

入射器クライオモジュールにおける 超伝導空洞のパルス・エージングによる 性能回復の効果

2016.2.25 ERL検討会

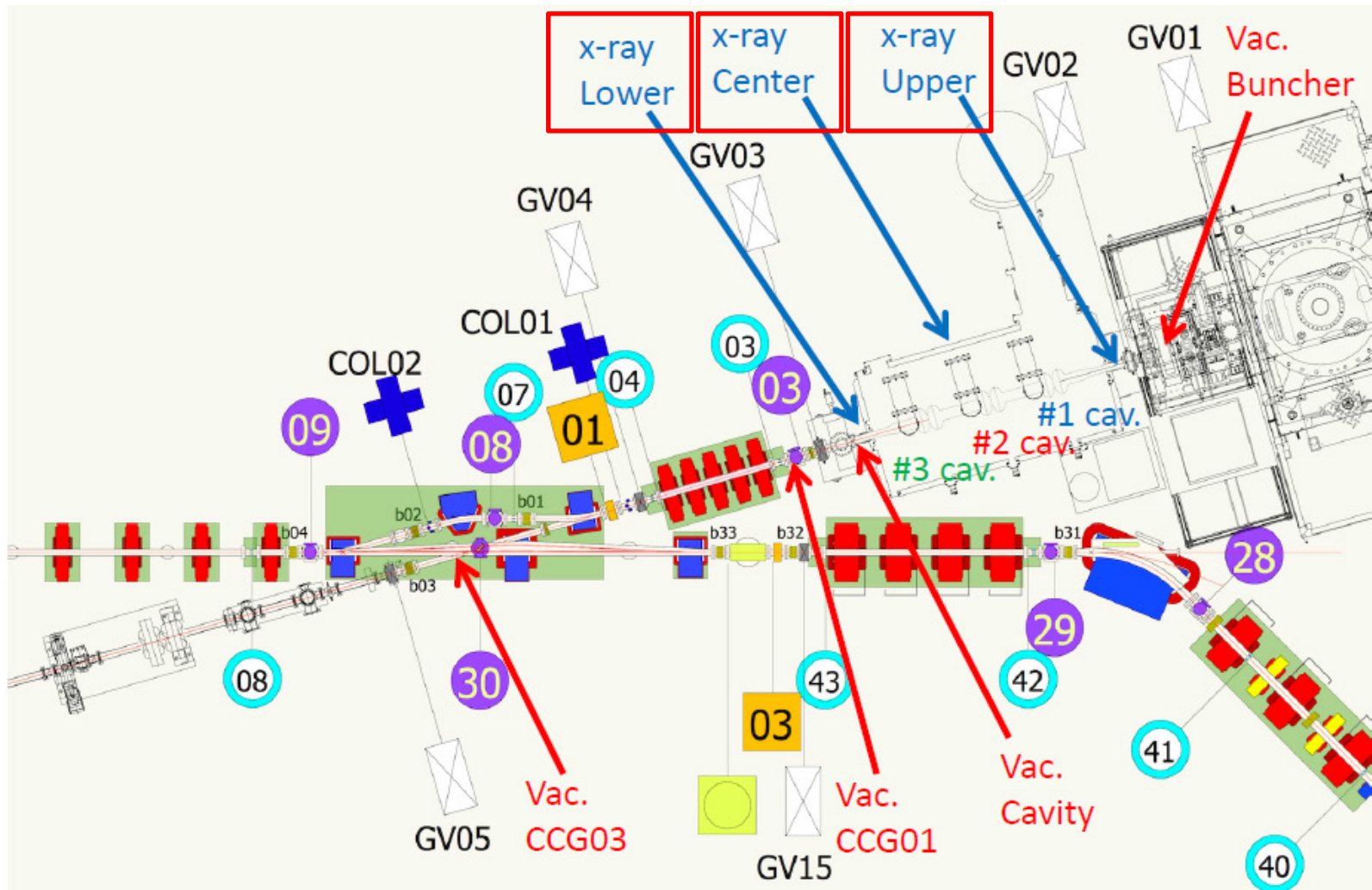
許斐太郎

発表内容

1. パルス・エージングの目的
 1. X線モニターの配置
 2. 入射空洞の履歴
 3. パルス・エージング直前の状況
2. パルス・エージングのセットアップ
 1. パルス波形
 2. インターロック設定値
3. パルス・エージング中のトレンド
4. パルス・エージングの効果

パルス・エージングの目的： X線モニターの配置

- X線モニターが空洞のField Emission状況を最も良く反映する。
- X線モニターは空洞モジュールの上流、側面、下流に1つずつ取り付けている。
- エージングは空洞ゲートバルブを閉めきって行っている。



パルス・エージングの目的: 入射空洞の履歴

Pulse Agingの目的

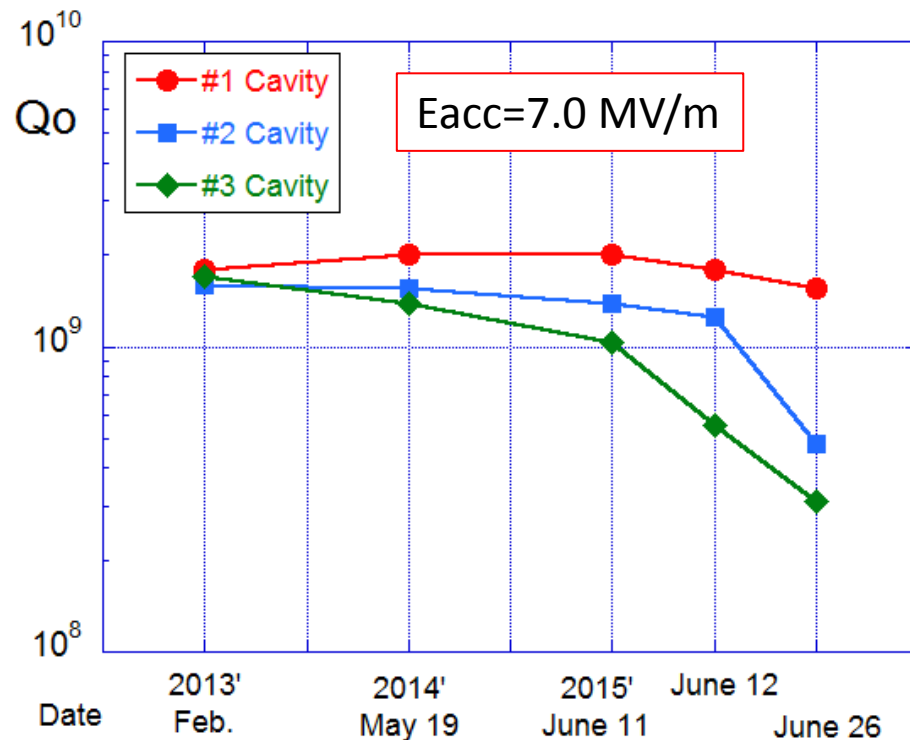
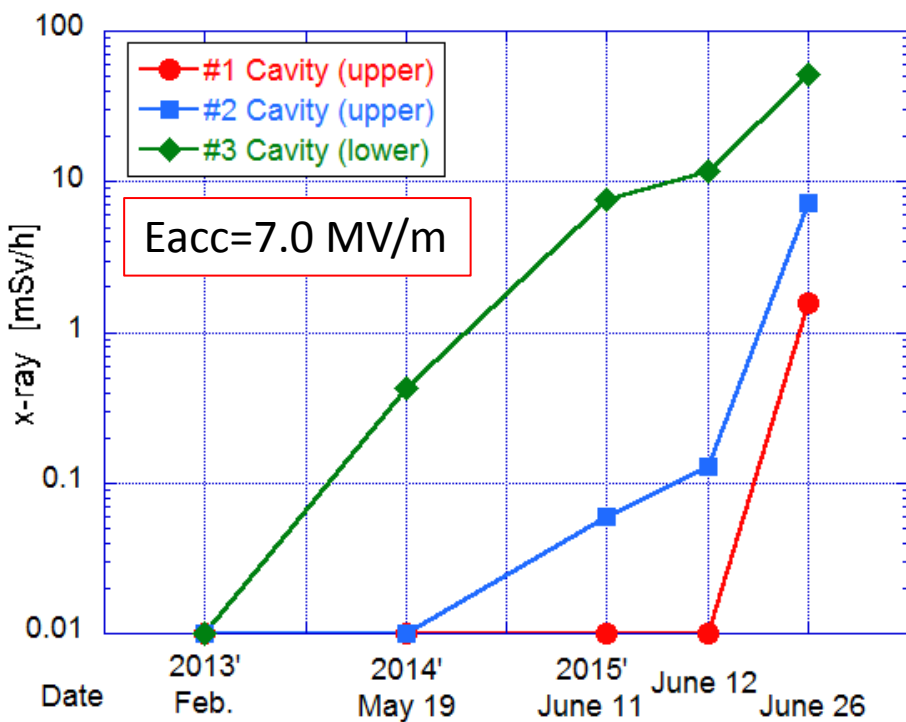
入射空洞は立上げ直後から2015.6月の運転までで、は、Field Emissionにより徐々に空洞性能が低下していることを示す。Pulse AgingによりFEを取り除き回復させる。

Pulse Agingを選ぶ理由

STFでは低電界でのFEはPulse Agingで取り除かれる現象が頻繁に見られる、ERL入射空洞でもPulse Agingにより低電界でのFEを取り除くことができると期待できる。

Pulse Agingの方法

可能な限りのShort Pulse から徐々にPulse 長さを伸ばし、低熱負荷、FEの雪崩を制御して高電界まで印加して、FEの発生源を散らす。

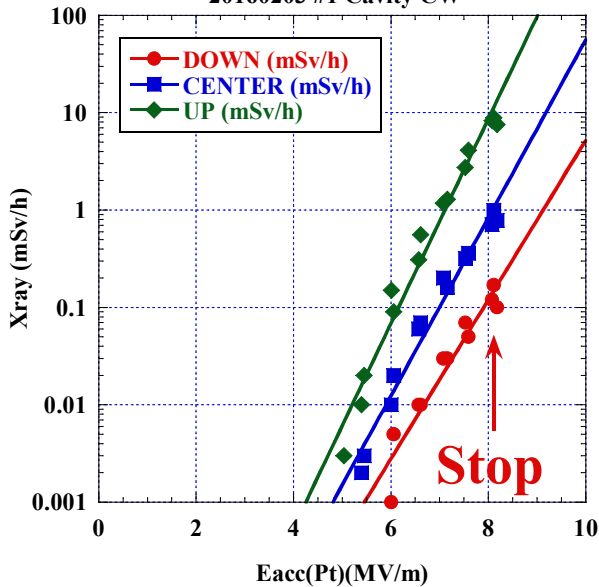


パルス・エージングの目的: パルスエージング前の状況

- 2016年2月のパルスエージング直前にCWで測定した、各空洞単体の放射線量を示す。
- 昇温、冷却によるフィールドエミッションの改善は見られない。
- 中央空洞はフィールドエミッション電子の衝撃によるクエンチが起こる状況となっていた。

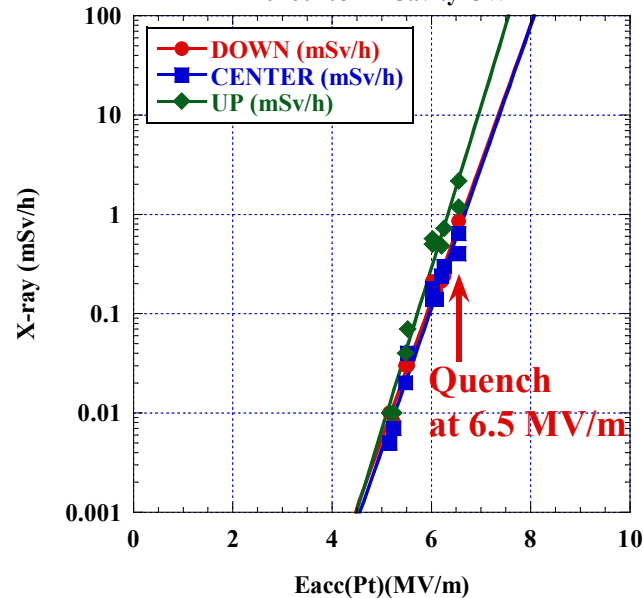
#1/上流空洞

20160203 #1 Cavity CW



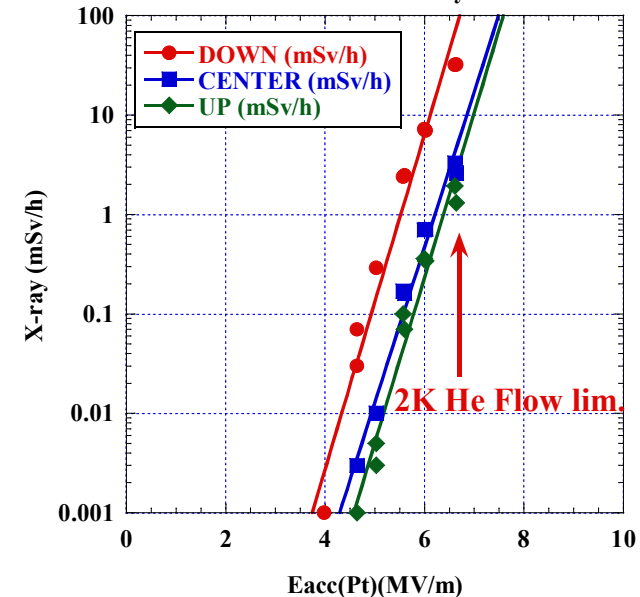
#2/中央空洞

20160203 #2 Cavity CW



#3/下流空洞

20160203 #3 Cavity CW



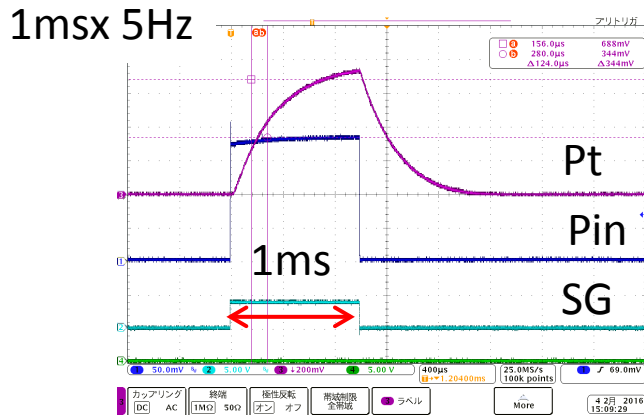
パルス・エージングのセットアップ: パルス波形

空洞に電界が十分に立つだけのパルス幅からエージングを行っている。

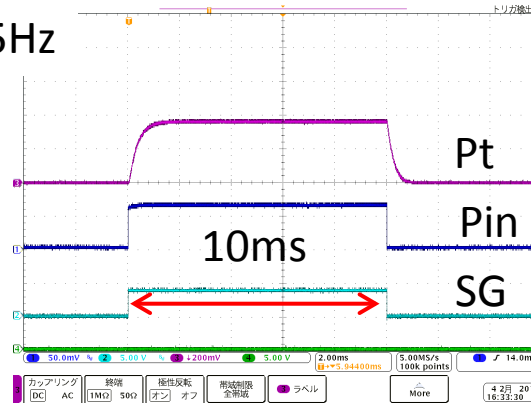
#1/上流空洞

$QL=1.26 \times 10^6$

$T(1/2)=106 \mu\text{s}$



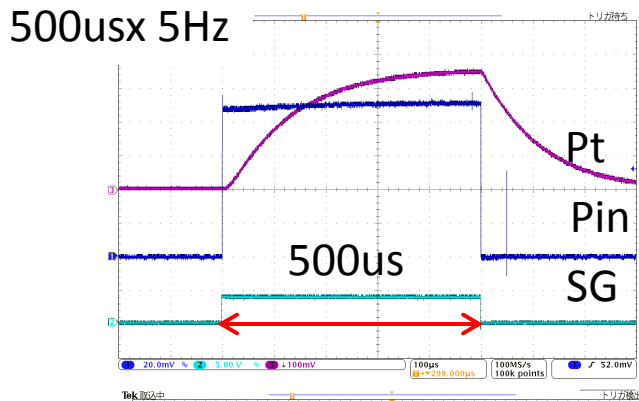
10msx 5Hz



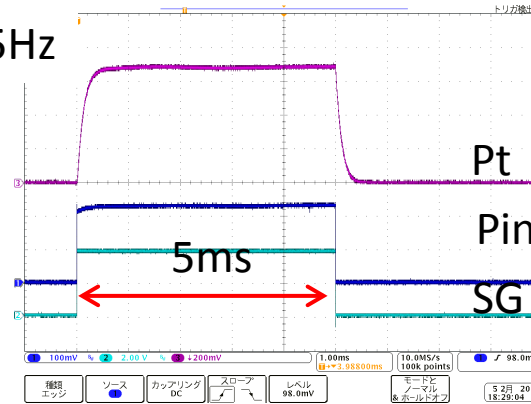
#2/中央空洞

$QL=5.3 \times 10^5$

$T(1/2)=45 \mu\text{s}$



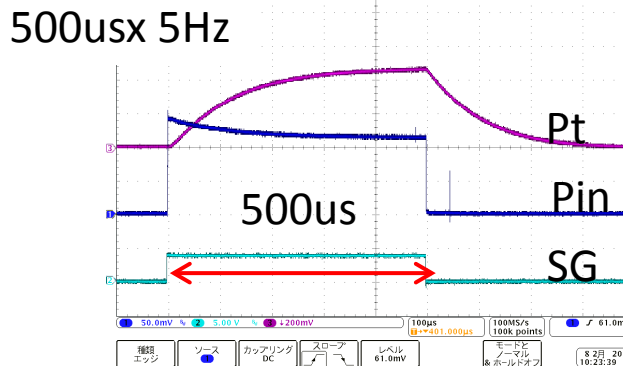
5msx 5Hz



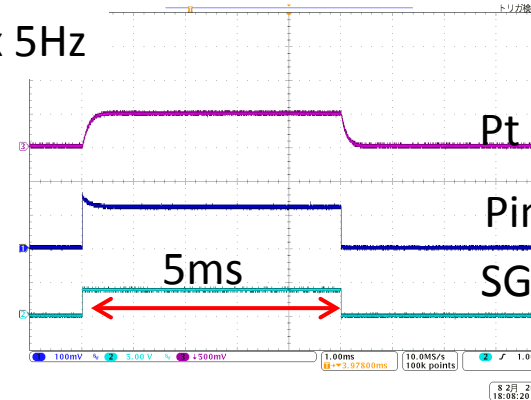
#3/下流空洞

$QL=5.0 \times 10^6$

$T(1/2)=42 \mu\text{s}$



5msx 5Hz



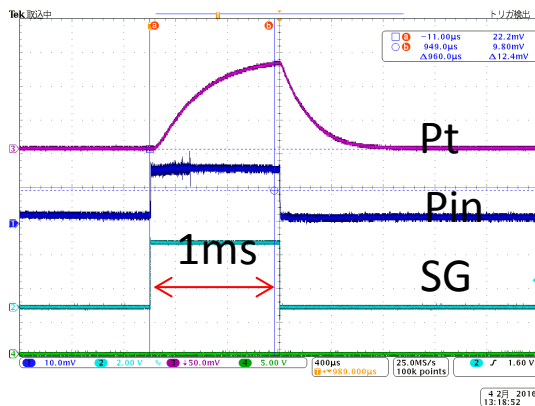
パルス・エージングのセットアップ: インターロック

パルスエージングのために、RFグループにQLインターロックを作成してもらった。

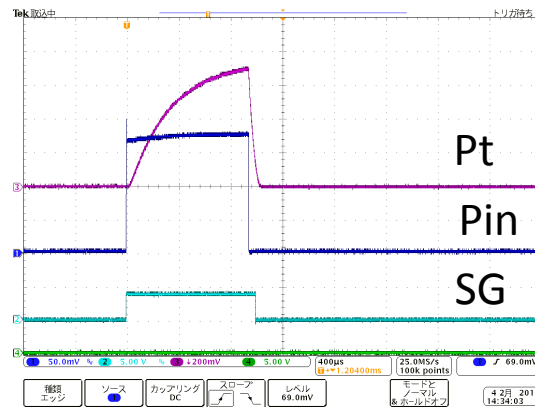
インターロック	#1空洞	#2空洞	#3空洞
真空 (Base 0.97×10^{-7} Pa)	5×10^{-7}	5×10^{-7}	5×10^{-7}
ARCモジュールの目盛	4と2	6と4	4と4
QL	8×10^5 (Base 1.26×10^6)	4×10^5 (Base 5.3×10^5)	4×10^5 (Base 5.0×10^5)

傾きからQLを計算して設定値を下回ればインターロックが働く。

通常



QL インターロック



パルスエージングのトレンド: #1上流空洞の状況

1msx5Hz

10msx5Hz

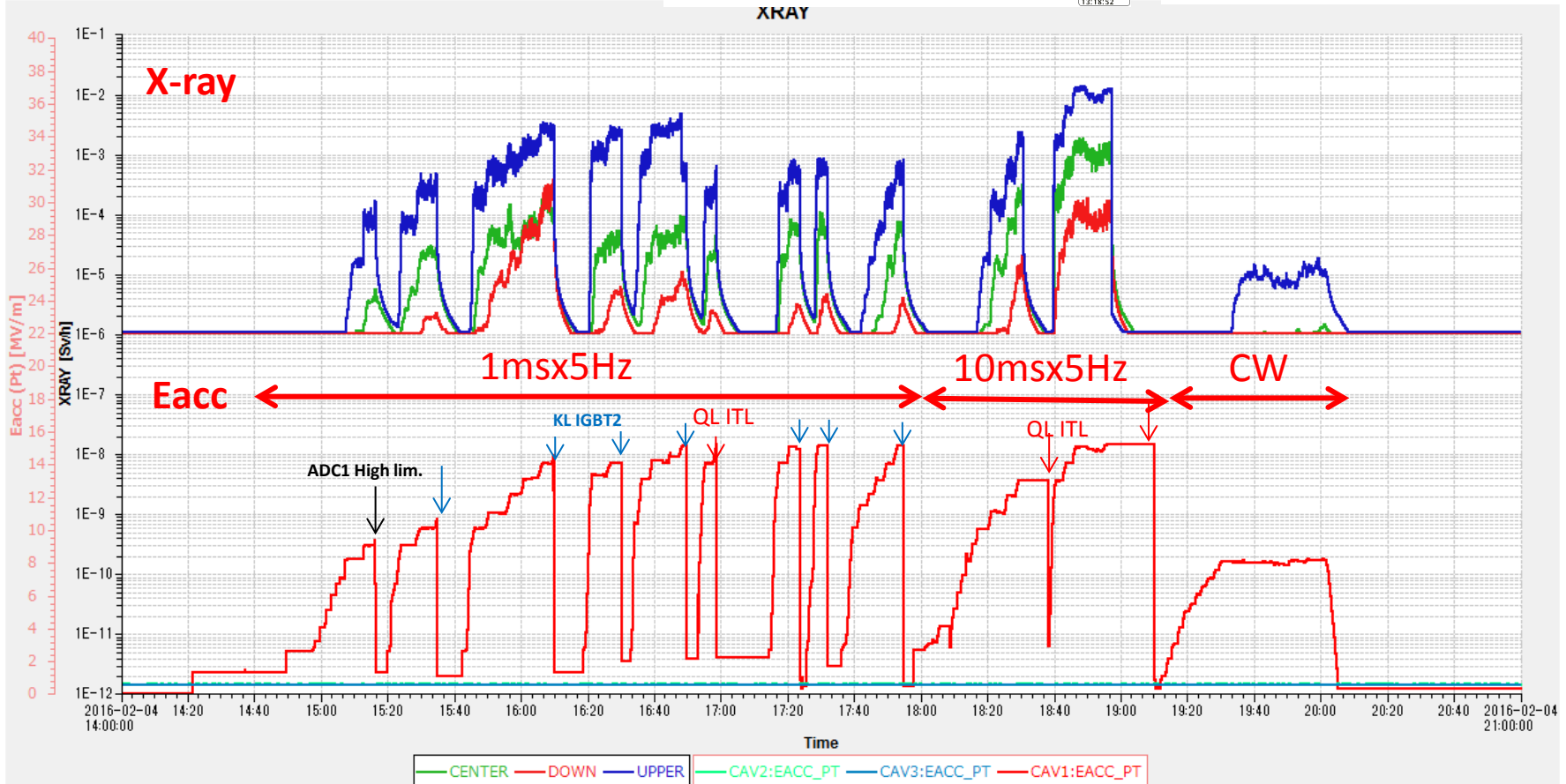
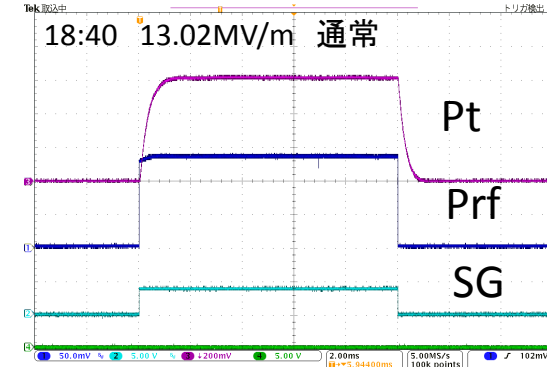
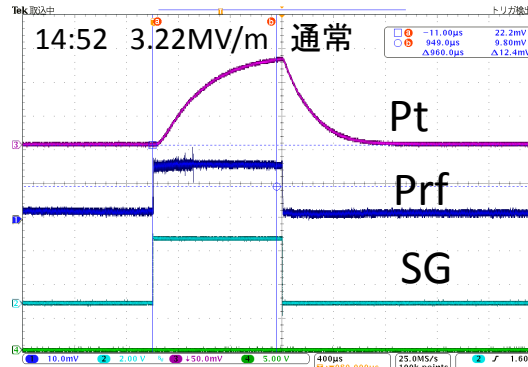
1msx5Hzと10msx5Hzを使用。

実Aging時間:3時間

最大Pin 16kW

$QL=1.26 \times 10^6$

$\tau(1/2)=100\mu s$



パルスエージングのトレンド: #1上流空洞の状況

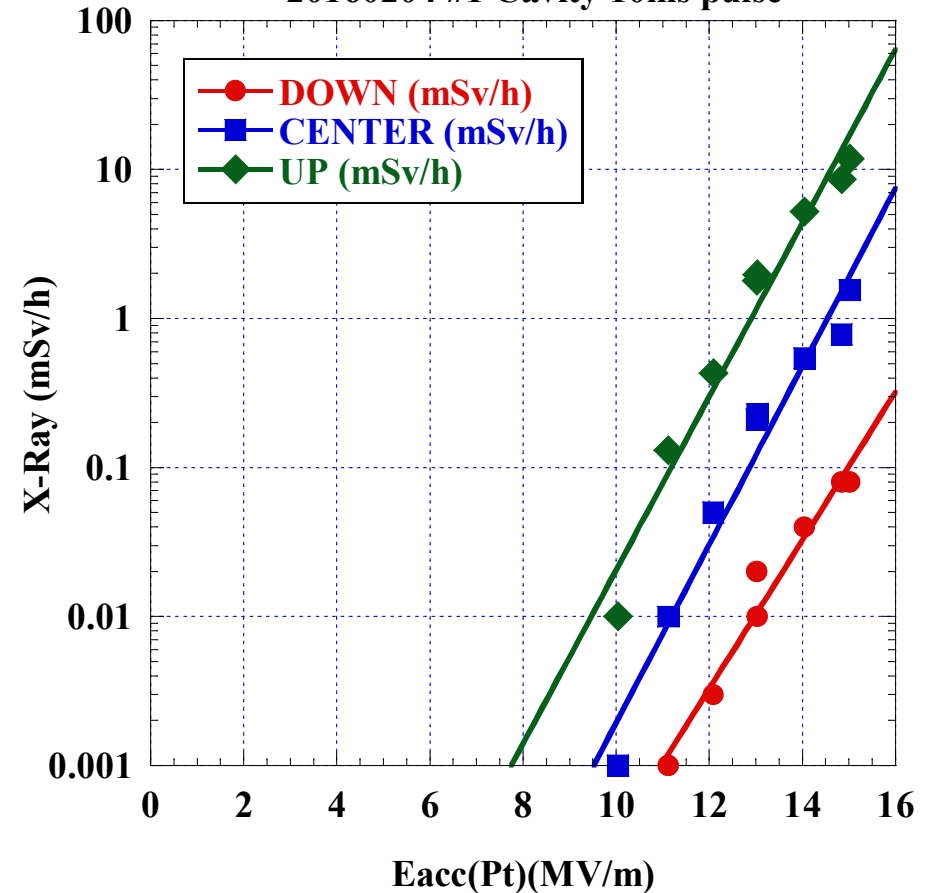
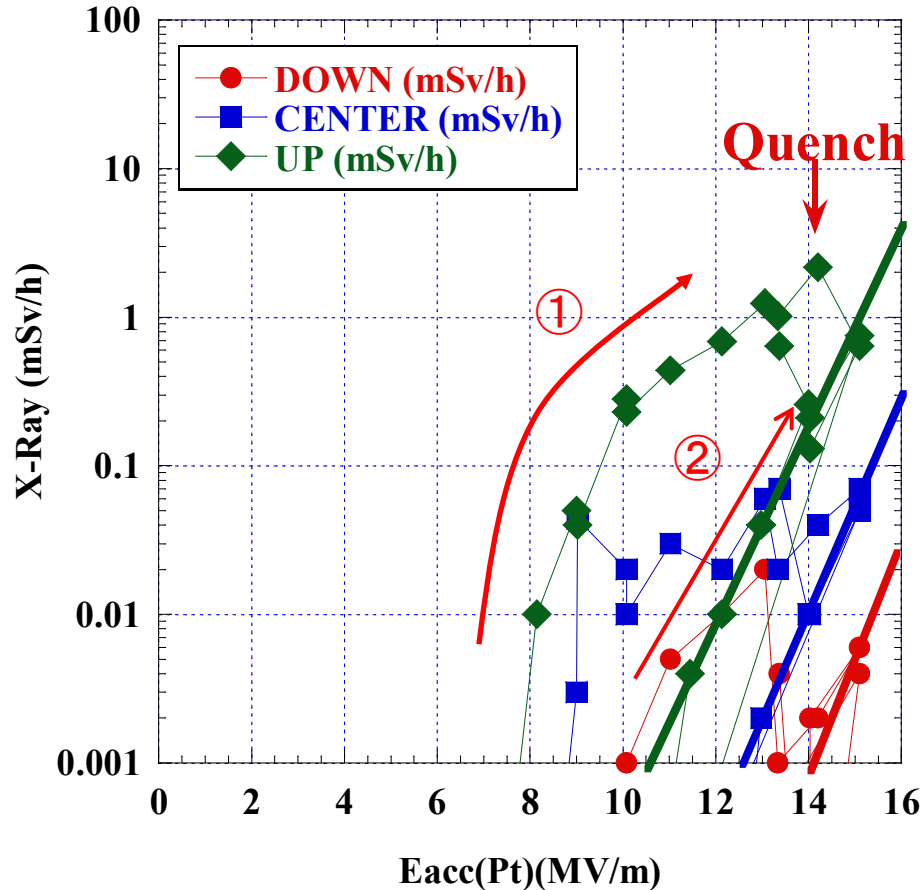
1msパルスのエージング中クエンチを経ることで、大幅なX線減少効果が見られた
投入電力の上限により制限された。

1ms x 5Hz Pulse

10ms x 5Hz Pulse

20160204 #1 Cavity 1ms pulse

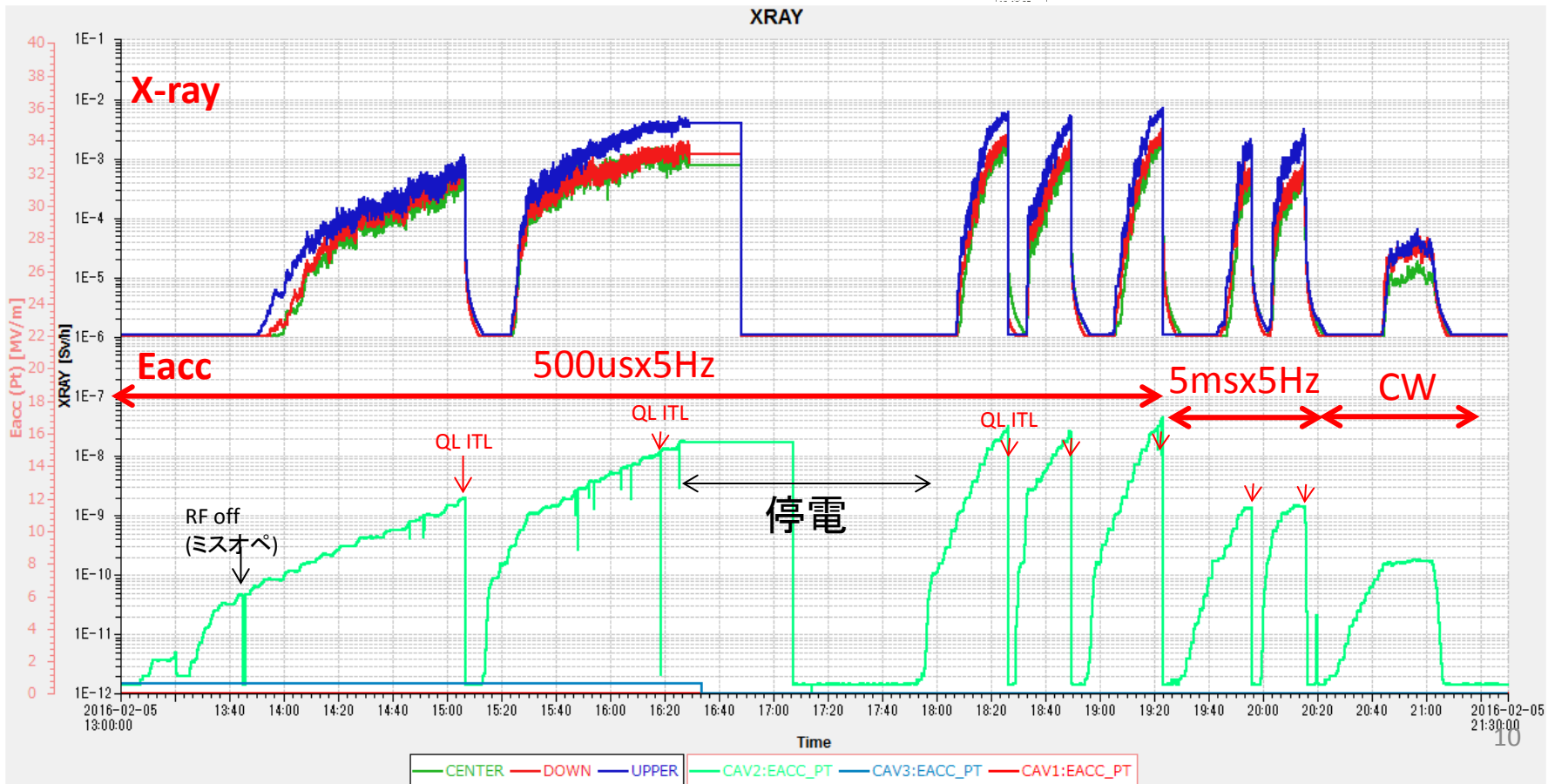
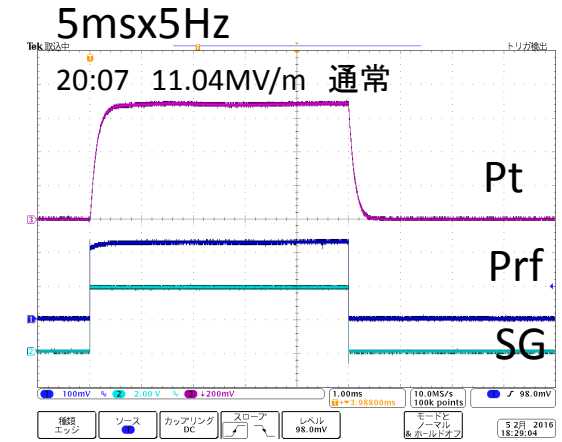
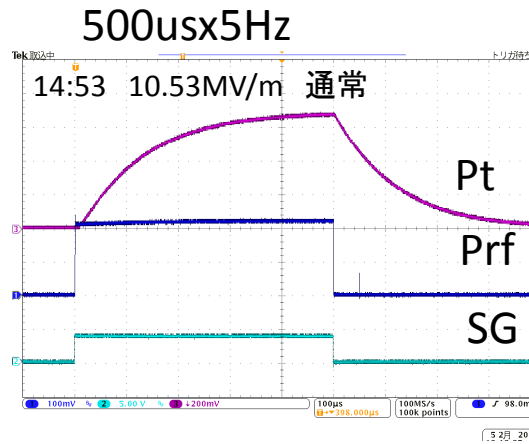
20160204 #1 Cavity 10ms pulse



パルスエージングのトレンド: #2中央空洞の状況

500usx5Hzと5msx5Hzを使用。
 実Aging時間:3時間
 最大Pin 40kW

QL=5.5x10⁵
 Tau(1/2)=50us

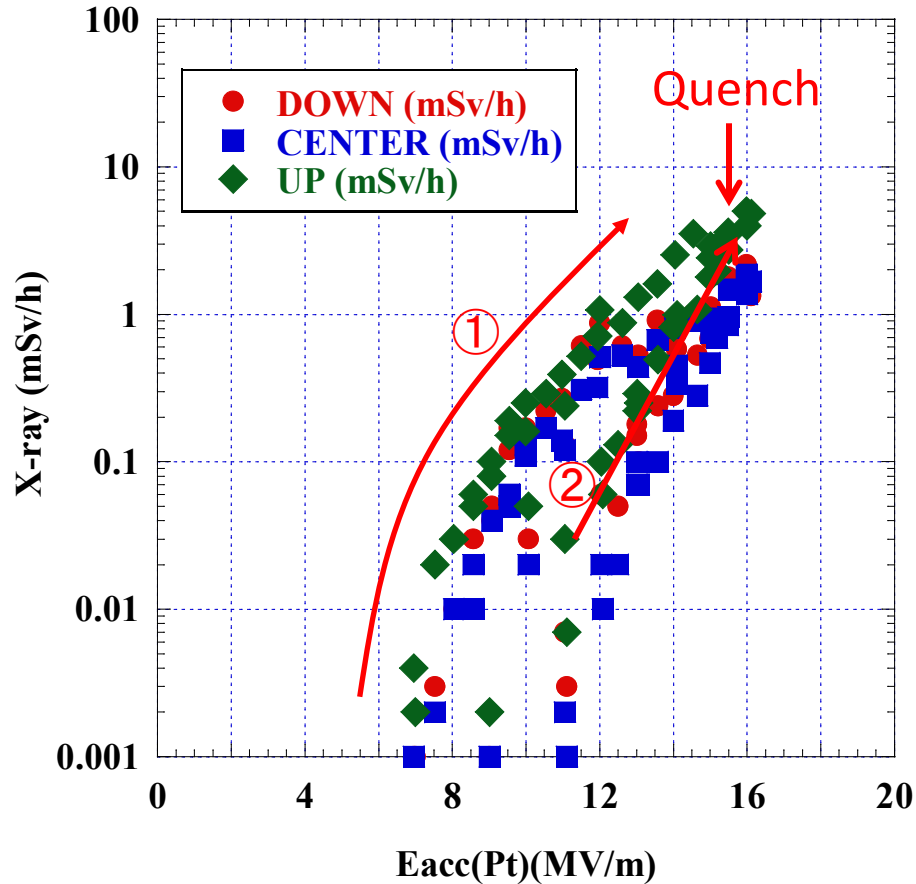


パルスエージングのトレンド:#2中央空洞の状況

500usパルスのエージング中クエンチを経ることで、大幅なX線減少効果が見られた。
16MV/m以上の電界はクエンチにより制限された。

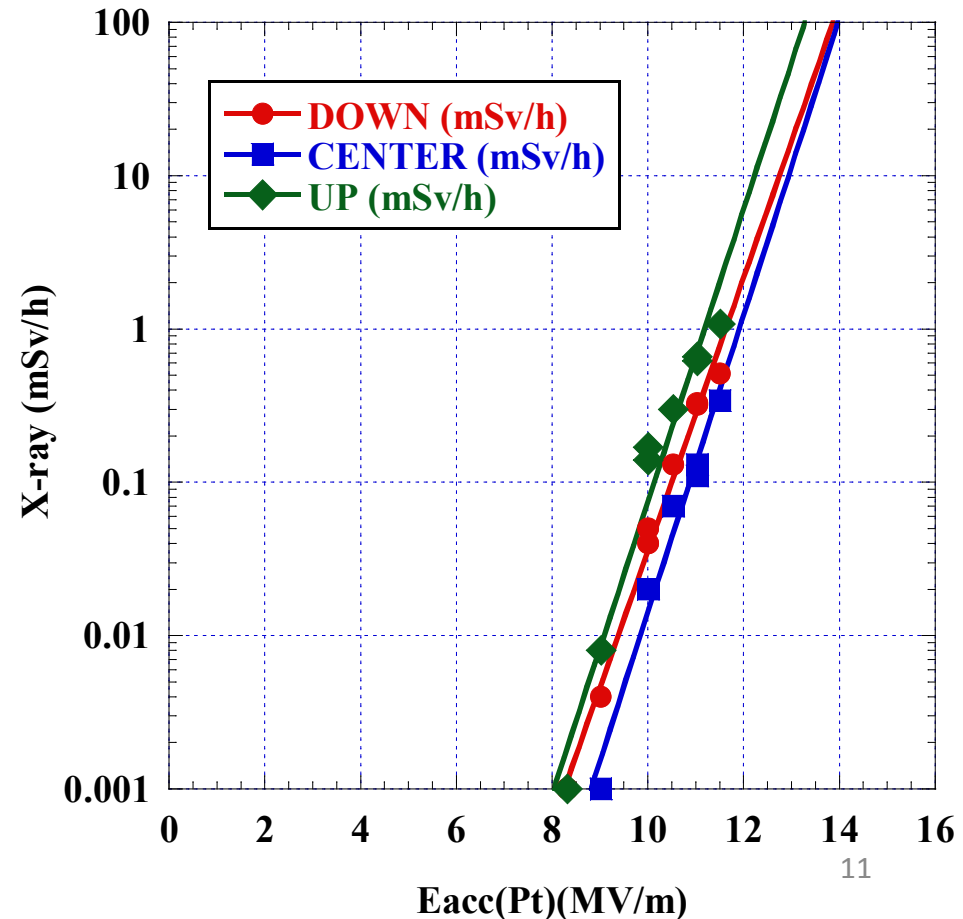
500us x 5Hz Pulse

20160205 #2 Cavity 500us pulse



5ms x 5Hz Pulse

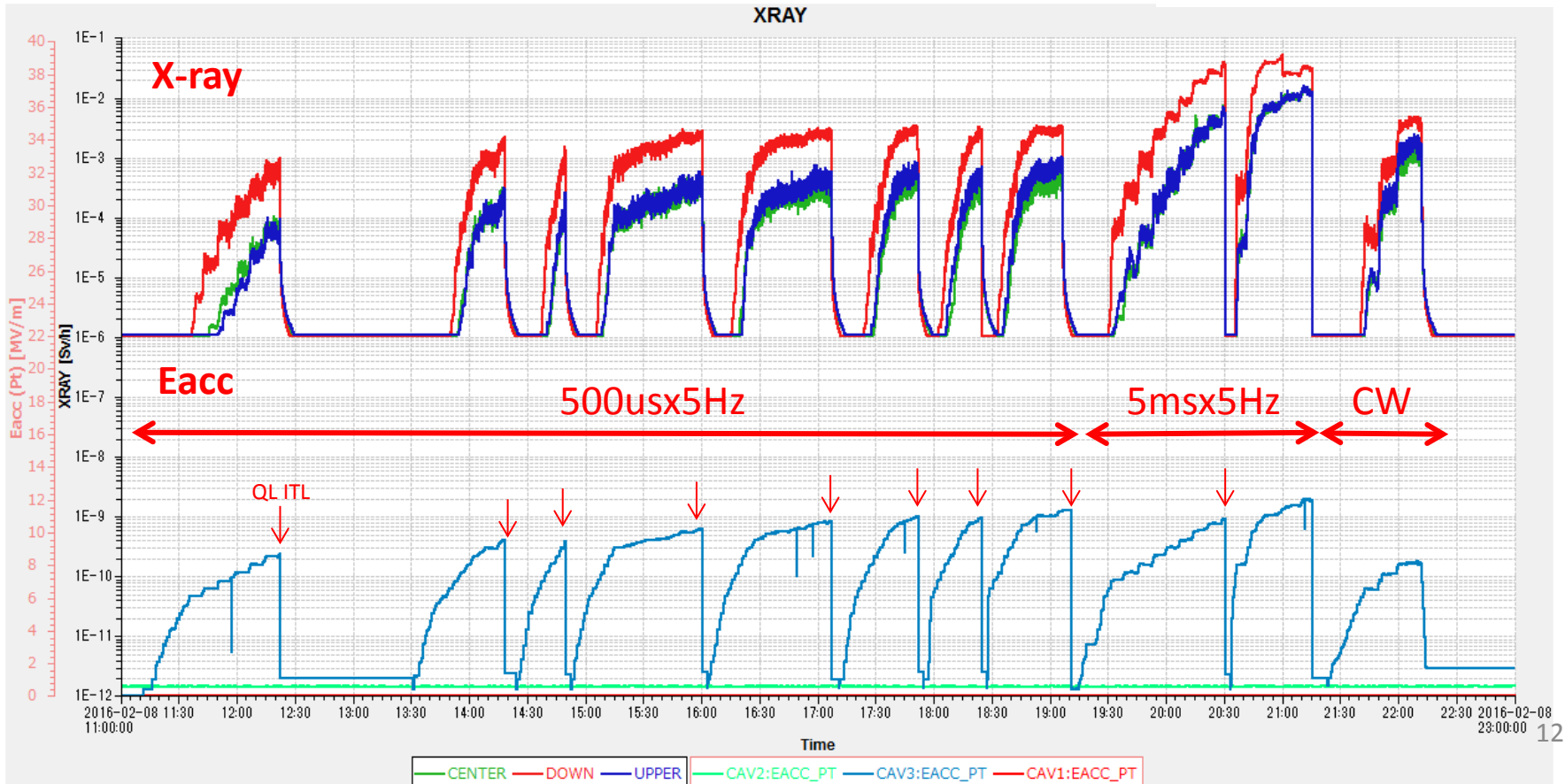
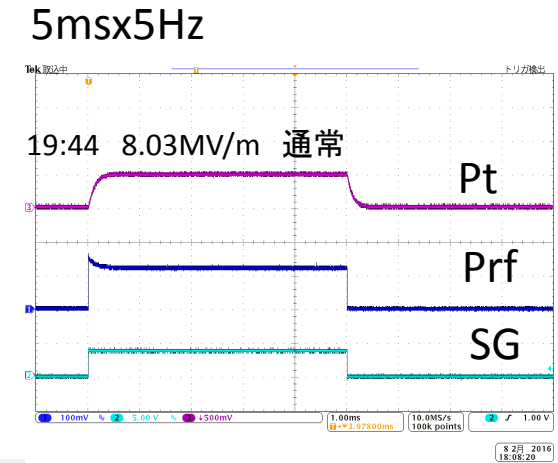
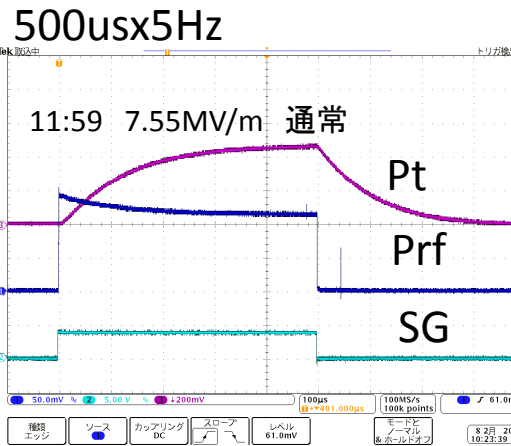
20160205 #2 Cavity 5ms pulse



パルスエージングのトレンド: #3下流空洞の状況

500usx5Hzと5msx5Hzを使用。
強力なFE-Quenchで~12MV/mまでのAging
時間の都合でAging Stop

最大Pin=18kW
QL=5.5x10⁵
Tau(1/2)=50us

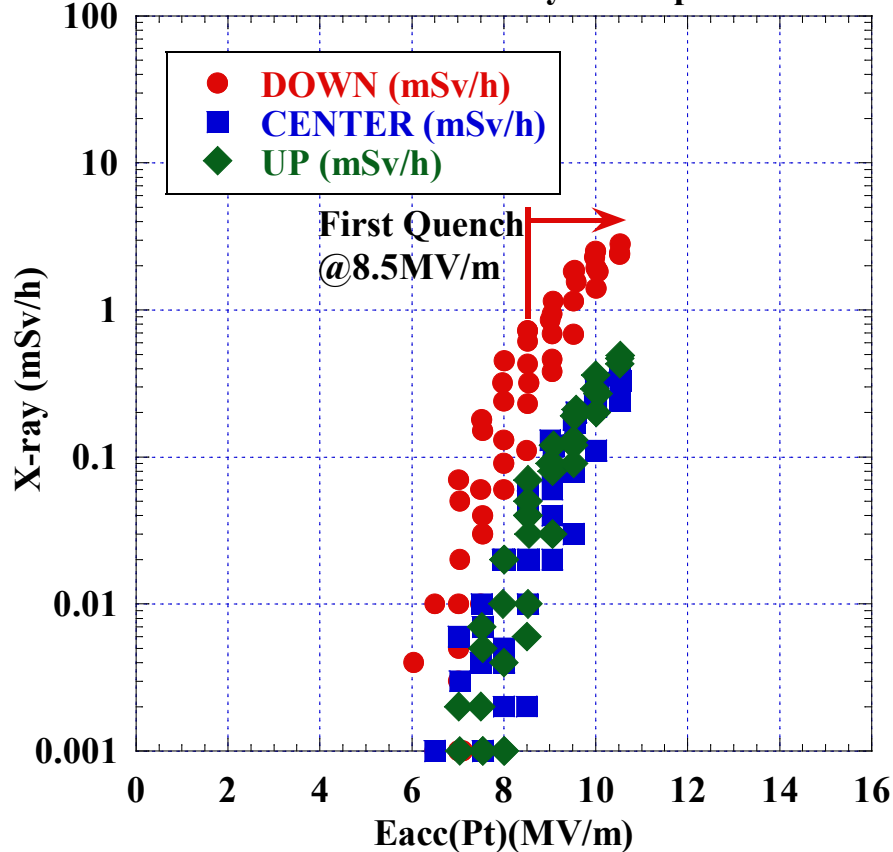


パルスエージングのトレンド: #3下流空洞の状況

クエンチを経るごとに到達電界は徐々に伸びるが、時間の都合でこれ以上のエージングは行えなかった。

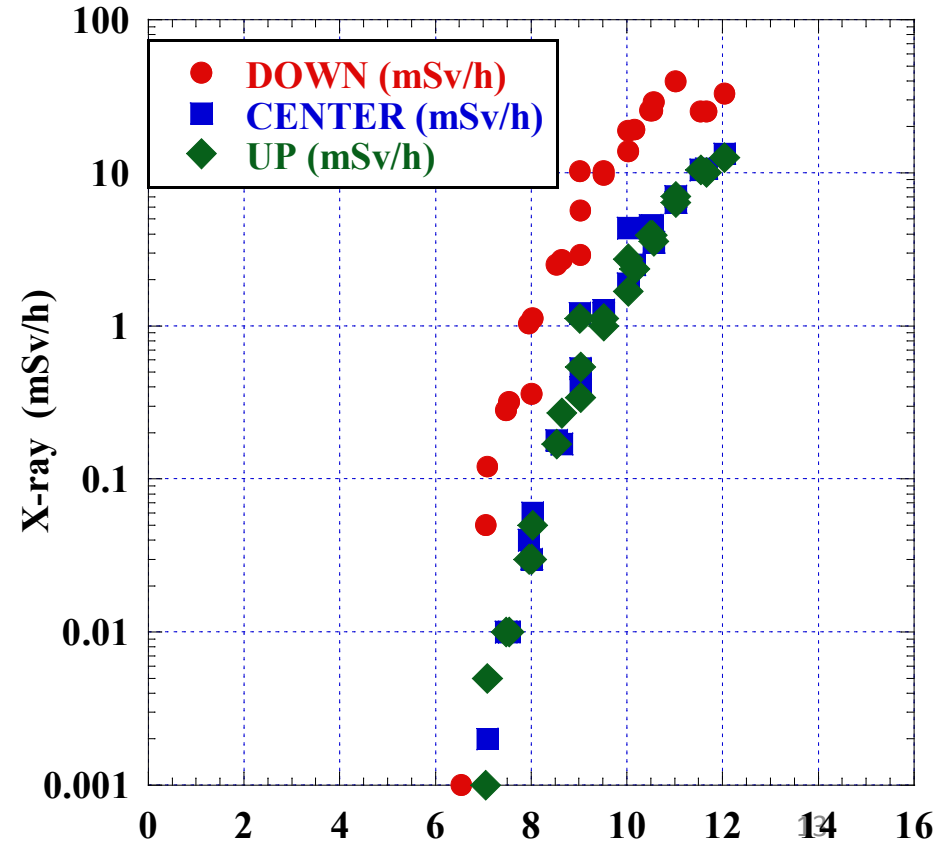
500us x 5Hz Pulse

20160208 #3 Cavity 500us pulse



5ms x 5Hz Pulse

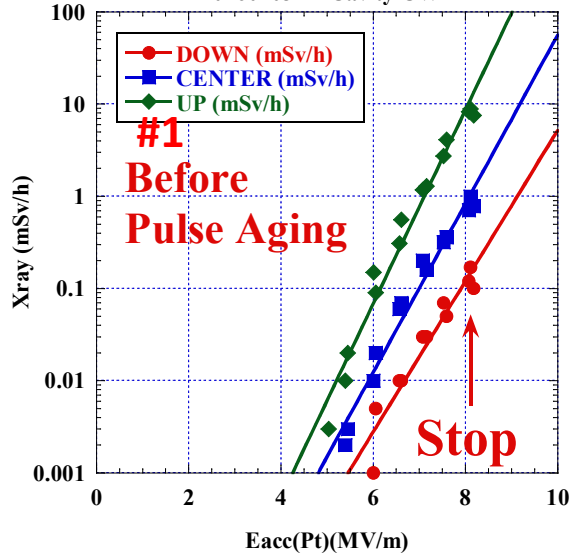
20160208 #3 Cavity 5ms pulse



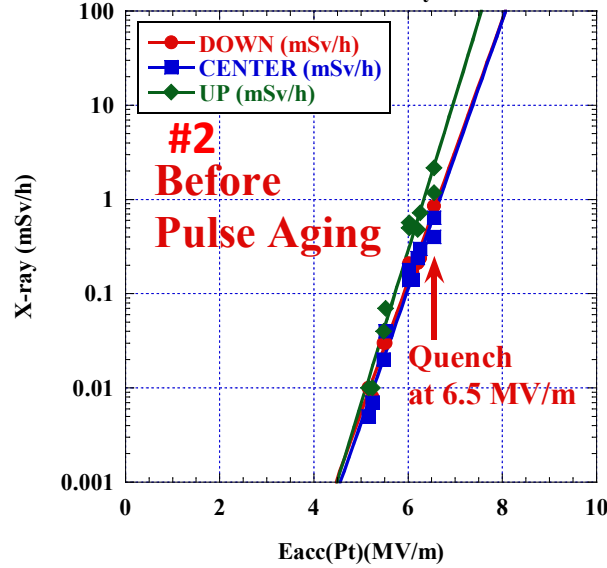
パルスエージングの効果: Pulse Aging前後の各空洞状況

大幅なField Emissionの改善が見られた。

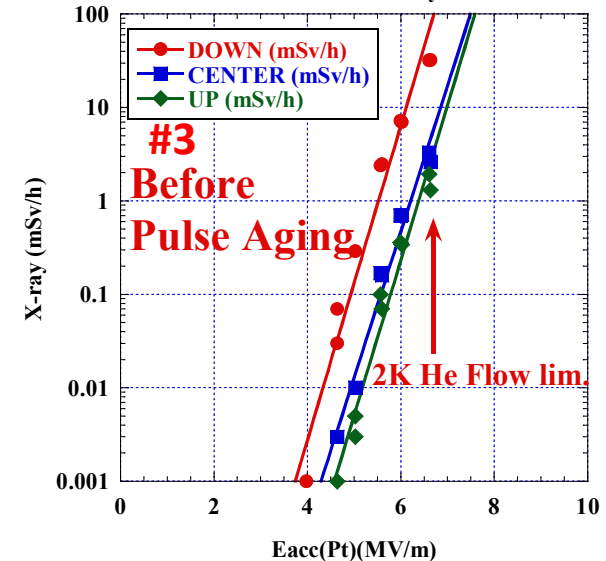
20160203 #1 Cavity CW



20160203 #2 Cavity CW



20160203 #3 Cavity CW

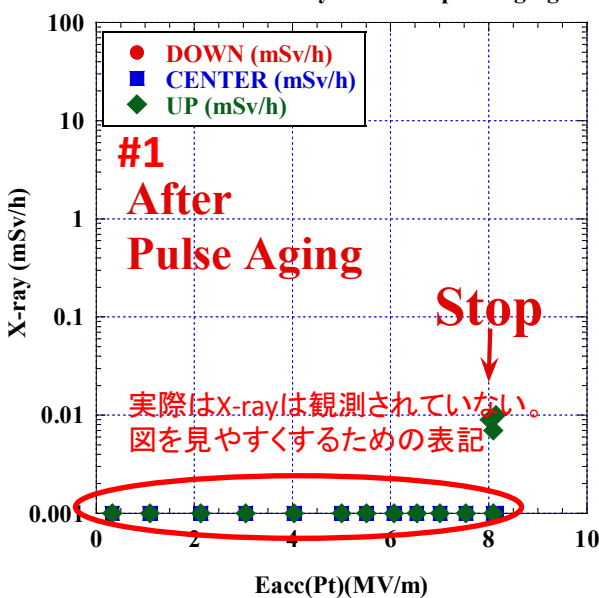


Eacc(Pt)(MV/m)

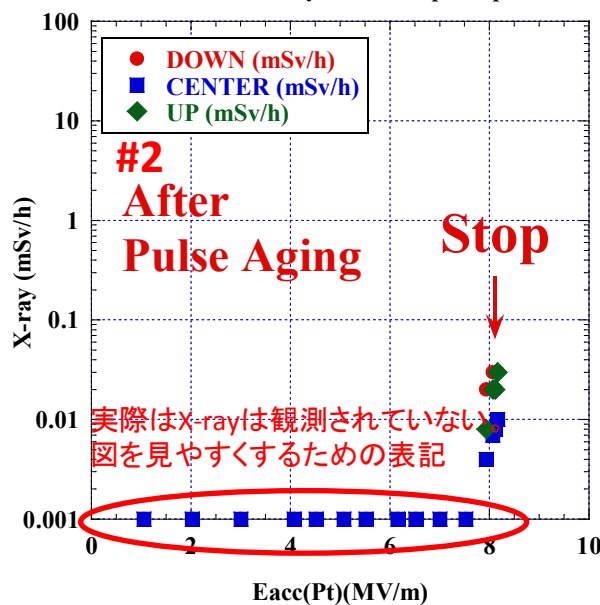
Eacc(Pt)(MV/m)

Eacc(Pt)(MV/m)

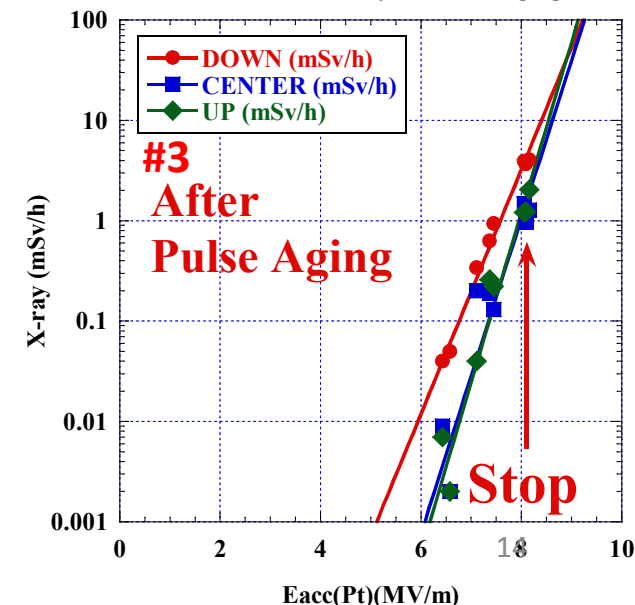
20160204 #1 Cavity CW after pulse aging



20160205 #2 Cavity CW after pulse process



20160208 #3 Cavity CW after aging



Eacc(Pt)(MV/m)

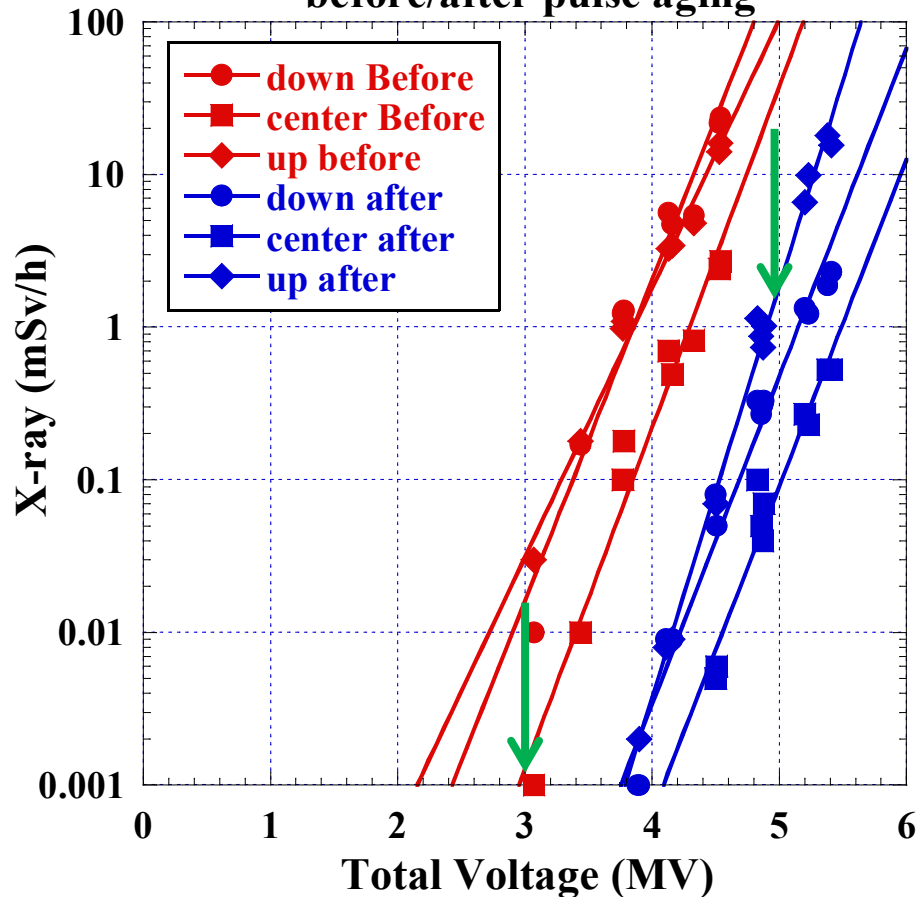
Eacc(Pt)(MV/m)

Eacc(Pt)(MV/m)

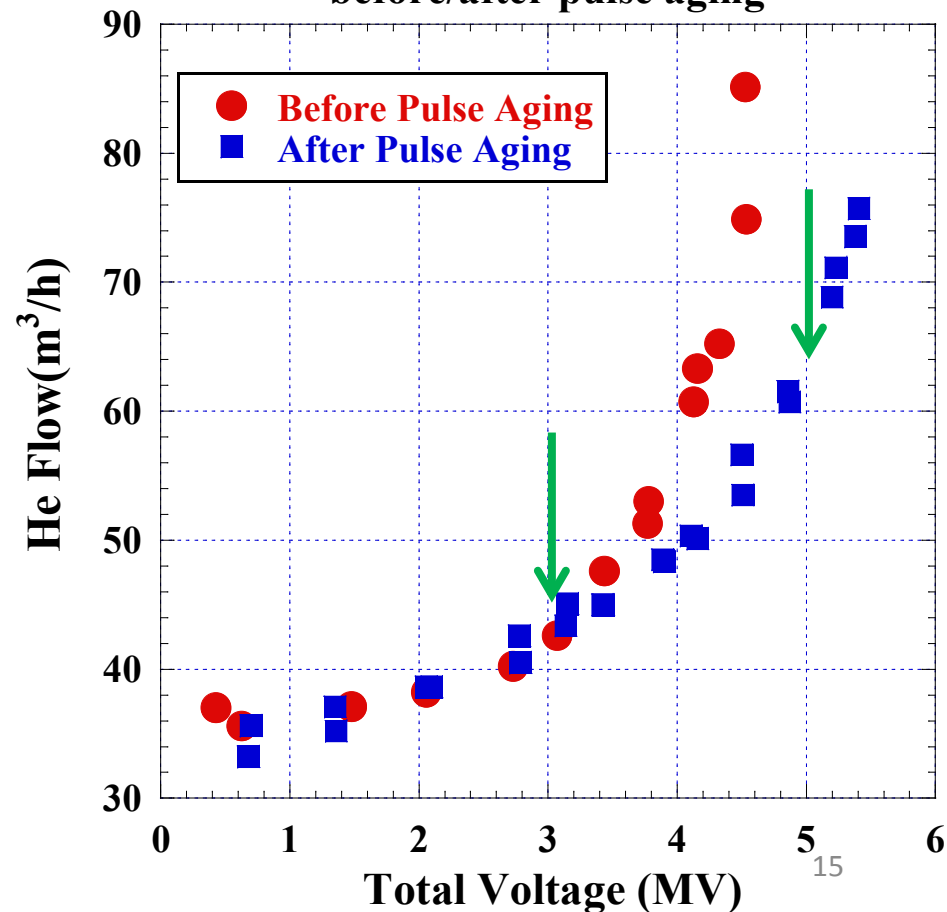
パルスエージングの効果 : Pulse Aging前後の空洞同時運転状況

- #1+#2+#3 空洞3台同時運転の比較
- 3MV運転
 - Field Emissionは無くなった。冷凍機負荷は10m³/h。
- 5MV運転
 - Field Emission強度は2ケタ減少。冷凍機負荷は25m³/h。
 - 主空洞との同時運転が可能になるまで回復した。

#1+#2+#3 Cavity performance
before/after pulse aging



#1+#2+#3 Cavity performance
before/after pulse aging



まとめ

- FEによりQ値が減少しX-rayが生じていたcERL入射空洞のPulse Agingを行った。
 - #1のPulse Agingは1ms x5Hzと10msx5Hzで行った。
 - #2のPulse Agingは500usx5Hzと5msx5Hzで行った。
 - #3のPulse Agingは500usx5Hzと5msx5Hzで行った。
- Aging前後のCW測定で各空洞のFE Onsetは
 - #1: 5MV/m ⇒ 8MV/m
 - #2: 5 MV/m ⇒ 8MV/m
 - #3: 4 MV/m ⇒ 6.5 MV/m
 - #1+#2+#3同時: 3MV ⇒ 4MVまで向上した。
- #1,#2は最短パルスでのAgingで15~16MV/mまで到達。
1~2ケタのX-ray減少を確認できた。
- #3は最短パルスで11MV/mまで、5msで12MV/mまで到達
- 入射空洞において8MV/m以下のFEは、
Eacc = 15~16MV/mまでのPulse Agingにより取り除けることが分かった。