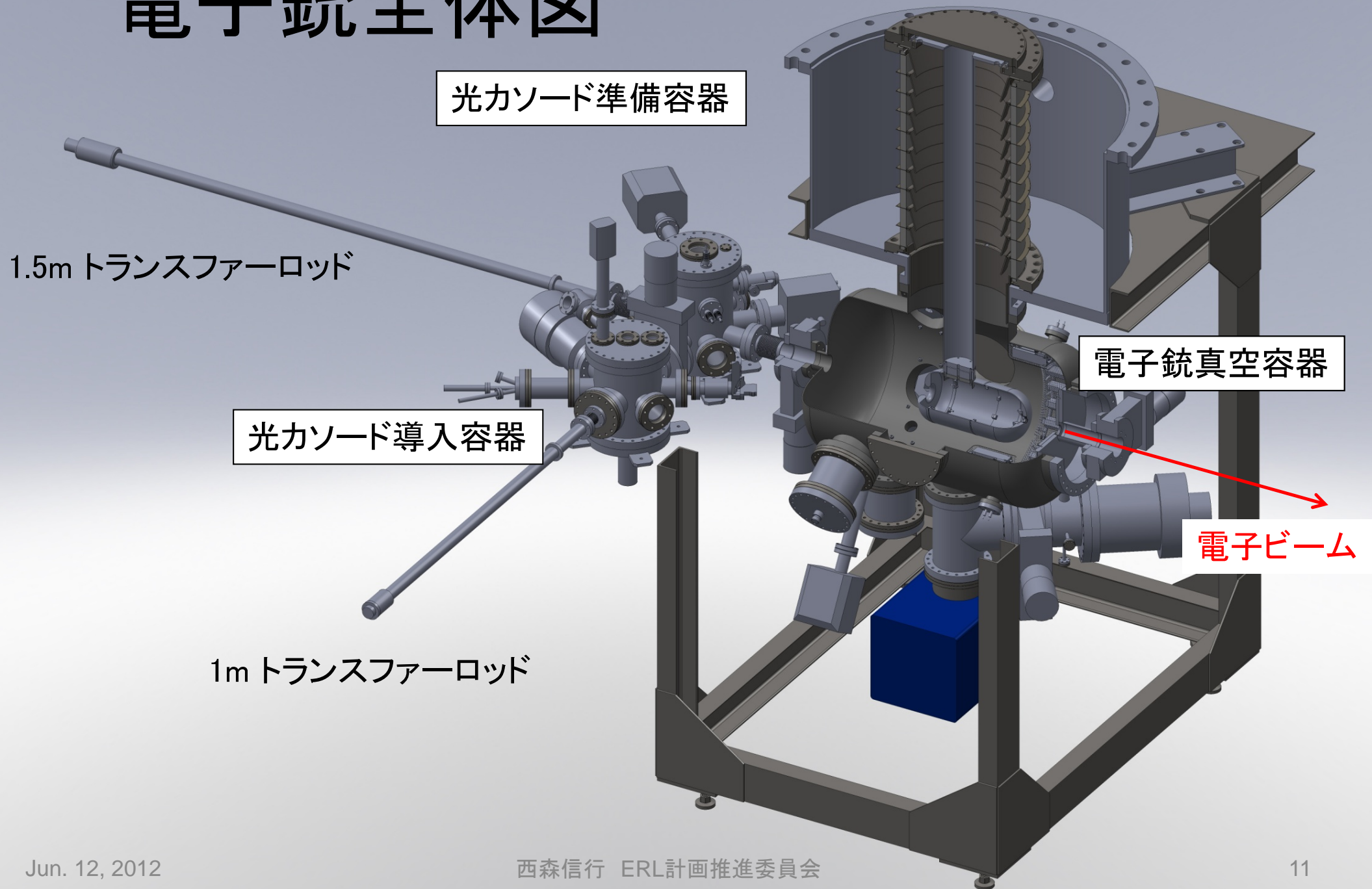
ビーム運転条件での440kV-8時間連続運転



GM放射線モニタ 局所放射線

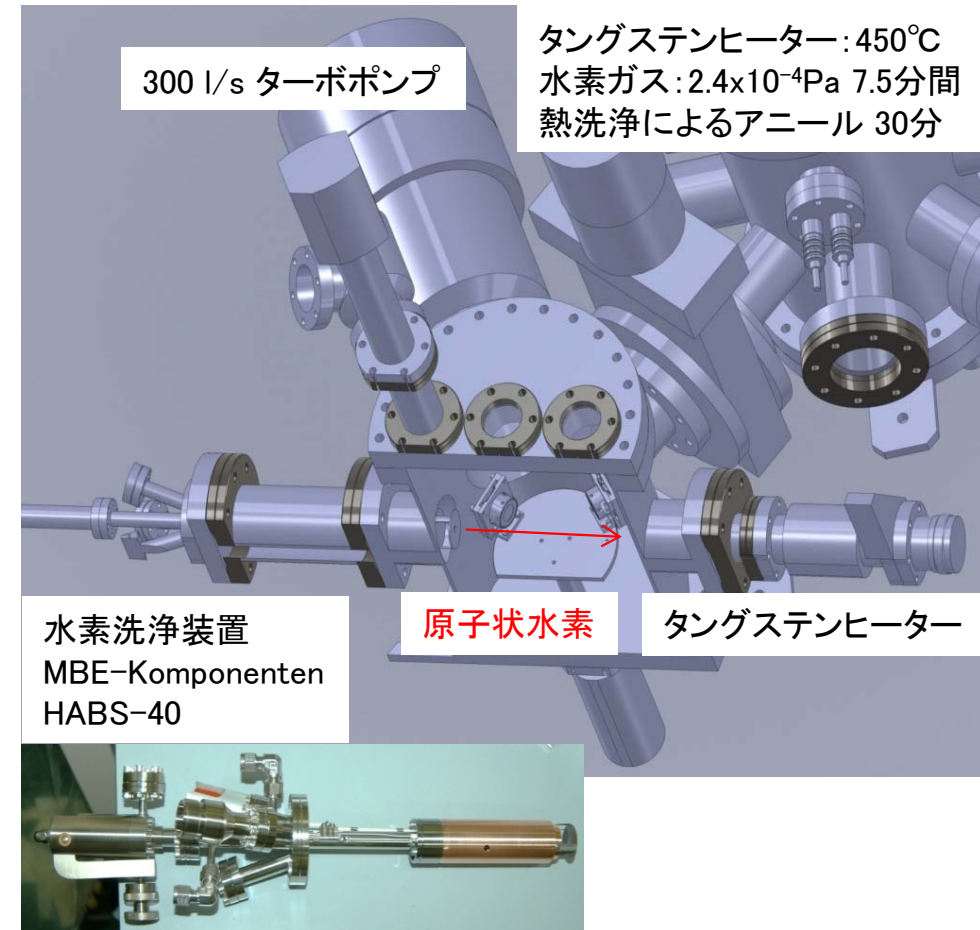
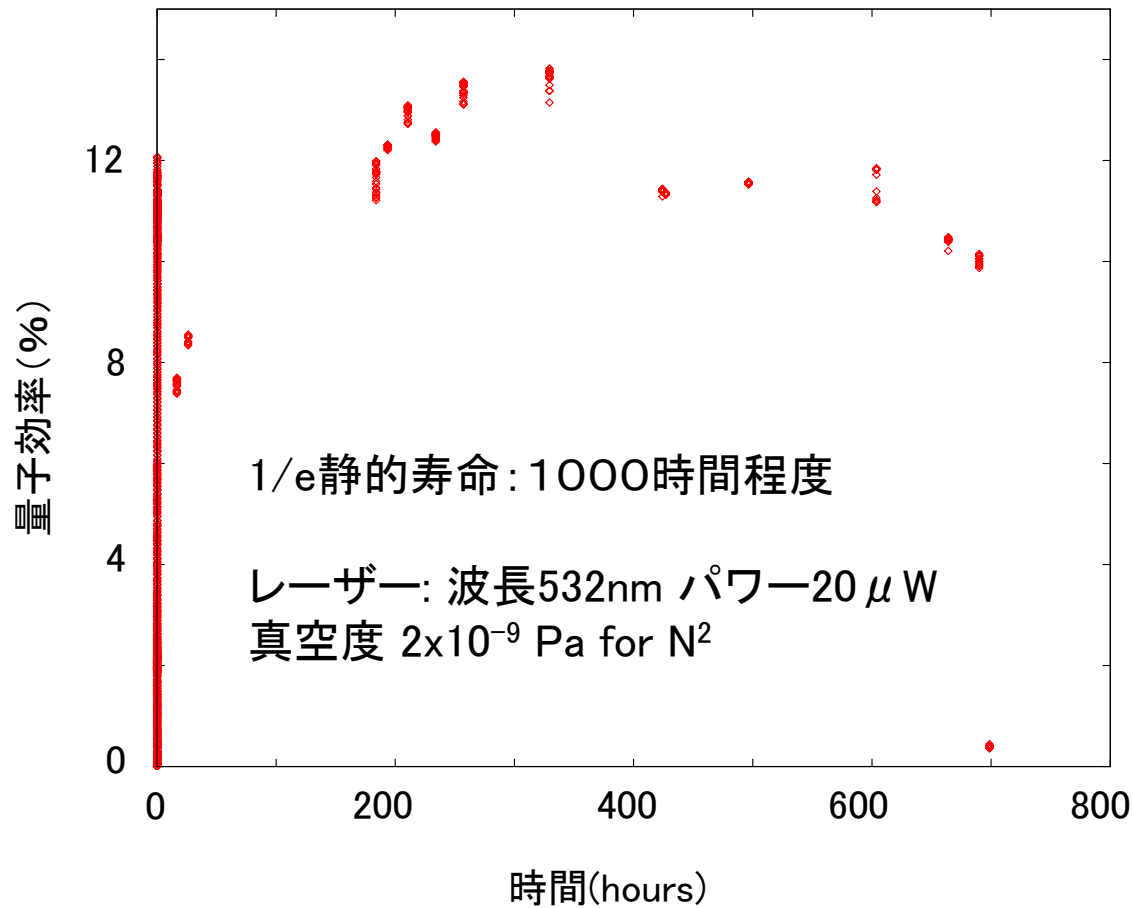


電子銃全体図



ガリウムヒ素光カソードの量子効率と静的寿命

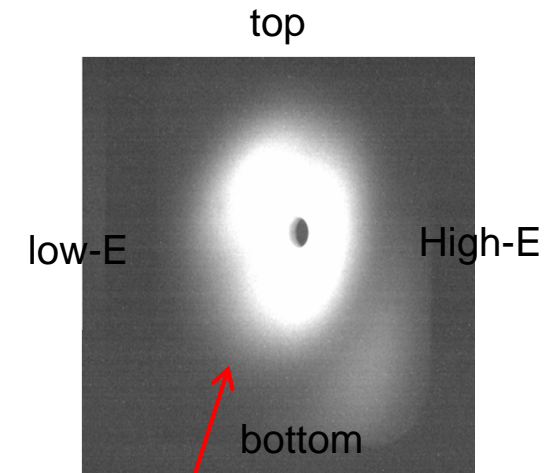
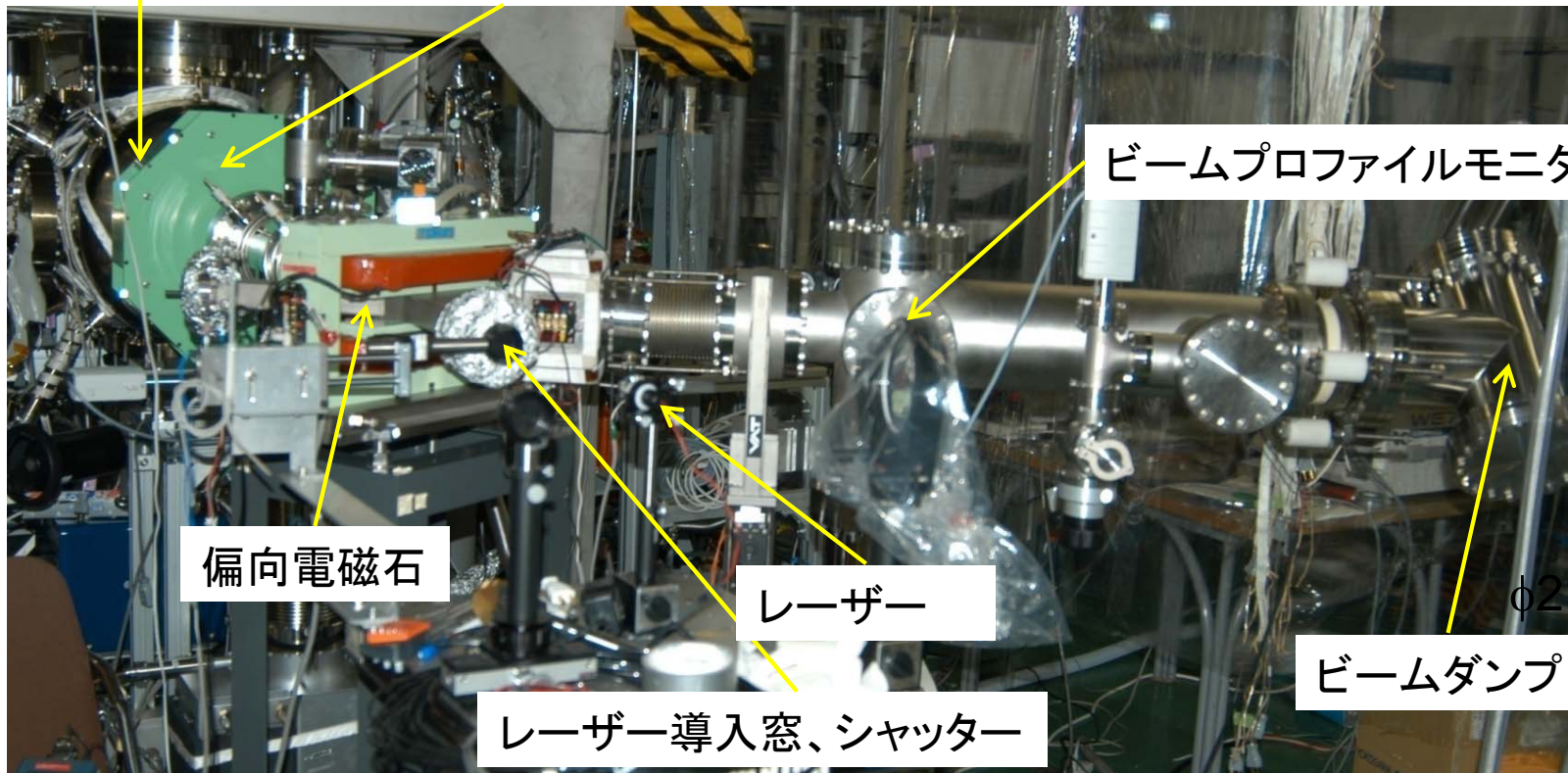
原子状水素による還元反応を用いた表面洗浄



電子銃下流ビームライン

500kV 電子銃

ソレノイド磁石



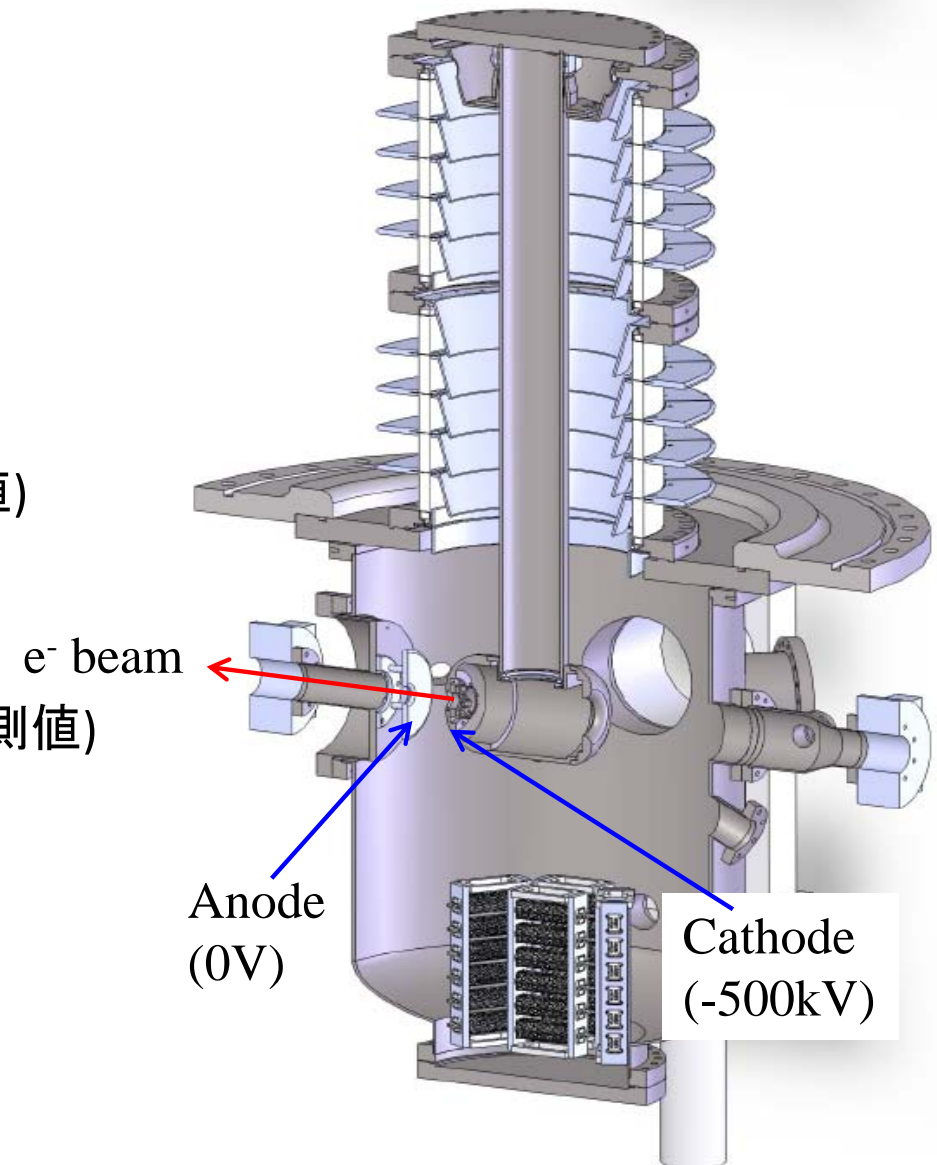
- ・ 300keV電子ビーム生成 2010年10月
 - ・ アノードから1.9m下流のスクリーン上のビームプロフィール
 - ・ 最大電流 $5.7 \mu\text{A}$ @ビームダンプ ビームダンプからの放射線で制限
- ・ 大電流ビーム試験@400keVの準備中(2012年6月より実施予定)

第2電子銃開発 at KEK

Courtesy: M. Yamamoto

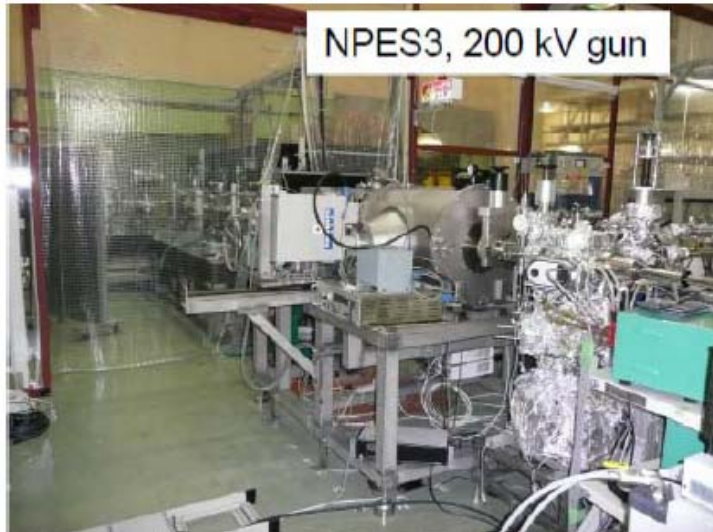
目標真空度 : 1×10^{-10} Pa

- 分割セラミック管
 - 特殊アルミナ (TA010, 京セラ)
- 低ガス放出材の採用
 - チタン容器、電極、ガードリング
 - トータルガス放出係数: $\sim 1 \times 10^{-10}$ Pa·m³/s (実測値)
- ポンプシステム
 - 4K ベーカブルクライオポンプ
 - > 1,000 L/s, for CH₄, N₂, CO, CO₂ @ 1×10^{-9} Pa (実測値)
 - NEG pump
 - > 10,000 L/s, for H₂ (デザイン値)
- 600-kV 高電圧電源



カソード開発 at KEK

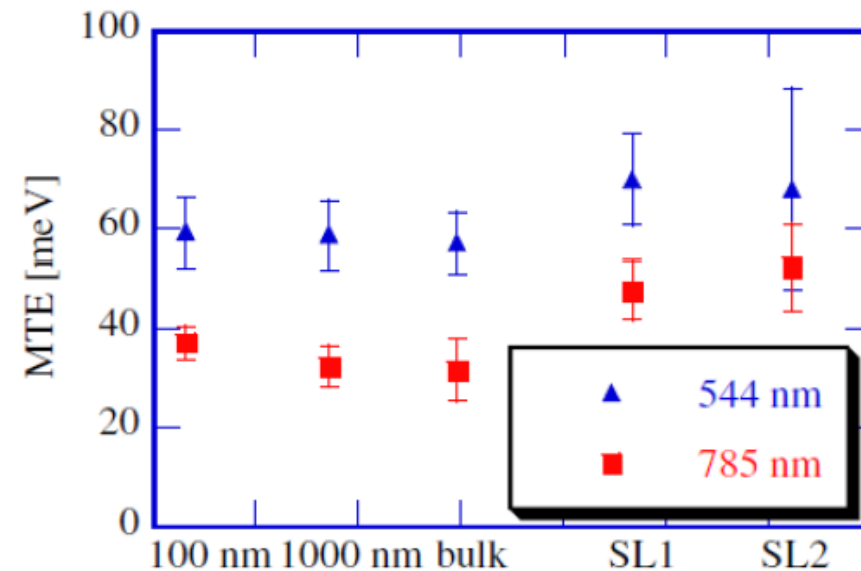
PF-AR南棟のビーム診断装置



Mean Transverse Energy (MTE)

$$\varepsilon_{xn} = \sigma_x \sqrt{\frac{2\langle E_{kx} \rangle}{m_e c^2}}$$

S. Matsuba et al., Jpn. J. Appl. Phys. 51, 046402 (2012)



まとめ

- 500kV電子銃開発状況 (下線は世界最高値)
 - ✓ 550kV印加、510kV—8時間保持成功(サポートロッド有)
 - ✓ 526kV印加、440kV—8時間保持成功(ビーム運転条件)
 - ✓ 真空度 8×10^{-10} Paを達成(N_2 換算、440kV印加中)
 - ✓ NEA GaAs光陰極の1/e静的寿命 1000時間達成
 - ✓ 300keV、5.7 μ Aビーム生成
 - ✓ 極高真空、カソード開発@第2電子銃
 - ✓ 10mA用駆動レーザー開発済
- 今後の予定
 - 大電流ビーム試験@400keV [6—8月]
 - 550kVまでの高電圧印加試験(電極形状を変更)[8, 9月]
 - 500keVビーム生成、ビーム診断 [9, 10月]
 - コンパクトERLへの移設作業 [10月]
 - コンパクトERLで電子ビーム生成 [’13年3月]