

# 第2電子銃の進捗状況報告

第81回 ERL検討会  
2014年3月12日(水)

高エネルギー加速器研究機構  
加速器第7研究系 第6グループ  
山本将博、内山隆司、宮島 司、本田洋介、佐藤皓



## 第二電子銃開発の意義

### ・電子銃開発の継続

- cERLの運転スケジュールとは独立した環境。
- 高電圧、大電流などのリスクの伴う試験の実施。
- 様々なカソードの評価、実際のビーム発生状態での寿命試験。

### ・電子銃性能向上の試み

- 新素材セラミック加速管
- Bakable cryopump
- アノード電流測定、イオン流入阻止電極

### ・周辺装置の開発&動作試験などでの利用

- カソード準備装置
- ビームダンプ
- ビーム制御系
- ビームモニター&診断装置

### ・500keVビームの利用(?)

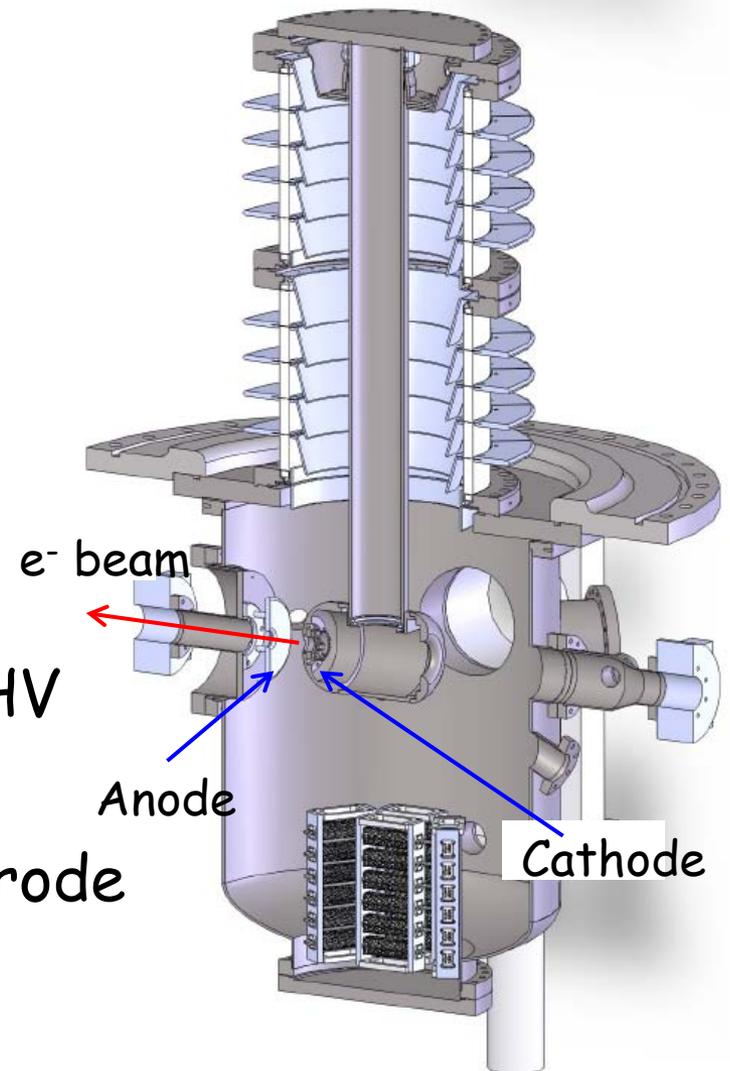
- 電子線回折実験、テラヘルツ発生、電子衝撃脱離試験、、、

# 2013年度 第二電子銃の主な進捗

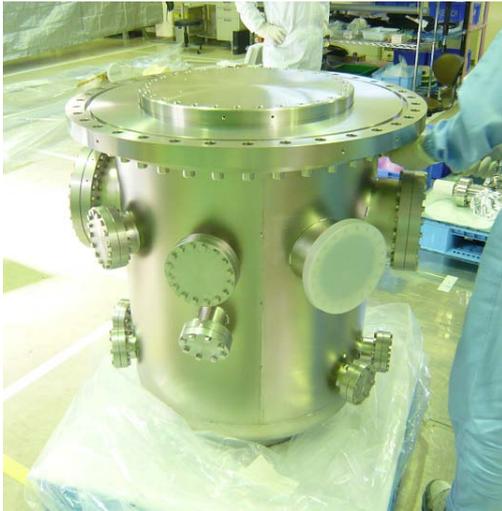
- ・アウトガスの最終評価
  - －主排気系以外全て内蔵状態でのアウトガス評価
- ・高電圧エージング
  - －コロナ放電のトラブルとその対処
  - －510kVまでのエージング
  - －480kVでの保持試験
- ・主排気系の接続
  - －NEG & クライオポンプの接続
- ・ビーム輸送 & 診断部の準備
- ・カソード準備系の立上げ
  - －機能組込み、真空立上げ
  - －焼きつきトラブル

# Special items of the 2<sup>nd</sup> DC-Gun

- High voltage insulator
  - 2 pairs of 5 segmented insulator
  - Special  $\text{Al}_2\text{O}_3$  based material (TA010, Kyocera)
- Low outgassing vacuum system
  - Titanium chamber
  - Titanium electrodes & guard rings
  - Non welding parts for in-vacuum components
- High performance pumps for XHV
  - 4K Bakeable cryopump & NEG pumps
- Isolated anode & Repeller electrode
  - Dark current monitor
  - Reducing low energy backward ions



# 500kV DC-gun fabrication (2<sup>nd</sup> DC-gun@KEK)



➤チタン材料の採用(低アウトガス化,協力:山口大 栗巢氏)

- chamber本体、電極: JIS2種純チタン
- ICFフランジ: Ti-6Al-4V チタン合金
- 大型フランジ (dia. >500mm): JIS3種純チタン

➤電極は一切の溶接個所を無くした。

(真空ポケットの問題回避のため)

➤全部品はバフ研磨後、特殊化学研磨を実施。

➤新セラミック材料(高浴面放電耐性)

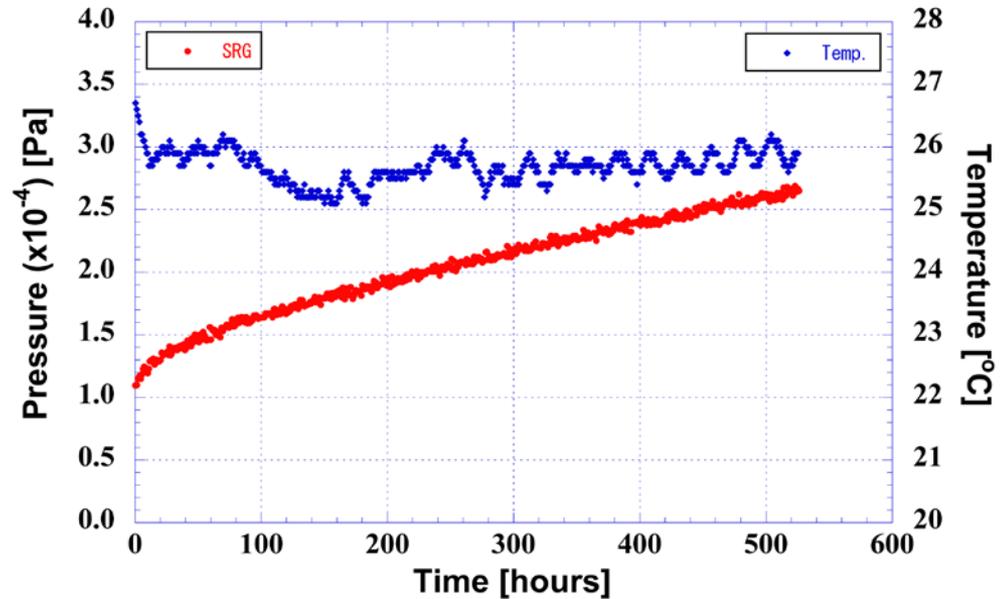
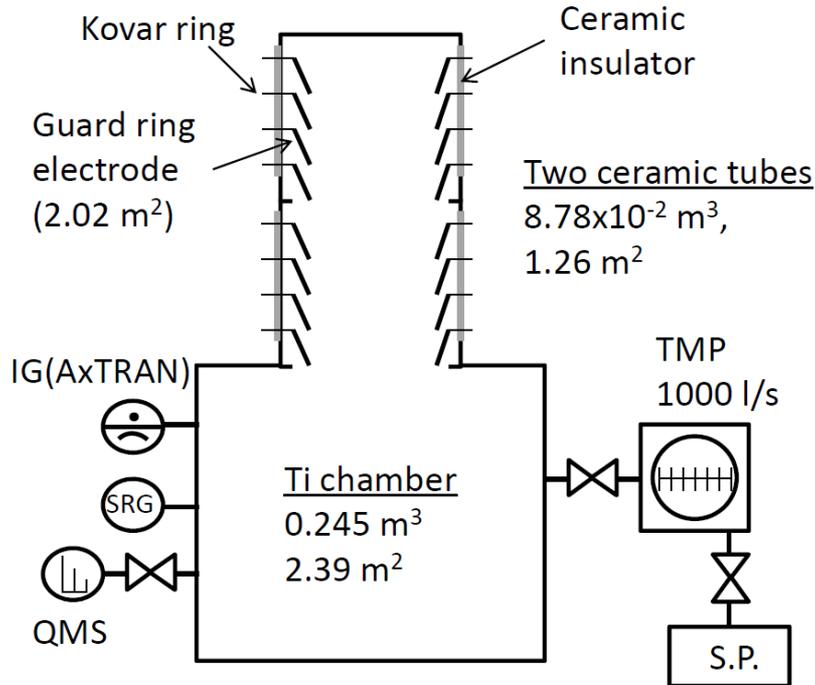
- 京セラ製TA010: ~9割アルミナ、残部は企業秘密。

試験サンプルでの測定でアルミナよりも浴面放電しにくいことは確認済み。



# 第二電子銃の全ガス放出速度測定

スピニングローター真空計を利用した蓄積法による測定。



150~200°C baking for 100 hours.  
All components except main pump (NEG, cryopump) were installed.

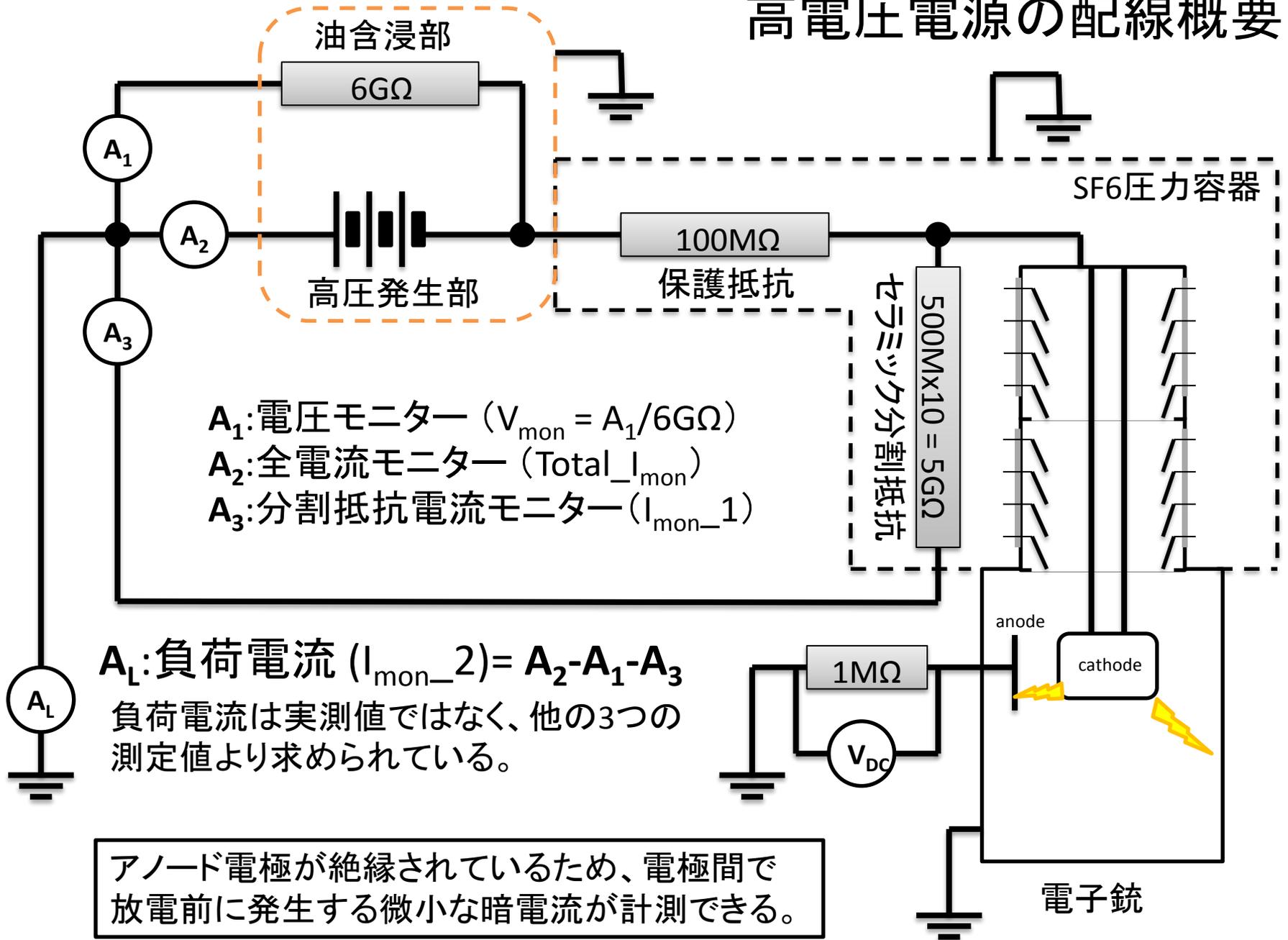
カソード&アノード電極も設置状態。

Total outgassing rate

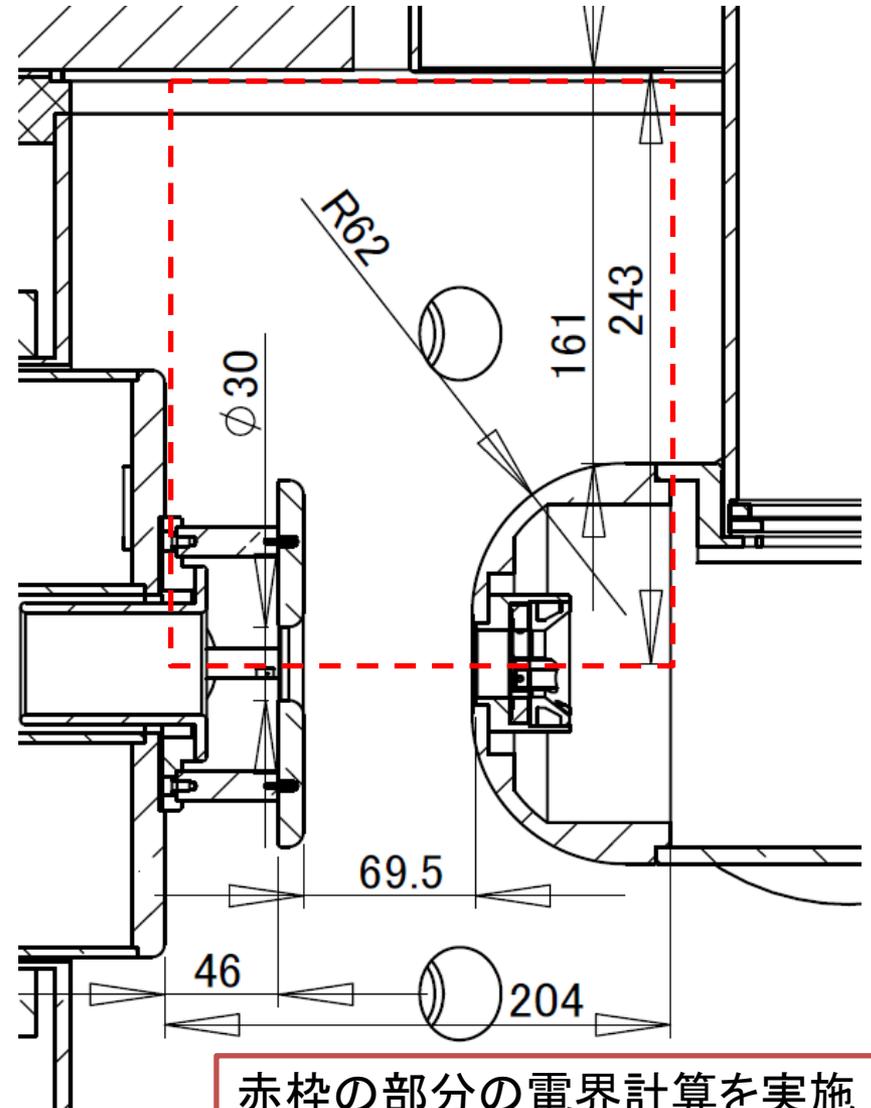
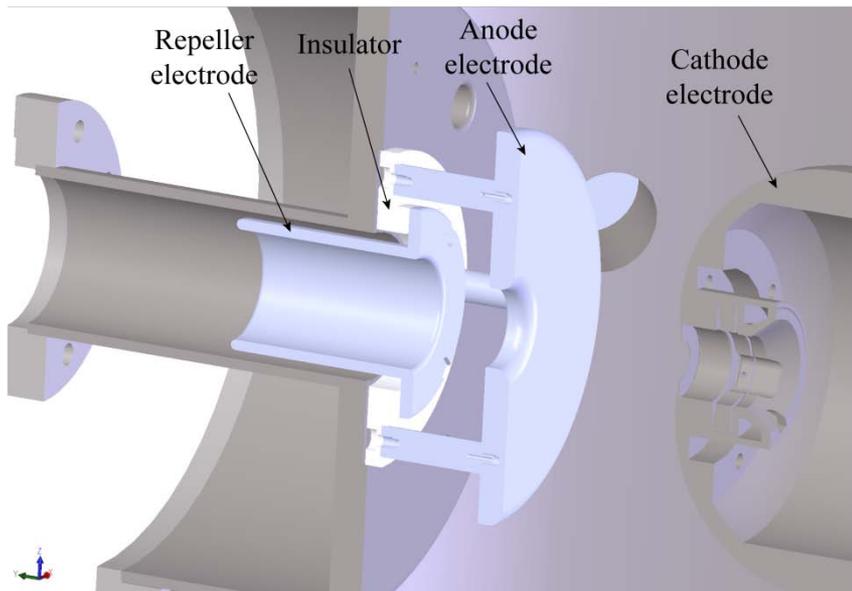
$8.1 \times 10^{-11} \text{ Pa m}^3/\text{s}$  ( $\text{H}_2$  equivalent)

実効排気速度 1000 L/sあれば、到達圧力  $1 \times 10^{-10}$  Pa以下を実現できる。

# 高電圧電源の配線概要



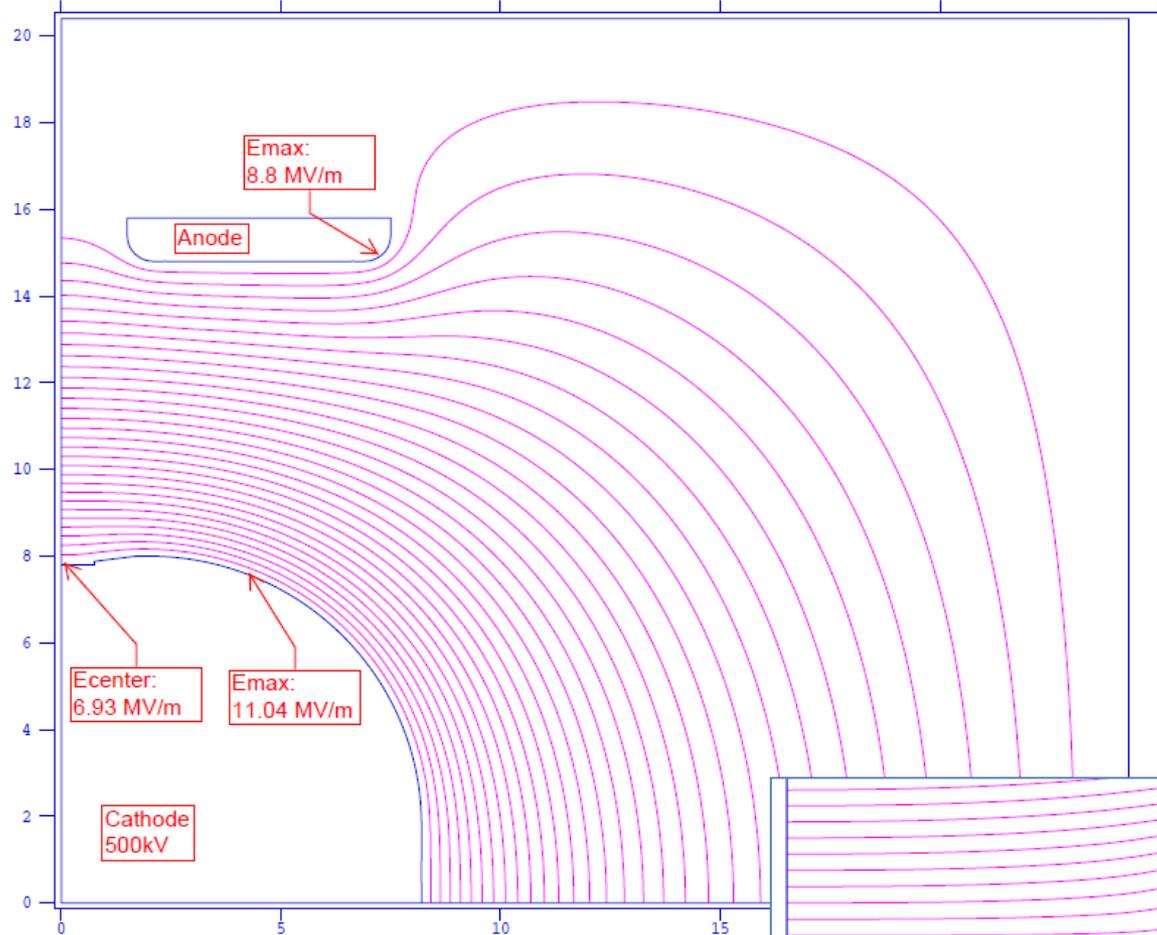
# カソード電極 & アノード電極周囲の構造



赤枠の部分の電界計算を実施

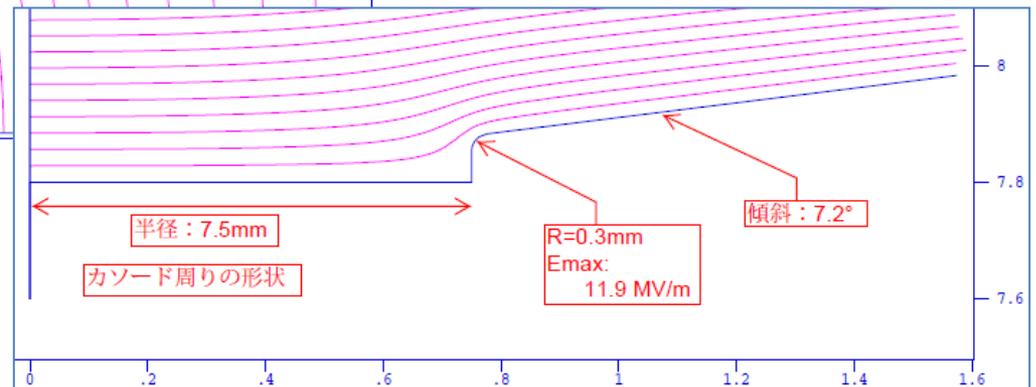
# カソード電極 & アノード電極周囲の電界計算

2nd gun gap=70mm Simulation Using R,Z Coordinates @500kV (2013.August.30 M.Yamam)

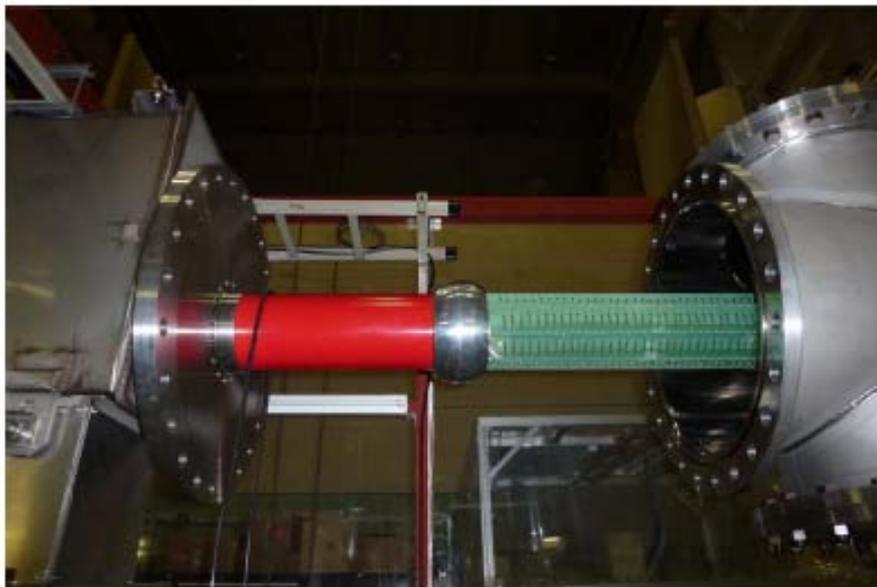


➤ カソード電圧500kV時

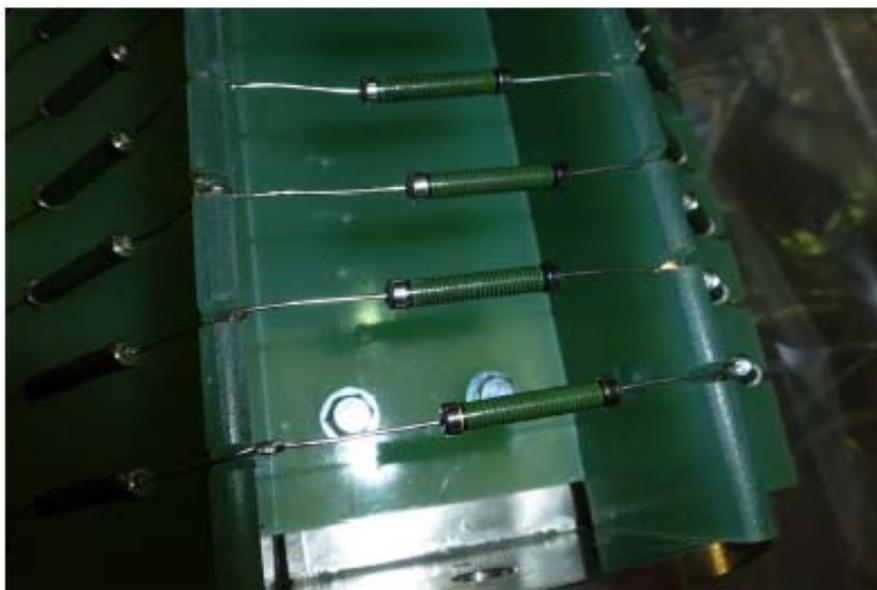
- カソード中央部 6.9 MV/m
- カソード電極表面  
外側:最大 11.0 MV/m  
ウェネルトエッジ部 11.9 MV/m
- アノード電極表面  
最大 8.8 MV/m



# 高電圧電源と電子銃の接続

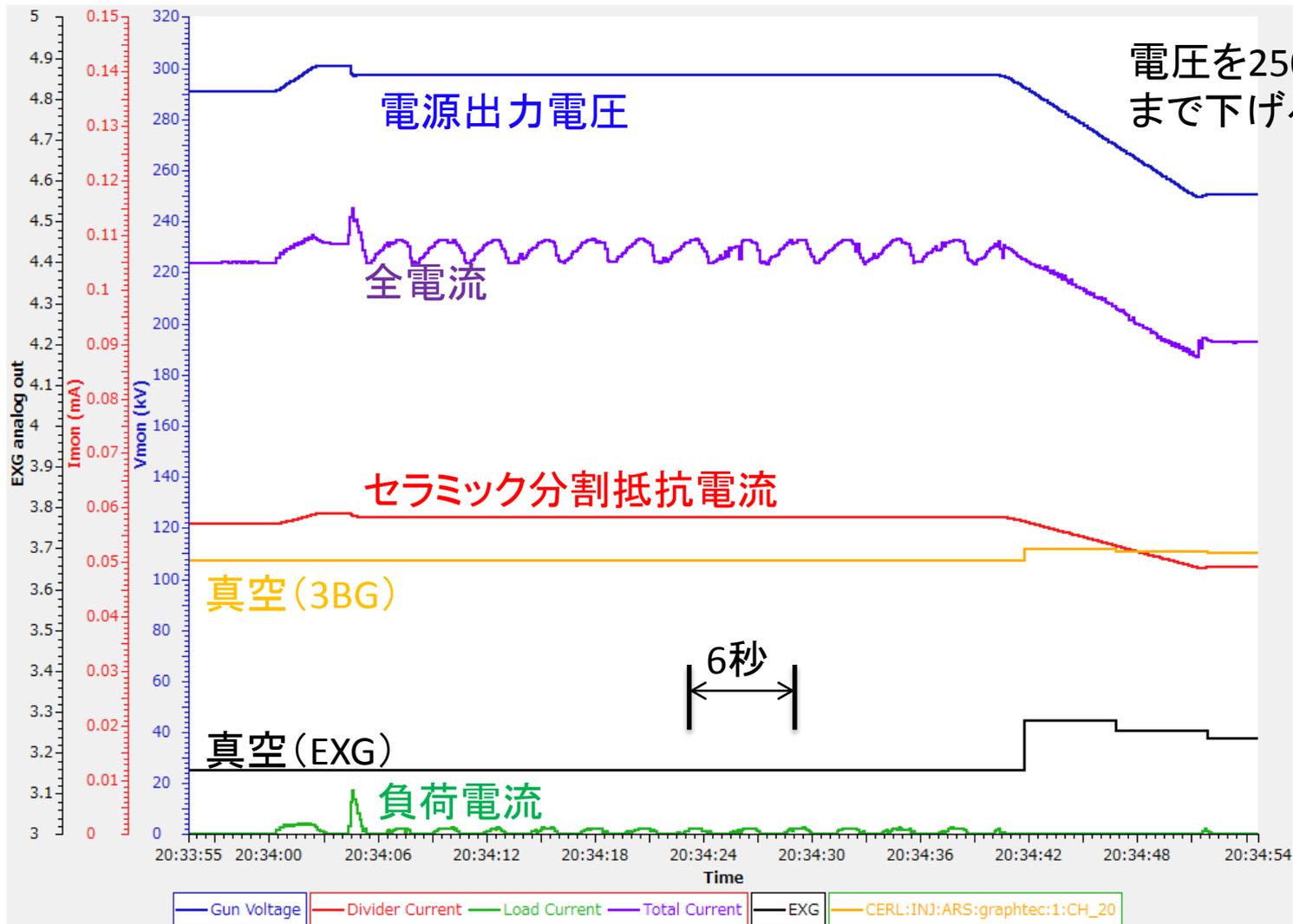


- ガラスエポキシ樹脂で組んだ支柱に多数の抵抗をらせん状に直列接続。
- 設計、製作はメーカー任せ。  
(電源の納期の関係で接続部の設計に関する議論が一切できなかった。)



抵抗体全体の発熱量は1W以下。  
(エージングモードでは負荷電流は100 $\mu$ A以下で行う。)

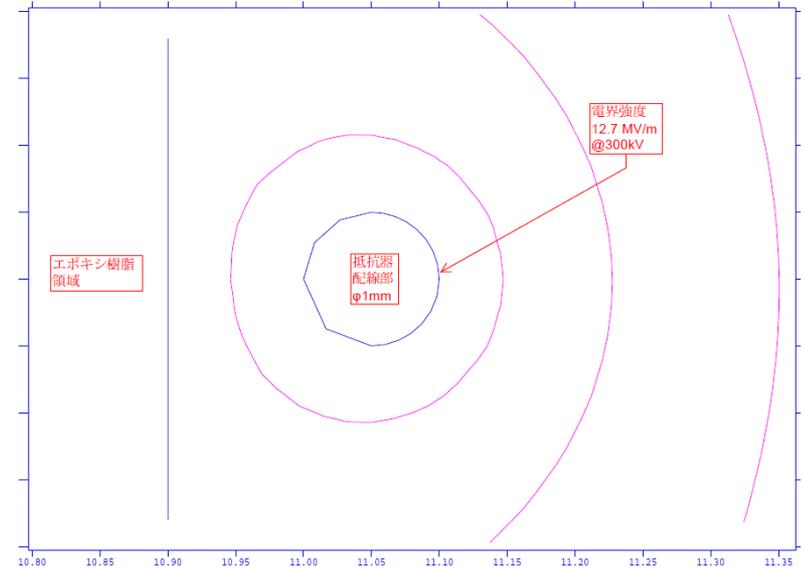
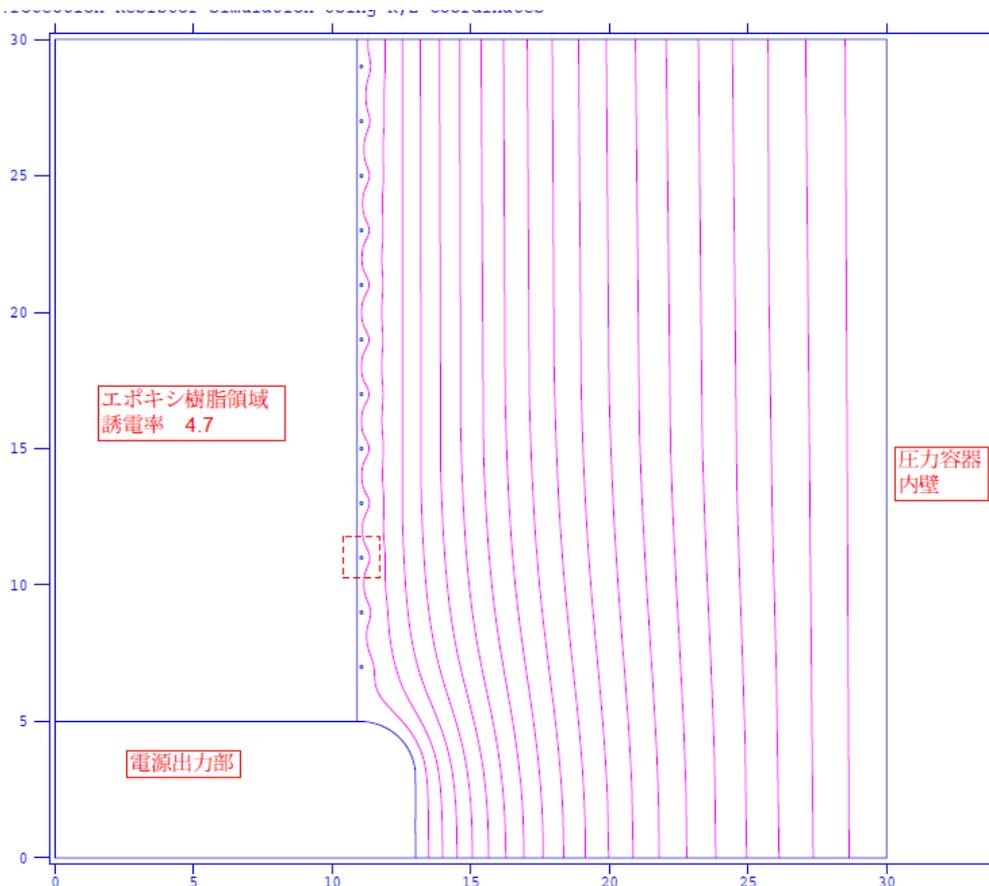
# コロナ放電の問題



制御系協力:加七系 帯名さん、長橋さん

# 保護抵抗(ワイヤー)上の電界

φ1mmのワイヤーが2mm間隔でエポキシ樹脂  
ロッド上に巻かれているモデルで計算。



300kV印加時でもワイヤー表面では  
12.7 MV/mの電界となる。

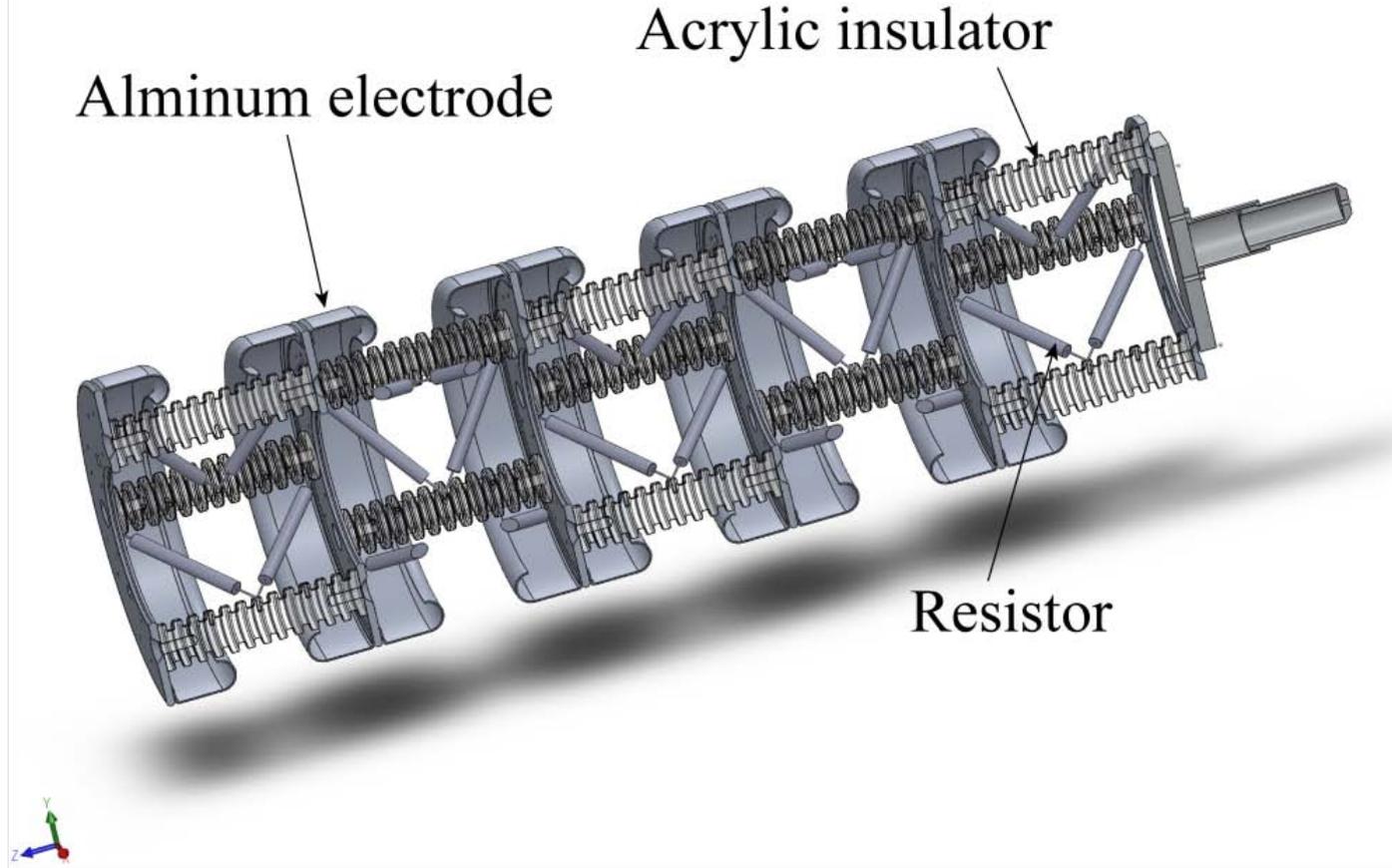
コロナが発生しないように、独自に  
設計し直した。

# 保護抵抗の改良

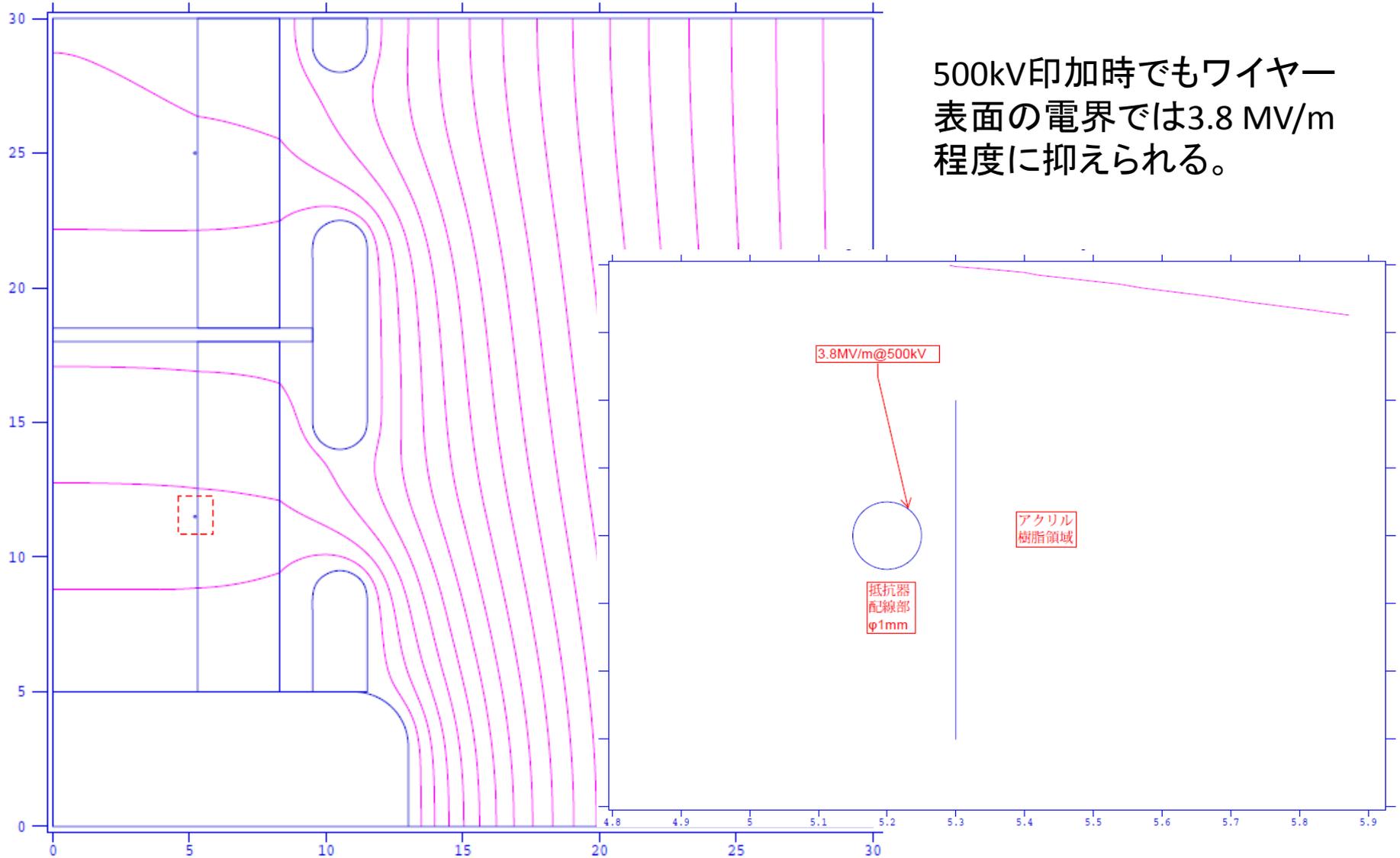
1号機高圧電源のCWカラム構造を参考にデザイン。

1段あたり $40\text{M}\Omega \times 2$ 直列を4並列、これを5段直列で全体で $100\text{M}\Omega$ 。(計40本)  
抵抗器は通油孔付(SR6HV)を使用。

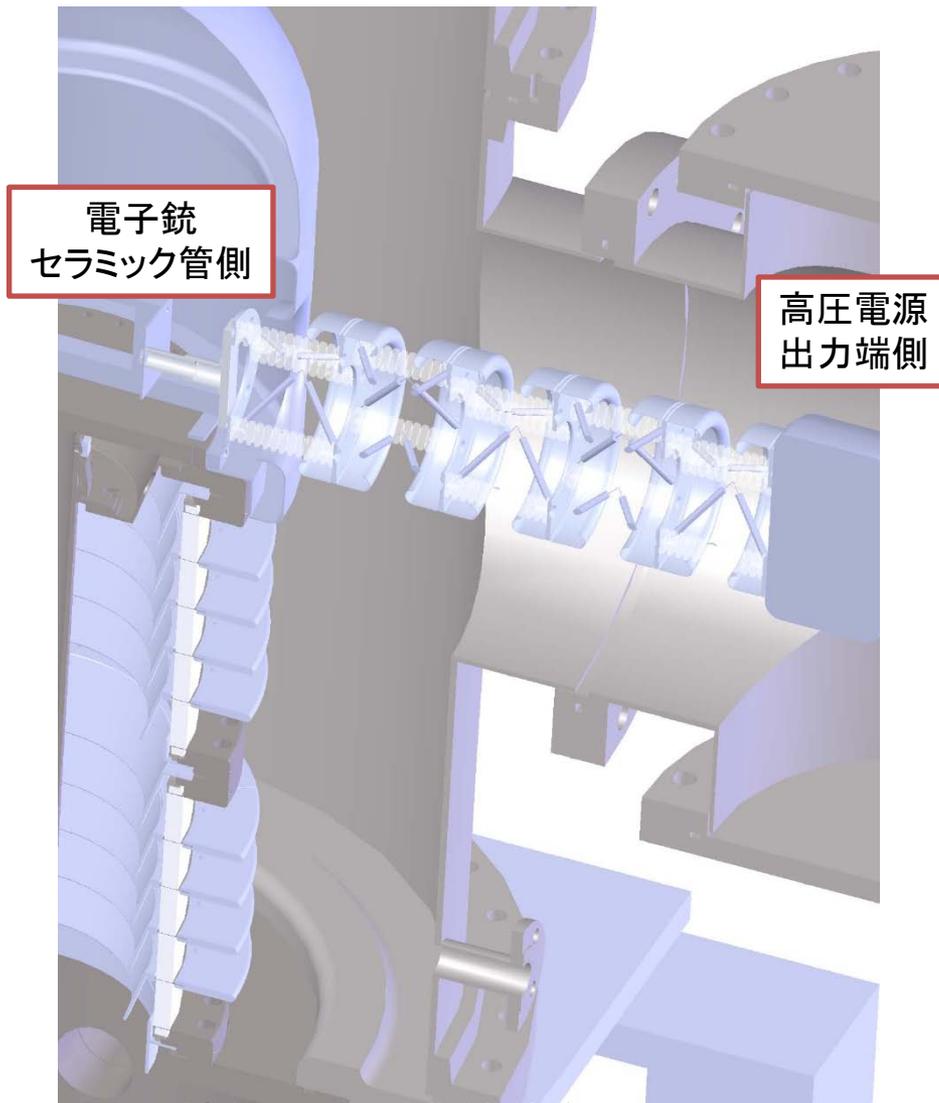
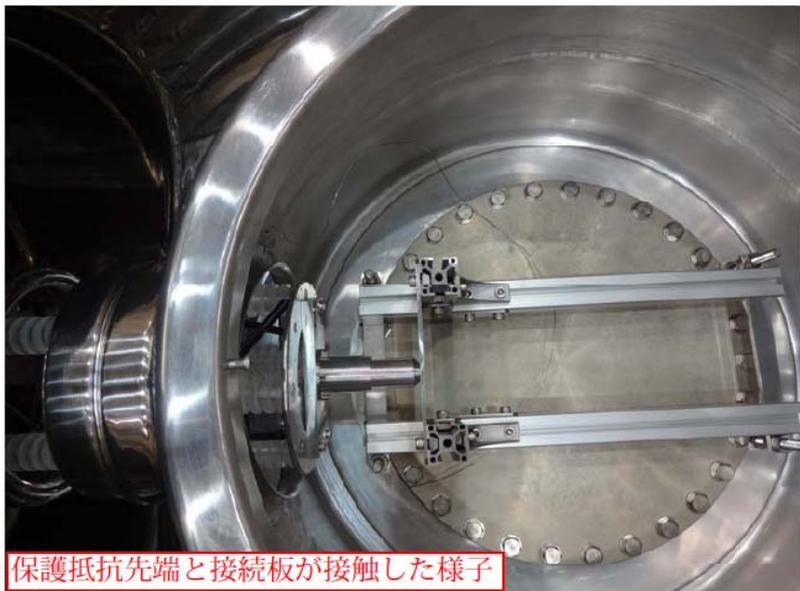
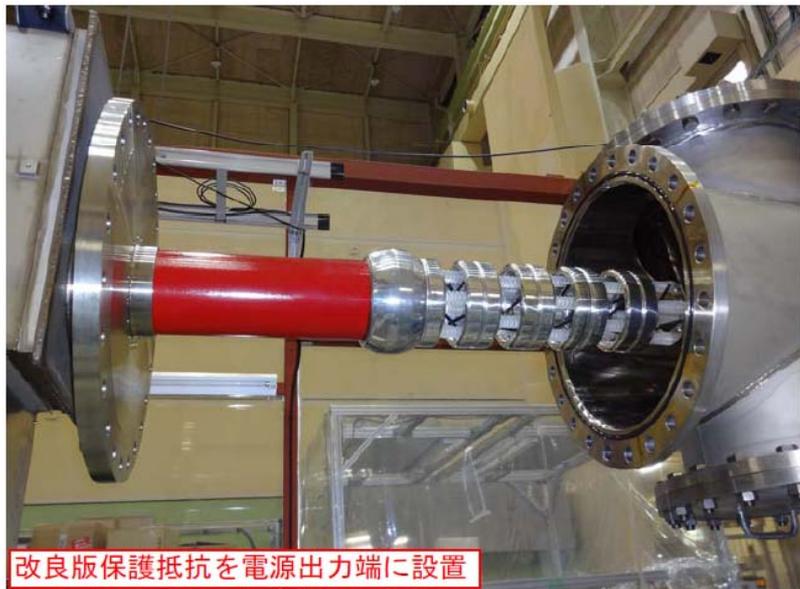
中心部には空間が残してあり、後の大電流試験時にLフィルターを介してショートできる構造とした。



# 保護抵抗の改良

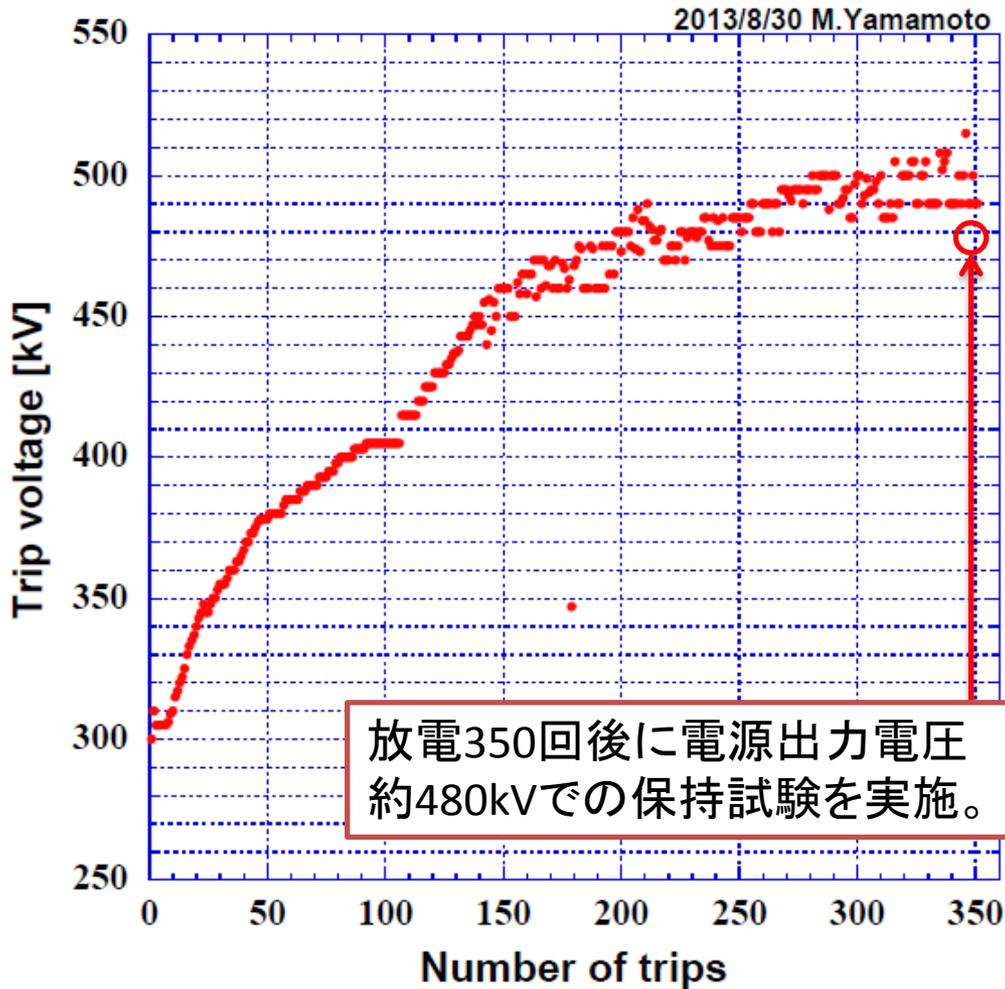


# 保護抵抗の交換



電子銃組立て作業等全般  
協力: 三菱 飯島さん

# 第二電子銃エージング履歴



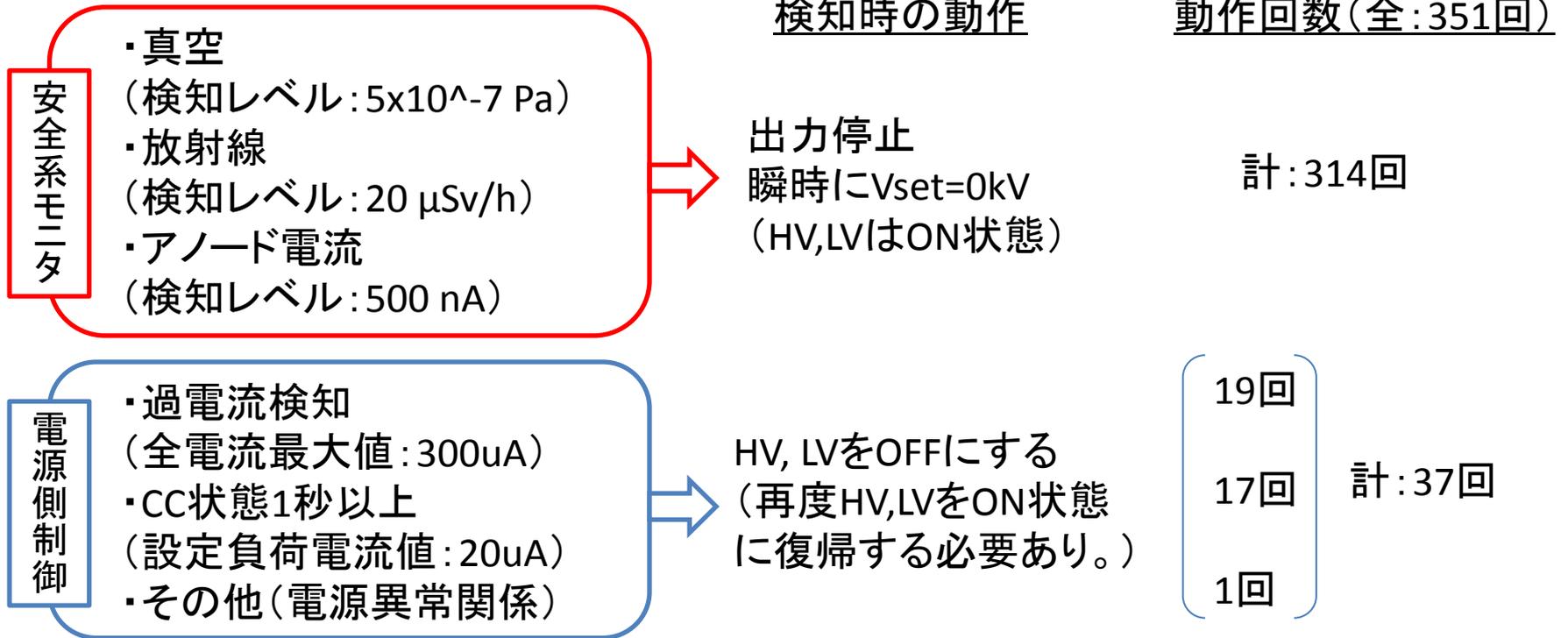
➤ 保護抵抗部のコロナ発生等の問題は完全に解消。

➤ 排気は1000 L/s TMPのみ。  
- NEG、クライオポンプは未設置。

➤ 全ての放電事象で  
・真空悪化  
・放射線発生 を観測。

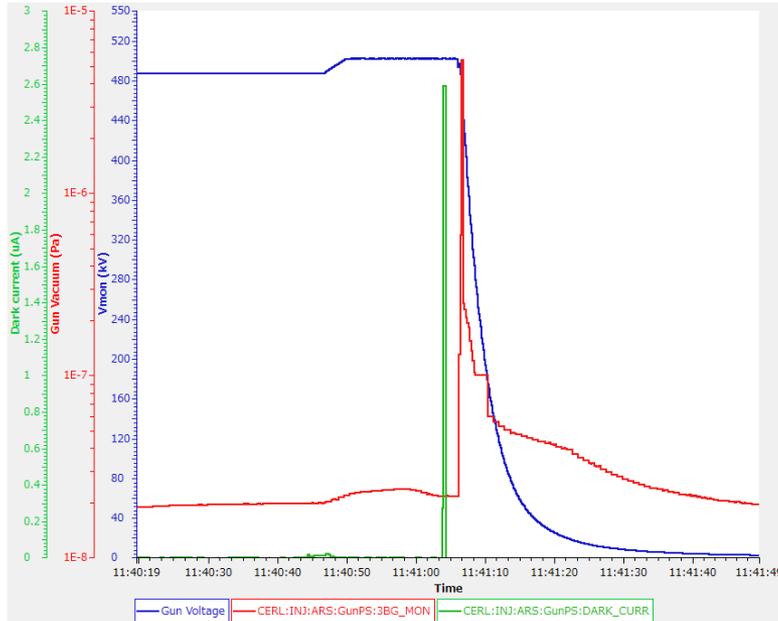
放電300回以降からは、放電電圧の上昇はほとんど頭打ち状態。

# 制御・安全系の動作



電極間放電の際、アノードの暗電流モニターは応答性が素早く、装置保護の点でも有効。

# エージング時の放電箇所の推定



青:電源出力電圧 赤:電子銃内真空  
緑:アノード電流

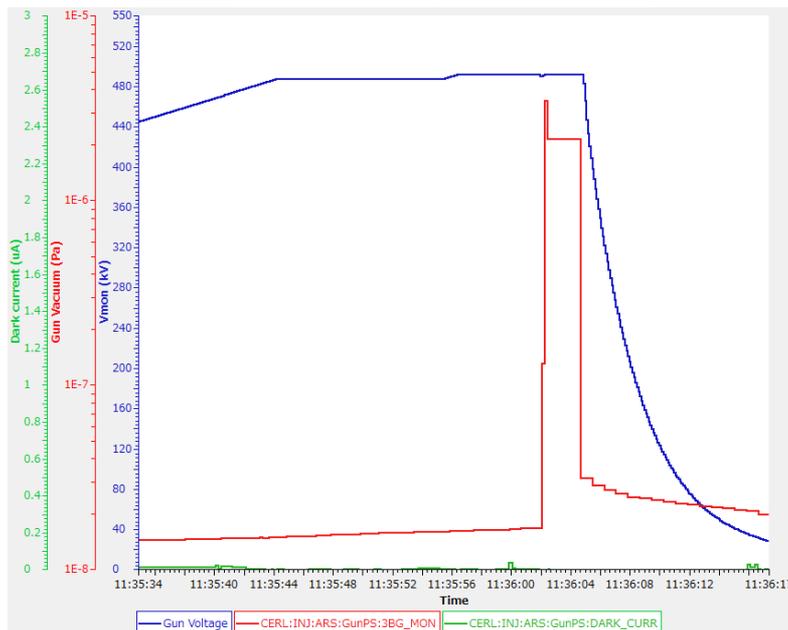
## ➤ 電極間放電発生時のログ(上図)

- 0.1秒(読取り間隔10Hz)の間だけ数 $\mu$ Aの放電電流を検知し、インターロック作動。
- 1~2秒遅れて真空計圧力が跳ねている。(自動レンジ切り替えのための遅れ)

エージング時の放電の約87%は電極間で発生。

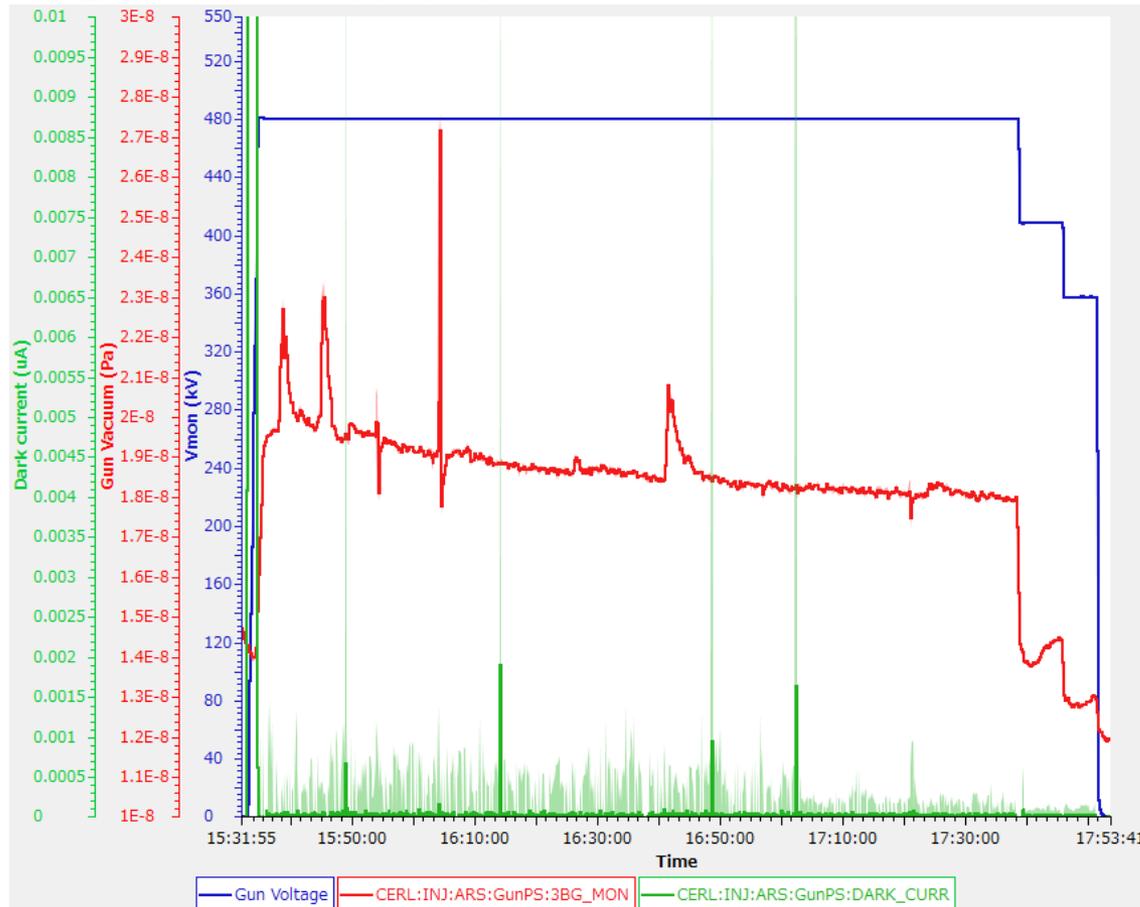
## ➤ 電極間以外の放電発生時のログ(下図)

- アノードに流れる電流はほとんど検知しない状況で、
    - ・真空悪化
    - ・放射線発生
    - ・過電流
    - ・CC異常
- を検知し、インターロック作動。(約13%)



# 加速電圧470kV保持試験

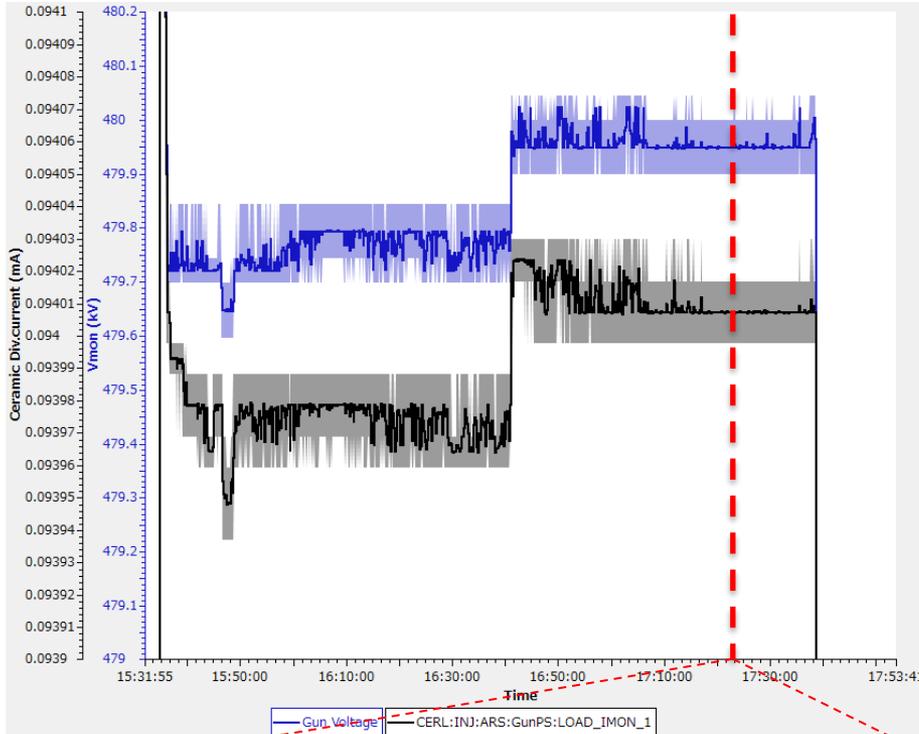
## 放電350回後の保持試験



セラミック分圧抵抗電流が $94\mu\text{A}$  (加速電圧が470kV)になるように出力電圧を調整。電源出力電圧は約480kV。

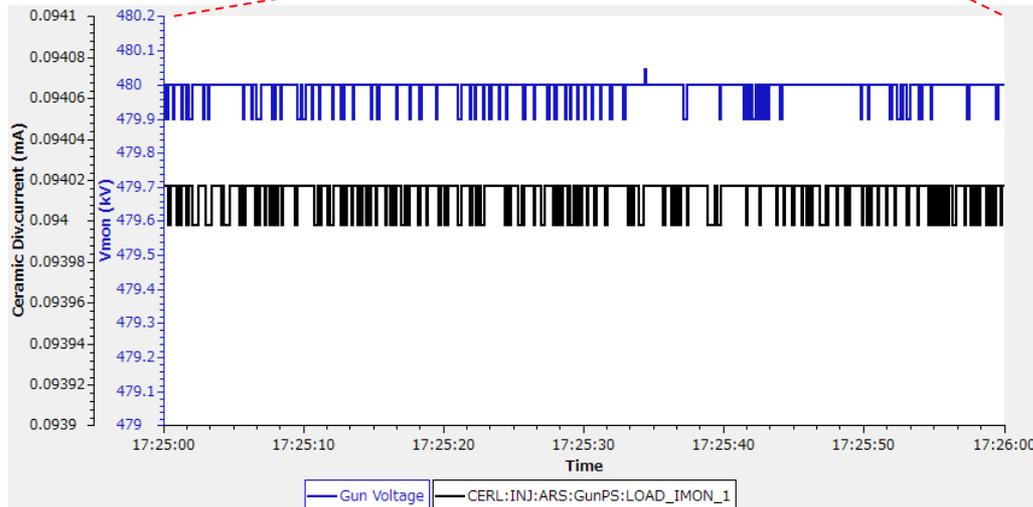
- 2時間保持を実施。大きな放電は観測されず。
- 数回、電子銃の真空が少し跳ねる現象あり。
- カソード-アノード間の暗電流は1nA以下のレベルがほとんどだが、数回程度数nA程度の暗電流が一瞬流れている。
- Base pressureは電圧の大きさと関係している。電極間以外で発生している暗電流に依るものか？

# 高圧電源の出力の安定度



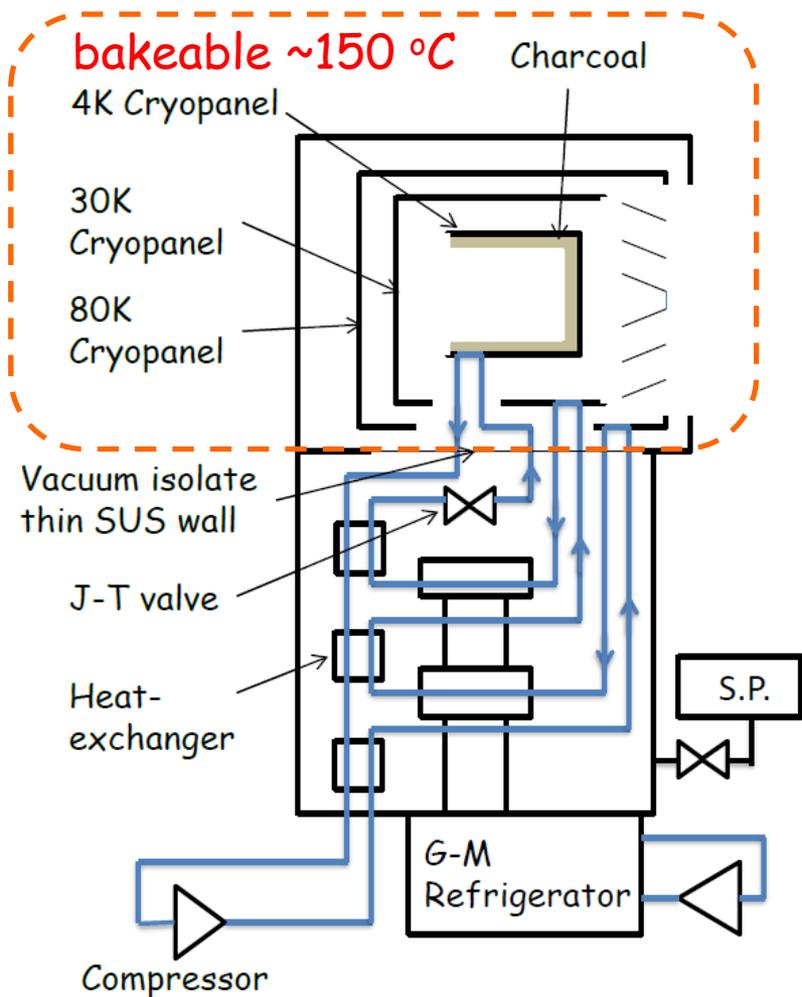
セラミック分圧抵抗電流が94 $\mu$ A  
(加速電圧が470kV)になるように  
出力電圧を調整。  
(途中で電圧再調整)

- 保持開始20分程度は電圧がやや下がる傾向あり。
- 1.5時間後にはほぼ安定化する。



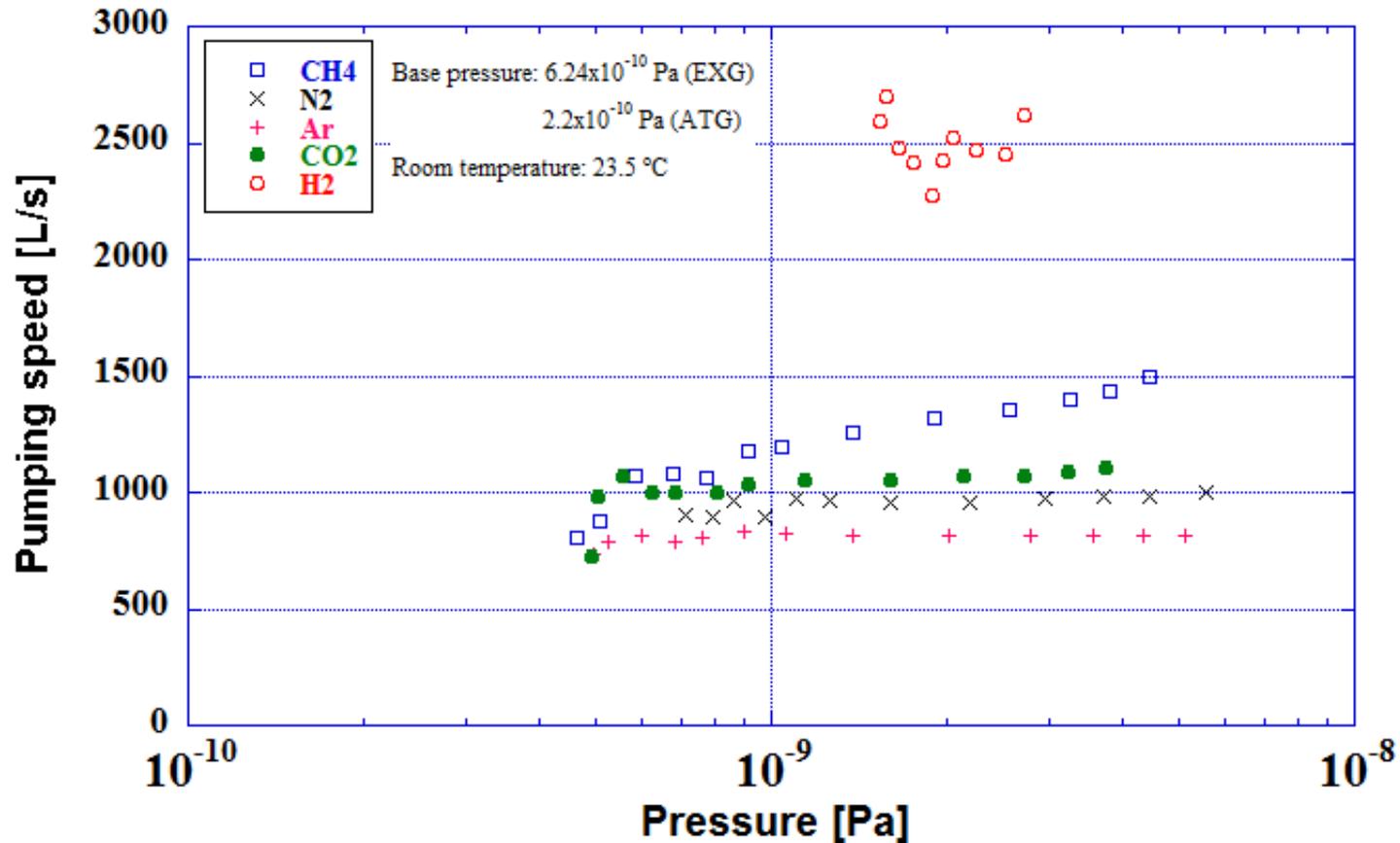
電源側の出力電圧、およびセラミック  
分圧抵抗電流の測定値から、両者共に  
安定度は $2 \times 10^{-4}$  以下。  
(使用している横河PLCのADCは12bit?  
のための測定限界。)

# 主排気系：4K bakableクライオポンプ



developed by ULVAC Cryogenics Inc.

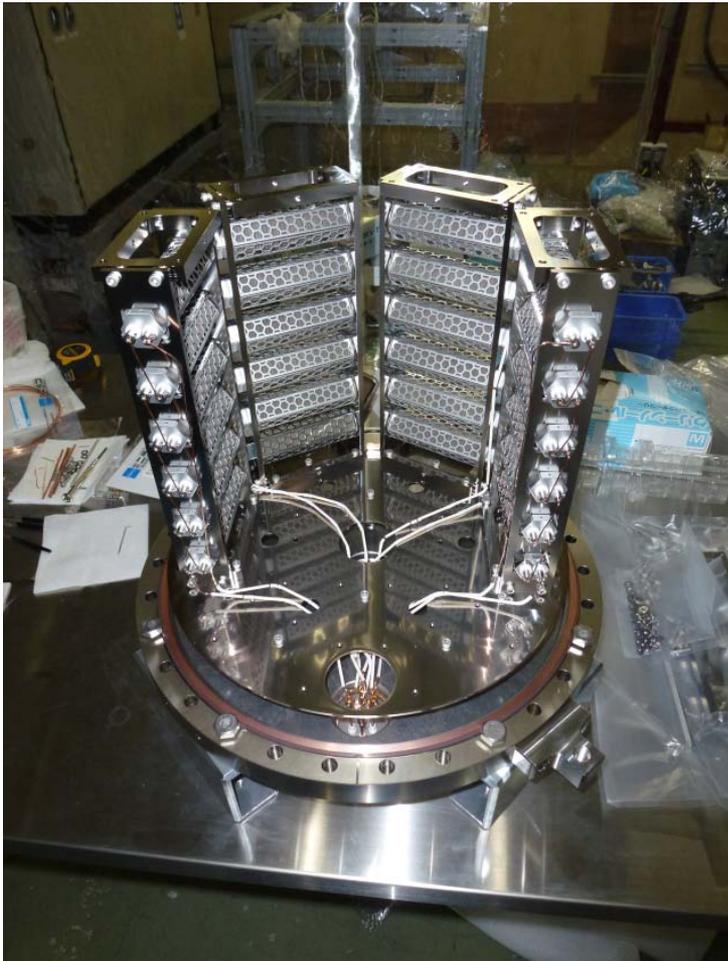
# 主排気系：4K bakableクライオポンプ



- ・水素以外の主要ガスでは $10^{-10}$ Pa台でも1000 L/s前後の排気速度を維持できる。
- ・水素の排気速度は吸着材中の水素との平衡圧力の影響がある。  
(この測定では残留水素が到達圧力の制限を決めていると推測。)

測定協力:産総研 吉田 肇 氏

# 主排気系：NEGポンプ、クライオポンプの設置



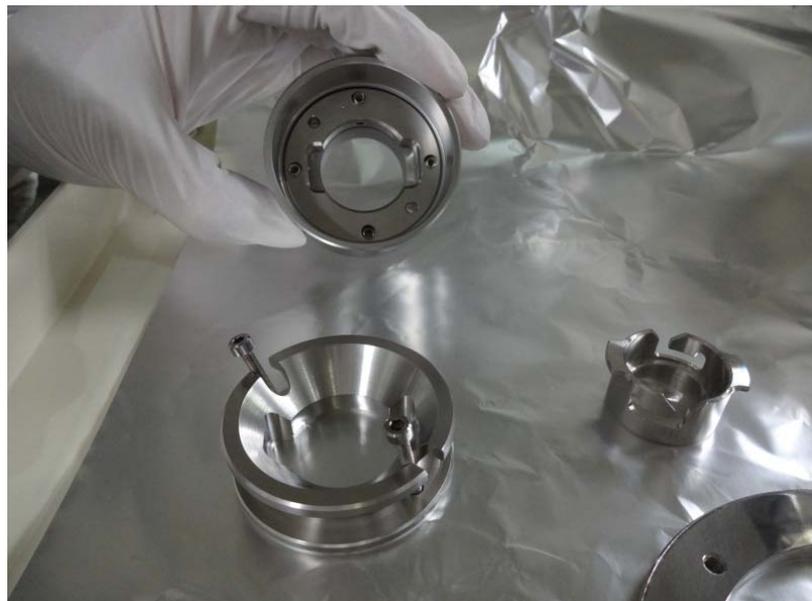
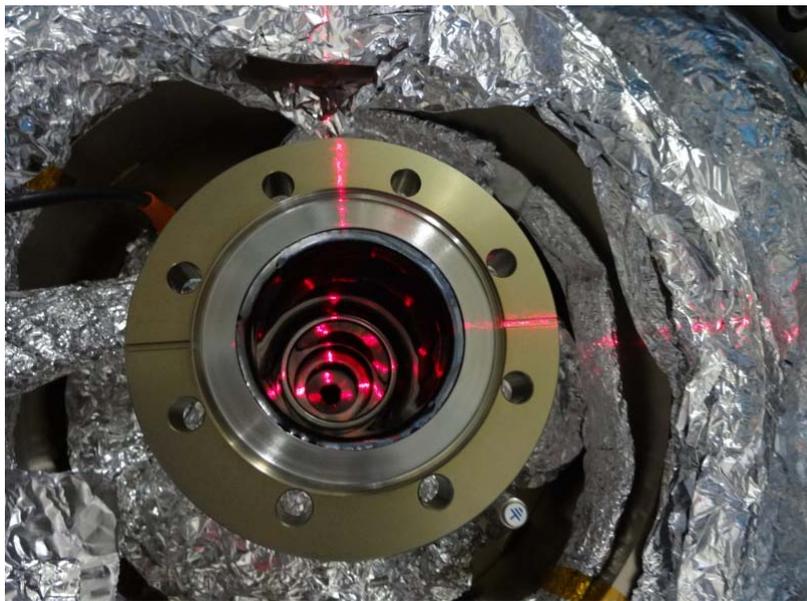
NEG : 400 L/s ( $H_2$ ) x 24本 = 9600 L/s  
(ただし、この排気速度はカタログ値。)



800 L/s (Ar), 1000 L/s ( $N_2$ ), 1200 L/s ( $CH_4$ )  
(実測値@ $1 \times 10^{-9}$  Pa)

両者で得意とする排気ガス種が異なる。相乗効果が得られるか今後検証。

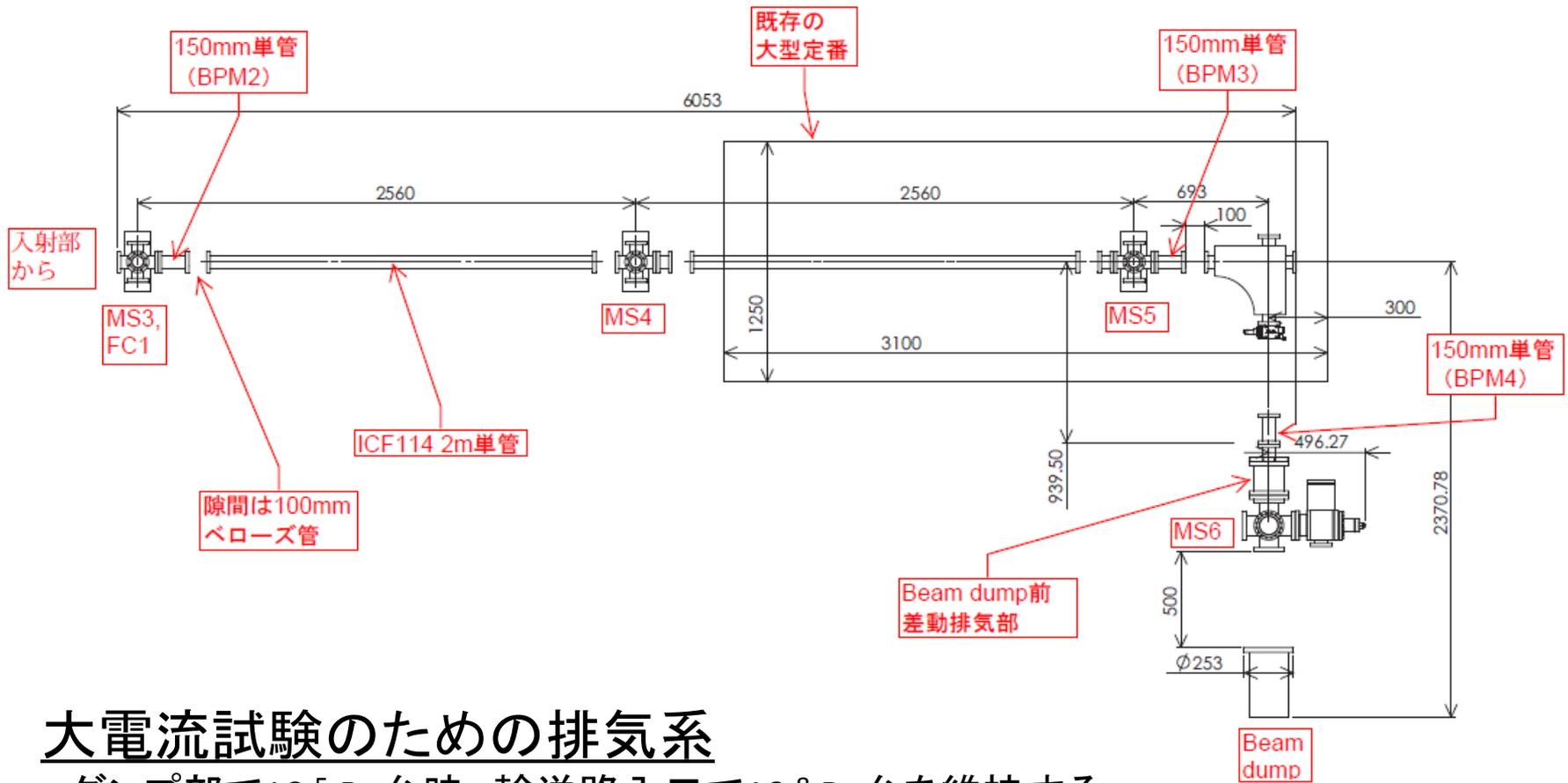
# 電極位置の調整、カソードホルダー設置



調整範囲下限でもカソード電極の位置が1mm程度高かったため、30mmの延長部品を取付けた。

カソード電極内側にPuckホルダーを設置していない状況であったため、設置する。  
(現在設置作業中)

# 第二電子銃ビーム輸送&診断部



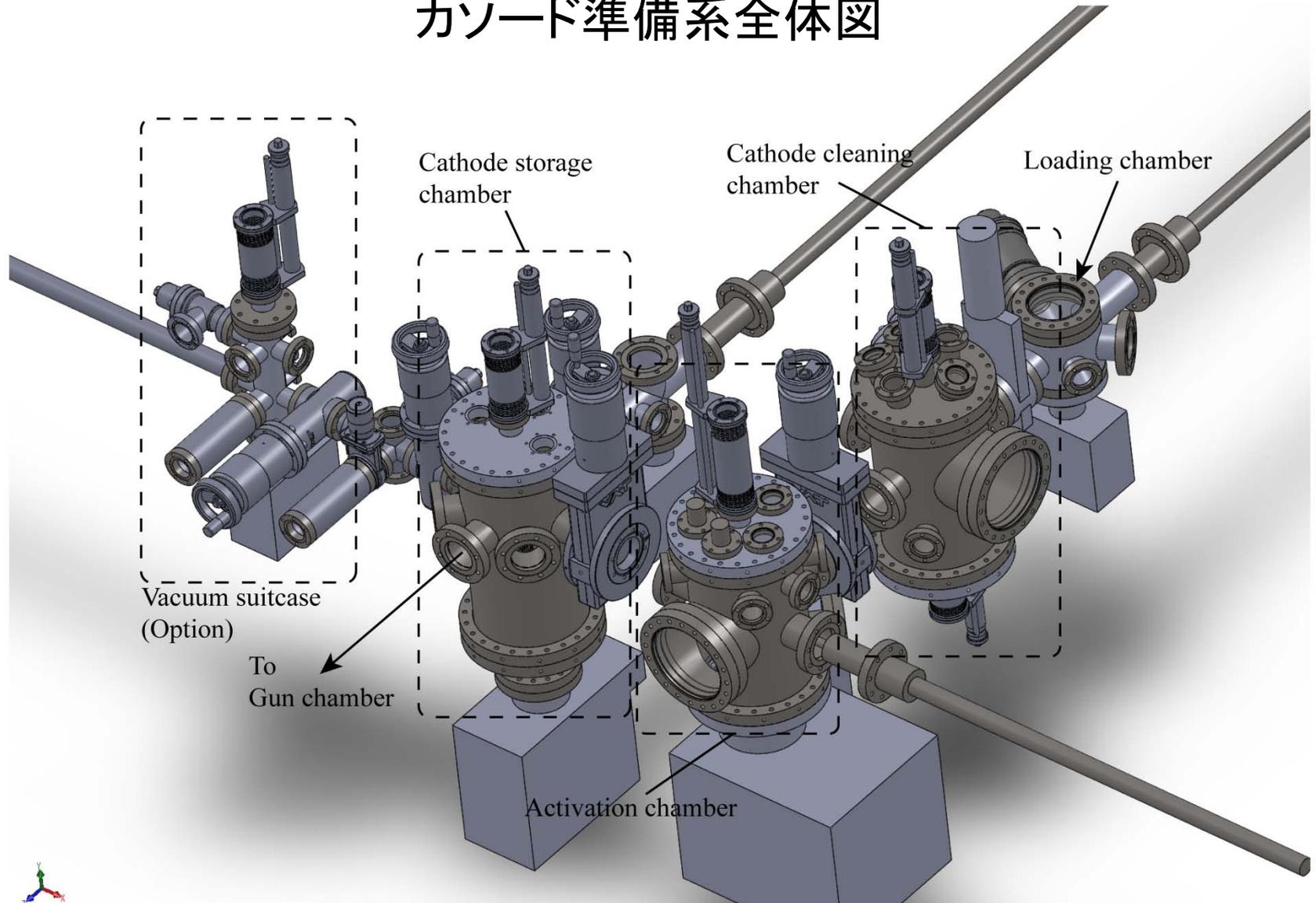
## 大電流試験のための排気系

ダンプ部で $10^{-5}$  Pa台時、輸送路入口で $10^{-8}$  Pa台を維持する。

7.5mの輸送路、途中の差動排気で約2~3桁の差圧に耐える設計。

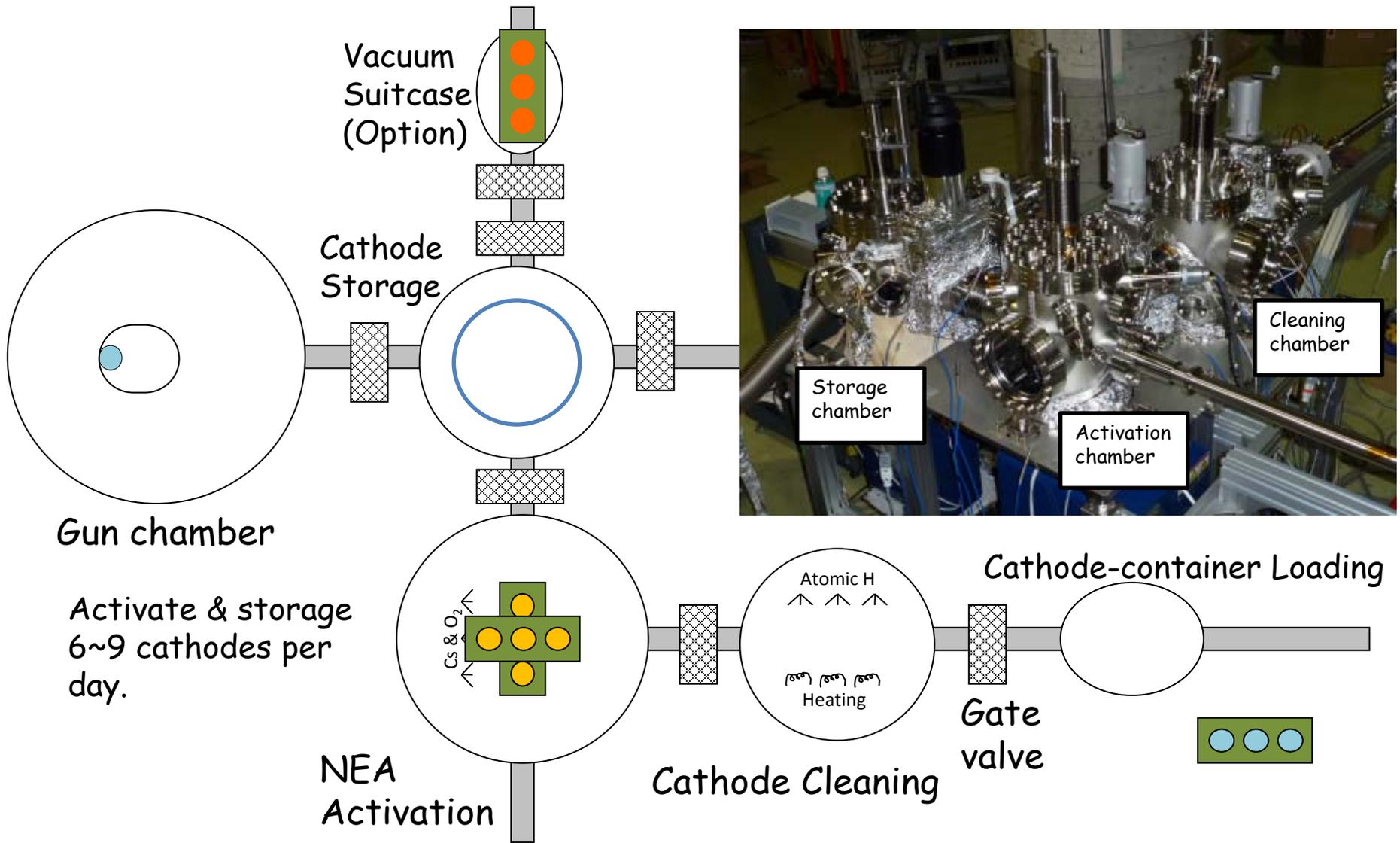
入射部(電子銃口から約1m長のレーザー導入部および差動排気部)は、既存のシステムをそのまま使用する。

# カソード準備系全体図



カソードを効率的に準備し、継続的に大電流運転を実施できるようにする目的で開発中。

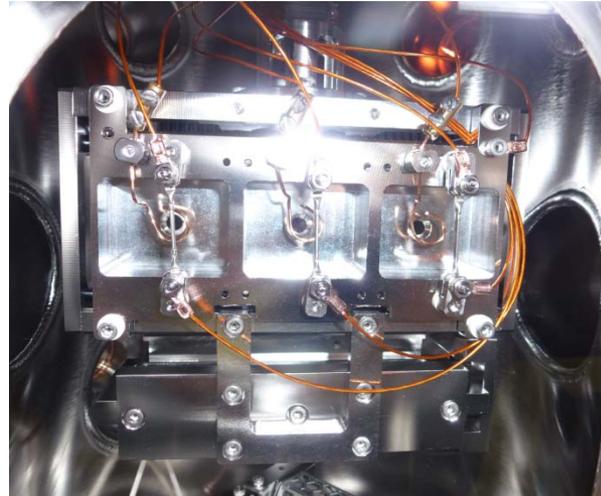
# カソード準備系 動作概要



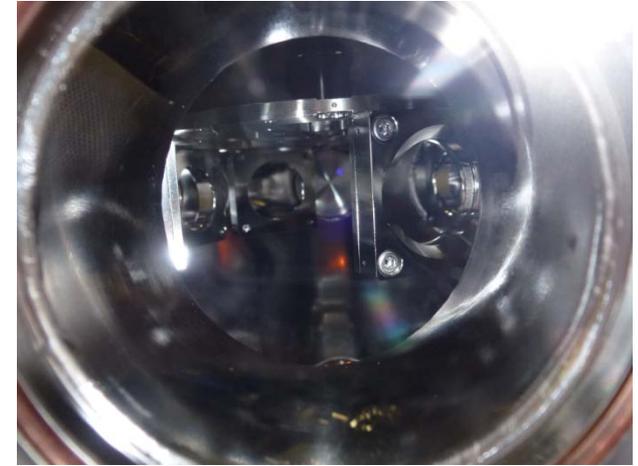
# カソード準備系の立上げ



Cleaning chamber



Activation chamber



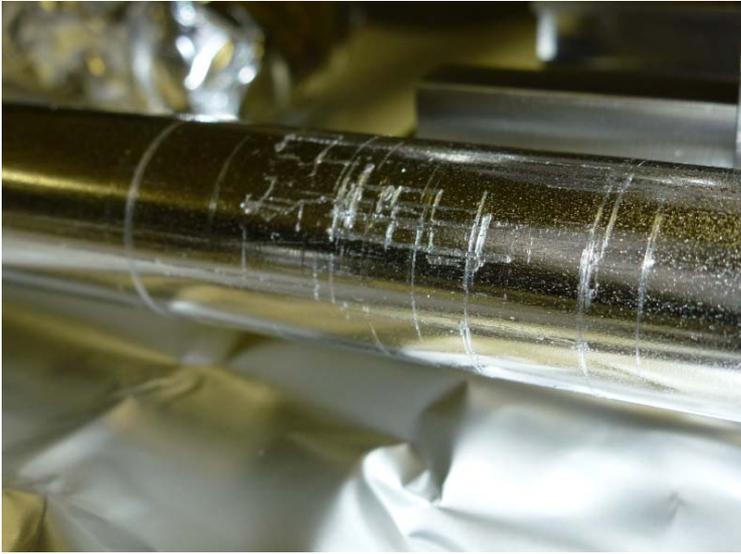
Storage chamber

- ・3つのchamberのベーキングが完了  $\sim 200^{\circ}\text{C}$ 、100時間
  - Cleaning chamber:  $1.3 \times 10^{-7}$  Pa (100 L/s IP)
  - Activation chamber:  $6.0 \times 10^{-9}$  Pa (200 L/s IP, 400 L/s x2 NEG)
  - Storage chamber:  $1.0 \times 10^{-9}$  Pa (100 L/s IP, 400 L/s x4 NEG)

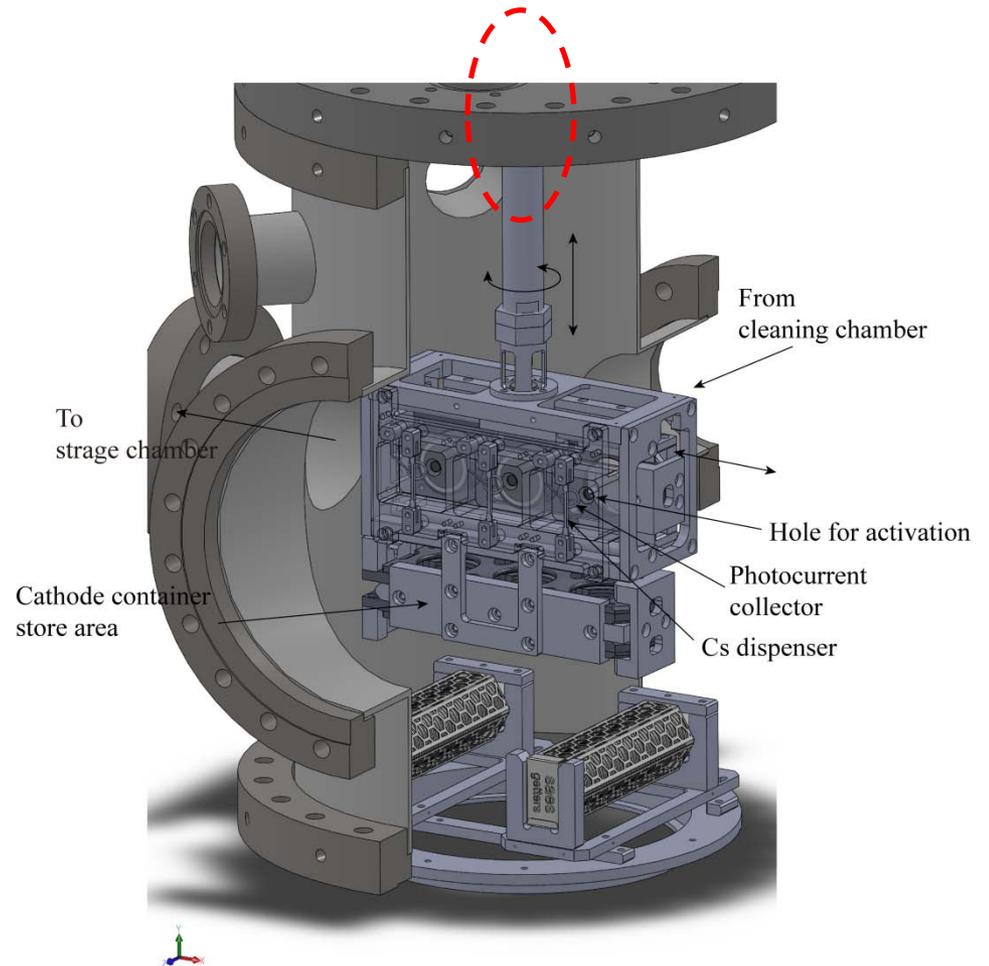
全てのchamberに必要な機能を全て組込んだ状態。

Cleaning chamberヒーター動作確認、Activation chamber Cs通電異常無し。

# 焼きつき(カジリ)の問題と対処



ロッドの軸と軸受部の間でカジリ発生。  
形状の修正およびTiNコーティングした部品  
を製作し交換予定(3/14頃)。



# まとめ

- ・アウトガスの最終評価
  - －構築した電子銃の全ガス放出速度は、 $8.1 \times 10^{-11}$  Pa m<sup>3</sup>/s(水素換算)。
- ・高電圧エージング
  - －510kVまでエージング、480kV,2時間保持試験を実施した。
- ・主排気系の接続
  - －来週よりベーキングを実施、3月末頃に最初の到達圧力の確認。
- ・ビーム輸送 & 診断部の準備
  - －主要部品は3月末に揃う。
  - －ただし、BPM、冷却機能付きビームダンプ、放射線遮蔽など大電流試験用の準備はできていない。
- ・カソード準備系の立上げ
  - －真空の立上げはOKだが、焼きつきトラブルがあり対応中。
  - －4月より活性化試験。

2014年度は、カソード準備系での3カソード同時活性化の確立、第二電子銃から微小電流のビーム発生が目標。