

第二電子銃開発状況と今後

2015年9月29日(火)
第91回ERL検討会



M. Yamamoto, T. Miyajima, T. Uchiyama,
Y. Honda, X. Jin, M. Kobayashi
High Energy Accelerator Research Organization (KEK)



N. Nishimori, R. Nagai, R. Hajima
Japan Atomic Energy Agency (JAEA)



M. Kuriki
Hiroshima University



H. Kurisu
Yamaguchi University

他、PF, cERL制御&真空関係者をはじめとする
多くの関係者のご協力、ご支援を受けています。

過去約2年間の主な進捗

- ✓主排気系の接続、極高真空生成
- ✓エージングの実施（計4回）
2014年5月、7月、8月、2015年1月
- ✓ビーム診断部、ダンプラインの構築
- ✓微小電流ビームの発生(2015年4月～)

Oil-impregnation
Cockcroft-Walton
600kV HVPS

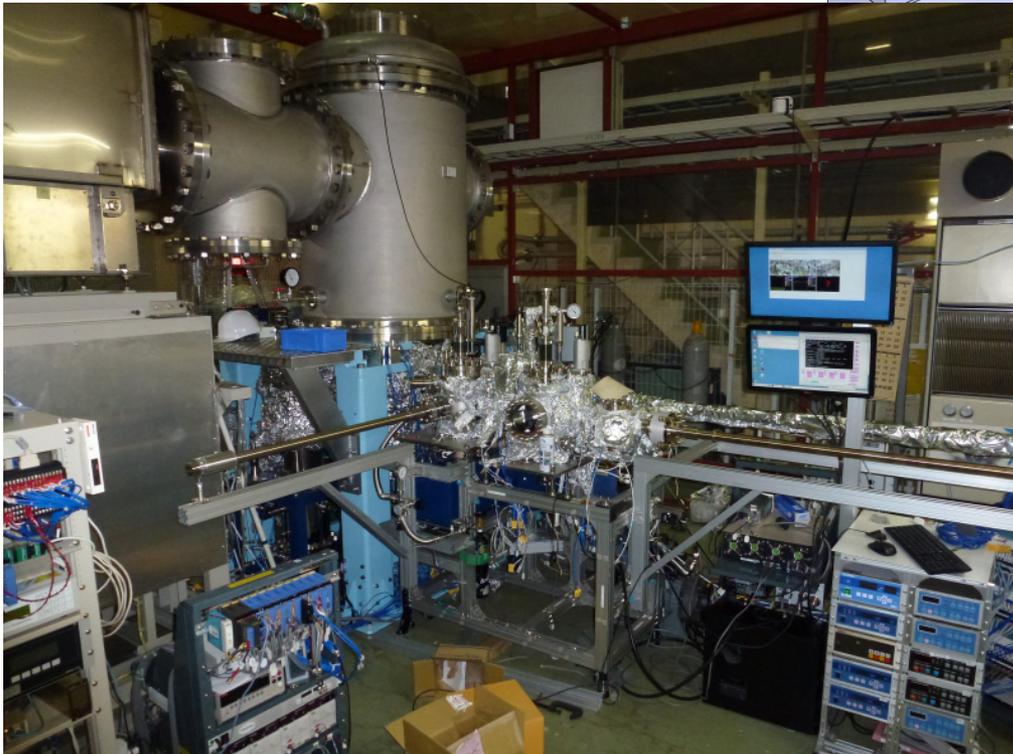
Current limiting
resistor

SF6 vessel

Segmented
insulator

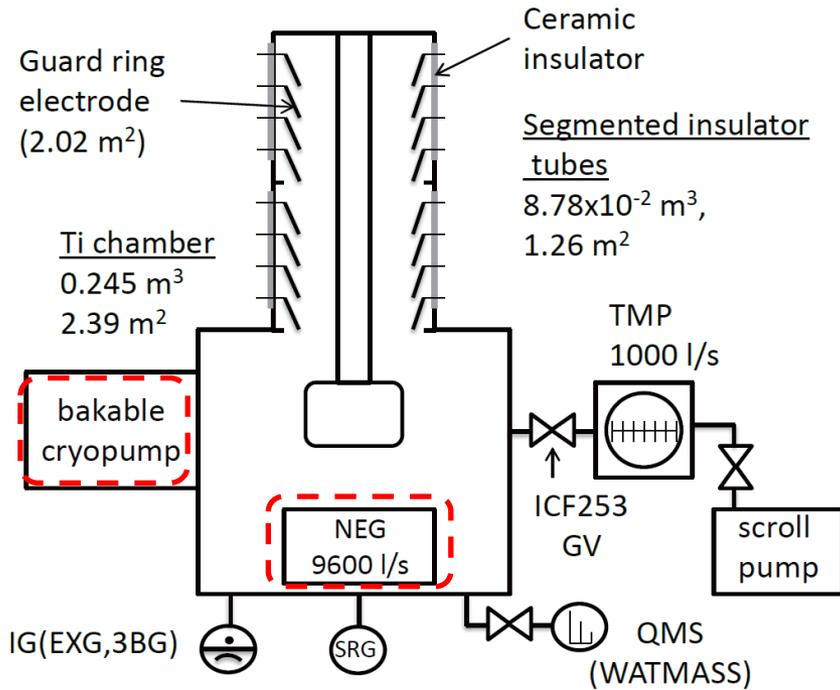
Cathode electrode

Photo-cathode
preparation
system

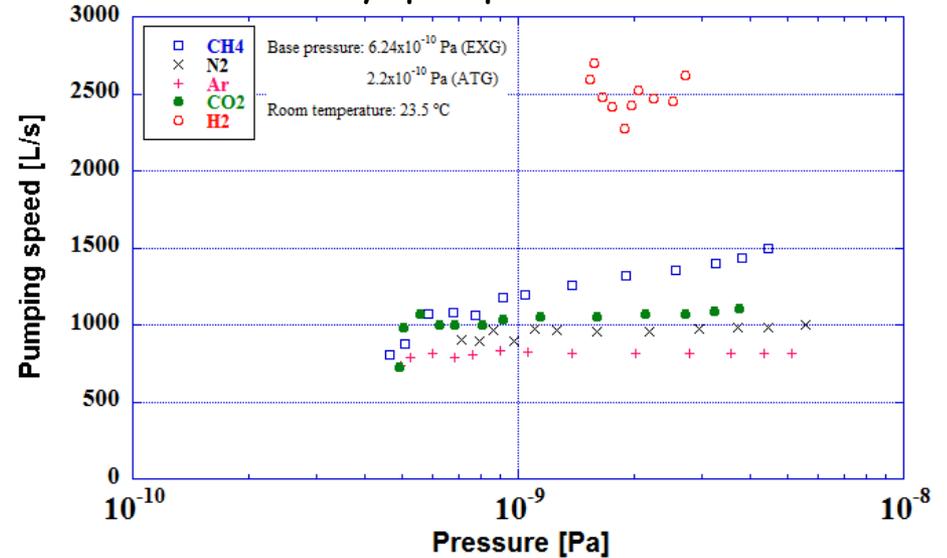


- ✓カソード準備系の構築(@PF)
- ✓3つのカソードの同時活性化に成功
- ✓カソード準備系を電子銃へ接続、
電子銃へカソード導入

主排気系の設置 (2014/Mar)



Bakable cryopumpの排気速度測定結果



主排気系の構成

1. Non Evaporable Getter (NEG)
D400-2 × 24 = **9600 L/s (H₂)**
= **4320 L/s (CO)**
(catalog value)
2. 4K bakable cryopump
~800 L/s (Ar), ~1000 L/s (N₂, CO₂),
~1200 L/s (CH₄) (measured values@1x10⁻⁹ Pa)

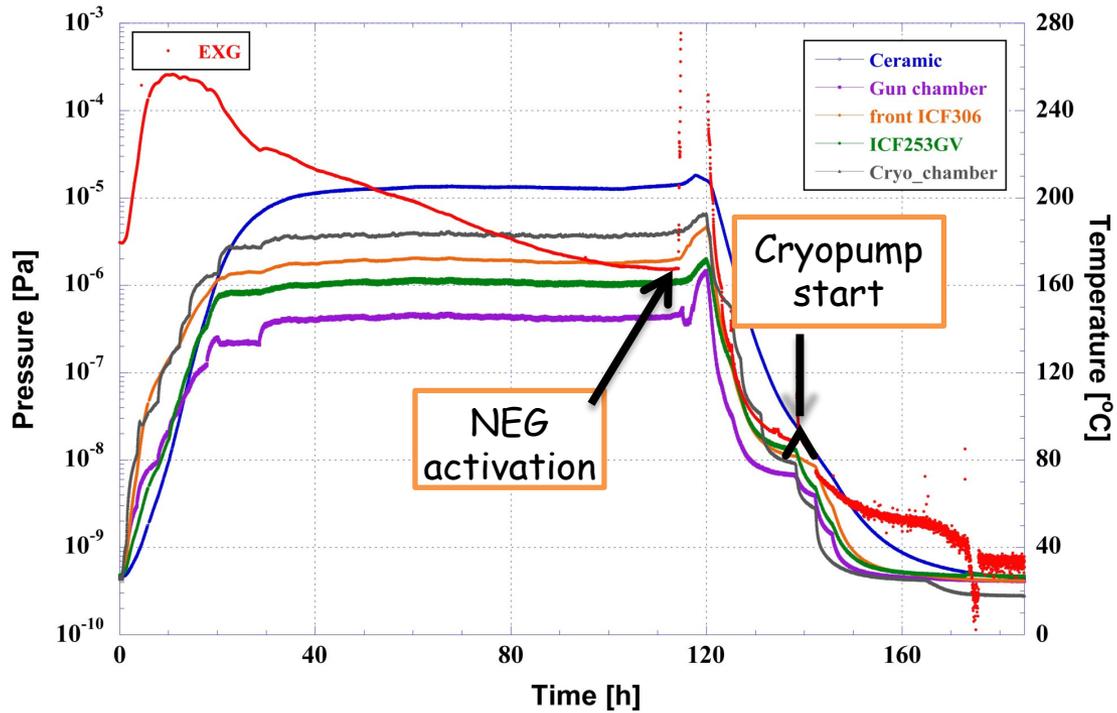


NEG pump set



4K bakable cryopump

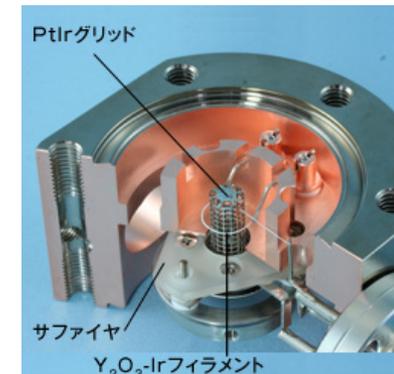
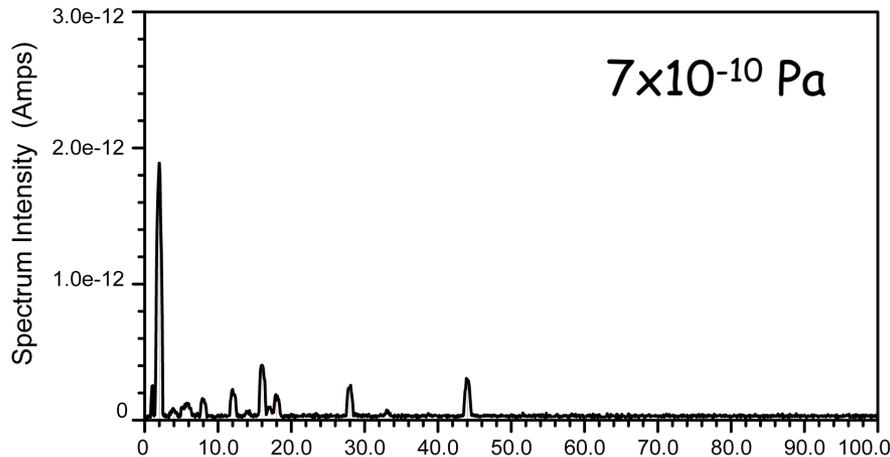
極高真空の生成 (2014/Mar~Apr)



極高真空計(3B gauge)



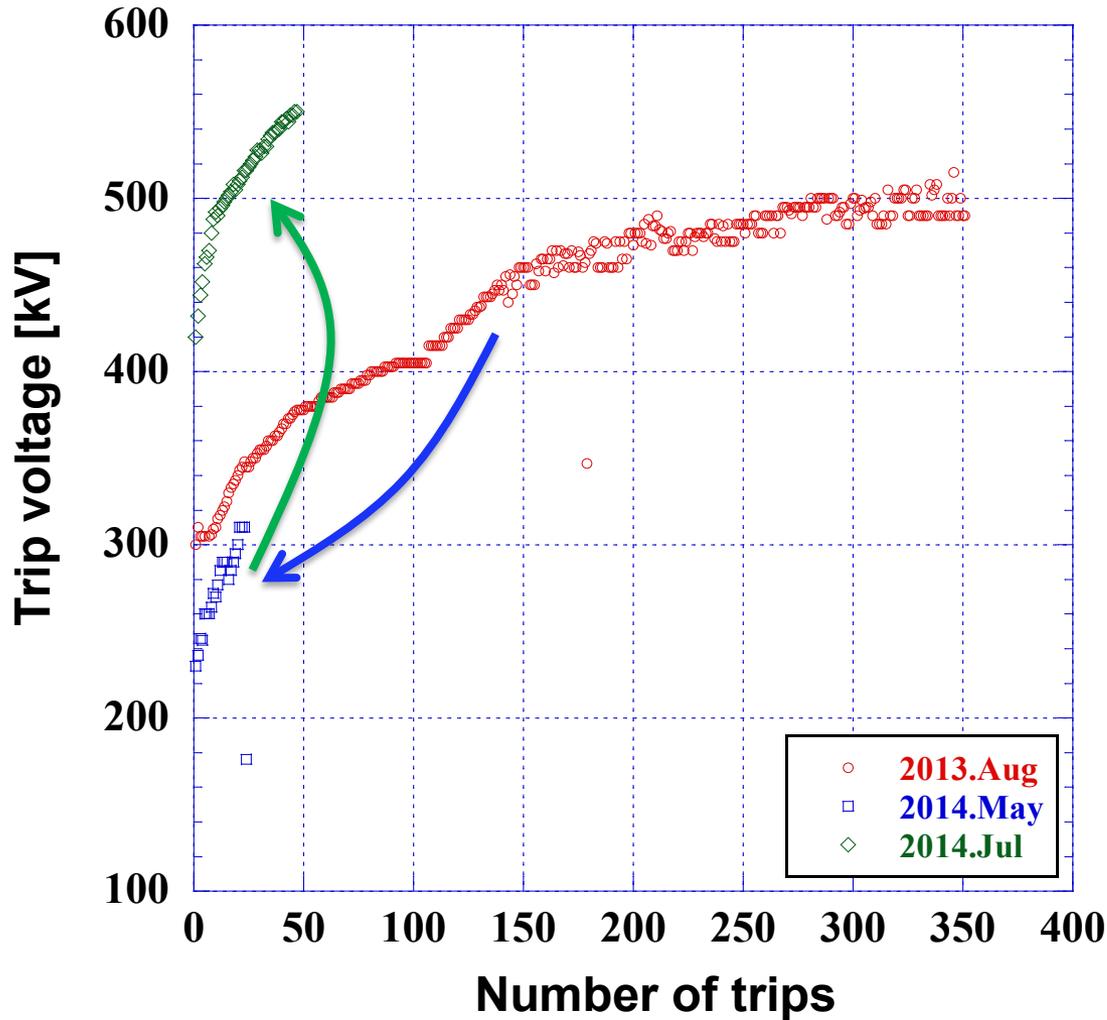
2015年7月8日現在



極高真空対応型残留ガス分析器

<http://www.vaclab.co.jp/product04.html>

高電圧エージングの履歴 (2013/Aug ~ 2014/Jul)



2013年8月 主排気系無しでの
エージング
約300回の放電で500kVに到達

↓
主排気系の設置、ベーキング
極高真空生成 ($\sim 4 \times 10^{-10}$ Pa)

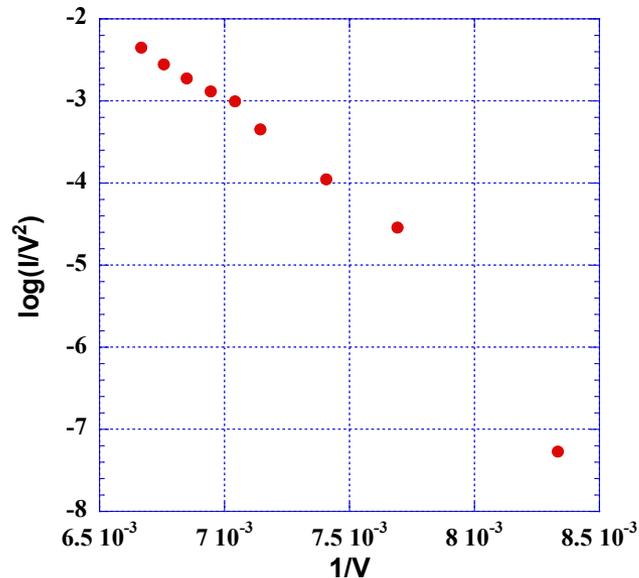
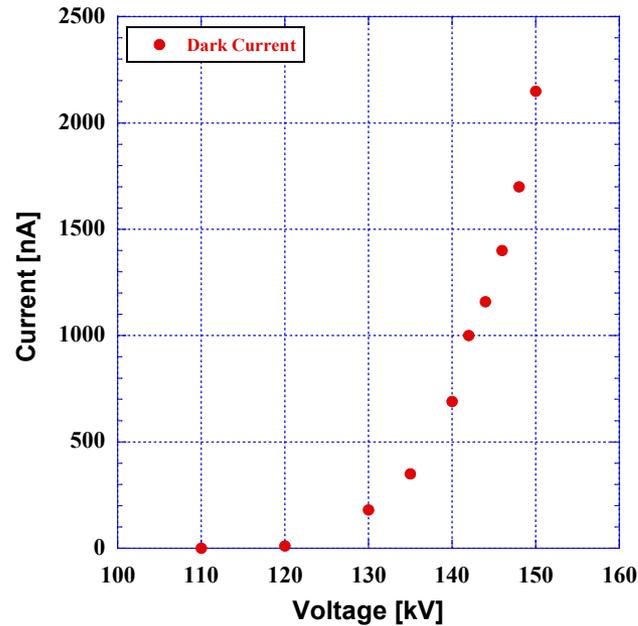
2014年5月 エージング1回目
(24回目の放電で電界放出源が生成)

↓
電極の取出し&クリーニング
再ベーキング
極高真空生成

2014年7月 エージング2回目
(48回目の放電で550kVに到達)

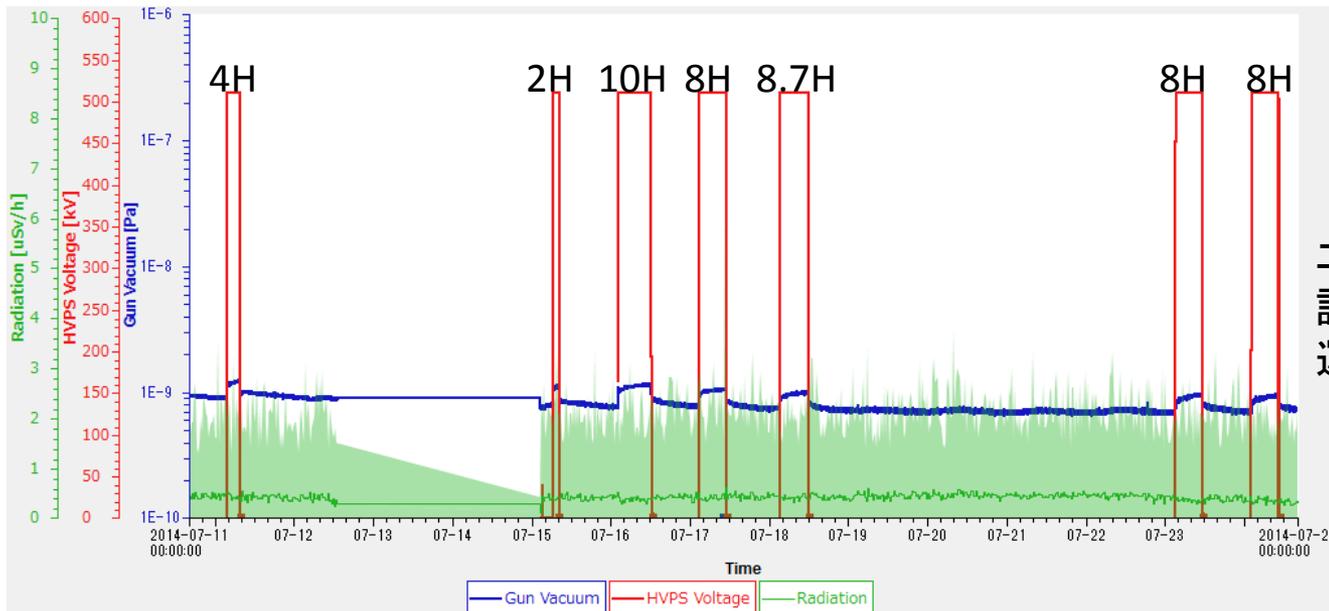
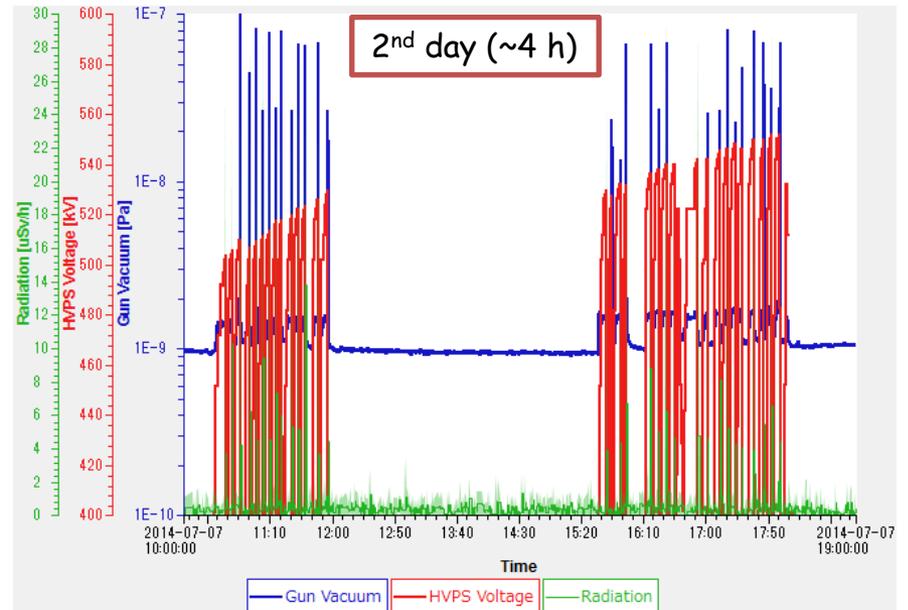
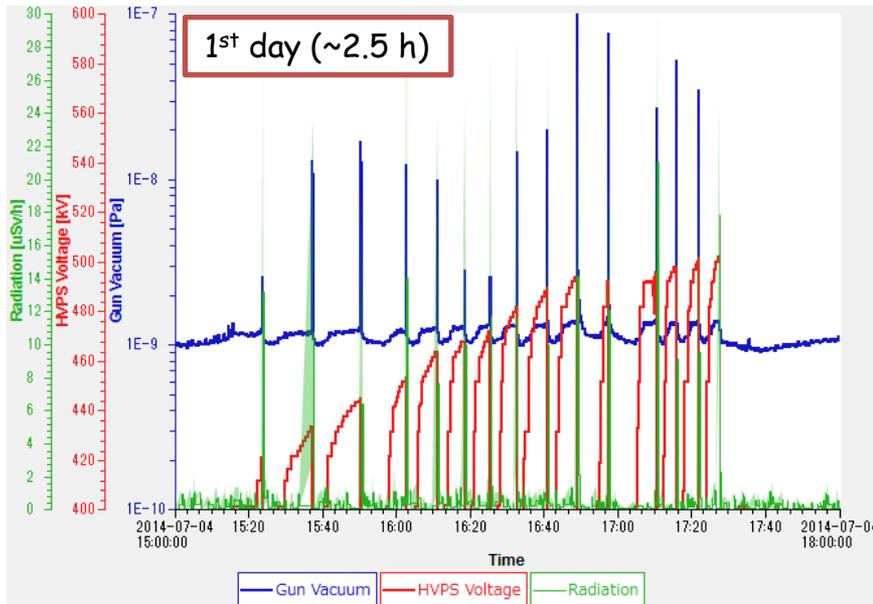
電極間距離はcERL電子銃の半分以下の70mm。
光陰極表面電界は6.9 MV/m @500 kV

カソード電極上の電界放出源 (2014/May~Jun)



ダストはエアガンで簡単に吹き飛ぶ。
リントフリーのワイパーで電極表面を拭き取ってから
電子銃へ再度インストール。

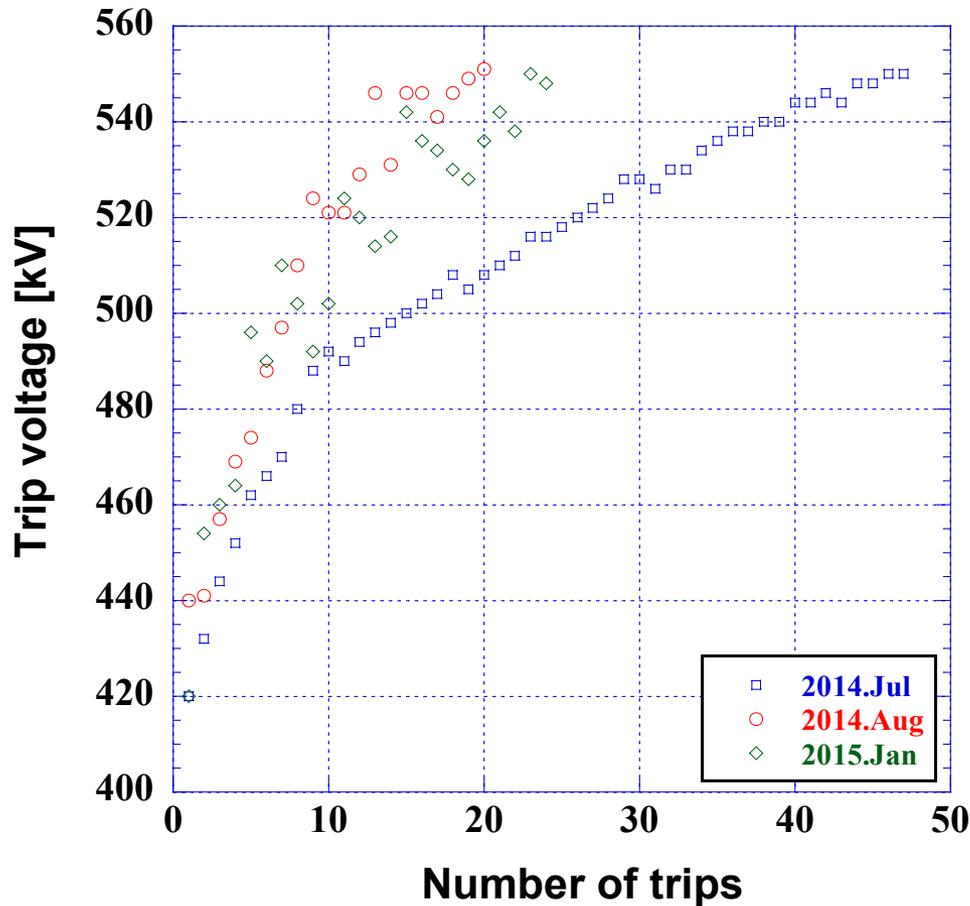
2014年7月時のエージングおよび高電圧保持試験



エージングでは実質7時間で550kVに到達した。

エージング後の500kV保持試験では、通算50時間の運転中、放電の発生は無し。

電子銃shutdown後の再エージング



2014年7月 エージング
(48回の放電で550kVに到達)



約3週間のshutdown
真空の再立上げ 約1週間

2014年8月 エージング
(20回の放電で550kVに到達)



約3.5カ月のshutdown
真空の再立上げ 約1週間

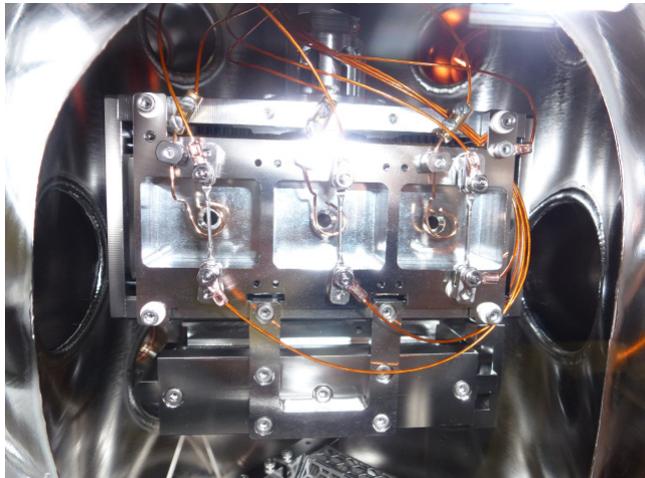
2015年1月 エージング
(23回の放電で550kVに到達)

エージングが一度うまく行うことができれば、shutdown後のエージングは手短かに完了できる事を確かめた。

カソード準備系の立上げ&電子銃接続

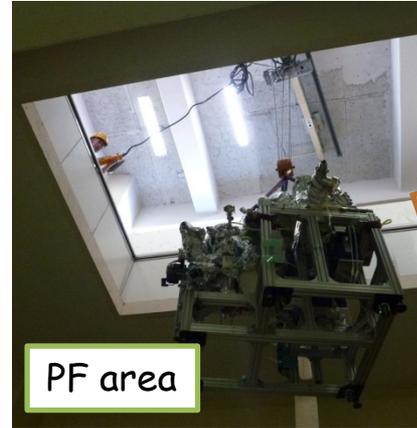


3つのGaAsカソードの同時活性化(QE:6~10%)
を実証。(2014/Sep.)



活性化chamber内部の写真

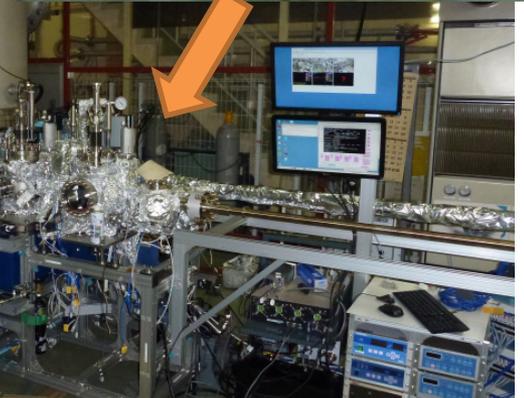
電子銃にインストールしたカソードは2015年1月に活性化後、カソード貯蔵chamberで保管。2015年3月に導入。QEはほぼ活性化時と同じであった。



PF area

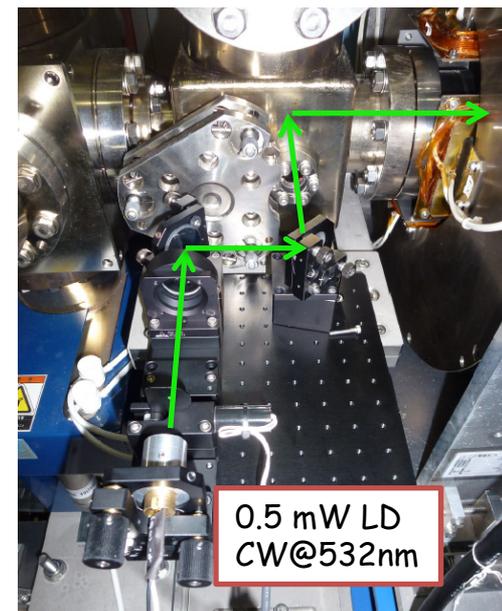
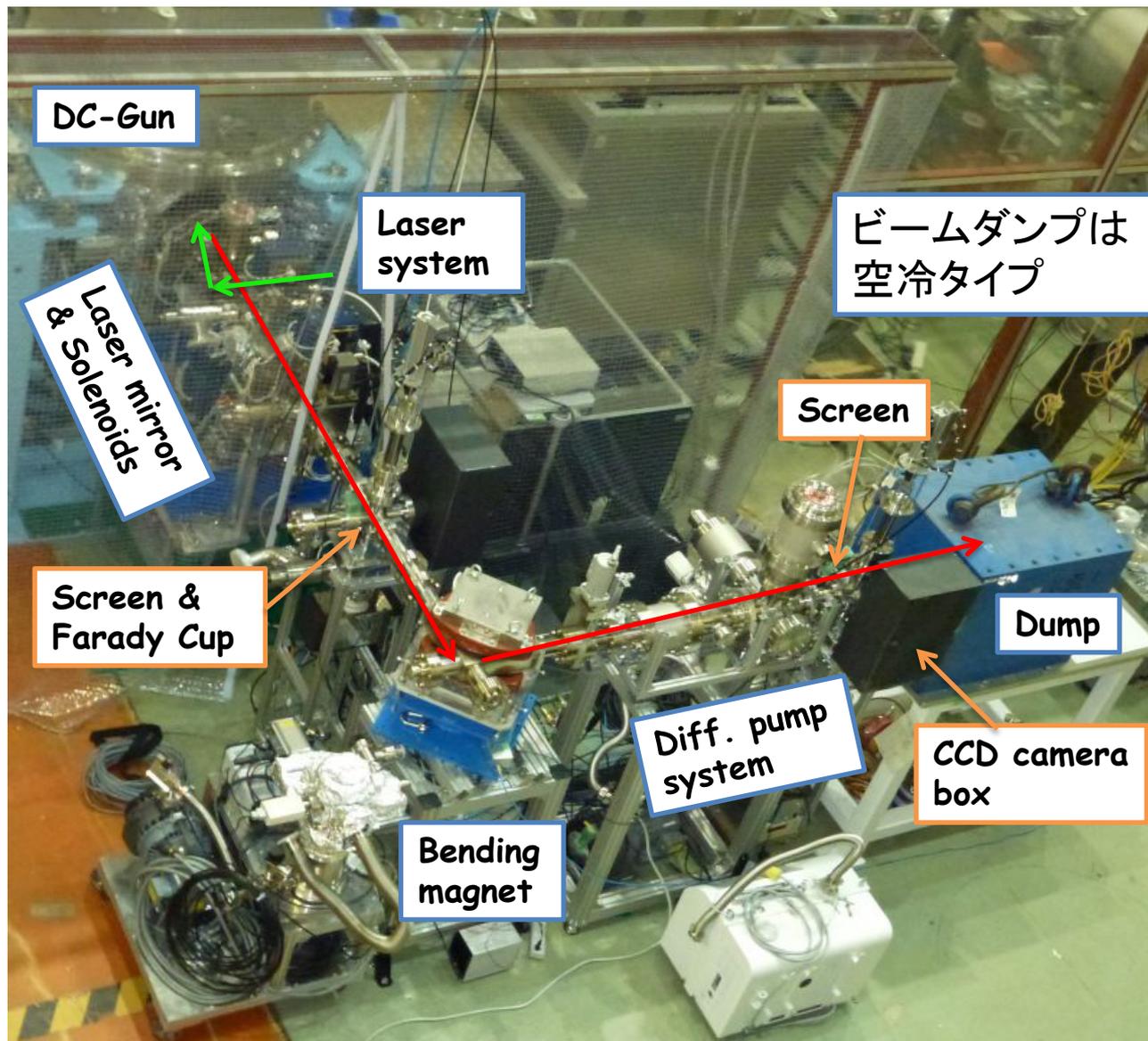


GTF area

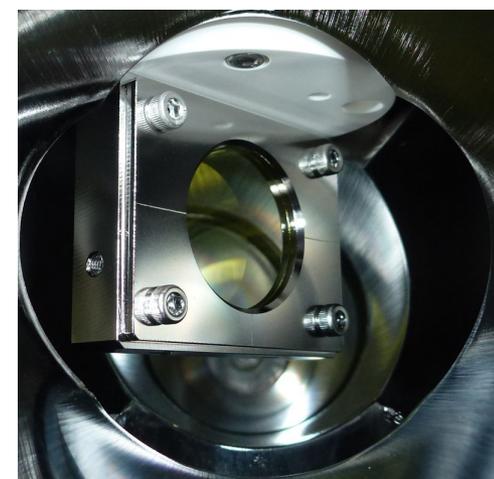


2014年10月末 PFエリアからAR南棟へ移設
2014年11~12月 電子銃と接続、再立上げ

Beam Transport & Dump section

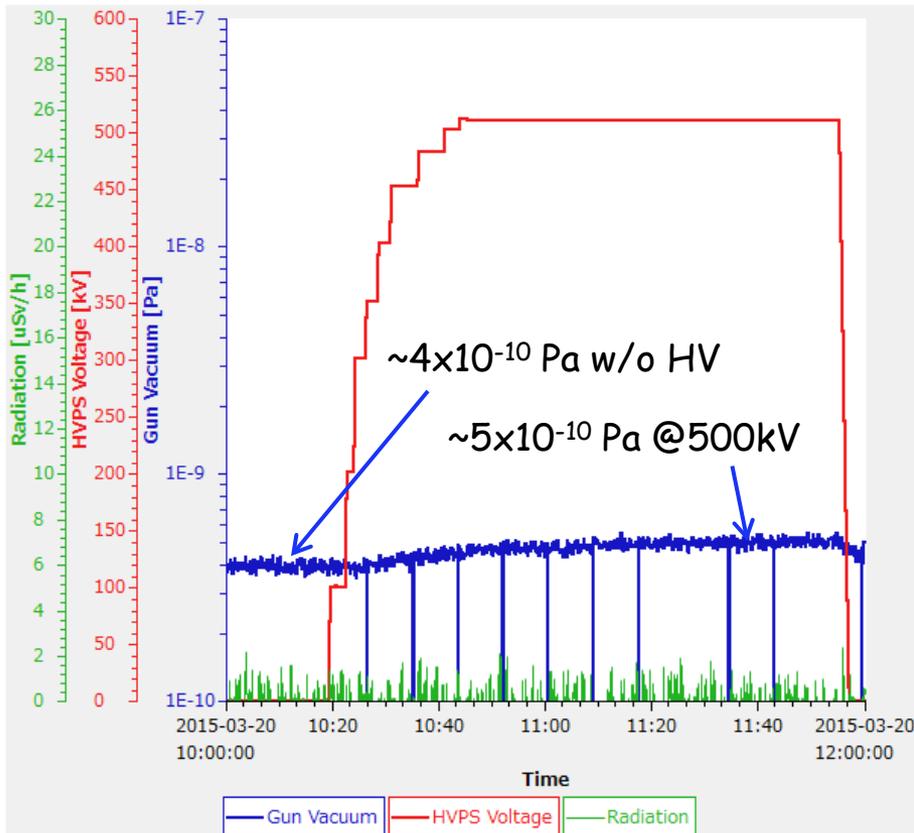


Laser system



YAG screen

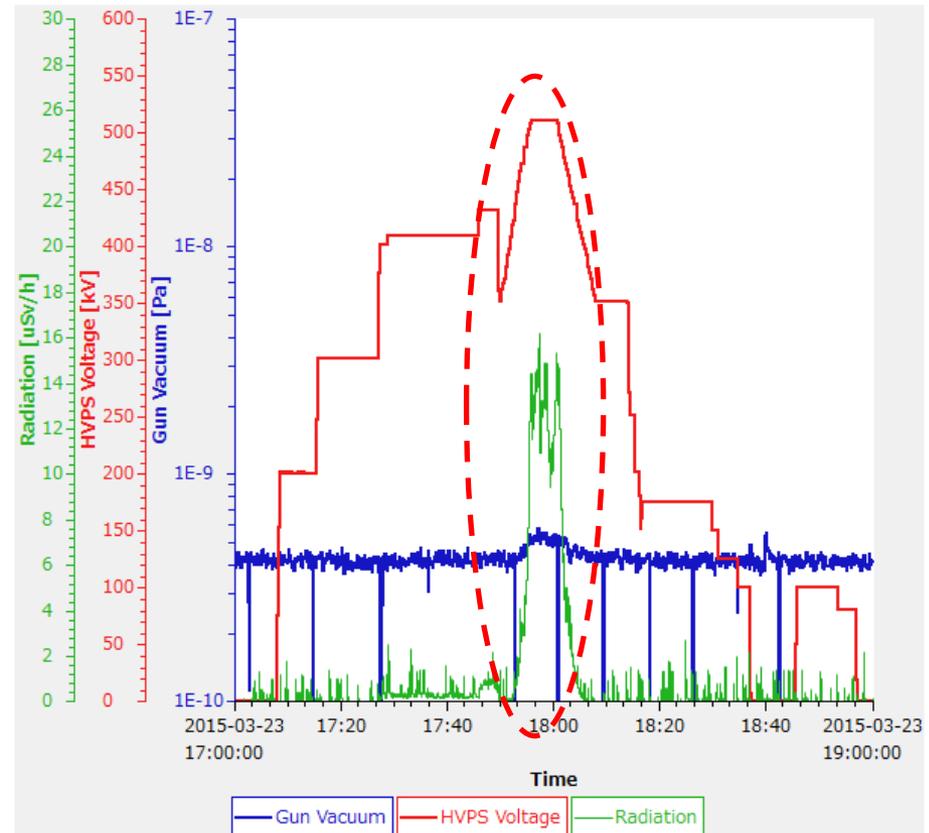
光陰極導入による暗電流の発生(2015/Mar)



光陰極導入前

500kV時、

- ・放射線発生無し
- ・暗電流(アノード電流)もBGLレベル ($< 1\text{nA}$)

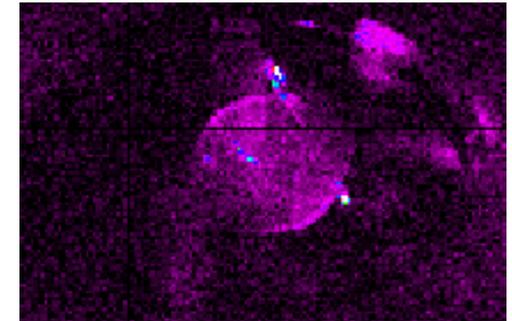
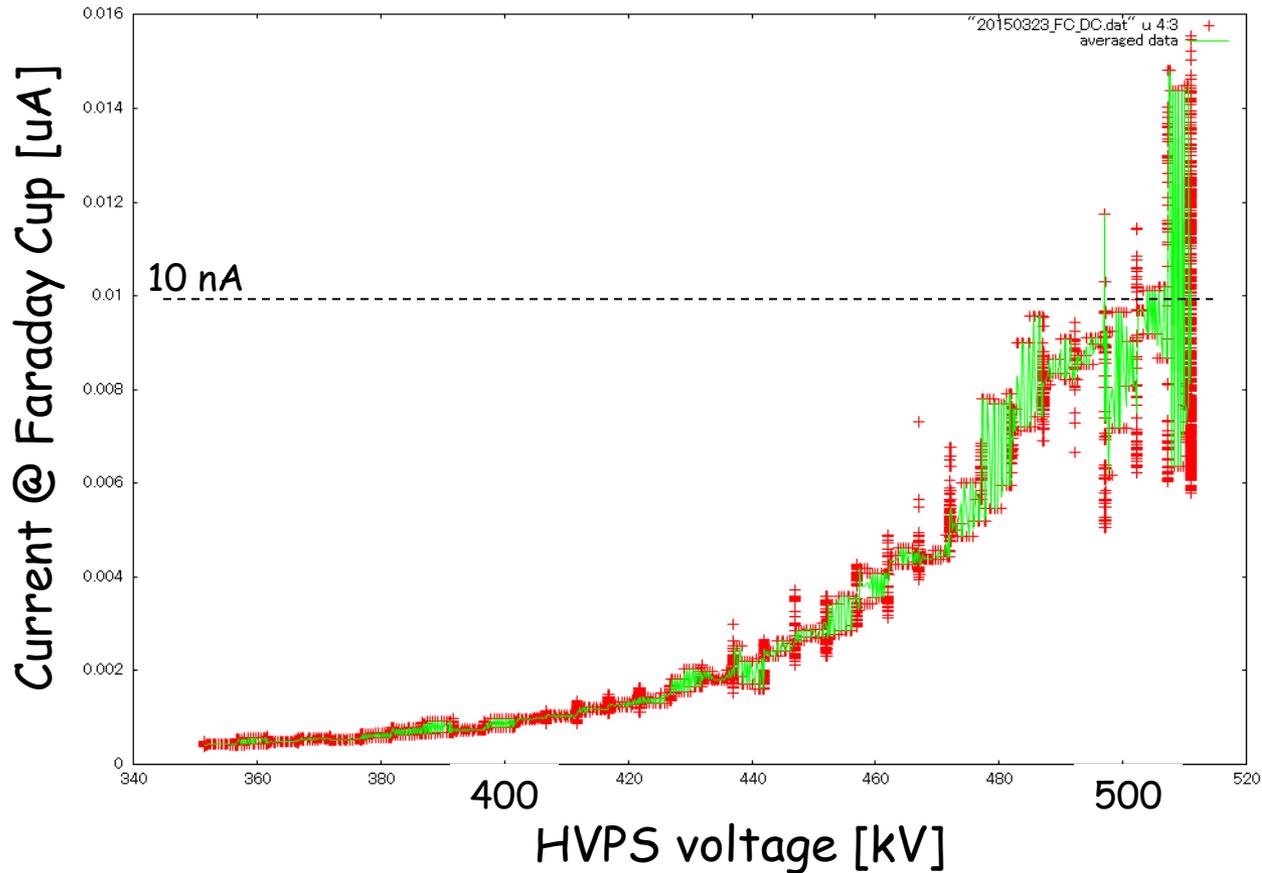


光陰極(Bulk GaAs)導入後

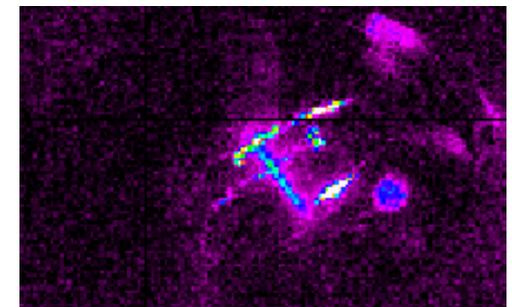
500kV時、

- ・放射線 約15 $\mu\text{Sv/h}$ @電子銃直下
 - ・暗電流(アノード電流) $\sim 4\text{nA}$ 検出
- 400kV以上で放射線が上昇。

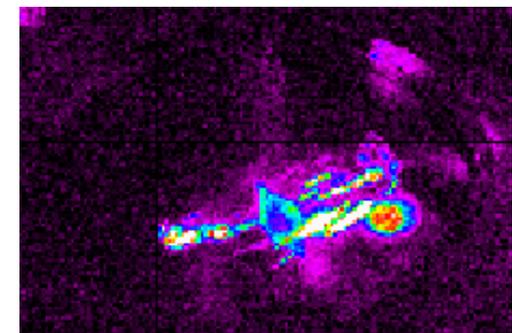
暗電流測定



350 kV



400 kV

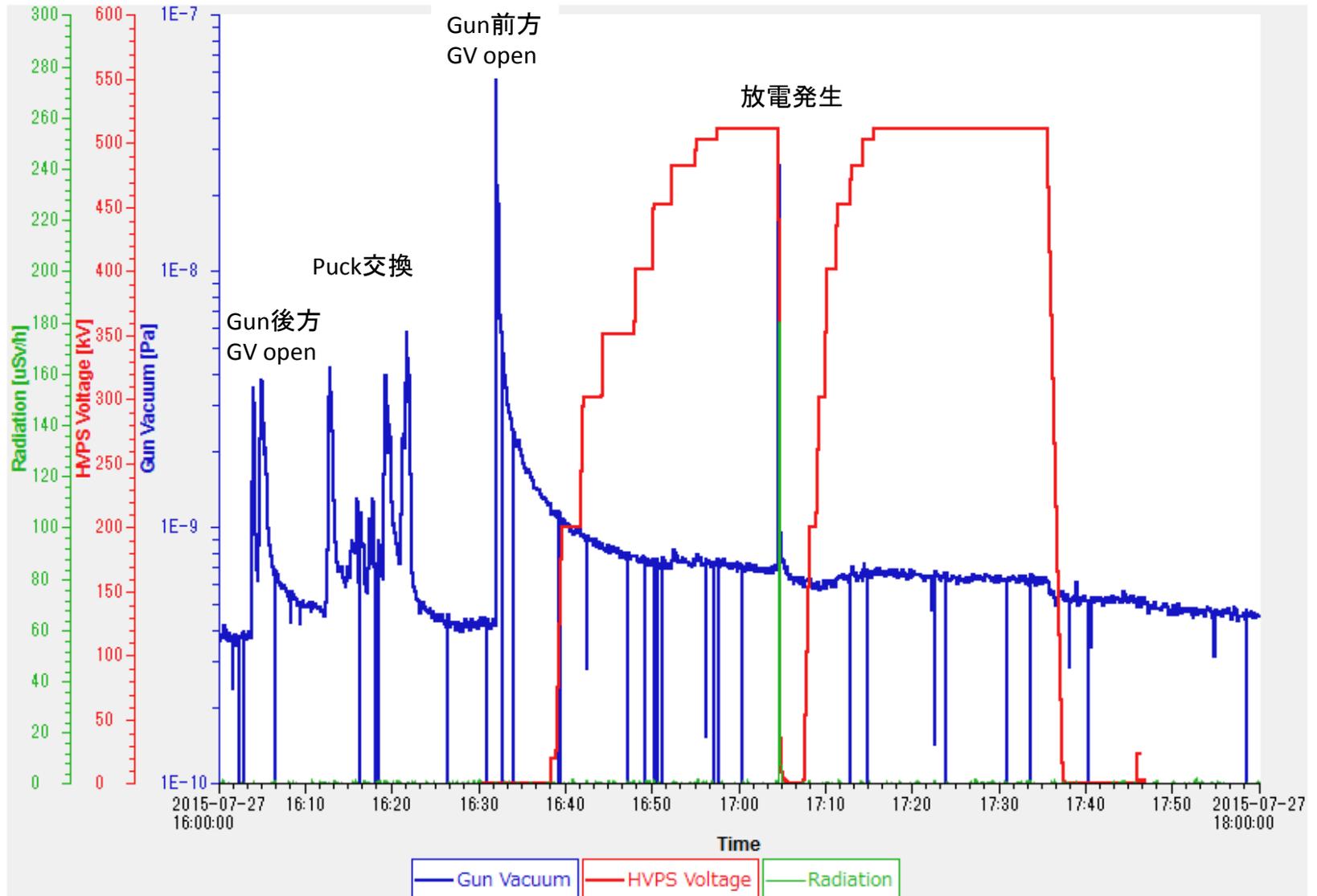


450 kV

電子銃に設置された真空計からの迷光によるビーム発生 (<0.5 nA)。

400 kV以上で光陰極近傍から複数の電界放出源より発生する暗電流が増加。

電圧、真空、放射線の履歴



500kV印加状態で電子銃直下(電離箱)で放射線の発生も無い。

今後の目標

ERL電子銃で懸案とされている

「大電流ビームの長期的な安定供給ができるのか？」

という疑念を我々の手で払拭できる実験結果を出す

具体的には、例えば

数～10mAのCWビームを

1日8時間相当、5日間供給運転

を、

- ・単独運転可能な500kV電子銃2号機
- ・カソードの同時活性化&貯蔵機能をもつ準備系との組合せで実証を目指す。

カソード寿命、カソード交換システム、高圧電源&セラミック管の健全性など総合的な評価。第一電子銃ではスケジューリング的に難しい大電流&長期供給試験を第二電子銃のメイン試験項目とする方針。

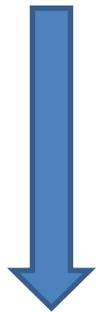
今後の方針(案)

現状 (ビーム電流上限100nA)



- ・7/21の週に遮蔽材見積りのためのビームテストを実施予定

第一ステップ (ビーム電流上限100uA)



- ・第二ステップのための調査、準備を現状のビームライン、ダンプで実施
 - 現状のビームライン周囲の遮蔽整備
 - 放射線検知によるインターロック環境の整備
 - 調整モード、大電流モードの整備 (PPS、MPS)

第二ステップ (ビーム電流上限10mA)

- ・カソードの寿命試験
- ・高圧電源の最大出力試験、長期運転試験
 - 水冷ダンプ(数十kW級)の整備
 - ダンプライン拡張、差動排気強化
 - 追加遮蔽、高速インターロック整備
 - DCCT、BPMの整備
 - ワット級レーザーの整備

ビーム発生時の管理区域境界部の放射線量

放射線サーベイ記録

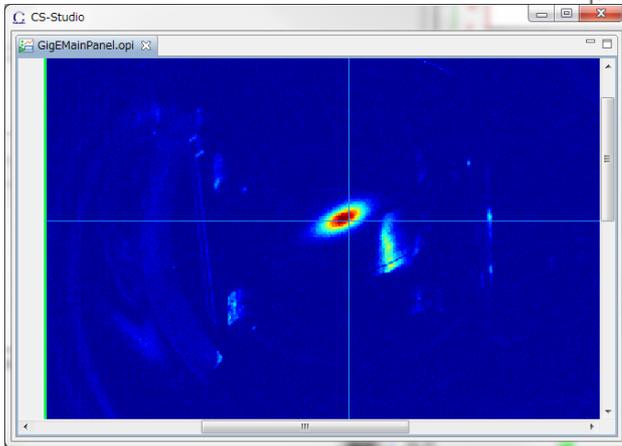
日時: 2015年 4月23日
16時35分

電子銃運転条件

加速電圧: 343.74 kV
ビーム電流: ~37 nA

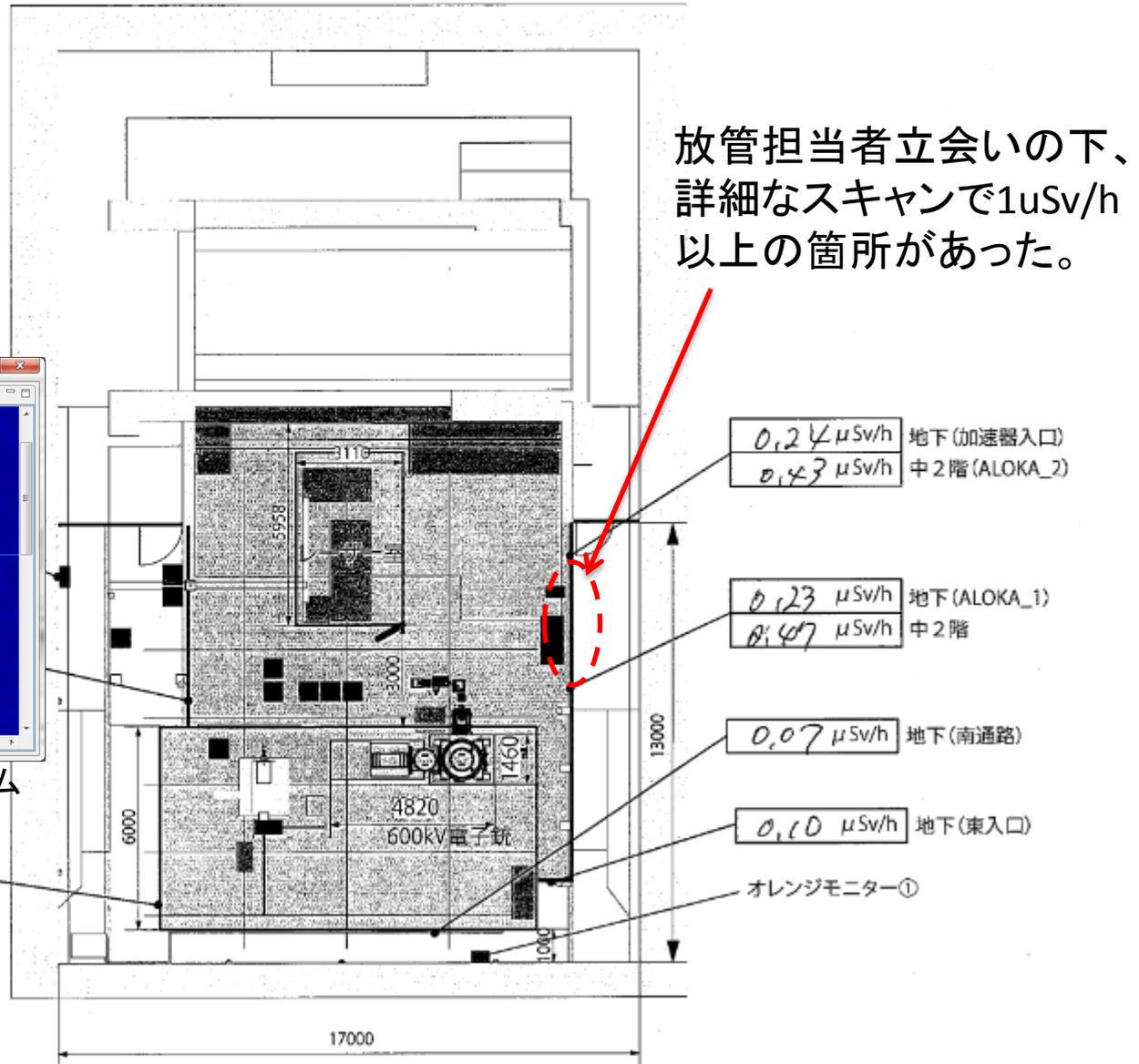
ビーム遮断位置: GunFC

その他特記事項:

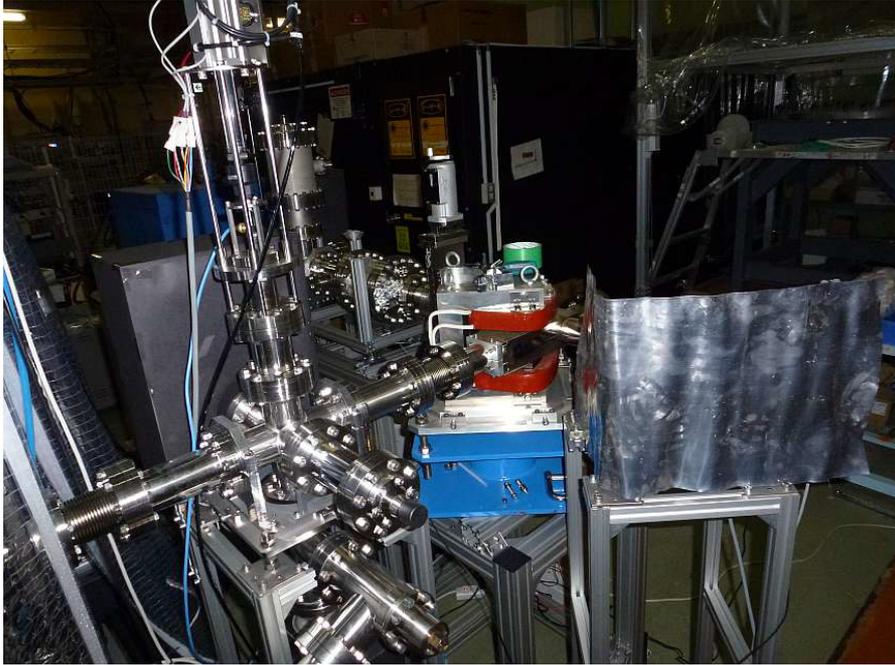


レーザー照射によって発生したビームの
プロファイル例

地下(南西入口) 0.09 $\mu\text{Sv/h}$

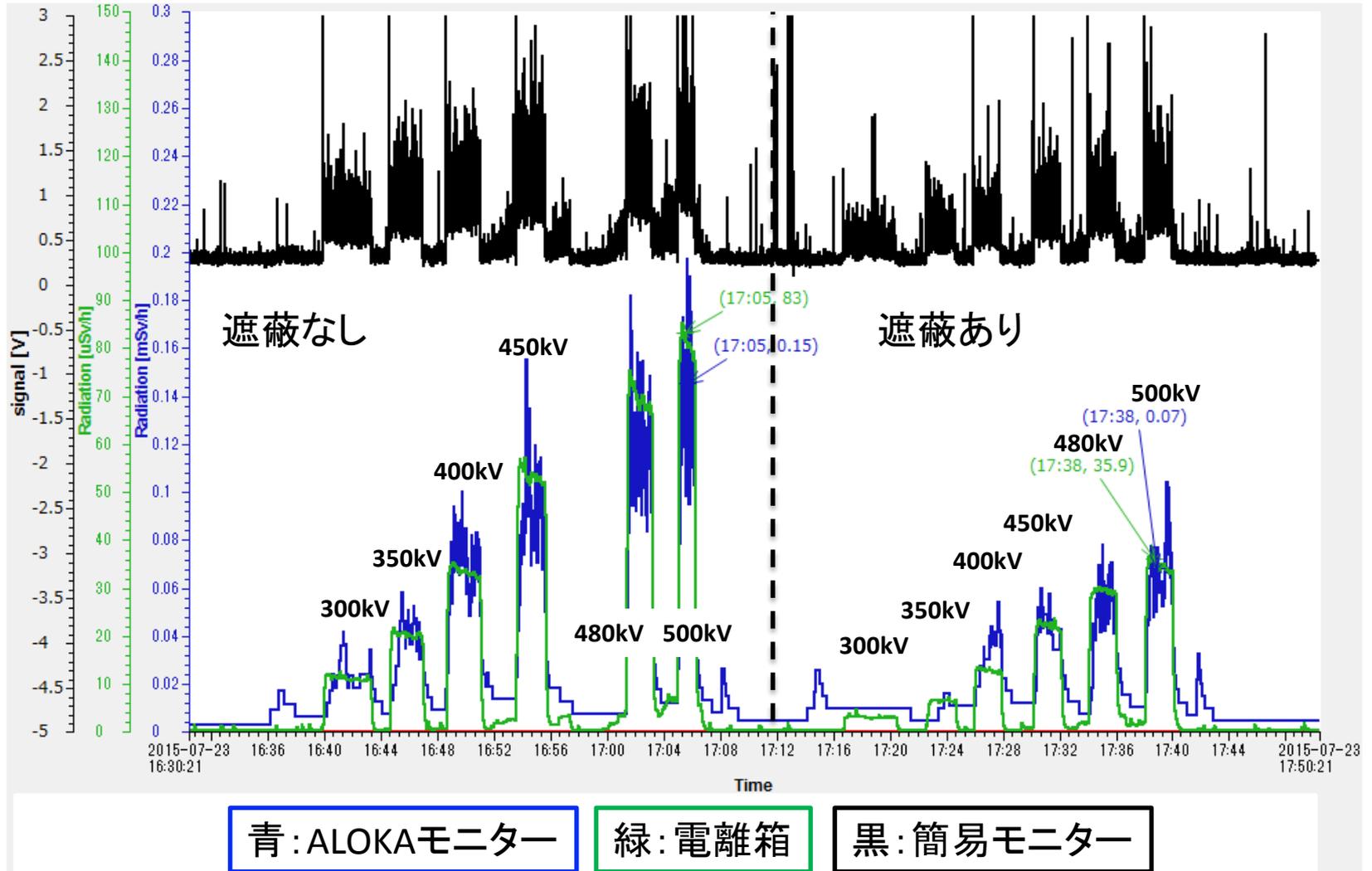


モニター周りの遮蔽(鉛板1mm)



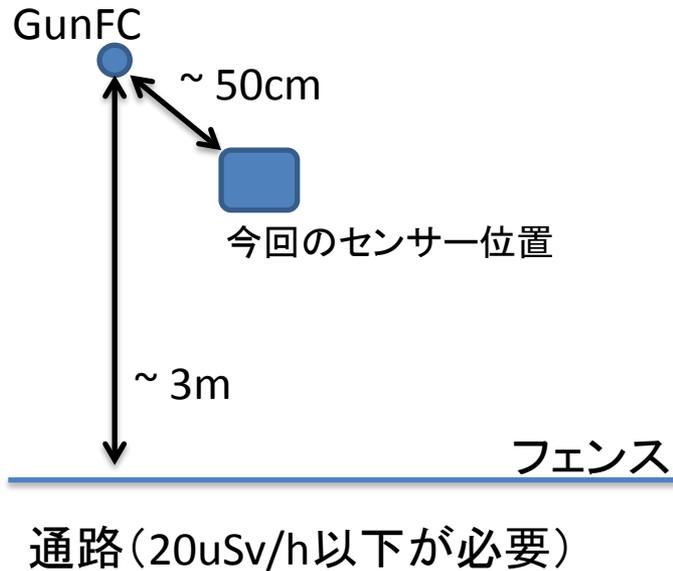
発生源から見てセンサー全体が1mm厚の鉛板で隠れるようにやや大きめの鉛板をL字状に架台の上に置く。

試験結果 (GunFC: 30nA)



ALOKA、電離箱共に1mm鉛遮蔽、500kVの条件で4割程度まで低減されることを確認した。

線量の見積りと対策



400 keVビーム40nA程度をGunFCで止めた時
フェンス部で1~2 uSv/hの放射線。

今回: 400 keV, 30nA, ~35uSv/h@50cm
→ ~1 uSv/h @フェンス部

測定結果に矛盾無し。

100 uA, 500 keVビームのロスが発生した場合でも
フェンス部で20 uSv/h以下を保証するためには、

今回: 500 keV, 30nA, ~83uSv/h@50cm

電流3000倍で~100uSv/h以下@50cmまで抑制
多少の余裕を考慮し、 10^{-4} 程度の遮蔽で安全か？

鉛1mm厚で線量は約0.4倍@500keV

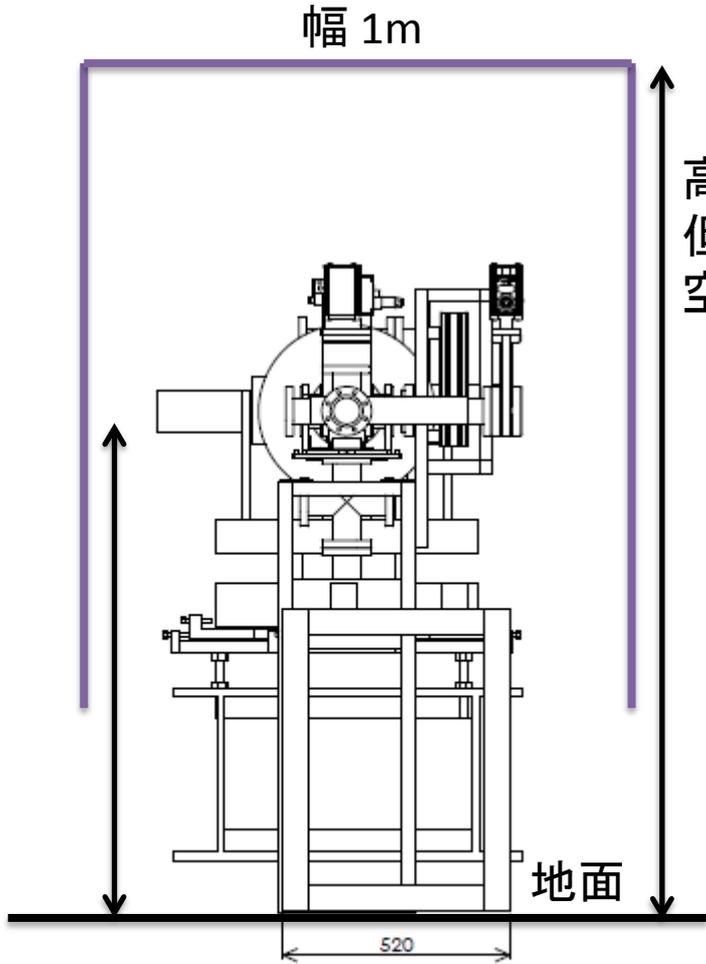
10mmあれば約 10^{-4} 倍まで低減できるはず。。。

$$(0.4)^{10} \sim 1 \times 10^{-4}$$

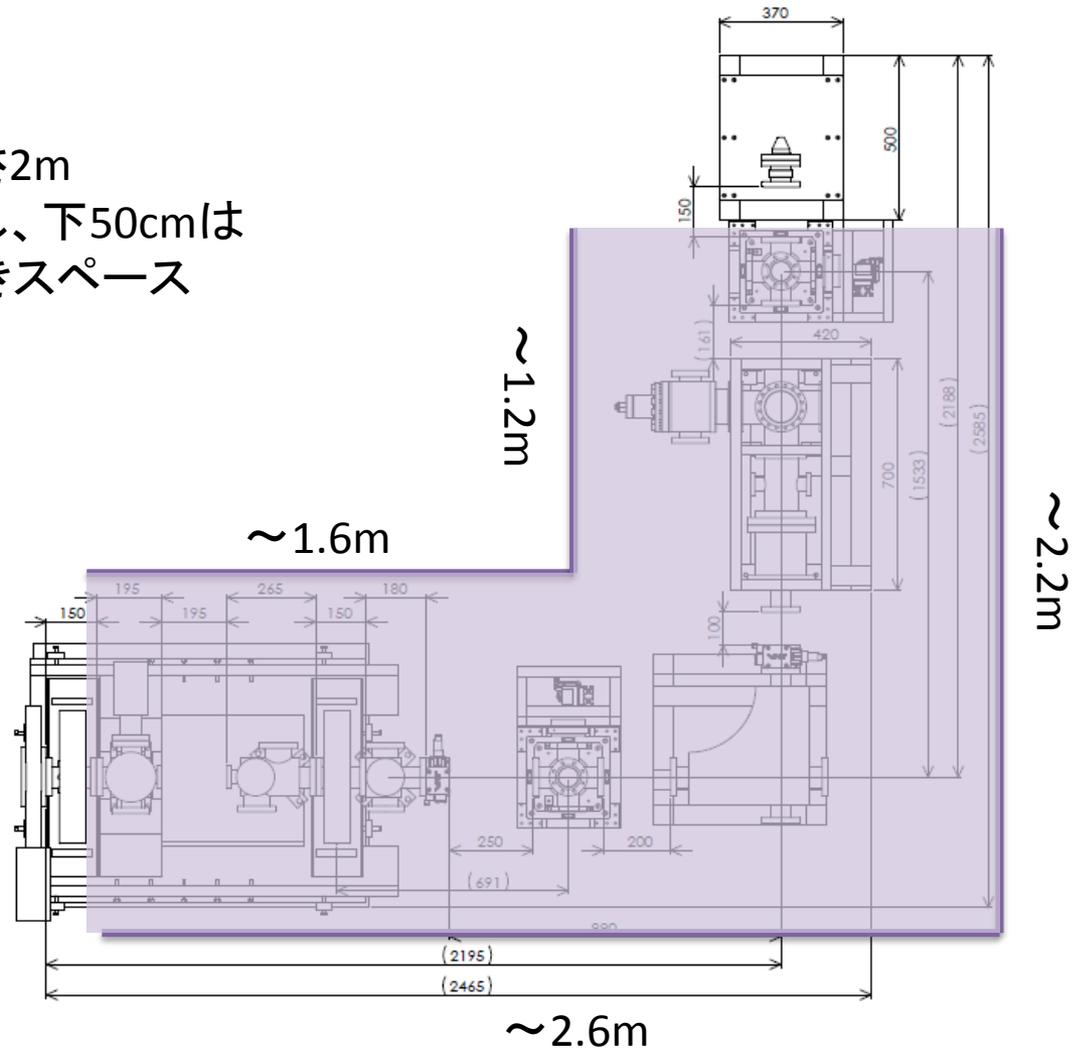


装置から50cm程度の周囲(側面と上面)を
厚さ10mmの鉛板で覆うべし。

遮蔽体素案



ビームライン
高さ1.2m



鉛板: 20cm x 50cm x t1cm 11.3kg

総数: 152枚、総重量1717kg