

# 第85回ERL検討会

2014年8月21日(木) 14:00～

報告:山本将博

## 第二電子銃報告

### 前回報告(2014/3/12)からの進捗

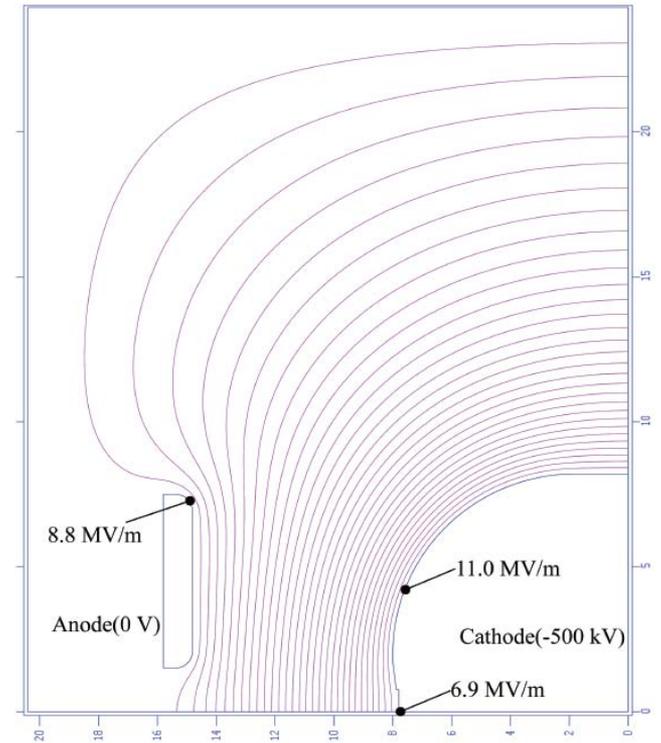
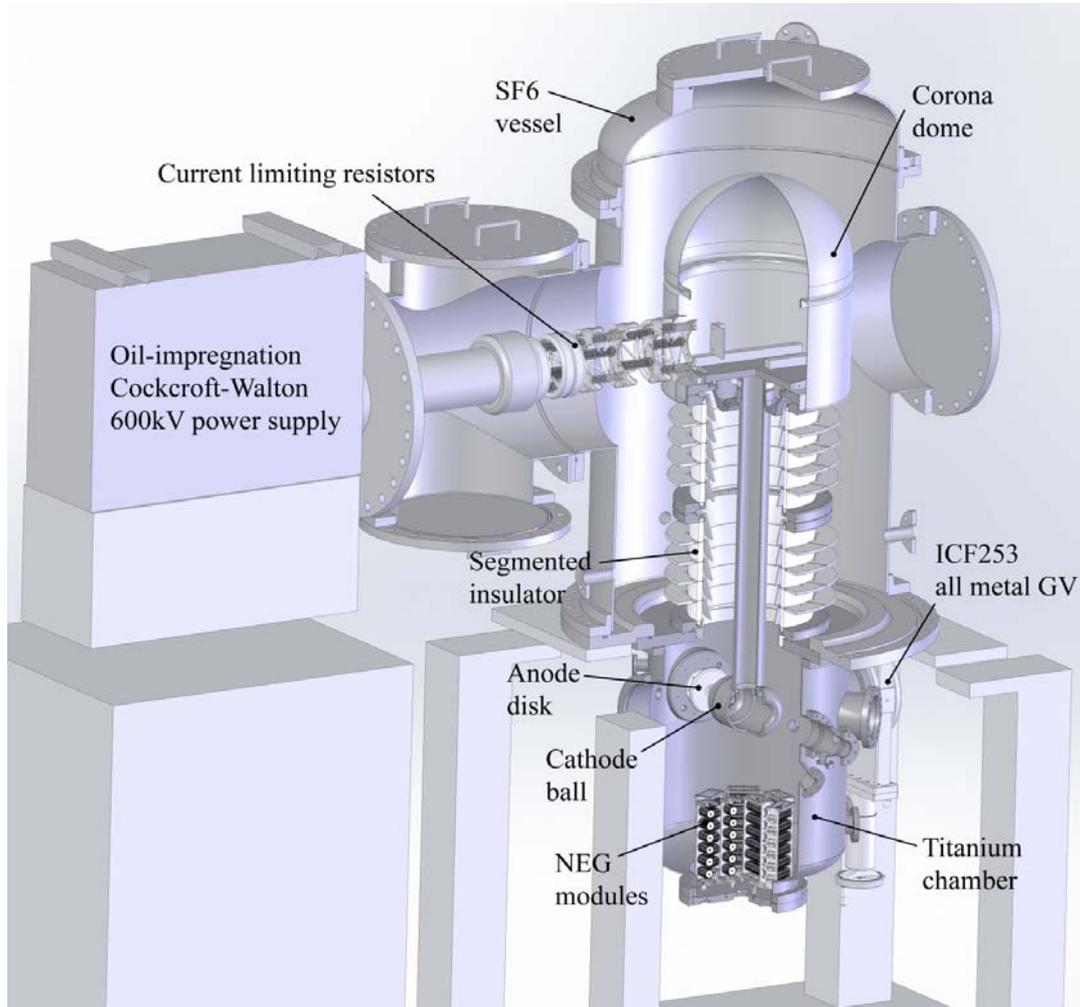
1. 極高真空生成試験(3/18-4/30)
2. 高電圧aging②、暗電流問題(5/13-6/5)
3. 暗電流問題の対処、再立上げ(6/6-7/1)
4. 高電圧aging③、SF6漏れと対処(7/2-7/9)
5. 加速電圧500kV保持試験(7/10-7/24)
6. 考察、今後の予定

今回の報告の主な内容は加速器学会にて報告済み。(SAP036)

KEK: 内山、山本<sub>(将)</sub>、宮島、本田<sub>(洋)</sub>、金

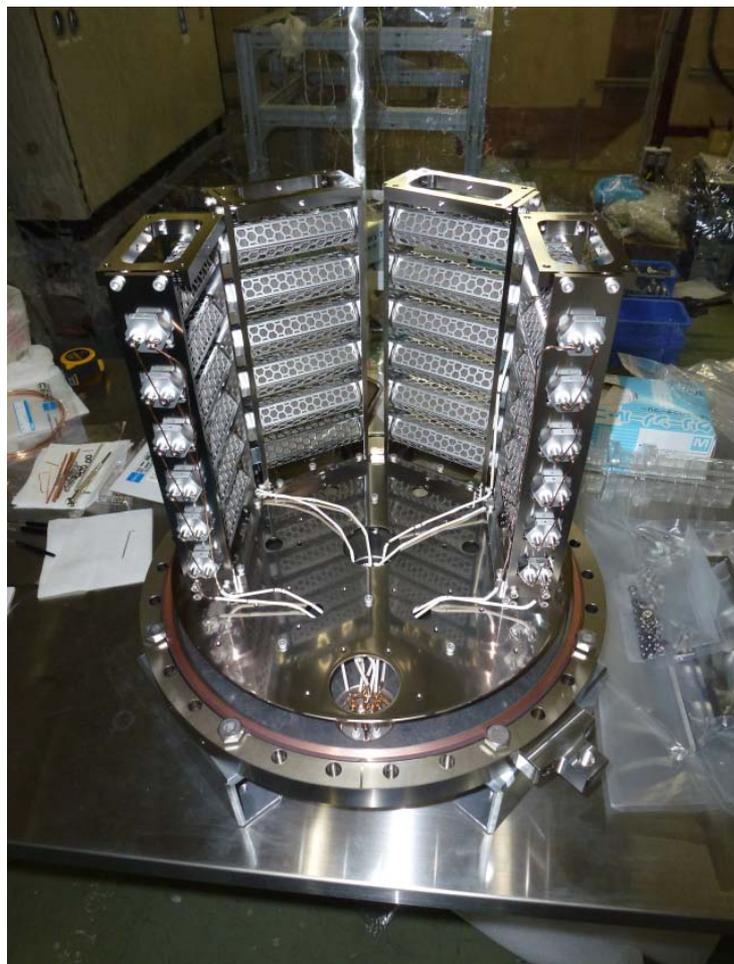
協力:三菱SS 飯島氏

# 第二電子銃の構造



アノード-カソード間は70mm

## 主排気系の設置(2014/Feb)

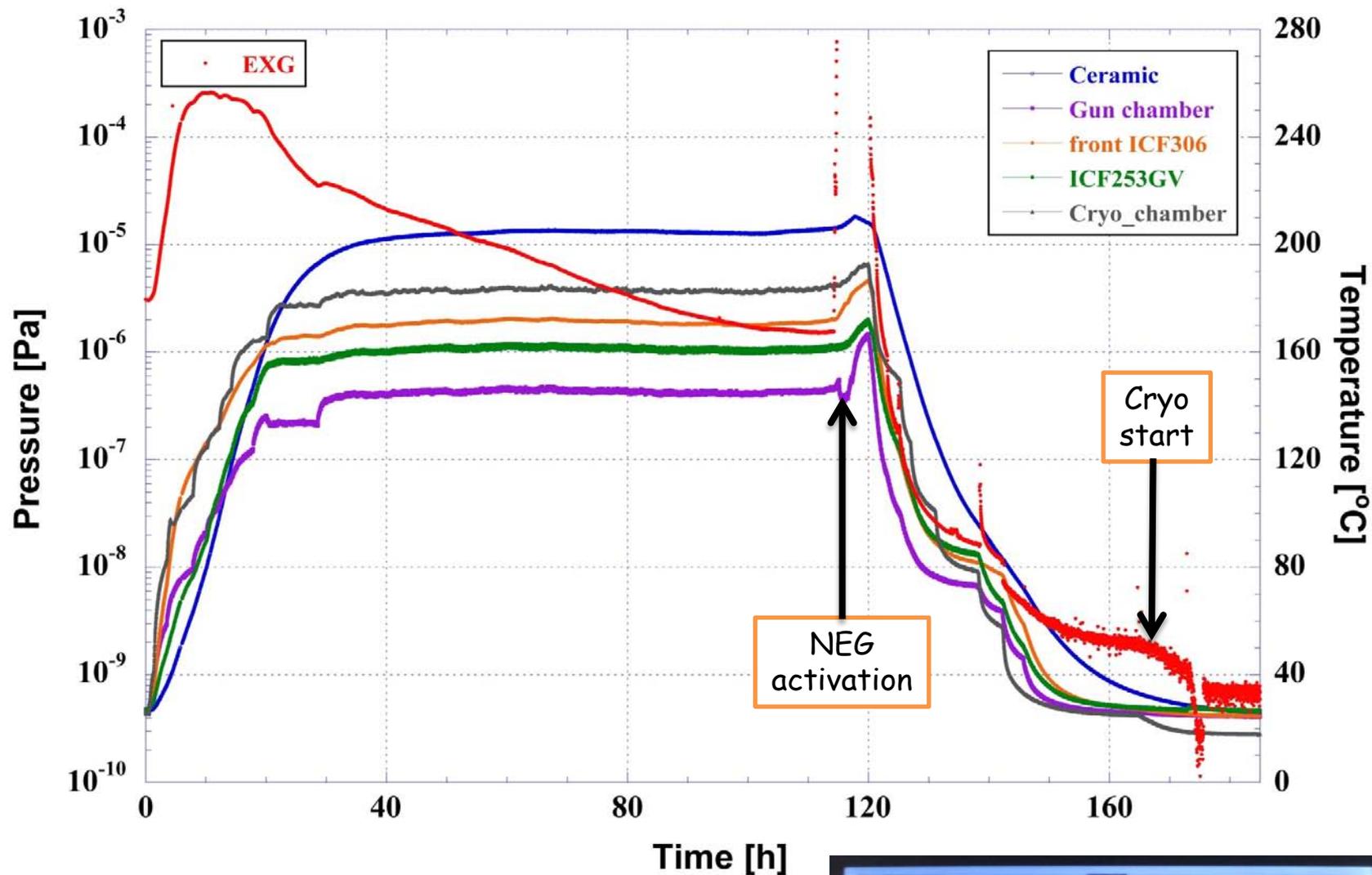


NEG:  $400 \text{ L/s (H}_2) \times 24 = 9600 \text{ L/s}$   
(catalog value)

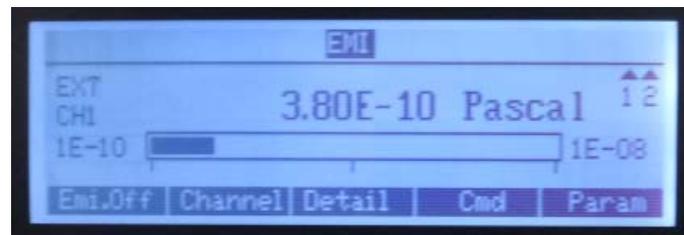


4K bakable cryopump  
 $\sim 800 \text{ L/s (Ar)}$ ,  $\sim 1000 \text{ L/s (N}_2)$ ,  $\sim 1200 \text{ L/s (CH}_4)$   
(measured values@ $1 \times 10^{-9} \text{ Pa}$ )

# 1<sup>st</sup> Beking (3/18-3/25)



クライオ起動状態でNEGを再活性化(4/18-4/24)  
到達圧力 約 $4 \times 10^{-10}$  Pa



## エージング②

極高真空状態で行う初めてのエージング。

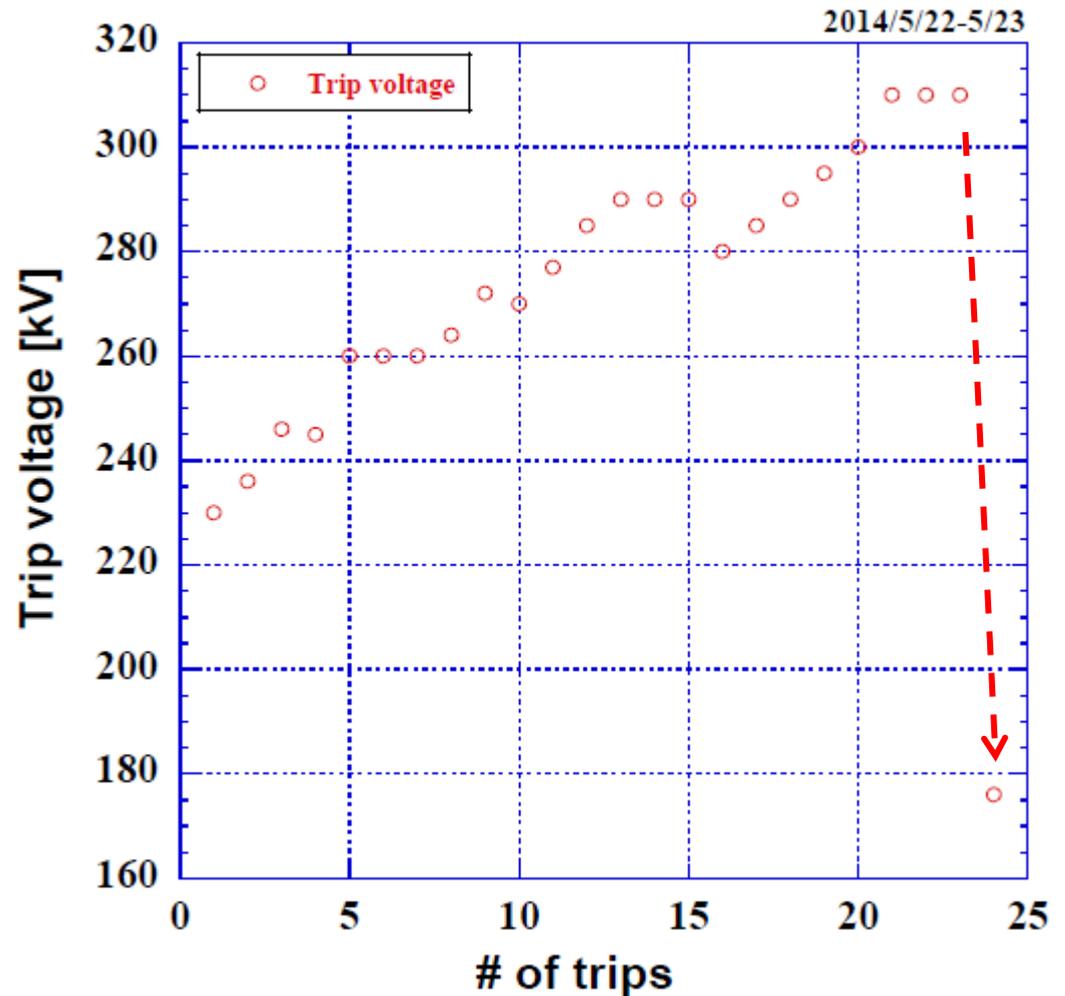
- ・230kVで最初の放電が発生。
- ・310kVまでエージングが進む。

放電後、真空が跳ねるが $1\text{E-}7$  Paを超える事はほとんど無く、数分で $\text{E-}10$  Pa台まで回復する。

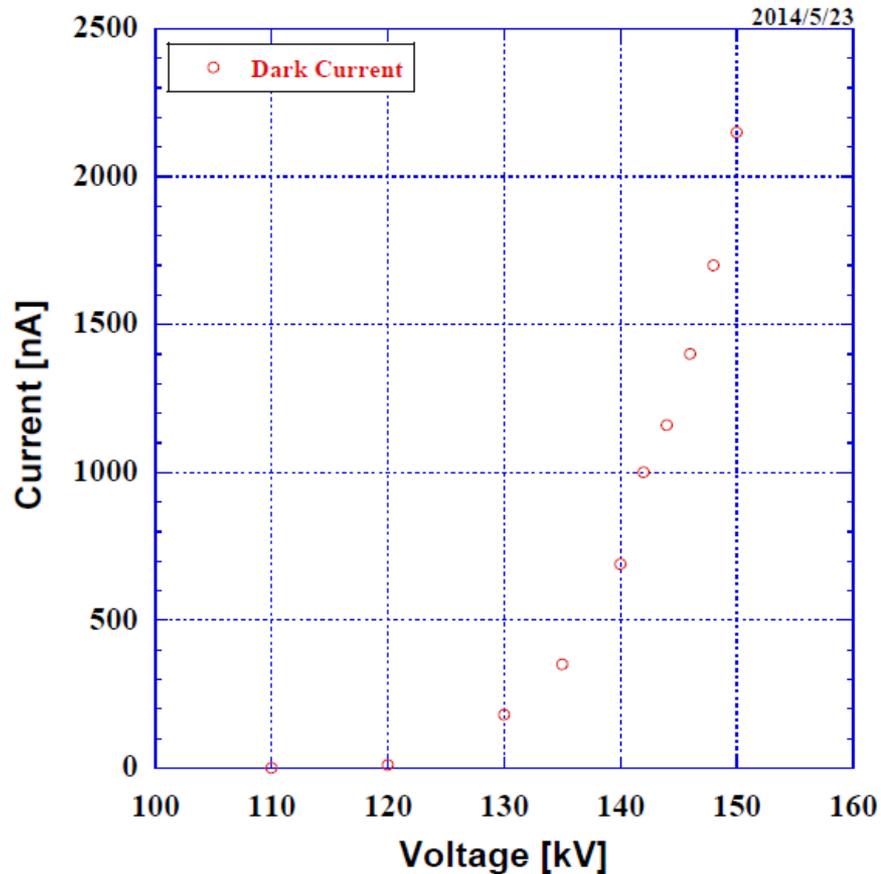
- ・23回目の放電  
電源側の過電流I/Lが作動  
EXGコントローラーも停止。
- ・24回目の放電  
昇圧中176kVでCC異常  
(負荷電流上限 $20\mu\text{A}$ 状態1秒)で停止。

その後

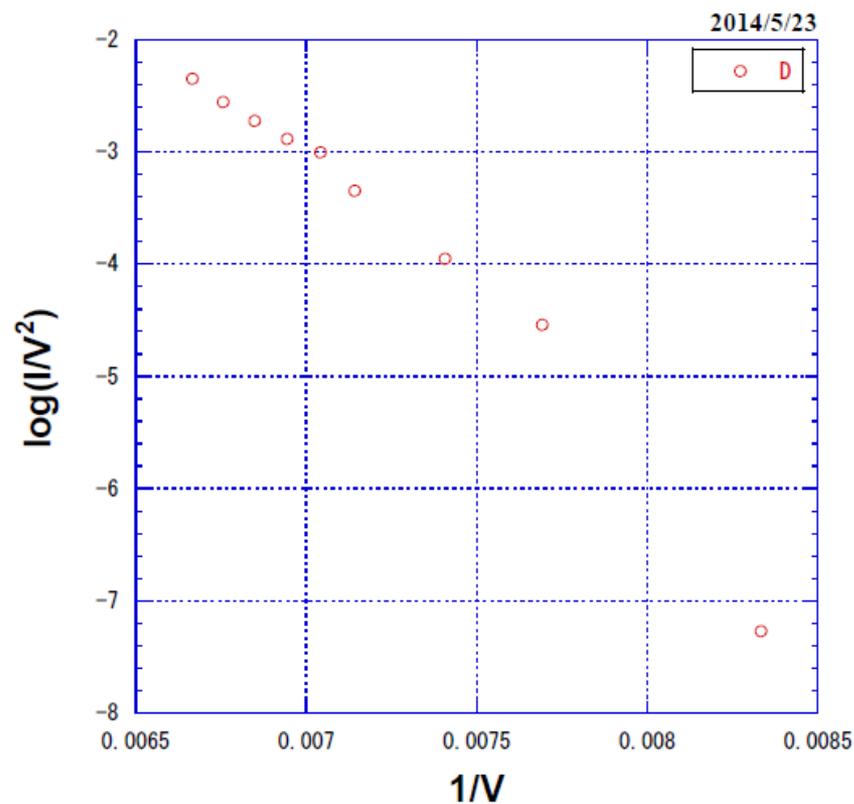
百数十kVで暗電流、放射線を検出。  
エージングで回復見込めず。



## 暗電流の発生状況

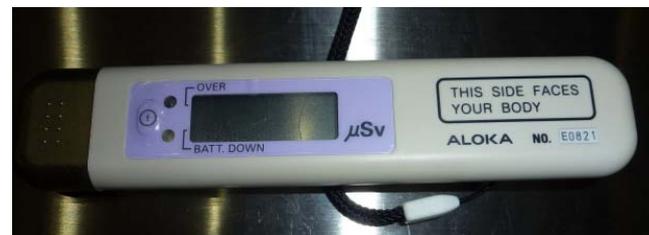


## FN plot

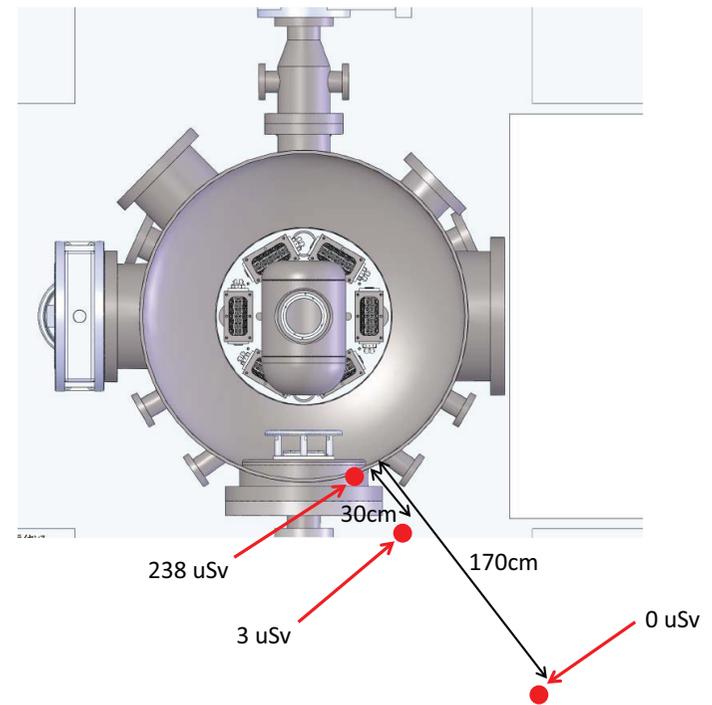
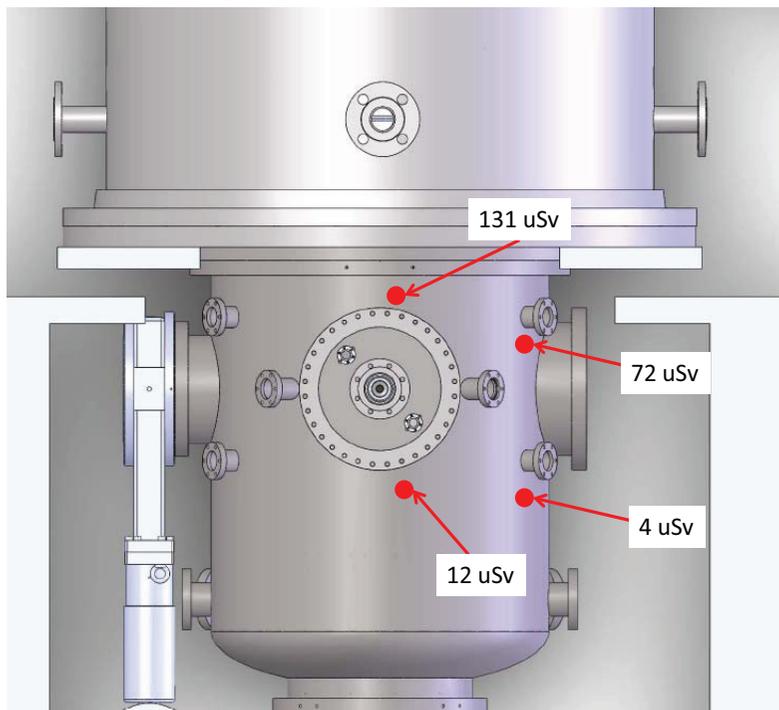
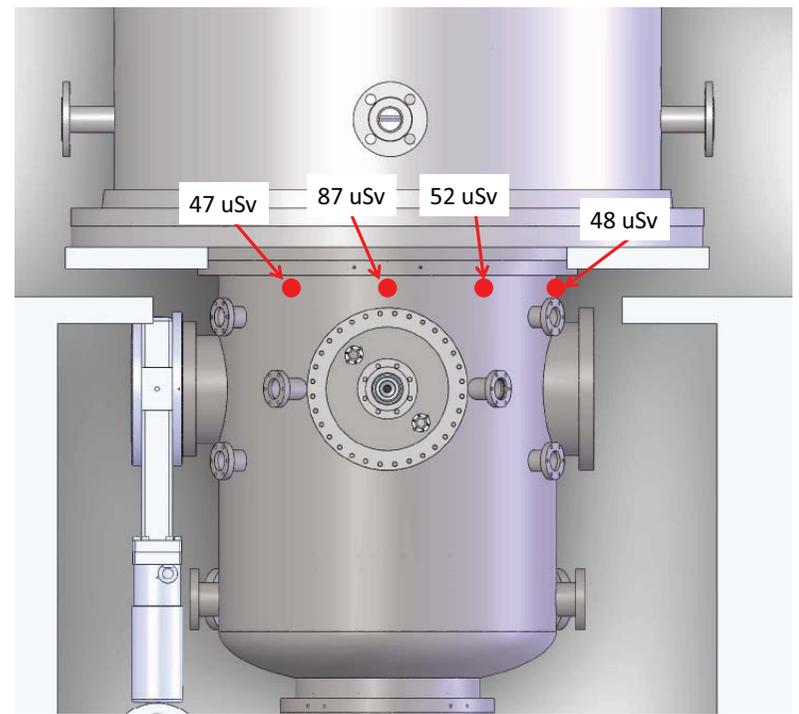
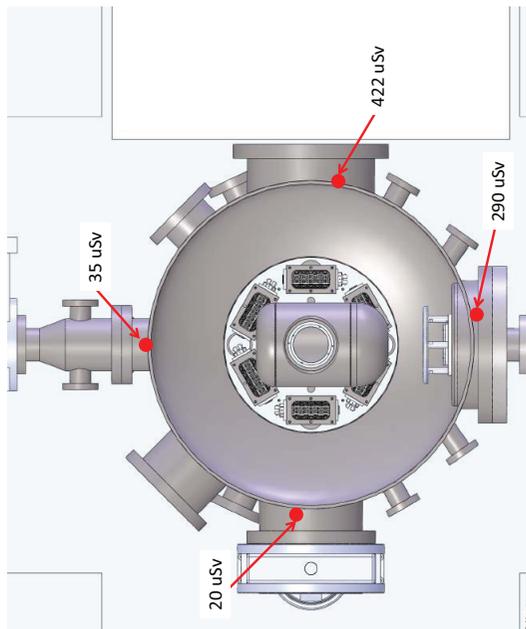


カソード電極表面のどこかにエミッターが発生。

複数のポケット線量計でおよその場所の特定を試みる。

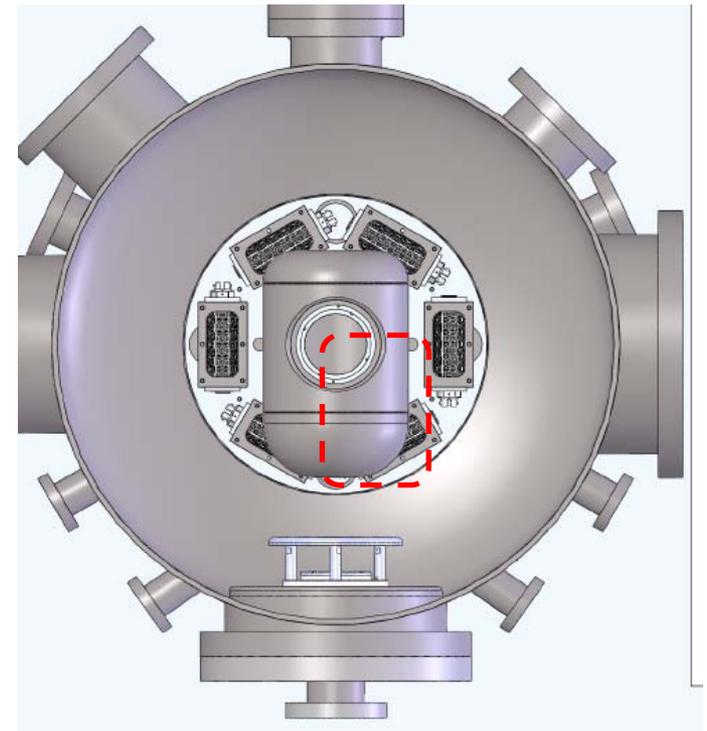
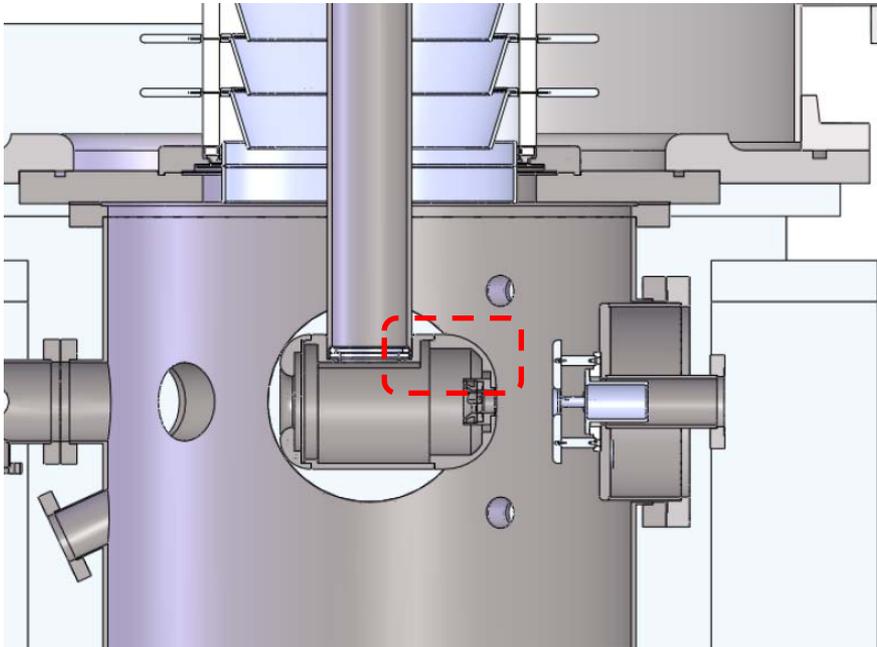


ALOKAポケット線量計 (PDM-127)



## 暗電流発生源調査のまとめ

- ✓ 正面から前方斜め左(ゲージポート側)で放射線が強い。
- ✓ ビーム軸高さよりも上側で放射線が強い。
- 下図の赤枠あたりに電界放出サイトがありそうである。
- ✓ chamber表面で放射線は強いが、数十cm離れると線量は1/100程度に低下する。
- ✓ 20 keV以下のX線も多い。(電離箱で数uSv時、ポケット線量計で1uSv)



# カソード電極の取出し

- ・ 窒素パージ後、カソード電極を取出し  
表面を観察

- 電極FE源付近に付着物を確認  
FE発生箇所と想定していた場所  
イオンガンで軽く吹き付けるだけで除去

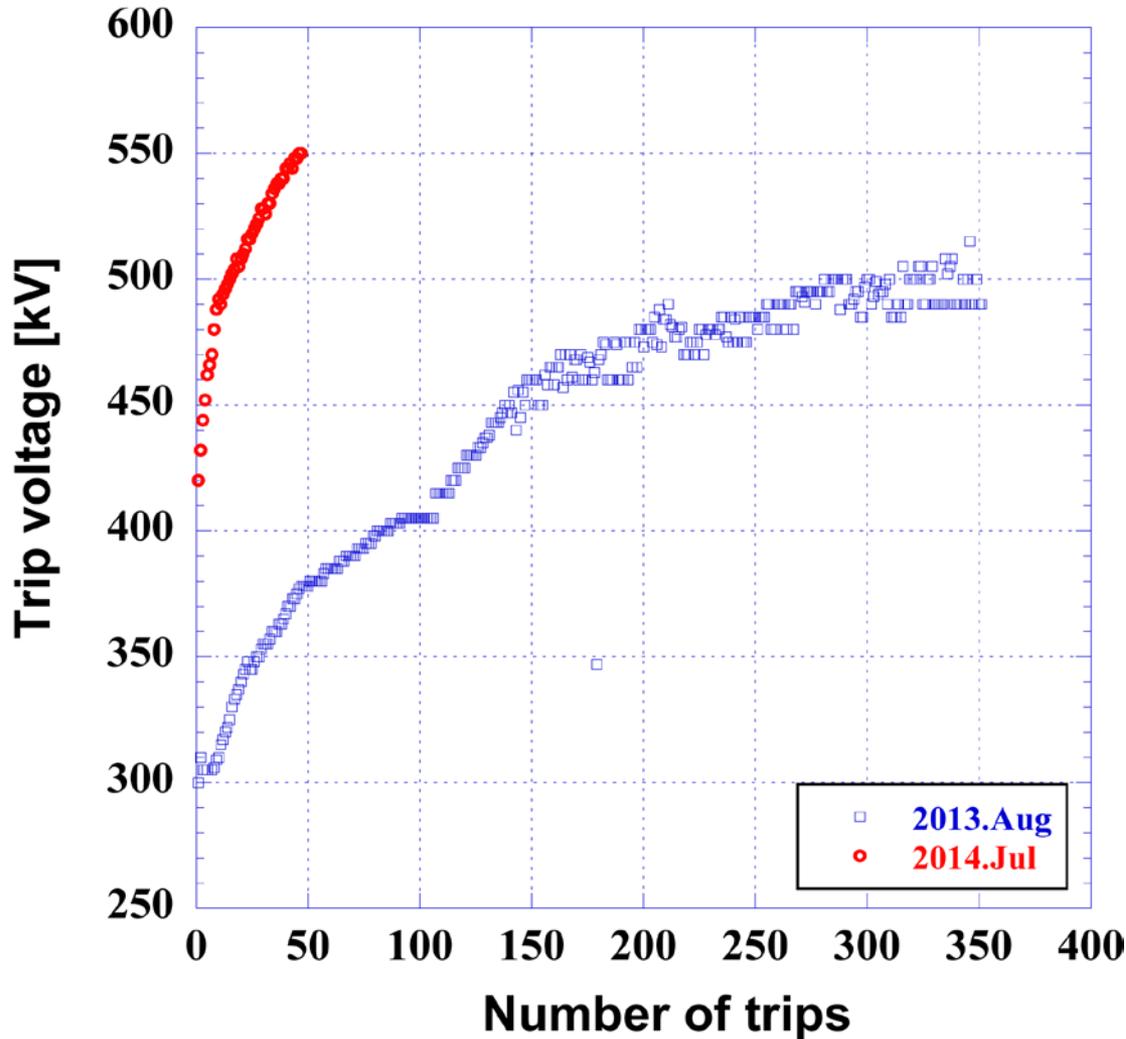
- 電極の拭き取り  
リントフリーベンコットで拭き取るのみ。  
最初はエタノール付き、最後に乾拭き。

- 電極位置調整  
リントフリーベンコットで拭き取るのみ。

電極再設置後、1週間のベーキングで  
真空再立上げ(6/23-7/1)



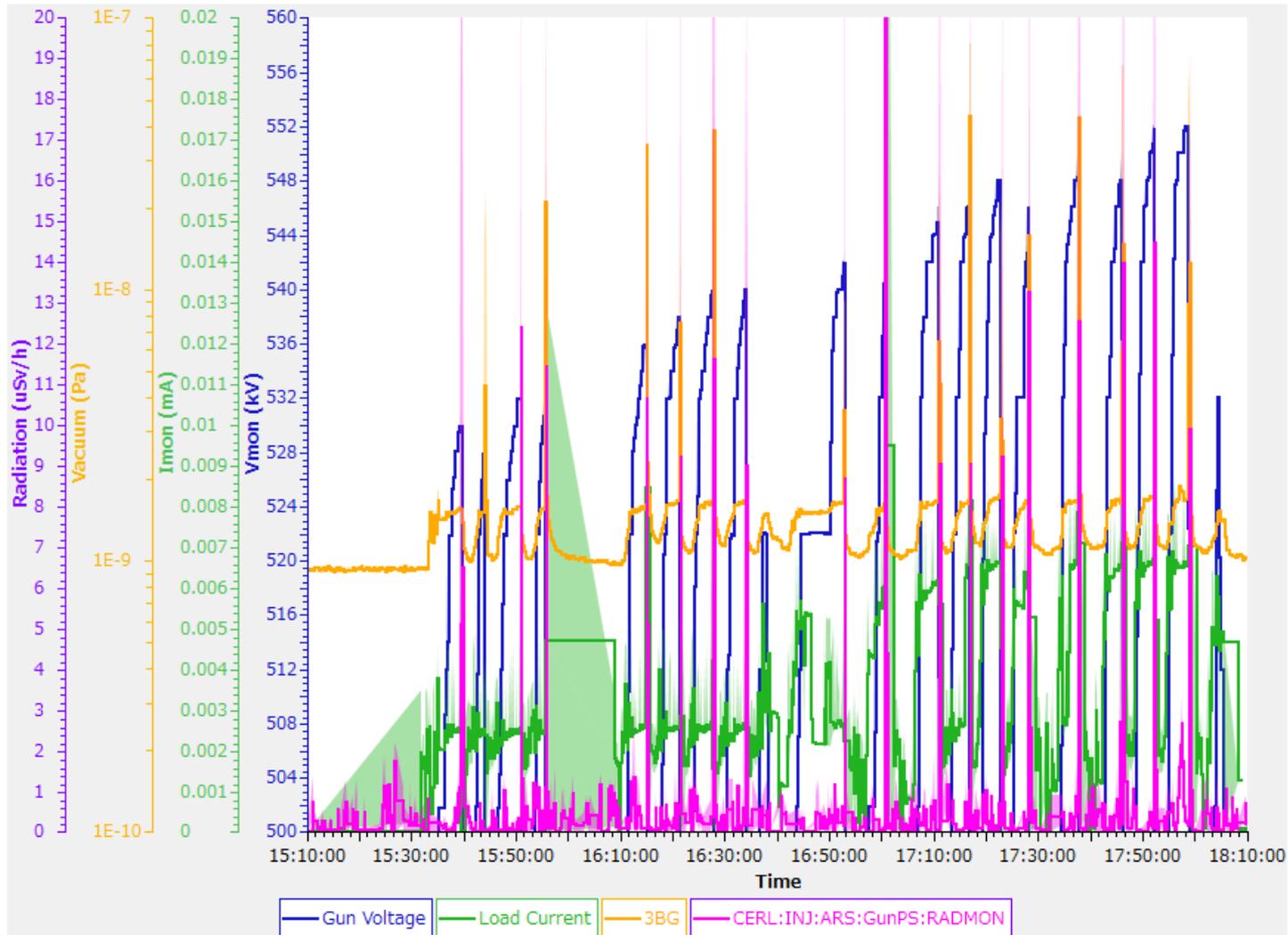
# エージング③



- ・放電回数46回目で550kVに到達。
- ・エージング時間は約8時間。
- ・今回なぜ順調にエージングが進んだ理由はまだ理解できていない。

まだ改善の余地あるが、HV電源故障のリスクがあるため、一旦ここで500kV保持試験に移る。

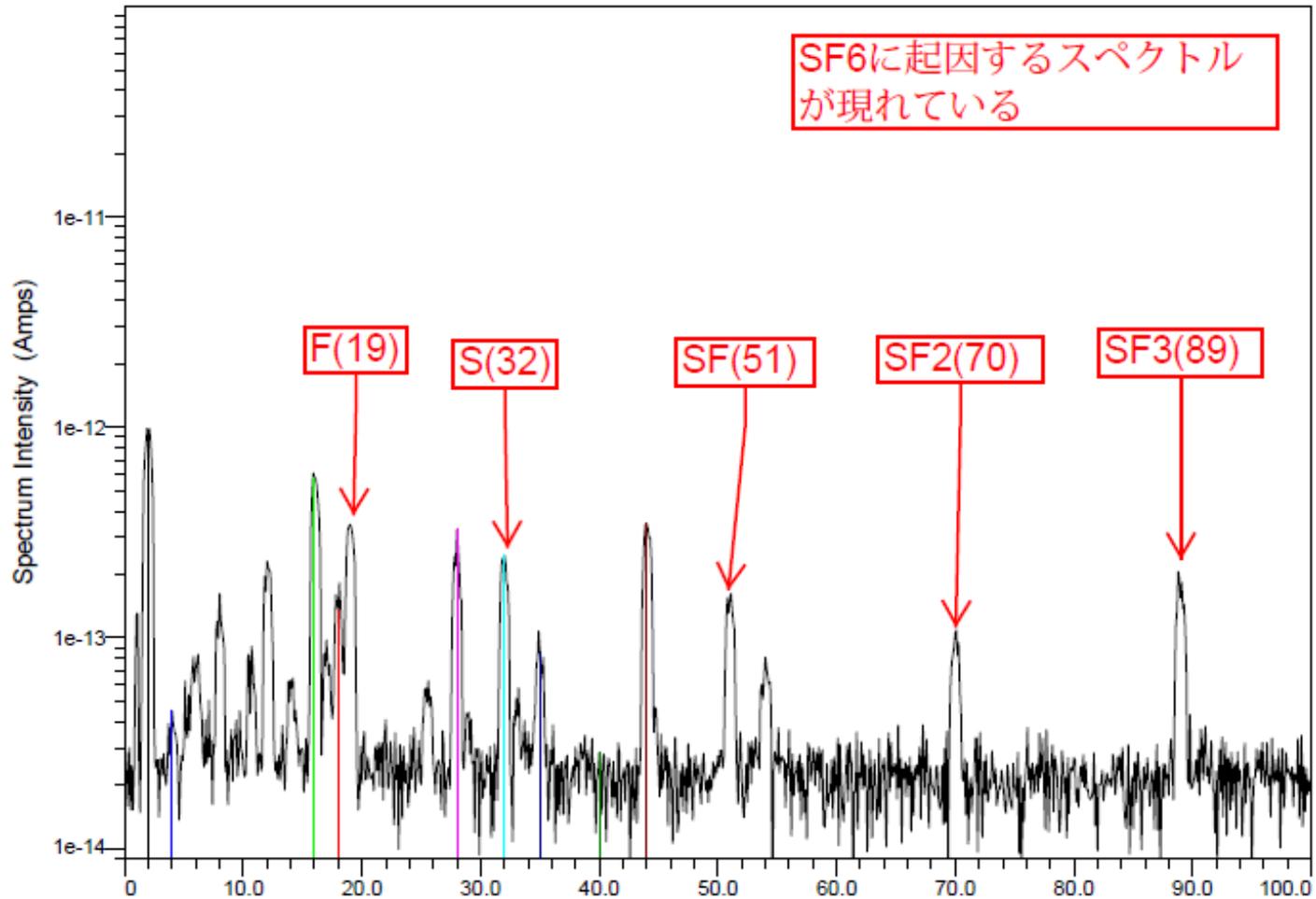
# エージング③



緑線が暗電流。HVが定常的に印加されている時に数 $\mu$ A流れているが、放射線は放電の時のみ出ている。

→ SF6圧力容器内でのコロナ放電か。HV接続部のクリーニングを試みる。

# SF6漏れ



- ・SF6回収、再充填の工程の間でSF6リークが発生。
- ・セラミック管下段と電子銃chamber間のフランジ接続部より $6E-10$  Pa  $m^3/s$ のリーク。

円周状のこの領域でセラミック管重量および差圧で発生する力（3気圧差で約6トン相当）がかかる。

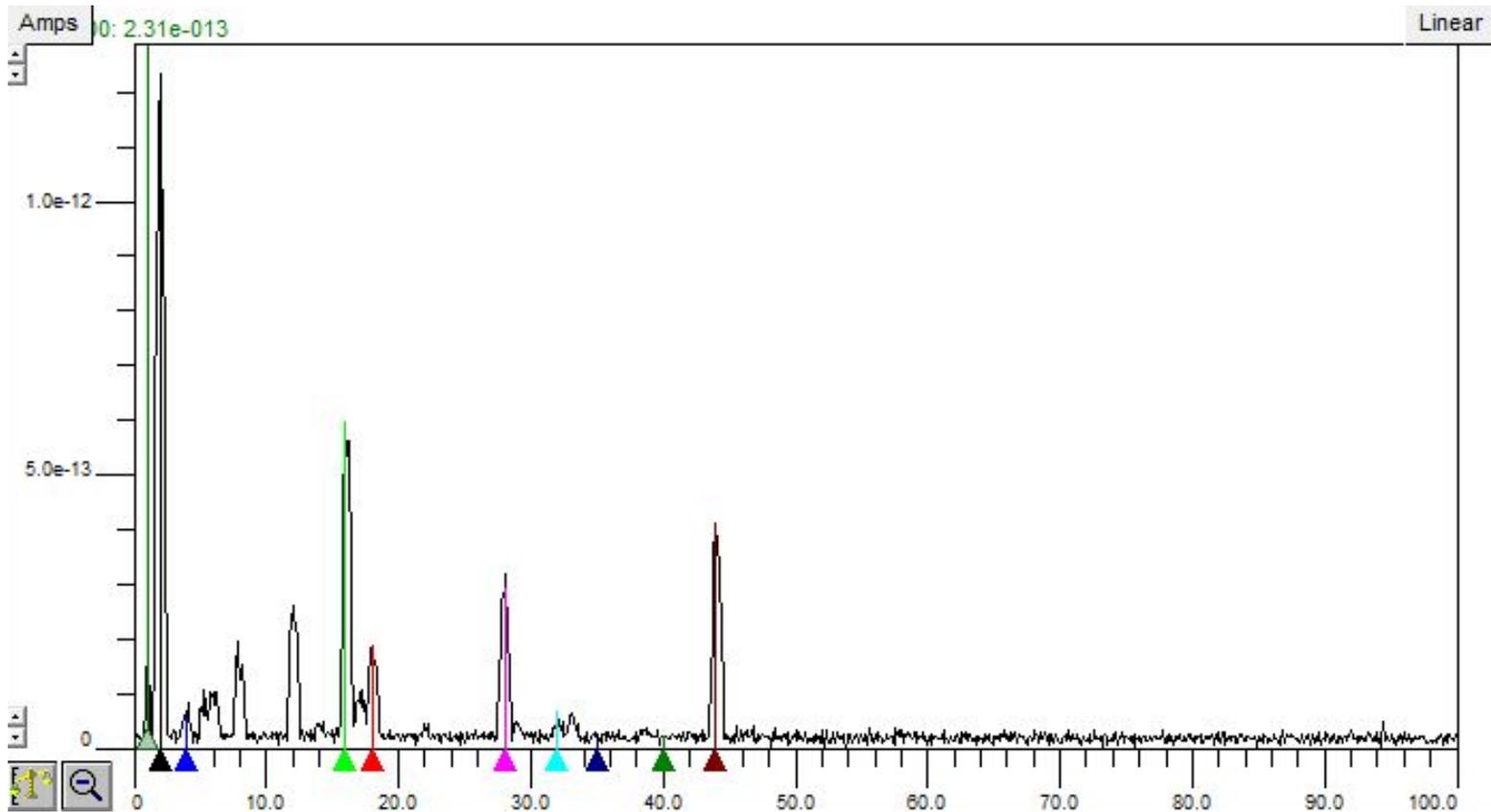
今回リークを起こした箇所  
シール材はUタイトシール

JIS-3種相当純チタン  
ミルシートより  
耐力：401 N/mm<sup>2</sup>  
引張強さ：512 N/mm<sup>2</sup>  
硬さ(HB)：194

フランジサイズ  
ID： 400mm  
OD： 840mm  
厚さ： 40mm

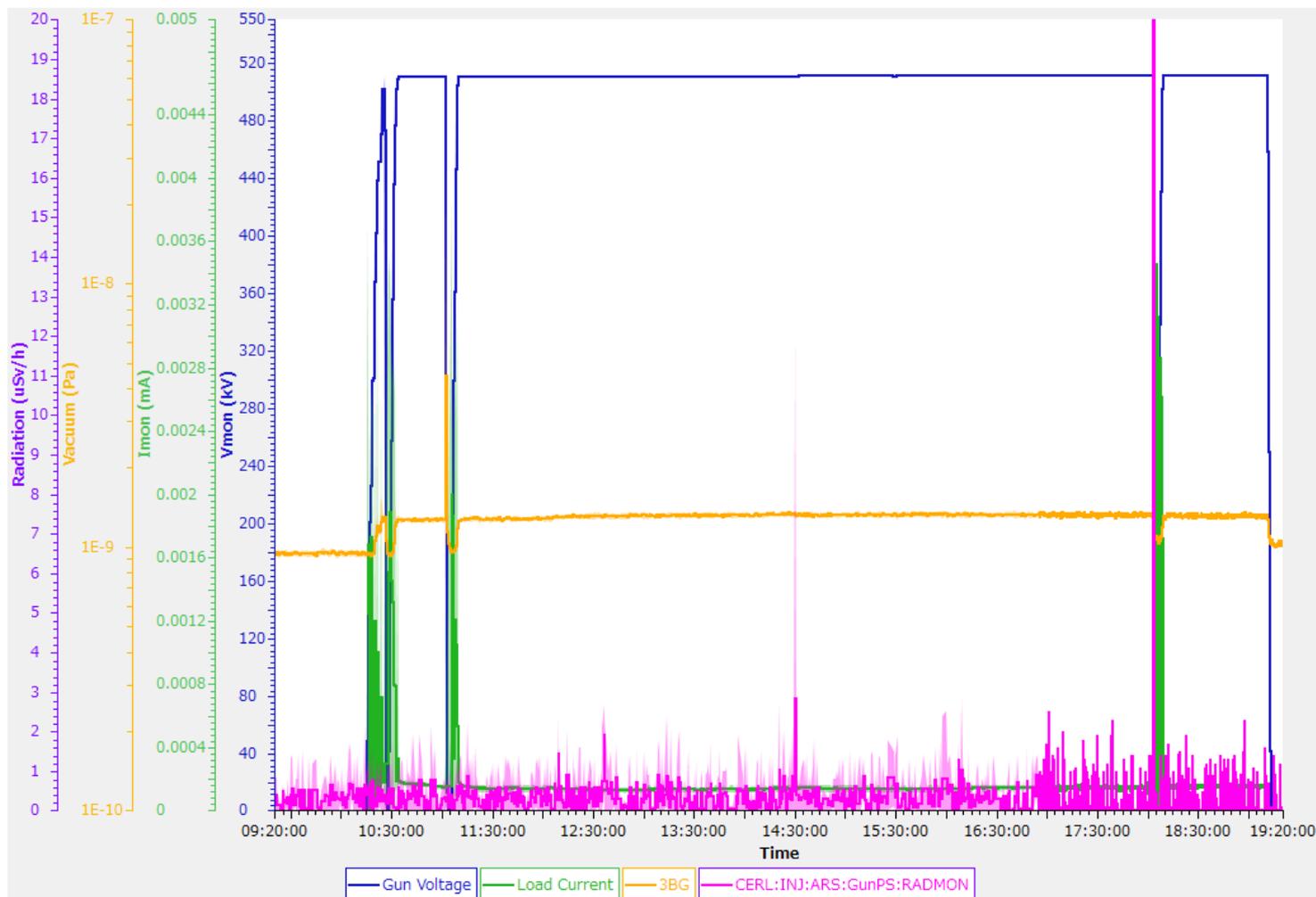


# SF6漏れ対処



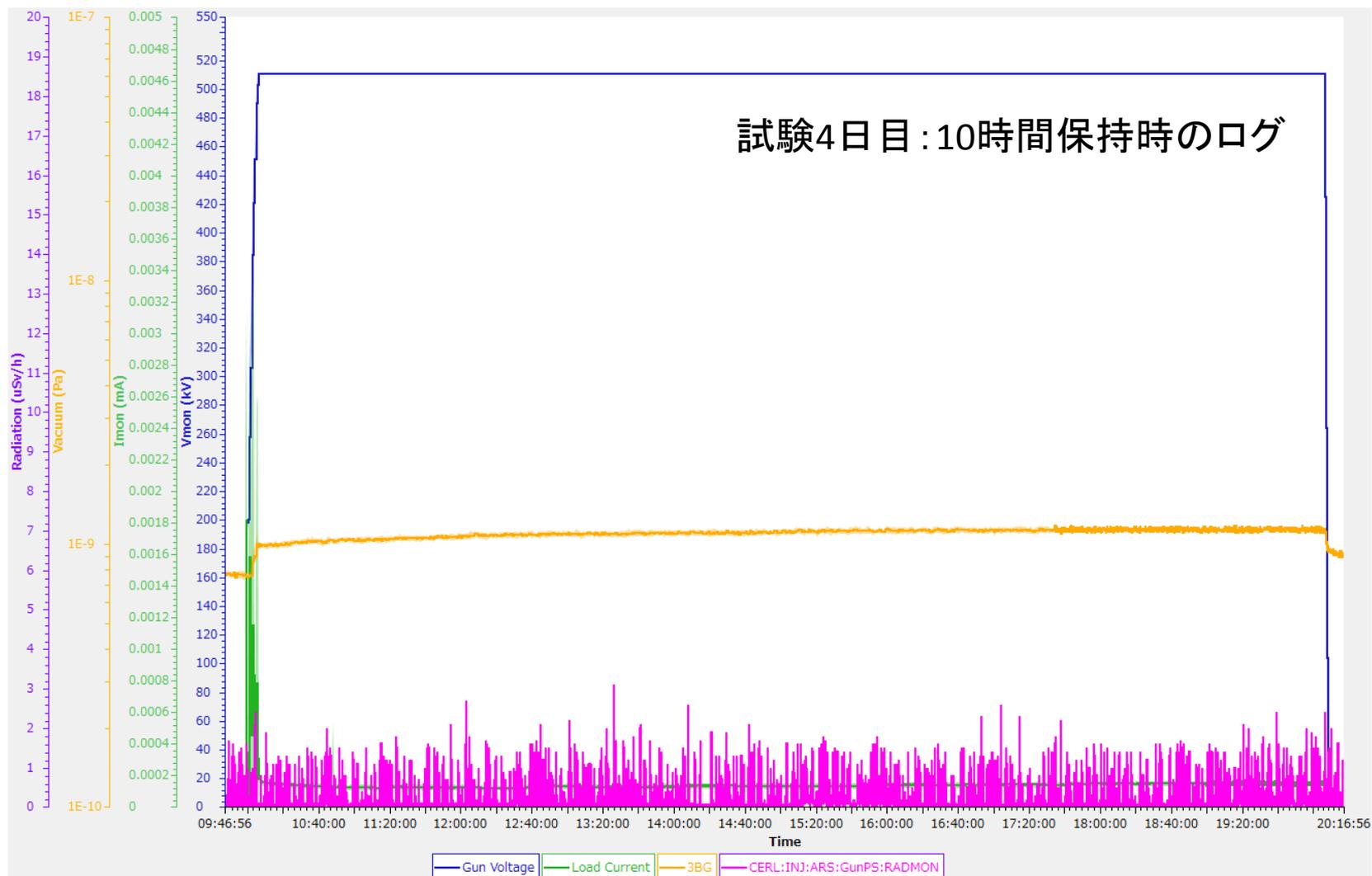
- ・リーク箇所のフランジのボルトは元々60 Nmのトルクで締め付け。
- ・70 Nmのトルクで増し締めでリークが無くなる。
- ・SF6充填(+0.2MPa)後、RGAスペクトルも問題なし。
- ・SF6容器内のコロナ放電も収まった。

# 加速電圧500kV保持試験 初日



- ・最初の起動時にI/Lが2度働く。(電極間放電ではない。)
- ・電源出力510.3kV時に加速電圧500kVとなる。
- ・定常状態7時間後に放電によるI/L動作。途中でも1度RADMONが跳ねている。

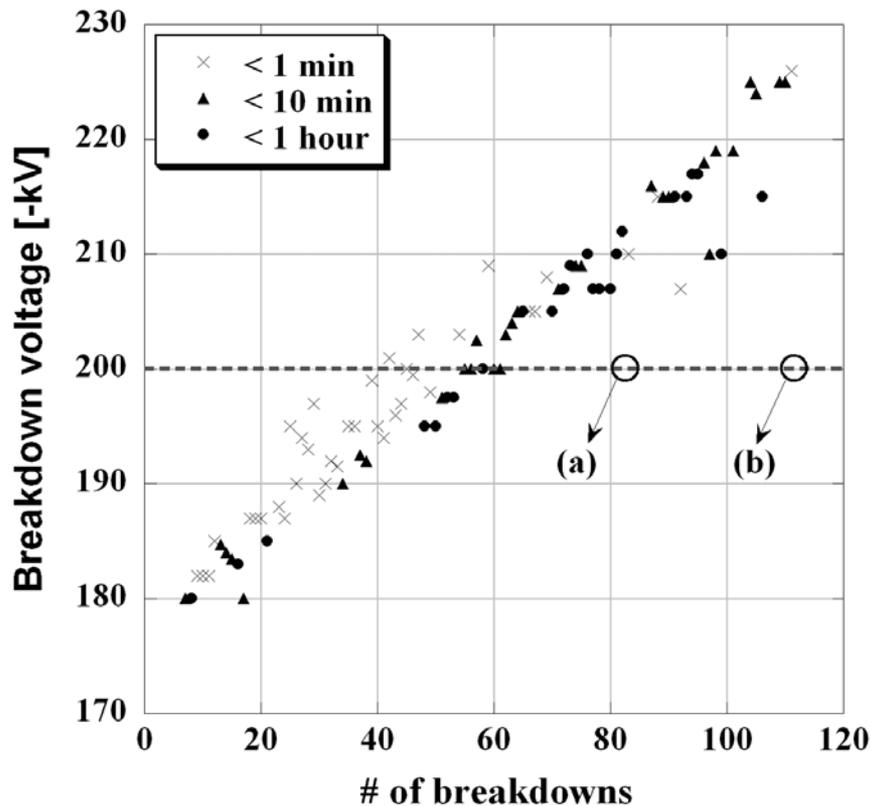
# 加速電圧500kV保持試験



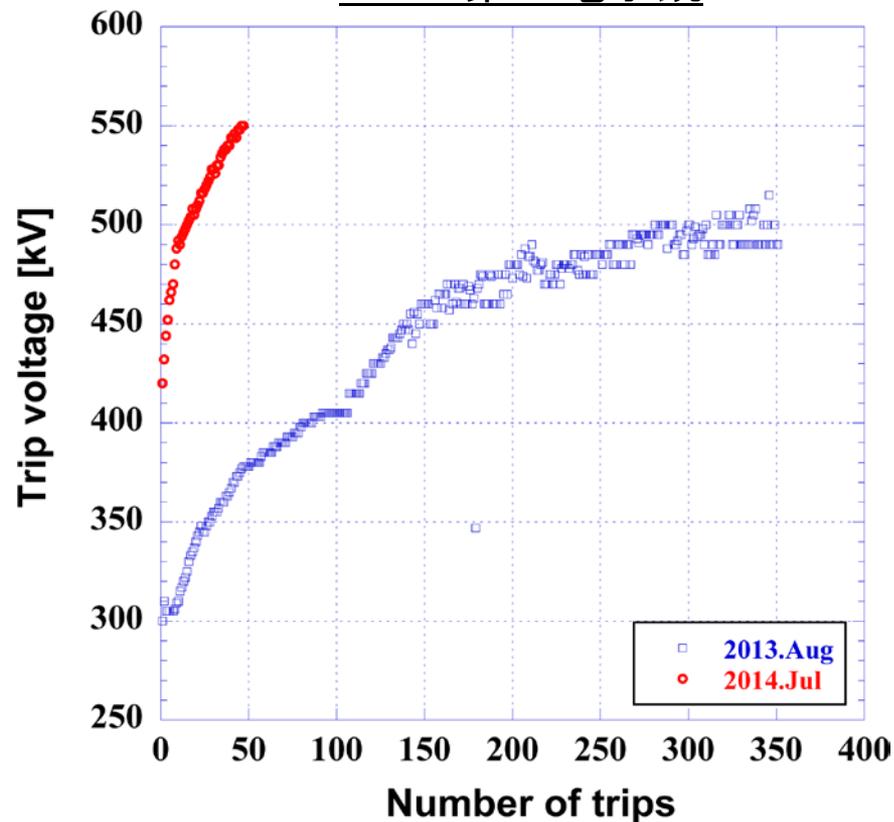
- ・初日の放電後、延べ50時間I/L動作無しで安定した高電圧印加ができた。

# 高電圧エージング考察

## 200kV偏極電子銃



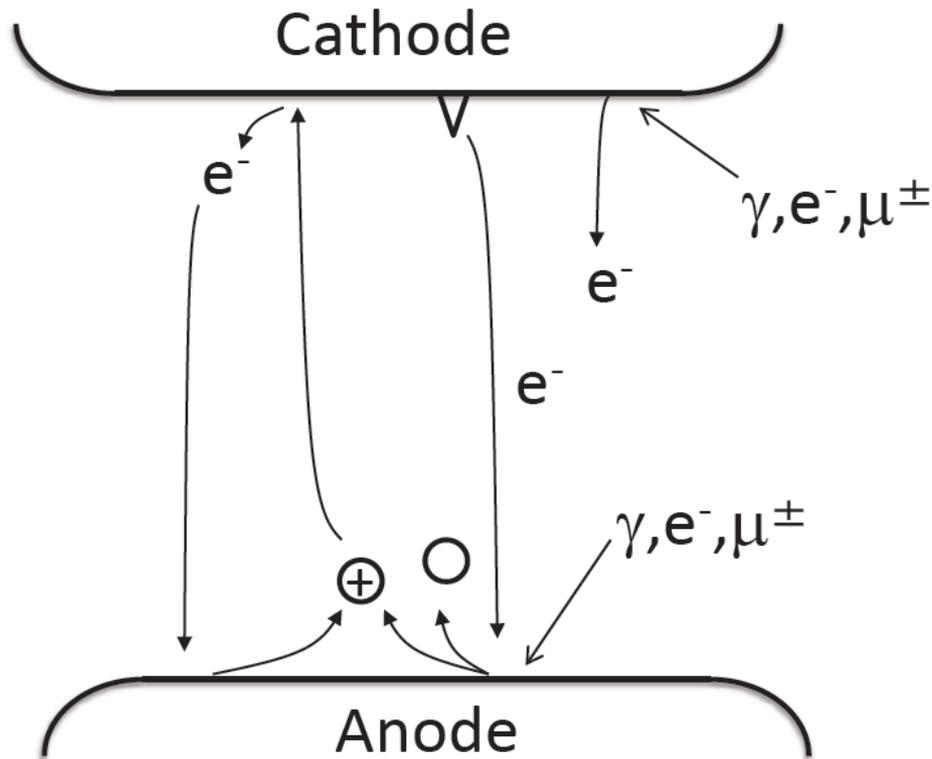
## 500kV第二電子銃



経験的にチタン電極、モリブデン電極に限られているが、エージングの特徴的な傾向として

1. 初期の電界放出暗電流がほとんど流れていない。
2. 放電は一瞬発生して終わる。
3. 放電電圧の上昇は連続的。

# 高電圧エージング考察



$E=500\text{keV}$ ,  $L=10\text{cm}$ の平板電極の場合、ギャップ間の移動時間は電子で $0.5\text{ns}$ 程度、陽子は $20\text{ns}$ 程度。よって、1サイクル約 $20\text{ns}$ 。

DC電圧の場合、陽極で発生するイオンが媒介しないと雪崩的な放電現象へ発展できない。

陽極側では電子刺激脱離(ESD)でガス分子、イオンが発生。

A: ESDによるイオン放出

B: イオン衝撃による二次電子放出

$$A * B > 1$$

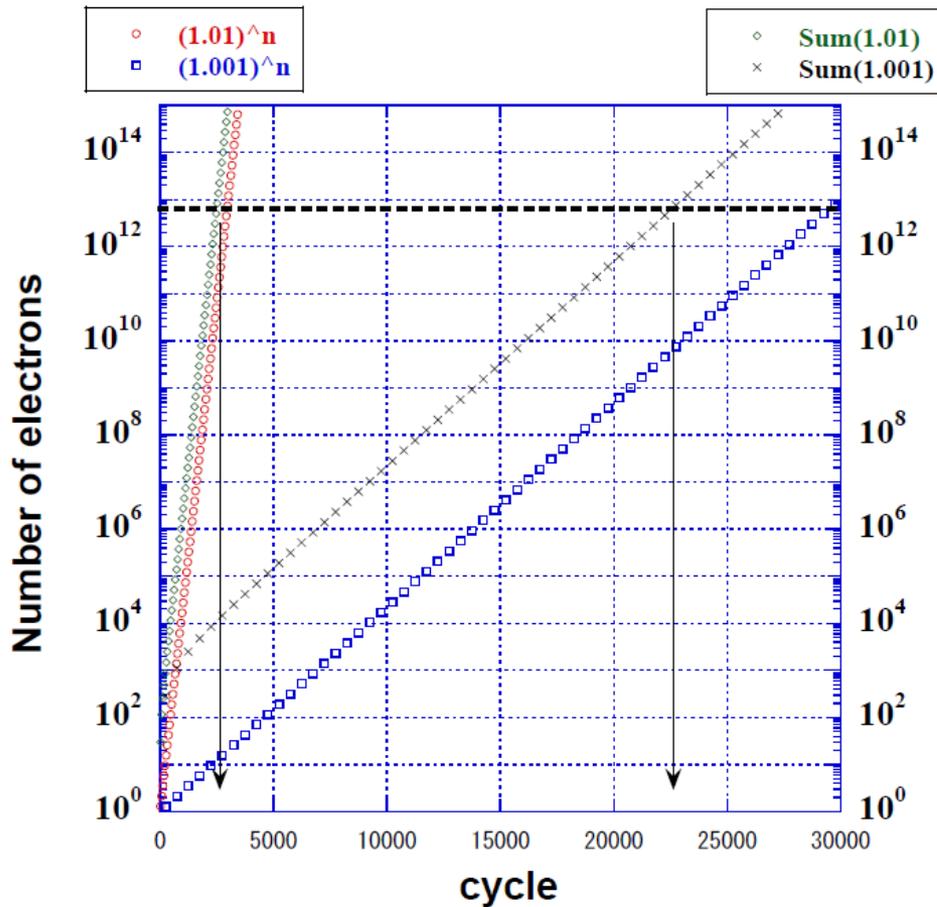
電子 & イオンの指数関数的増加  
微小放電発生。ESDによる真空悪化

電圧降下等で

$$A * B < 1$$

微小放電終了

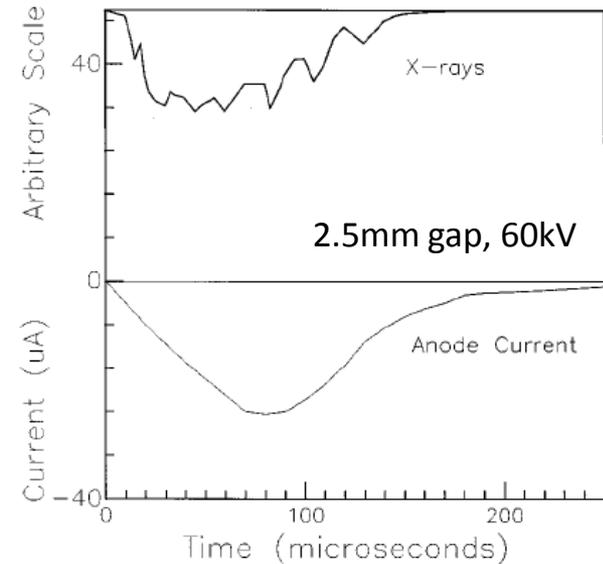
# 高電圧エージング考察



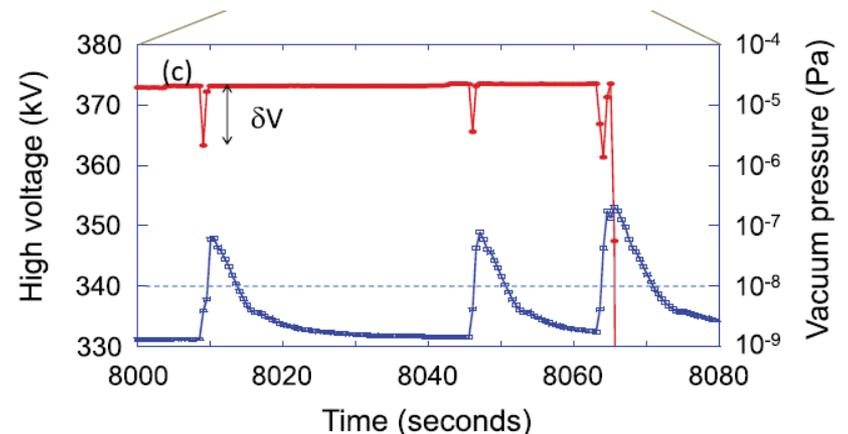
$C=100\text{pF}$ ,  $dV=10\text{kV}$

$Q=1\mu\text{C} \sim 6.2 \times 10^{12}$  electrons

$A*B=1.001$ の時、 $2.2 \times 10^4$  cycle程度  
(500us程度)で $1\mu\text{C}$ 程度に到達。



W.T.Diamond, J.Vac.Sci.Technol.A 16, 720 (1998)  
Fig.2より抜粋



N.Nishimori et al., PRST AB 17, 0534012 (2014)  
Fig.5より抜粋

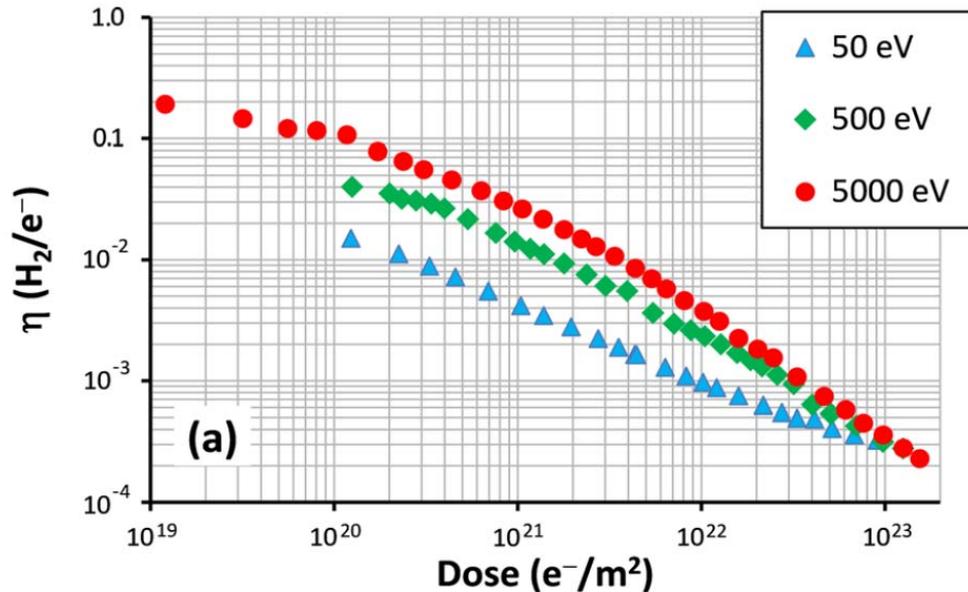
# 高電圧エージング考察

## 電子刺激脱離(ESD)の性質

照射電子エネルギー 高い → ESDによるガス放出量が多い  
積算照射量 多い → " 減少

陽極の電子刺激で発生するイオンの量は、電子刺激脱離(ESD)によるガス放出量と関係している可能性は？

## SS316Lに対するESDによるH<sub>2</sub>放出



Oleg B. Malyshev et al., J. Vac. Sci. Technol. A 31 (2013) 031601 より抜粋 (Fig.2の一部)

放電の発生にイオン生成率に閾値があると仮定すると...

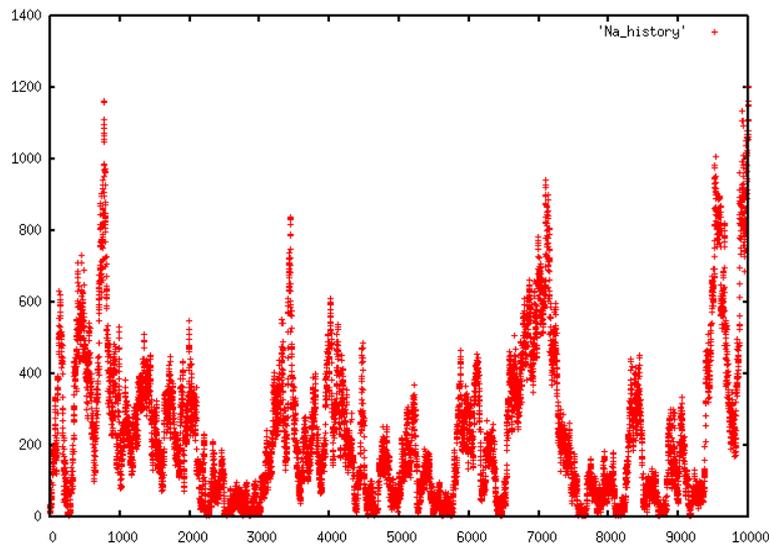
1. 放電によりDoseが増加  
同じ電子エネルギーにおいてイオン生成率が減少する。
2. 次の放電  
イオン生成率の閾値を超えるためには電子エネルギー(電圧)の増加が必要。

エージングにより徐々にかつ連続的に放電電圧が上昇する現象と矛盾しない。

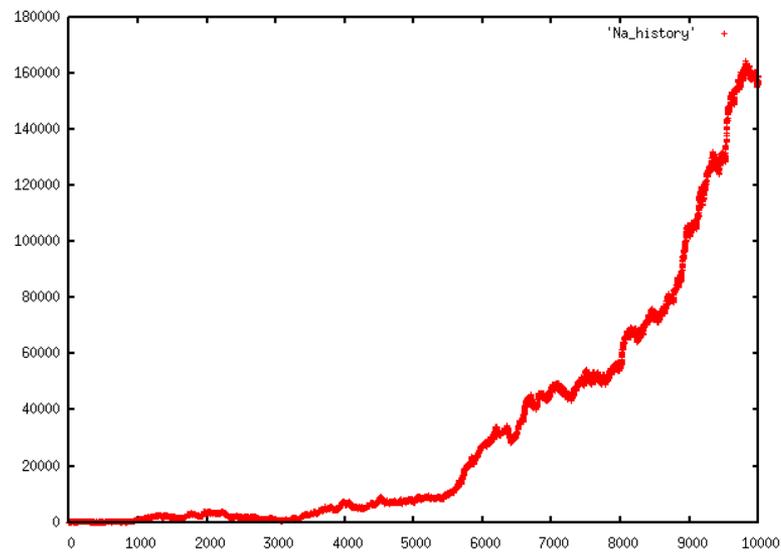
# 簡易なモンテカルロ計算

Pi:0.323 ( $\sigma$ :0.3), Pe:3.4 ( $\sigma$ :0.8)

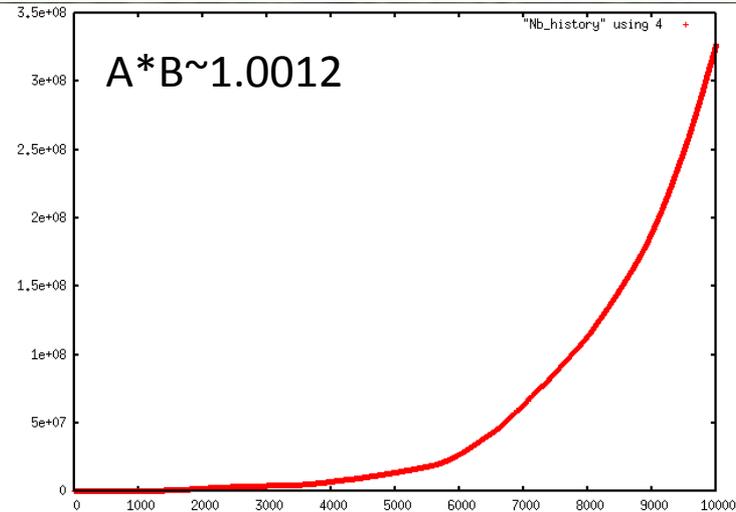
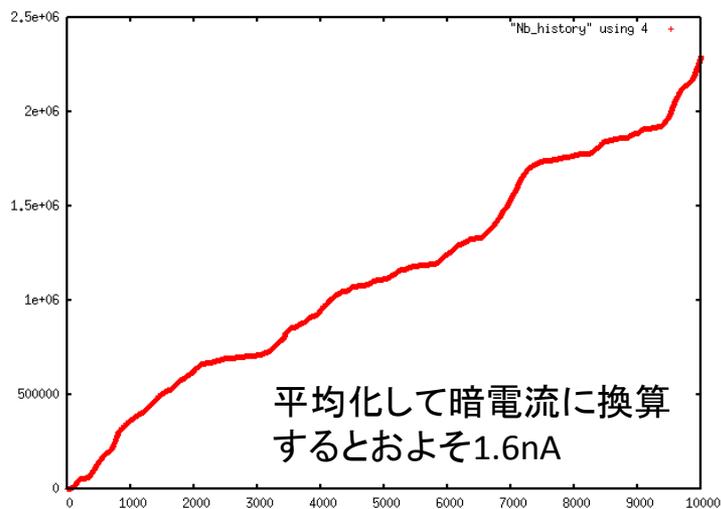
各cycleの電子数



Pi:0.325 ( $\sigma$ :0.3), Pe:3.4 ( $\sigma$ :0.8)



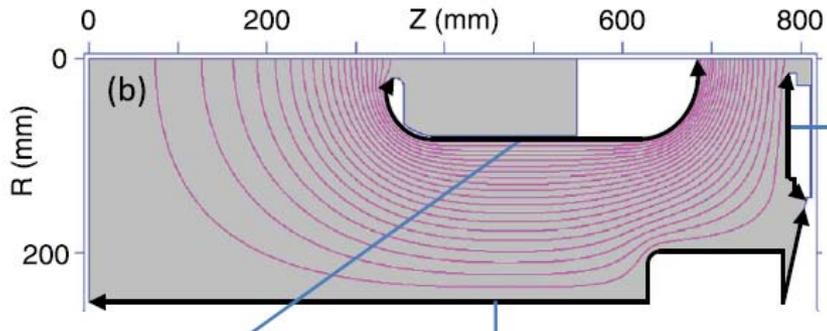
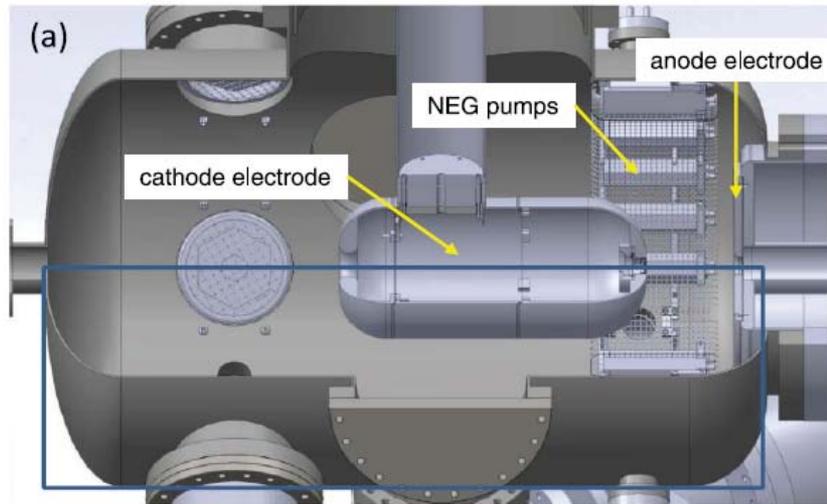
イオン&電子数積算量



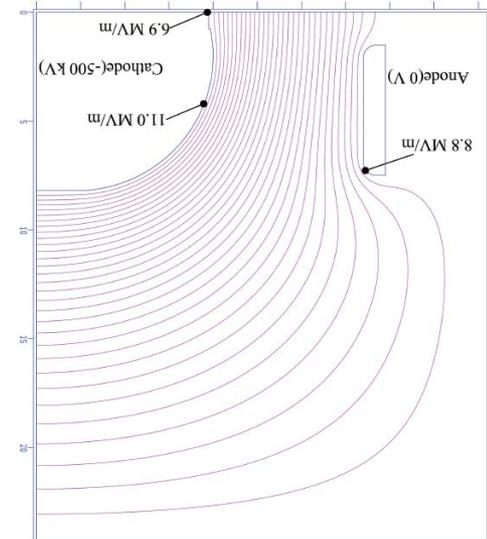
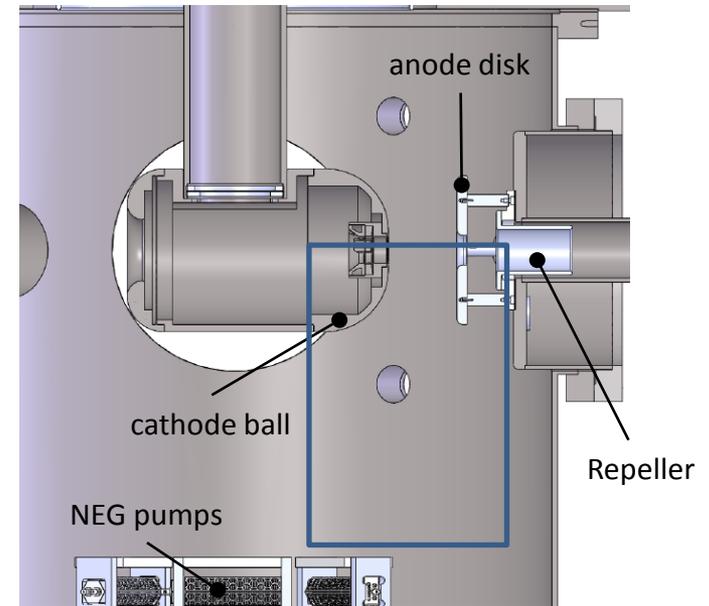
2次電子放出係数やイオン生成率のわずかな差で放電に発展するか否かが決まる。

# 電極配置の違い

## 1号機



## 2号機



N.Nishimori et al., PRST AB 17, 0534012 (2014) Fig.3より抜粋

例えば、陰極からの電子軌道と陽極からのイオン軌道の重なりが起きうるエリアの広さ等が異なる事が放電し易さに影響しないだろうか？

## 今後の予定

- ・真空の再立上げ 8/18～8/23
- ・500kV印加確認 8/25～
- ・入射部の組立て作業 9月～
- ・ビーム診断部、ダンプラインの組立て
- ・カソード準備装置の接続 11月頃
- ・制御系、I/L等の整備
- ・機構の定める放射線発生装置変更申請  
(ビームラインの新設、電子ビームの発生)
- ・微小電流ビーム発生試験 順調に進めば2月頃～  
LD励起などで微小電流(100 $\mu$ A以下)CWビーム生成

## 次年度以降には...

### ➤ 500kV,10mAの連続ビーム運転の実証

例えば50時間/週で連続ビーム供給を実証するなど。

- ・高圧電源のバグ出し

フル出力(500kV,10mA)安定維持確認、大電流電源開発...

- ・カソード寿命のR&D

真空と寿命、リペラ電極効果の有無、  
アルカリ薄膜カソード、QE-map...

- ・カソード準備系の運用テスト

多数回のカソード交換による電子銃の運用テスト

- ・安全系I/Lの確立

BPM、ロスモニタによる監視、I/L動作確認。  
ビームのラスタリング、ダンプ本体の耐久試験...

### ➤ 中～大電荷のビーム発生と診断

7.7～77pC (ERL, XFEL)、 >100pC (High Rep. FEL)

エミッタンスvs加速電圧の関係、

GaAsカソード、アルカリ薄膜カソードの有用性をビームで確認...

予備スライド

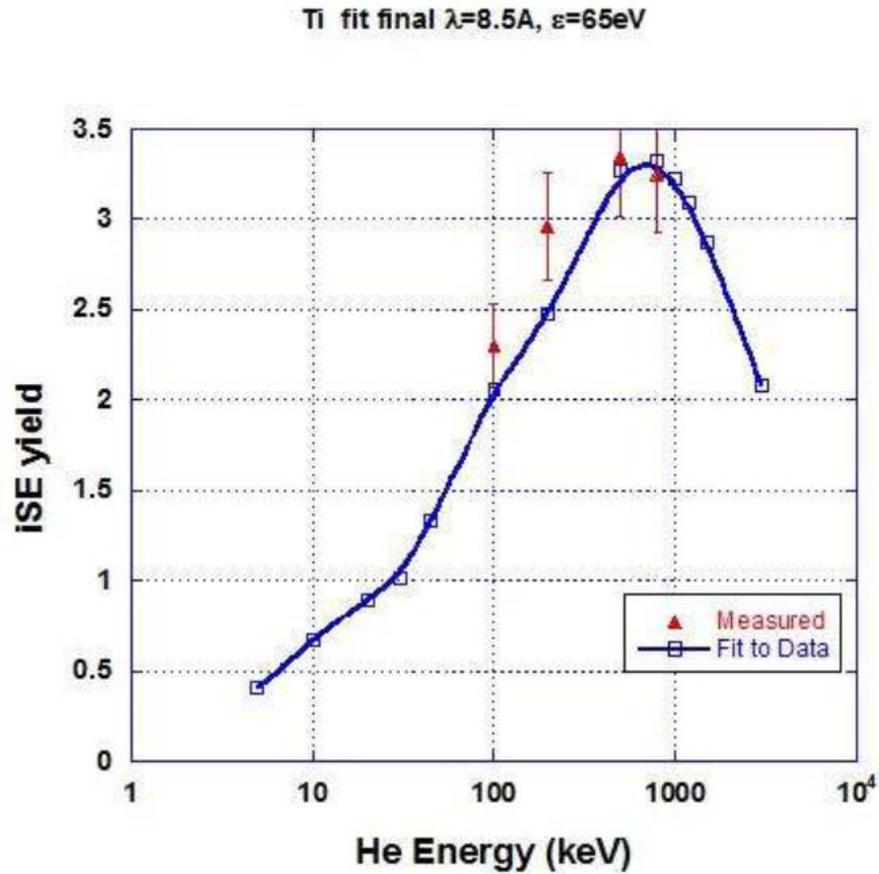


Figure 5.07 Showing the iSE yield parameters and data fit for Titanium

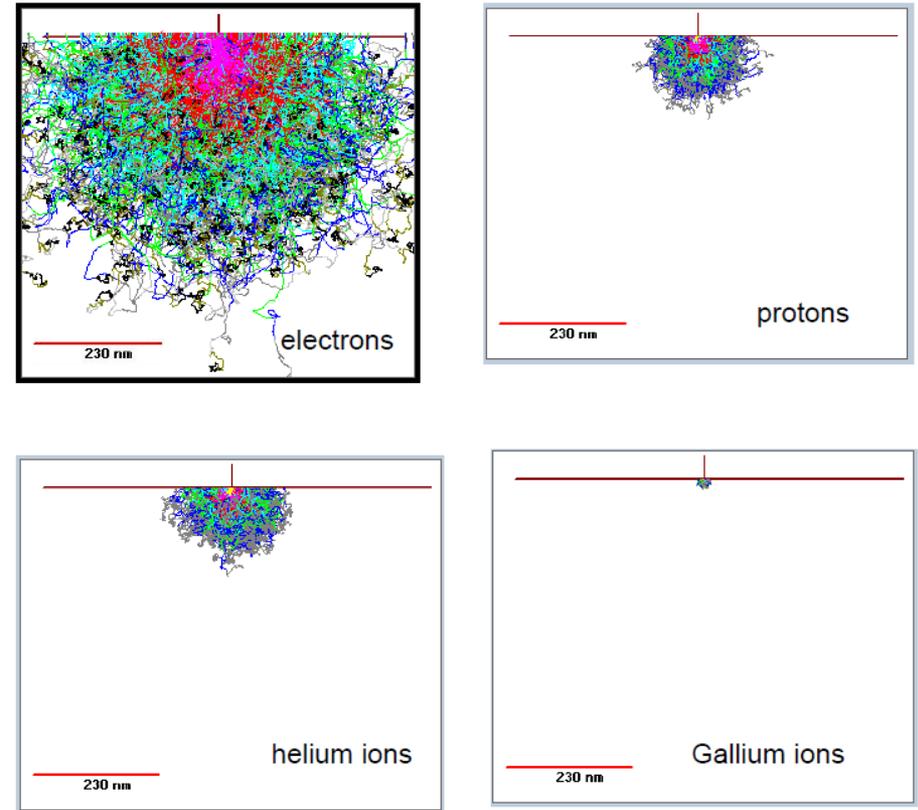


Figure 6.01 Comparing the interaction volume of 20 KeV electrons, protons, helium and gallium ions on copper. Pictures from Banyan and IONiSE.

Ranjan Ramachandra, “A study of helium ion induced secondary electron production”より抜粋。

- 高エネルギー電子 (>数十keV) のESDデータがほとんど無い。  
報告されている文献のほとんどが10keV以下の領域のデータである。  
(高エネルギー電子衝撃で発生するX線によるPSDの影響で測定が困難になる)
- チタンに対するESDデータがほとんど無い。  
SUS、Cu、Al等は調べられているがTiに対する調査例はほとんど無い。
- ESDによるイオン生成率に関するデータが無い。  
各ガス種の放出量について議論されているが、イオン生成率についての記述がほとんど無い。
- 高電界中のESD(イオン生成率)、SEYデータが無い。  
特に高電界中のイオン衝撃SEYの情報は本質的に重要。  
Schottky効果でより電子放出が起きやすくなるのでは？