

# ERL主加速器超伝導空洞の開発状況報告 (ERL-9cell #2 cavity 2回目、3回目縦測定結果)

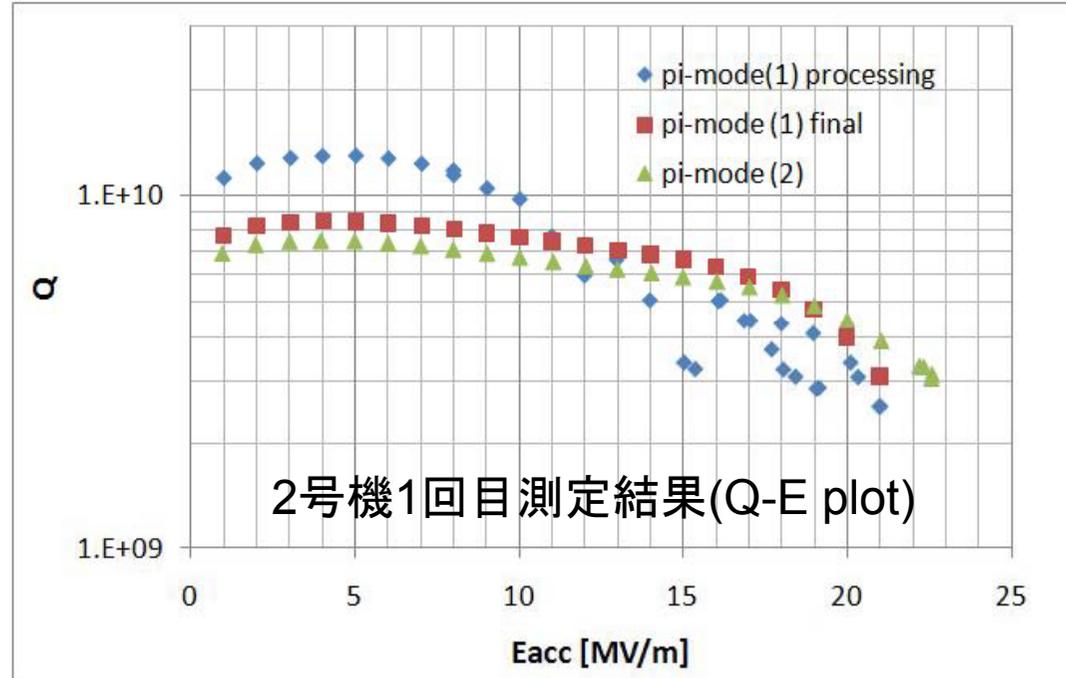
2011/1/21

阪井寛志, 梅森健成, 古屋貴章 (KEK)、沢村勝(JAEA)、  
篠江憲治(東大物性研)、Enrico Cenni (総研大)

# 前回までの結果(2号機1回目測定)



ERL-9cell空洞(2号機)



- ・ モジュール組み込み用の空洞(2号機)を今年度に製作し、9月に1回目の縦測定を行った。
- ・ 1回目で22 MV/mまで到達したがfield emissionが多い。
- ・ またprocessした後、大きなQ値の劣化が見られた。
- ・ 測定後、真空リークもあり、2回目測定前に再度表面処理を行った。

## 2回目縦測定前の表面処理の条件

- 1回目前の表面処理と同じ。

低電流密度EP (32mA/cm<sup>2</sup>)

Degreasing with FM20

HPR (4.5 hours 蓋なし & 4.5 hours 蓋あり)

clean room work (with ion gun & In U-tightseal)

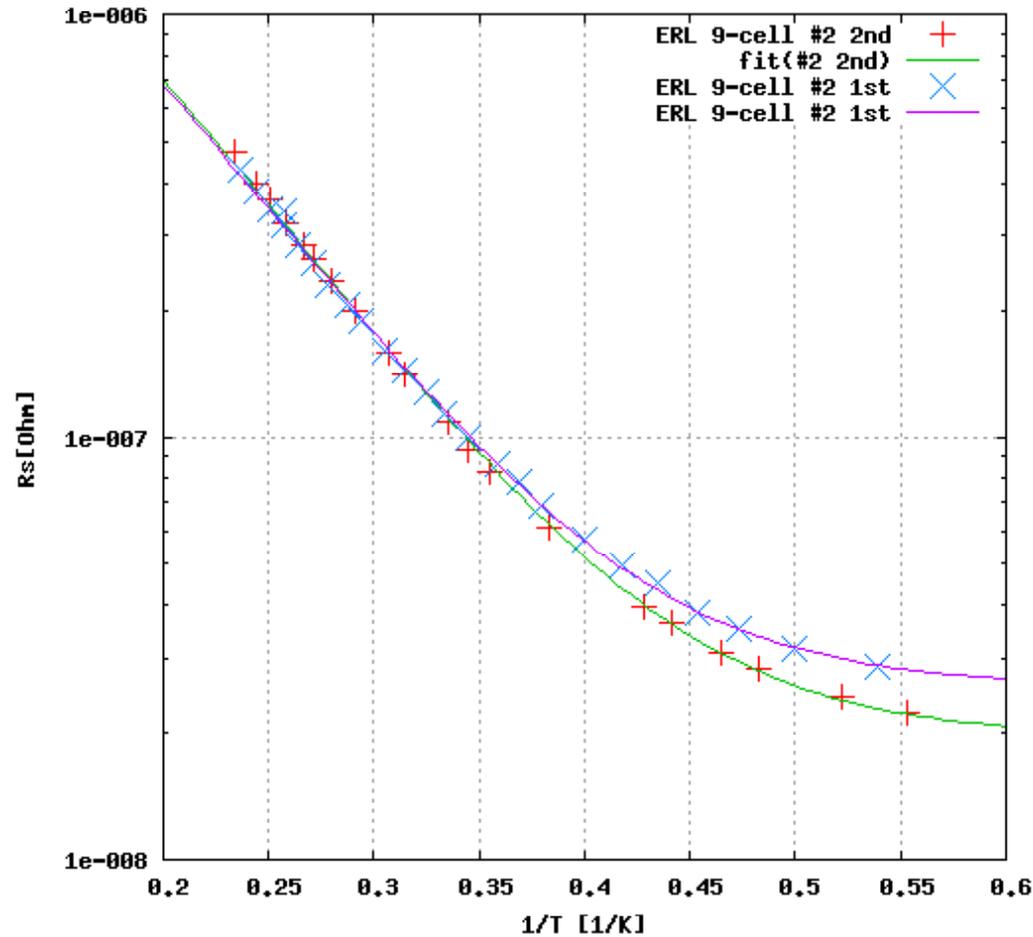
1度LBPでleakが起こる。Sealを交換し締め直し。

- 2回目縦測定は(2010/12/1-3)に行った。



EP後の内面は非常にきれいであった。

## 2回目縦測定 : Q-T curve



Residual resistance

20nΩ

Data taking at 2.7 MV/m

Include losses from LBP  
and SBP SUS flanges  
(about 5nΩ??)

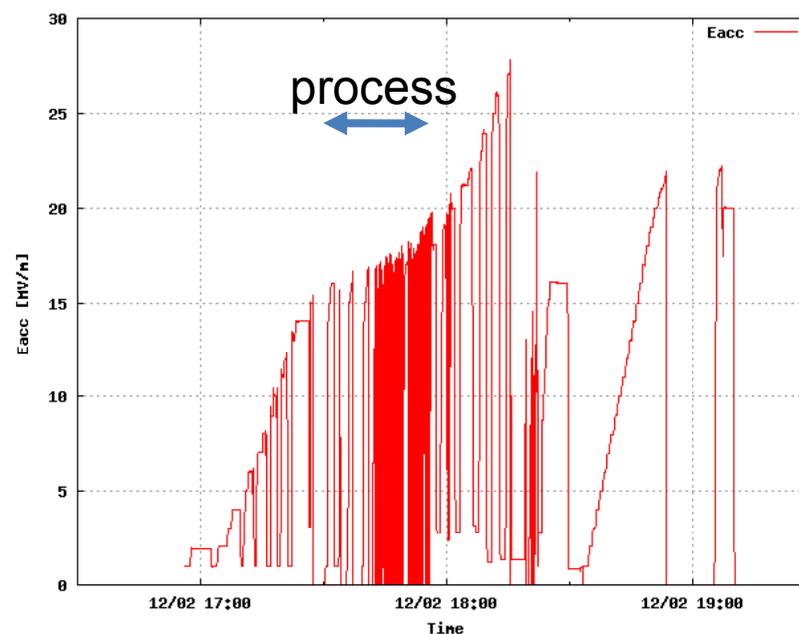
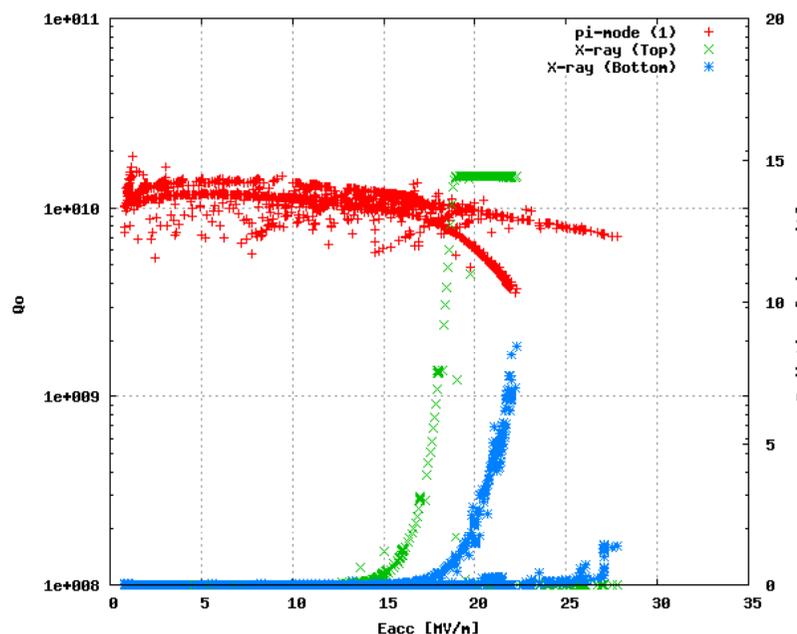
#2 cavity 1st VT

26nΩ from Q-T data  
(data taken at 0.5MV/m)

24nΩ from standard  
data (taken at 2.4MV/m)

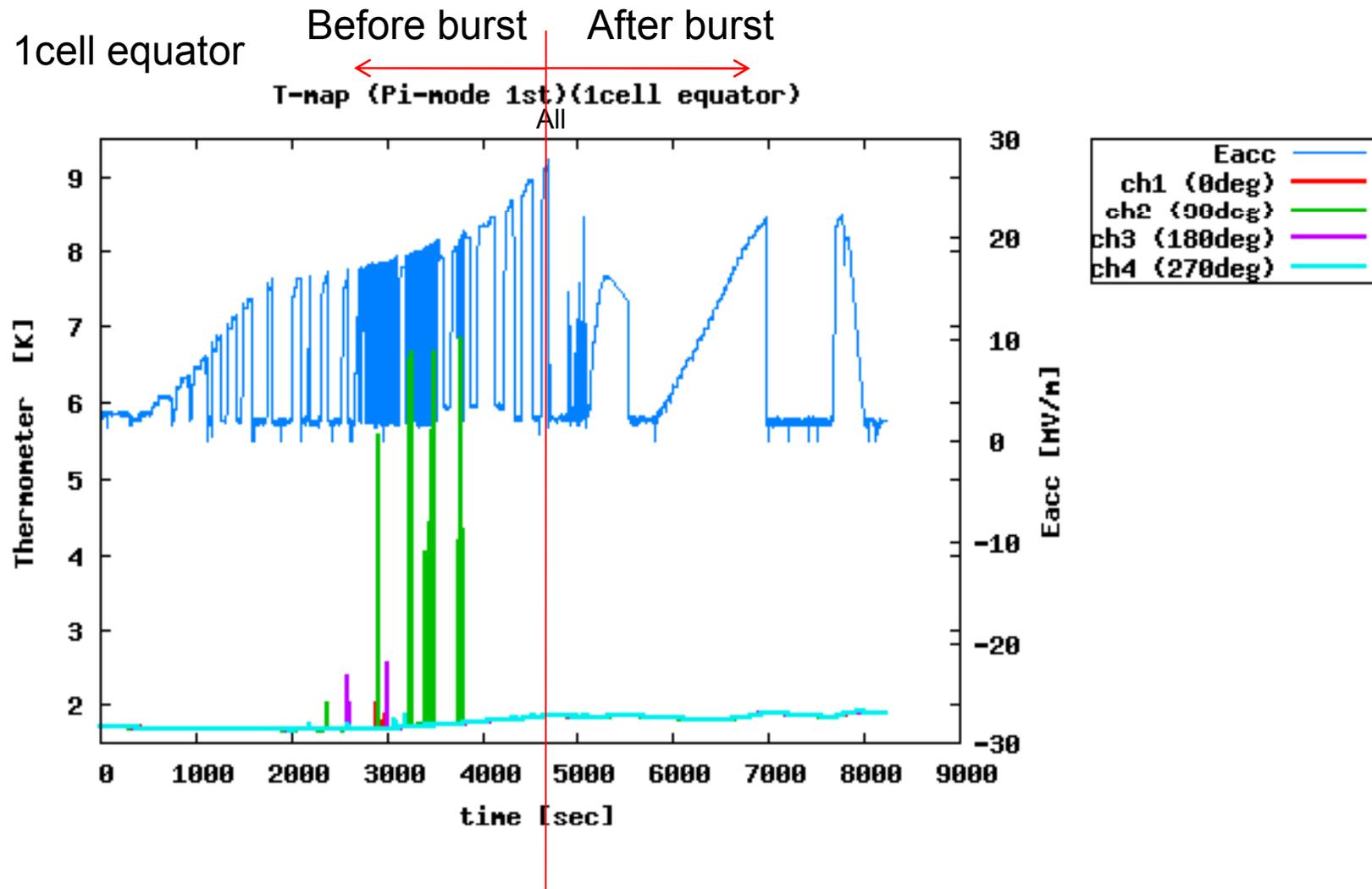
前回より少し小さい。

# $\pi$ -mode(1)



- 最初は加速勾配は28MV/mまで到達。radiation onset は18MV/m。leakの影響はなさそうだ。
- 16~20 MV/mでmultipactingが多数発生. 主に1cell??
- 28MV/mでのクエンチ(burst?)後、radiationが増え、Q値が劣化。
- burst後の radiation on-setは10MV/mとなった。
- 非常に強いradationがtop flangeに見られ、最後はradiation interlockで落ちる。

# Pi-mode (1<sup>st</sup>) Temperature at 1cell



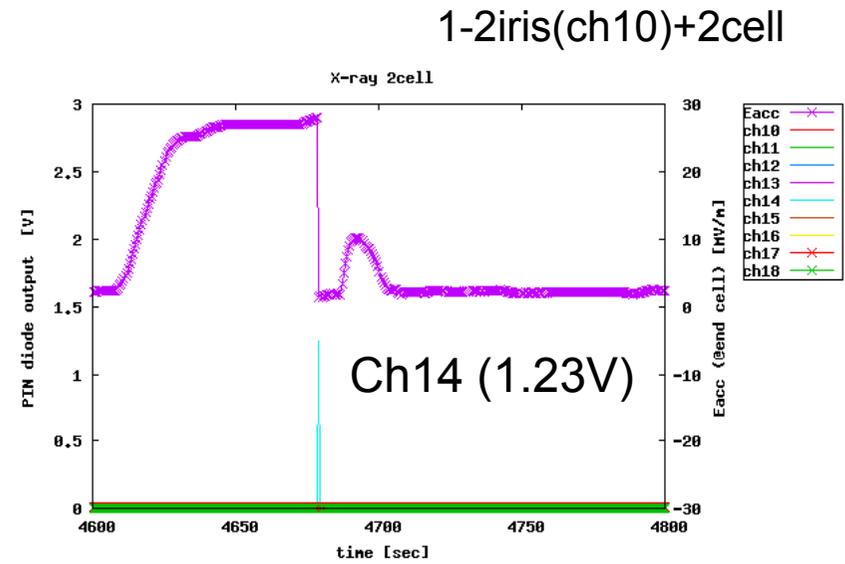
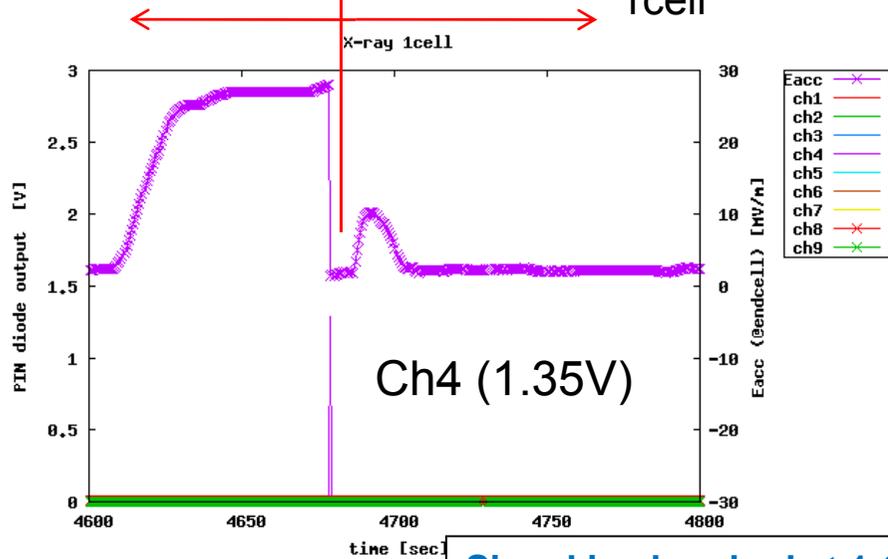
Data from carbon resistor located at 1cell.

Many response at 1cell equator, especially around 18 MV/m.

→ Possibly multipacting

# X-ray data (1-4cell) at burst (pi-mode)

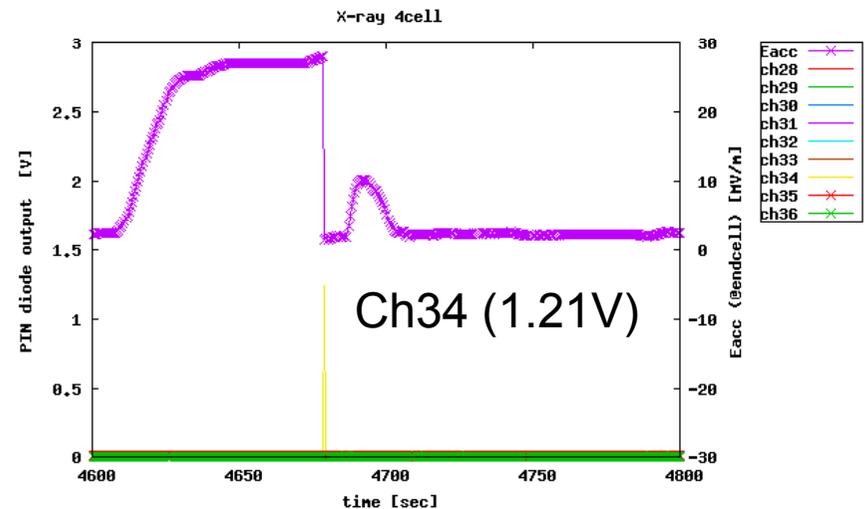
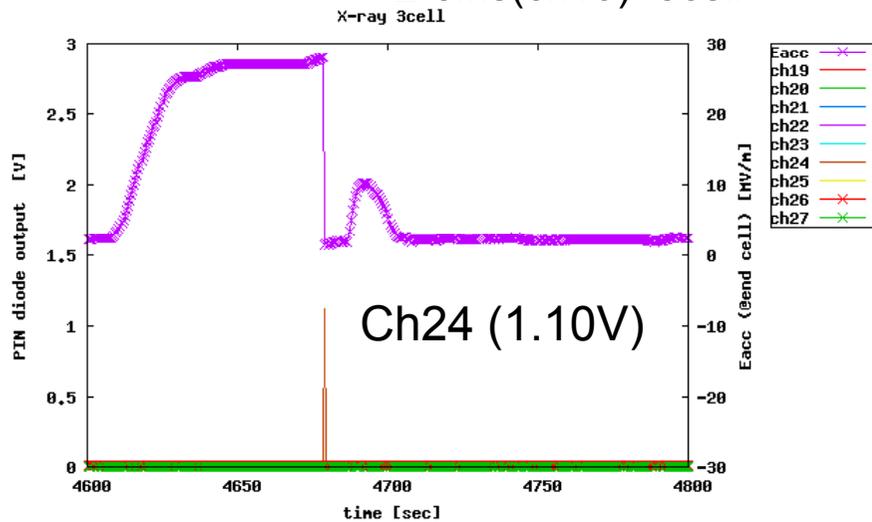
Before burst      After burst



Signal is observed at 1-6cell X-ray detector, when burst occurred  
 (Very similar behavior with burst at #1cavity 7th VT)

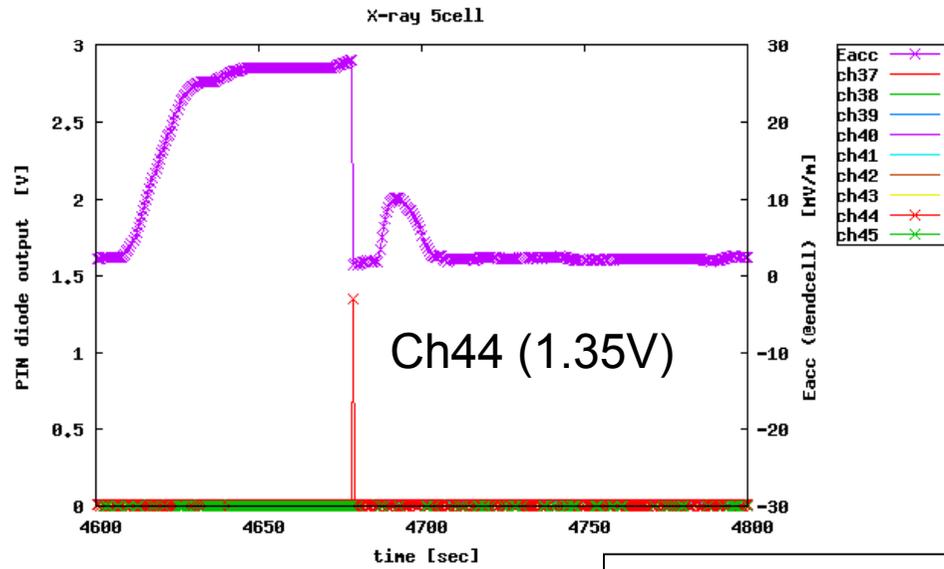
2-3iris(ch19)+3cell

3-4iris(ch28)+4cell

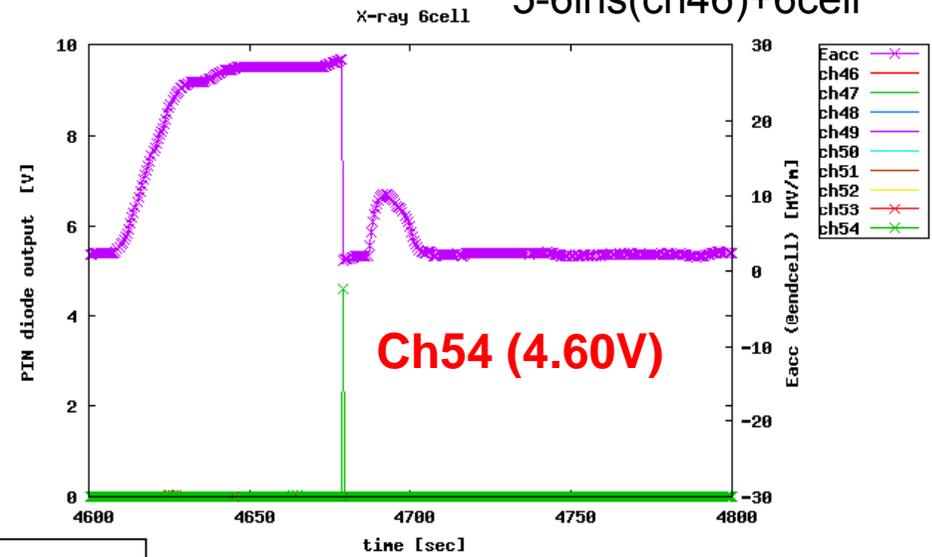


# X-ray data (5-8cell) at burst (pi-mode)

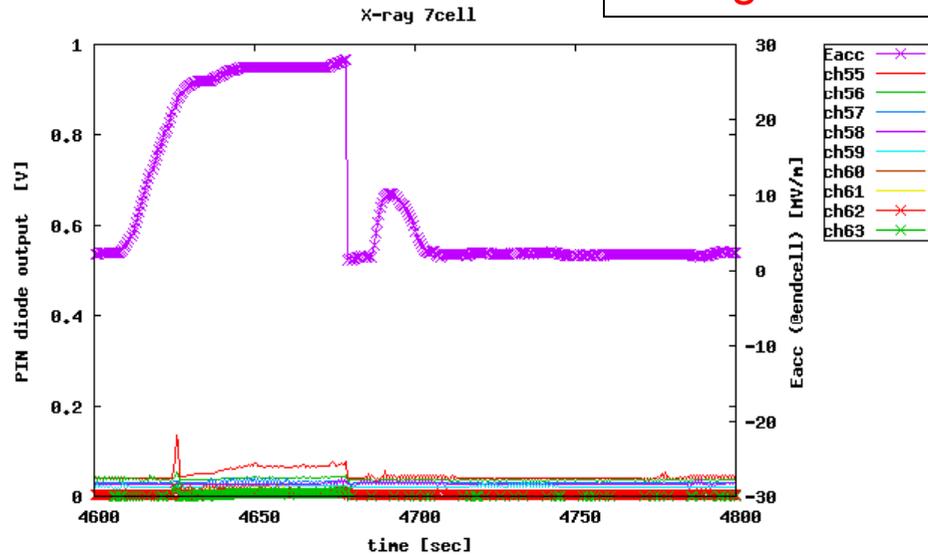
## 4-5iris(ch37)+5cell



## 5-6iris(ch46)+6cell

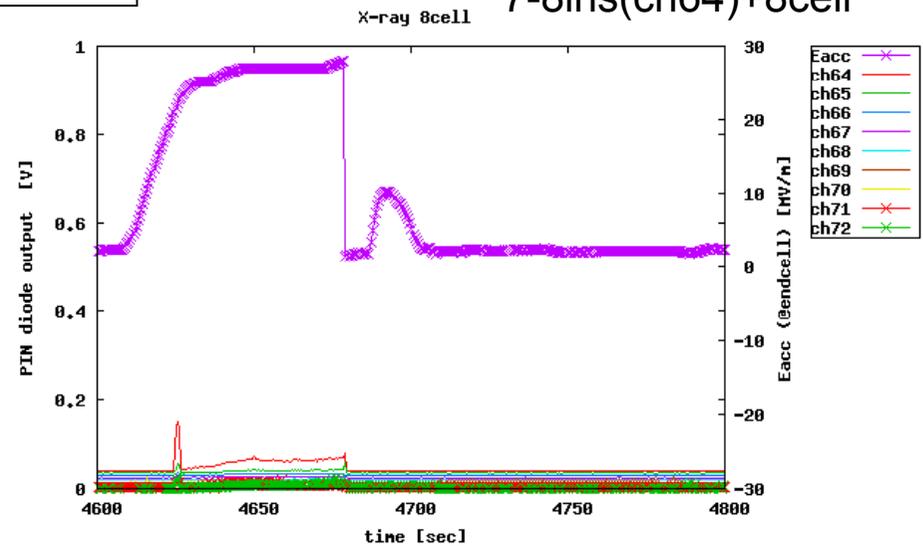


## 6-7iris(ch55)+7cell

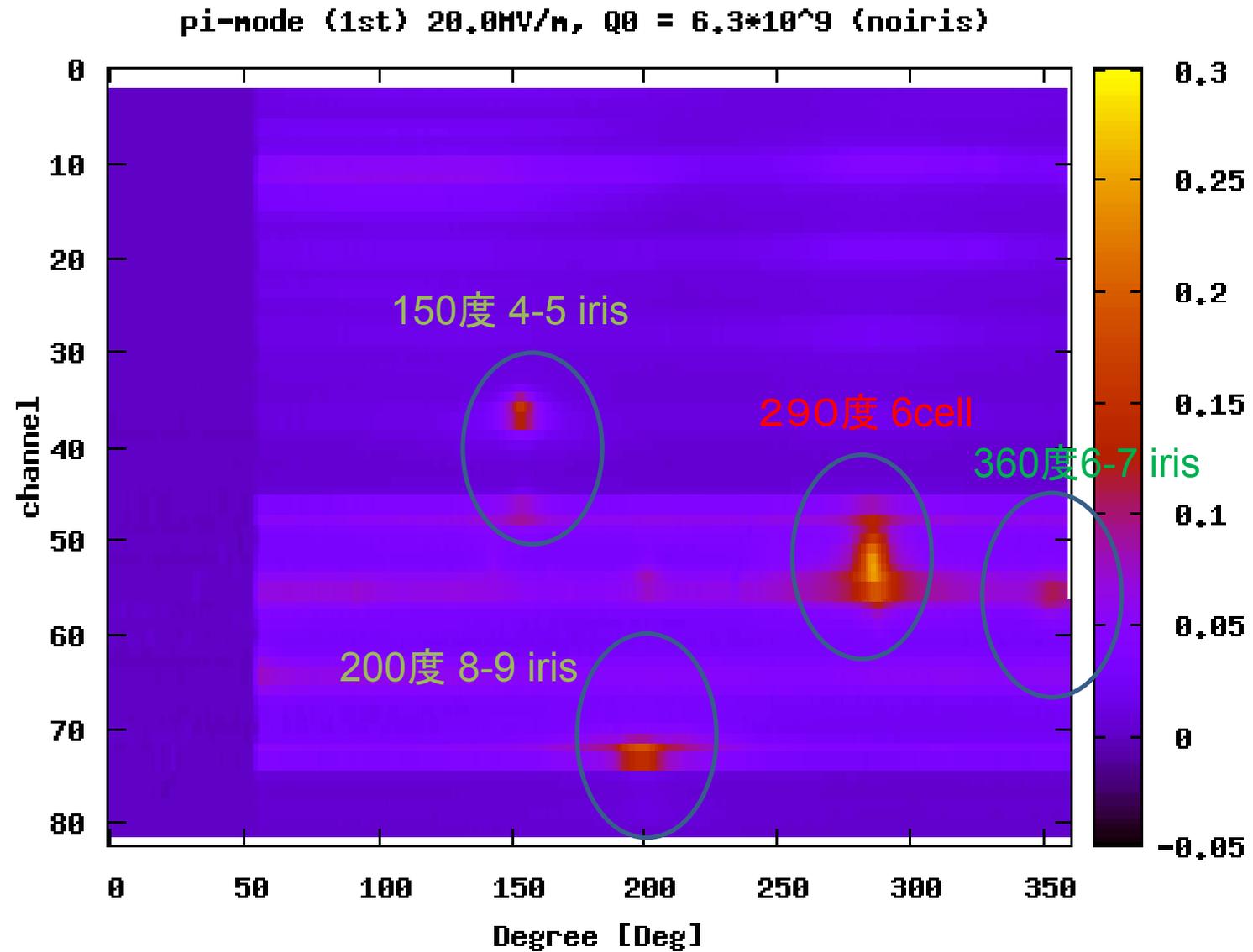


Largest signal at 6cell  
No signal at 7-9cell

## 7-8iris(ch64)+8cell

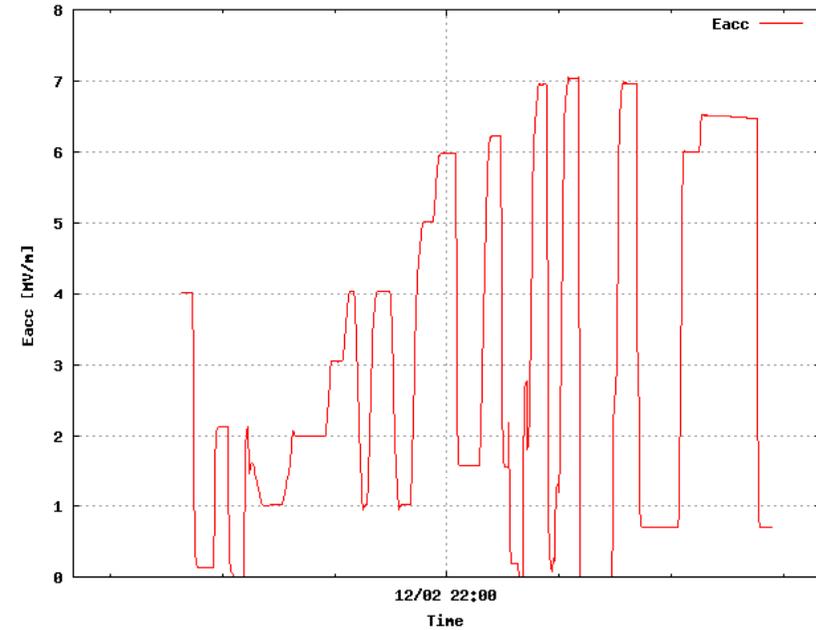
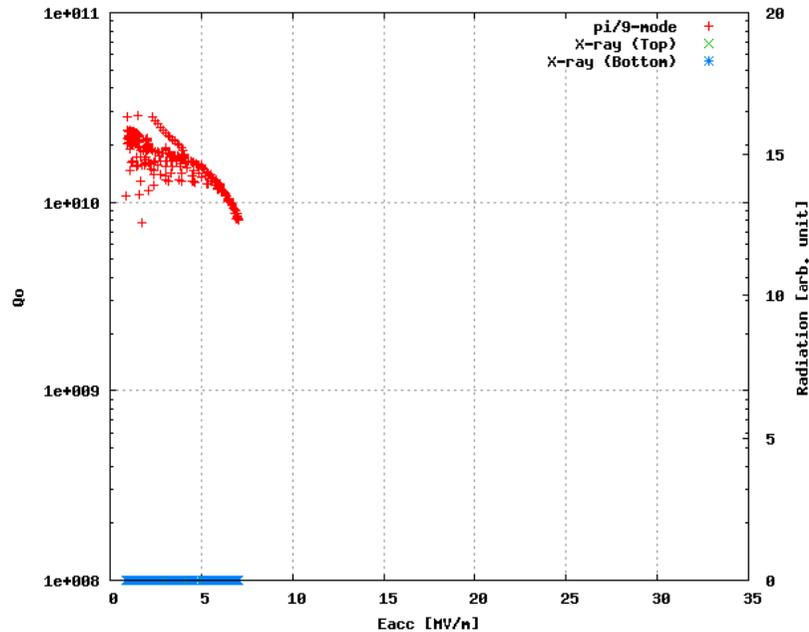


pi-mode 20MV/m  $Q_0=6.3 \times 10^9$  (no iris)



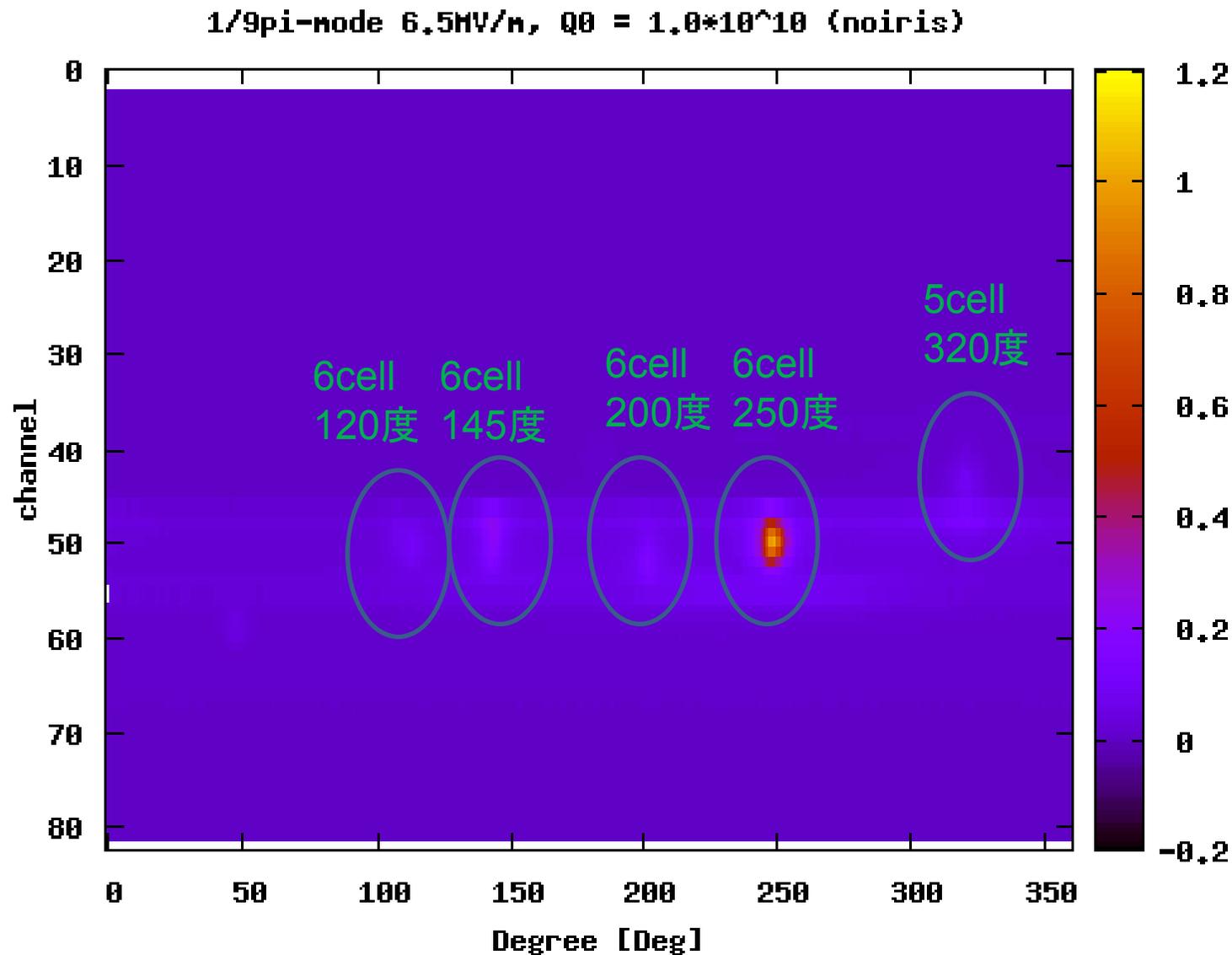
6セルから強い信号が見られる。

# 1 $\pi$ /9-mode



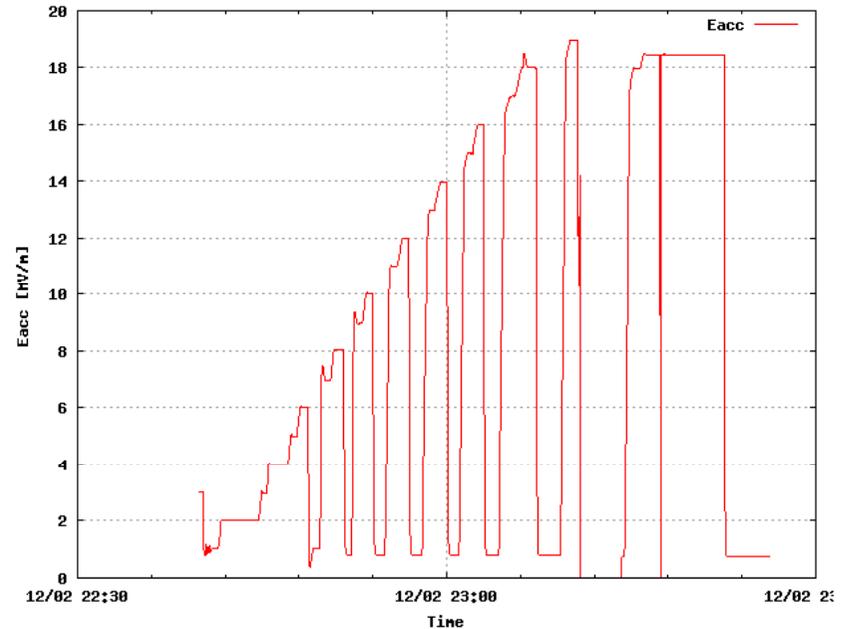
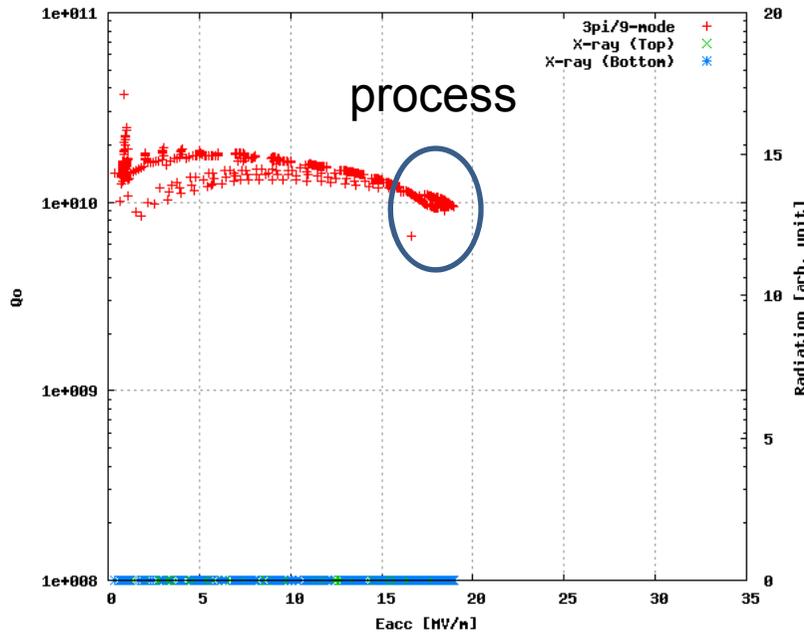
- Quench at 7MV/m with X-ray at 6, 7, 8cell.
- Maximum field was 7MV/m.
- Finished, since 5cell reached to 38MV/m.

1/9pi-mode 6.5MV/m  $Q_0=1.0 \cdot 10^{10}$  (no iris)



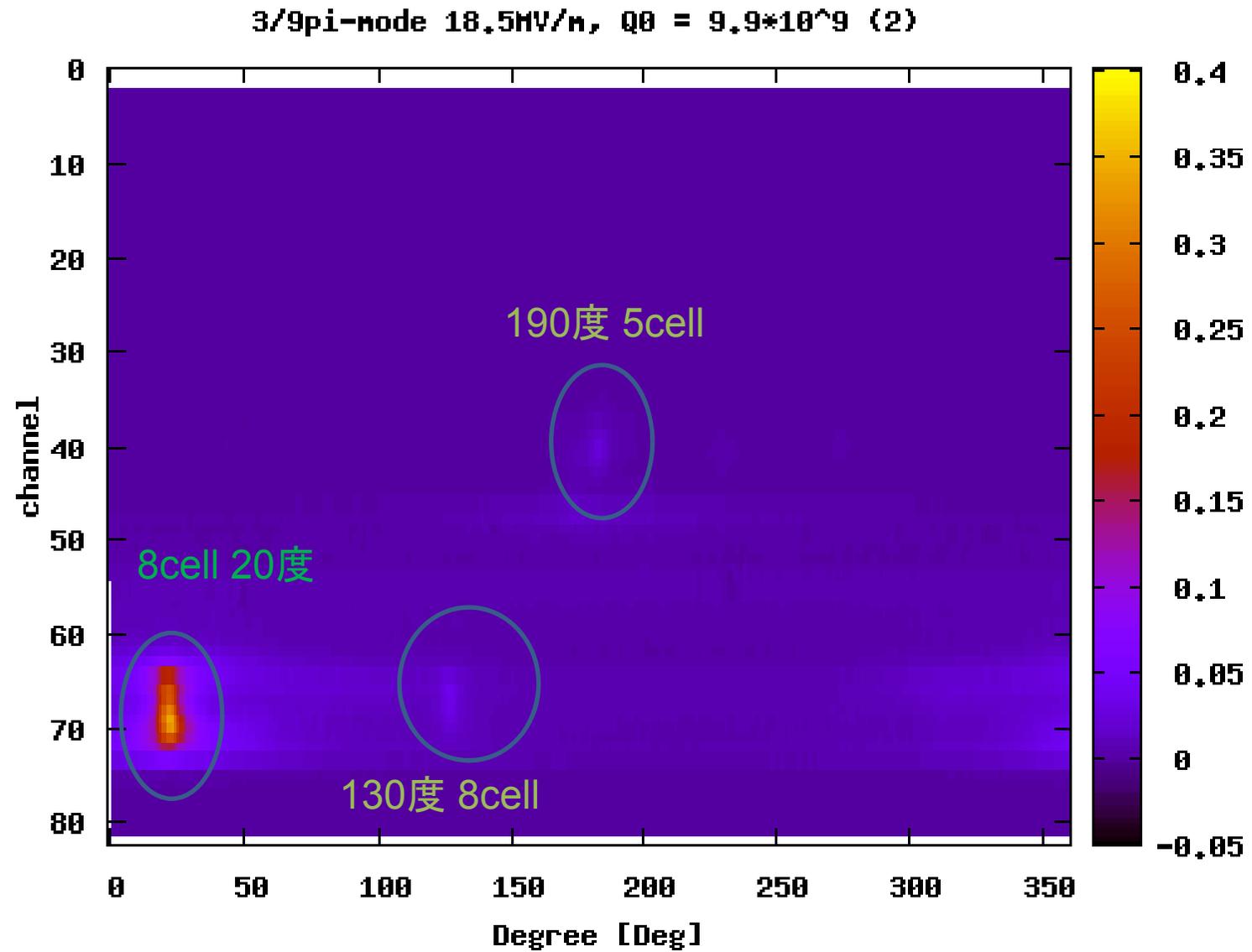
Observed traces are different from  $\pi$ -mode

# 3 $\pi$ /9-mode



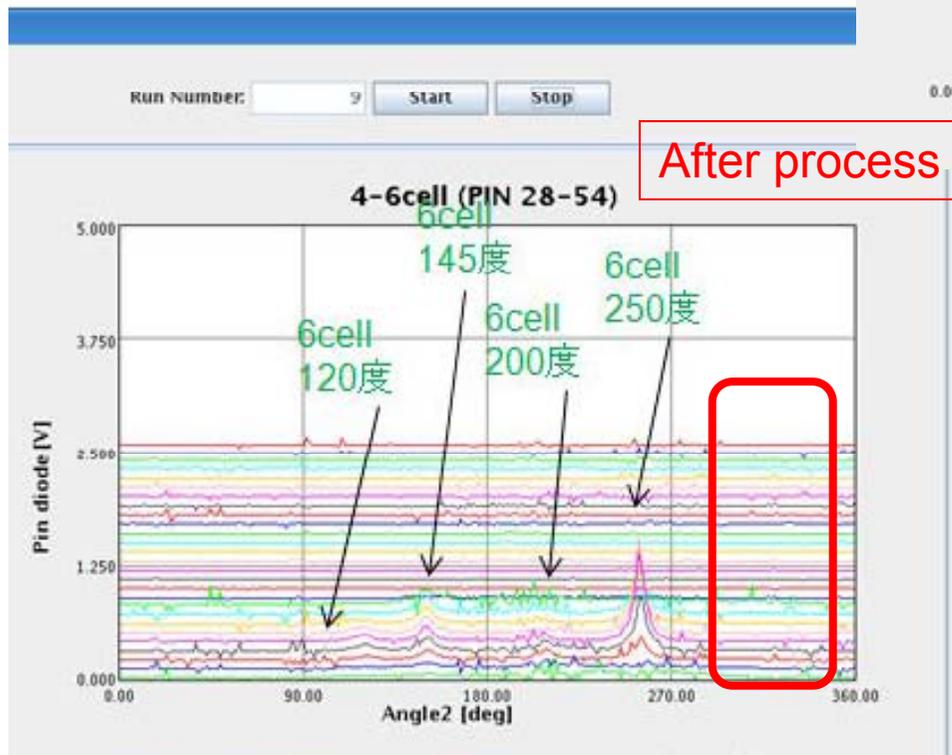
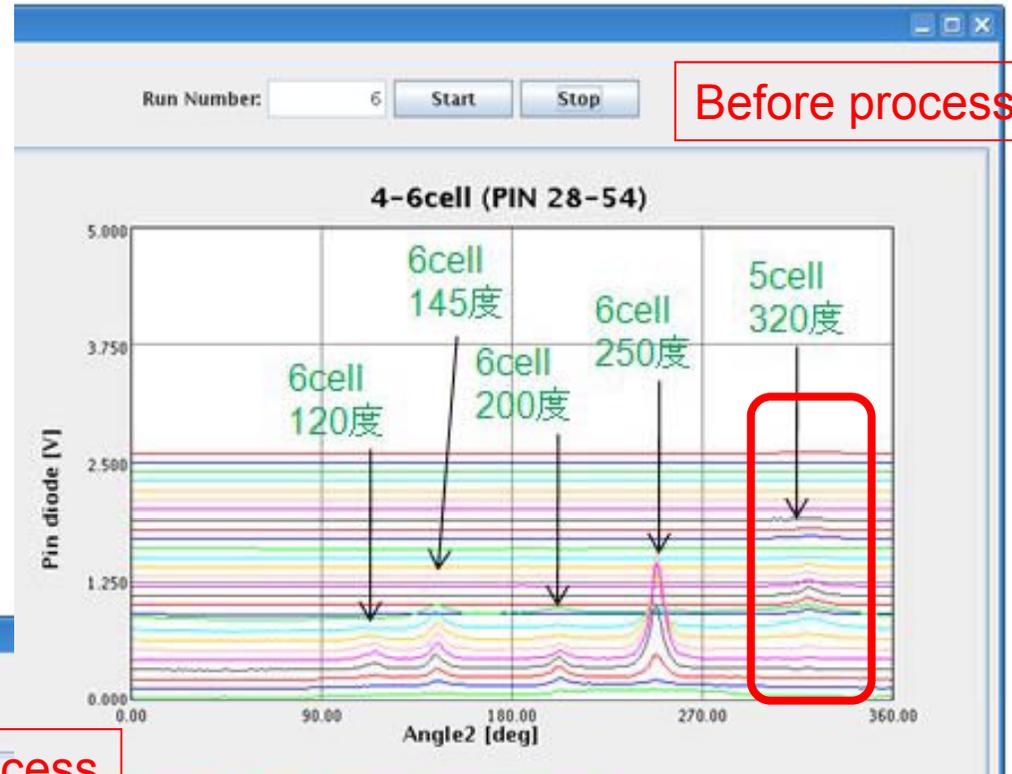
- 18 MV/mでプロセス. X-ray decrease at 6cell.  
→ 5cell 320deg がプロセスされたようだ。
- Maximum Eacc was 19MV/m
- Self-pulse at 19MV/m with temperature rise at 1cell 90deg.  
During process multipacting.
- Finish, since 2,5, 8cell reached to 36MV/m

# 3/9pi-mode 18.5MV/m $Q_0=9.9 \times 10^9$ (no iris)



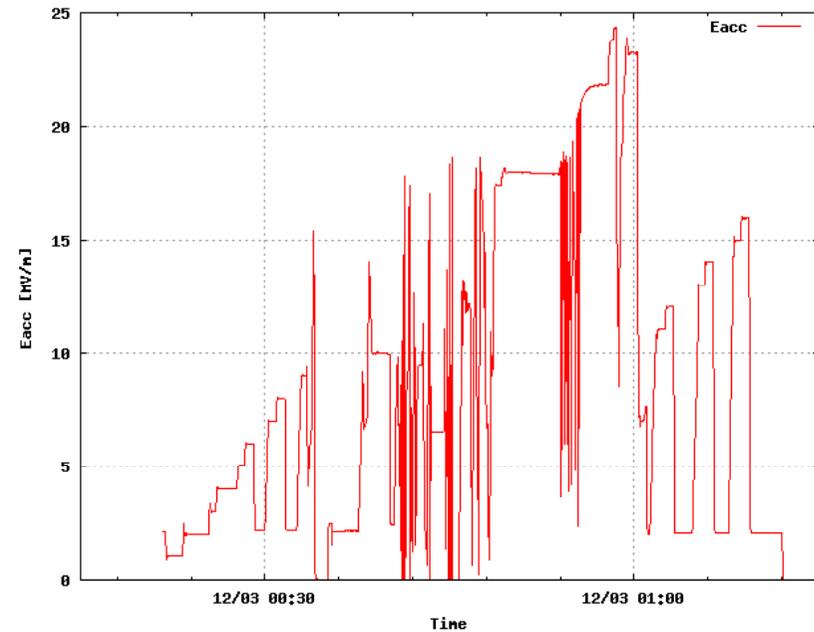
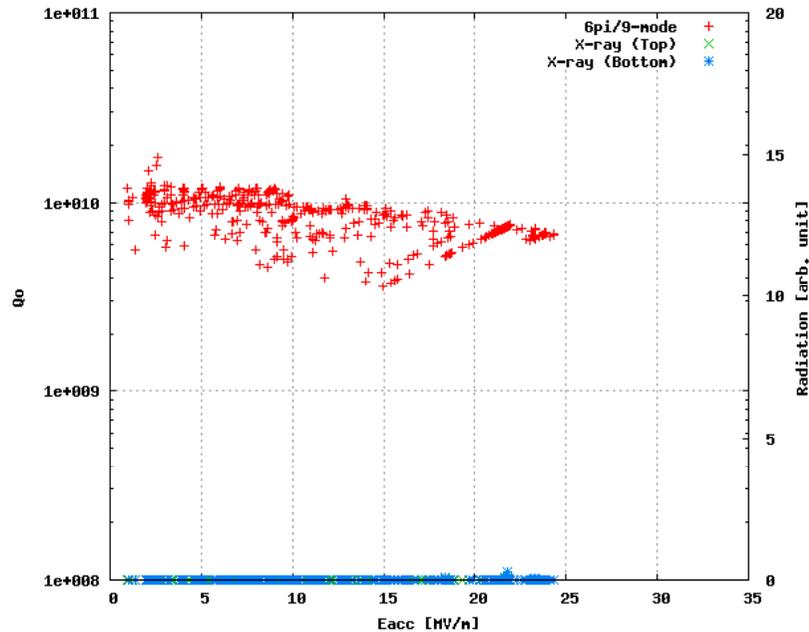
# Difference between before/after process at $3\pi/9$ -mode

Mapping at  $1\pi/9$ -mode, 6.5 MV/m



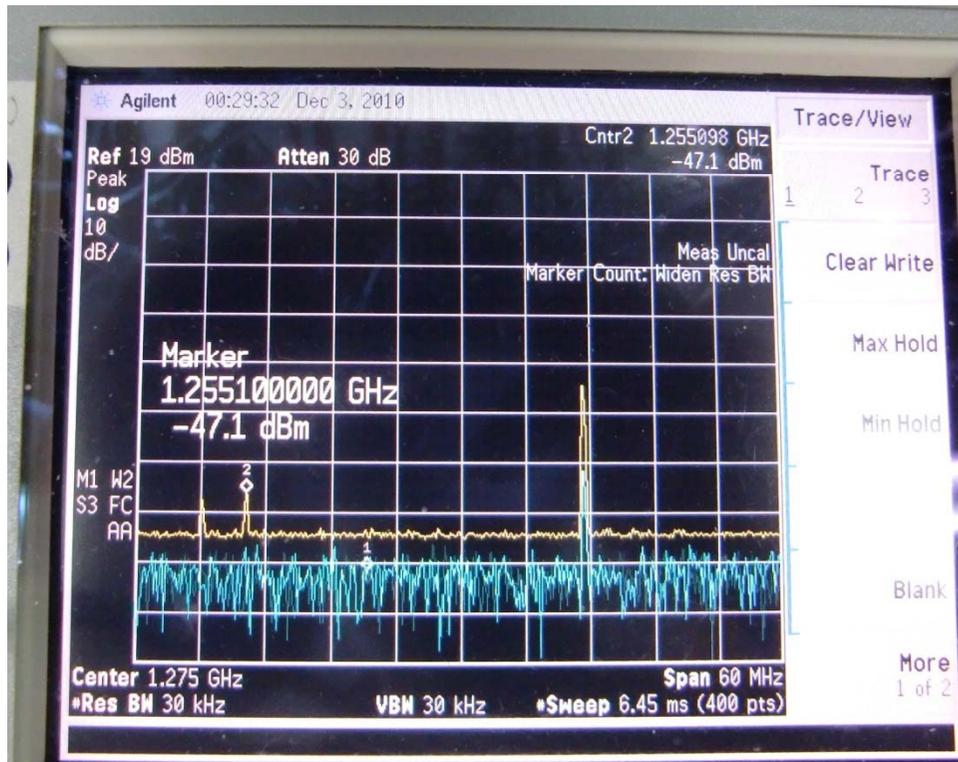
Trace observed at 5cell 320deg dissapeared.

# 6 $\pi$ /9-mode



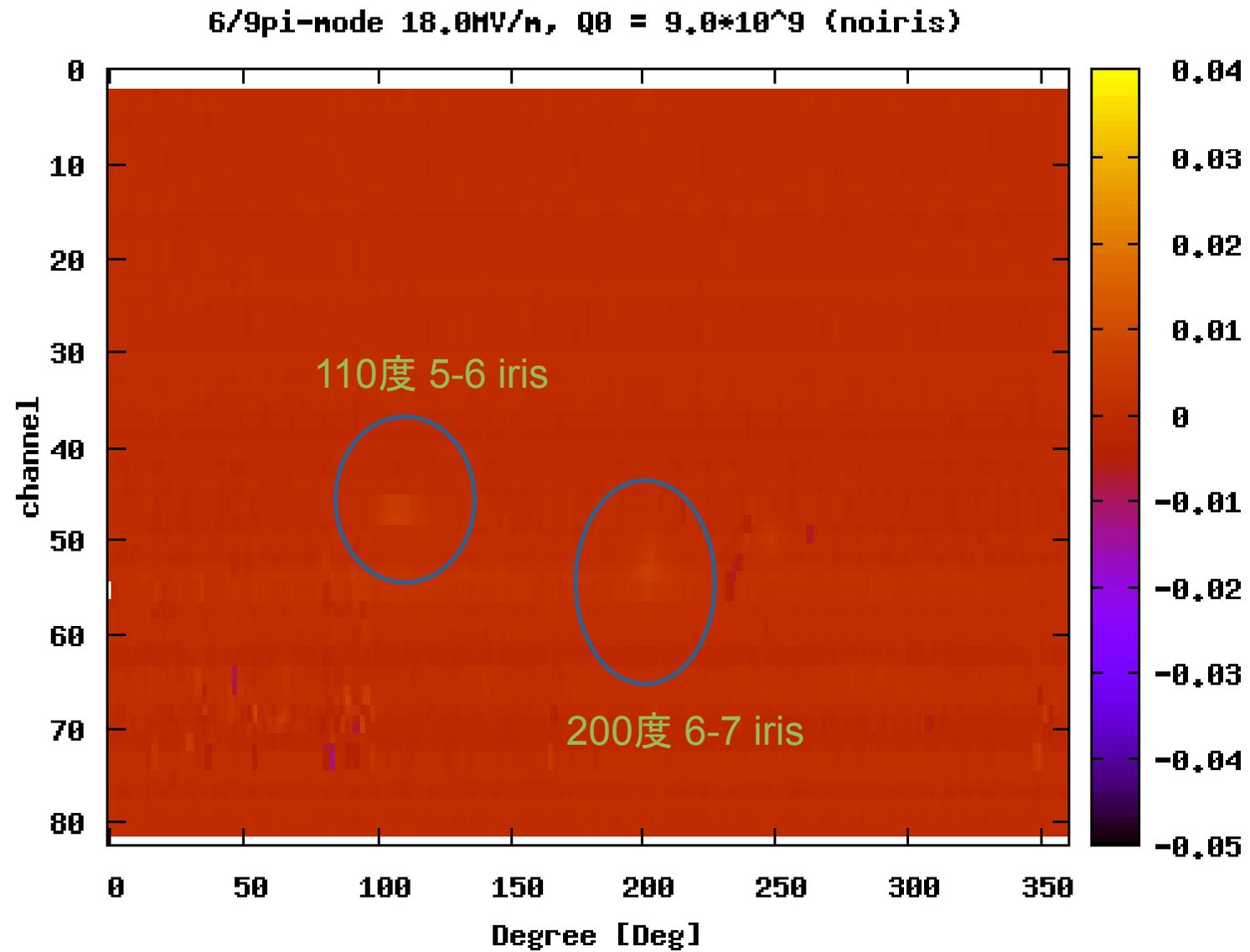
- 1 $\pi$ , 2 $\pi$ , 3 $\pi$  sidebands appeared above 10 MV/m
- 1 $\pi$ -mode appear continuously.
- No radiation trace on mapping??
- **Maximum  $E_{acc}$  was 24MV/m**
- Finish measurement due to unknown state with sidebands.

## Example of sideband ( $6\pi/9$ -mode)

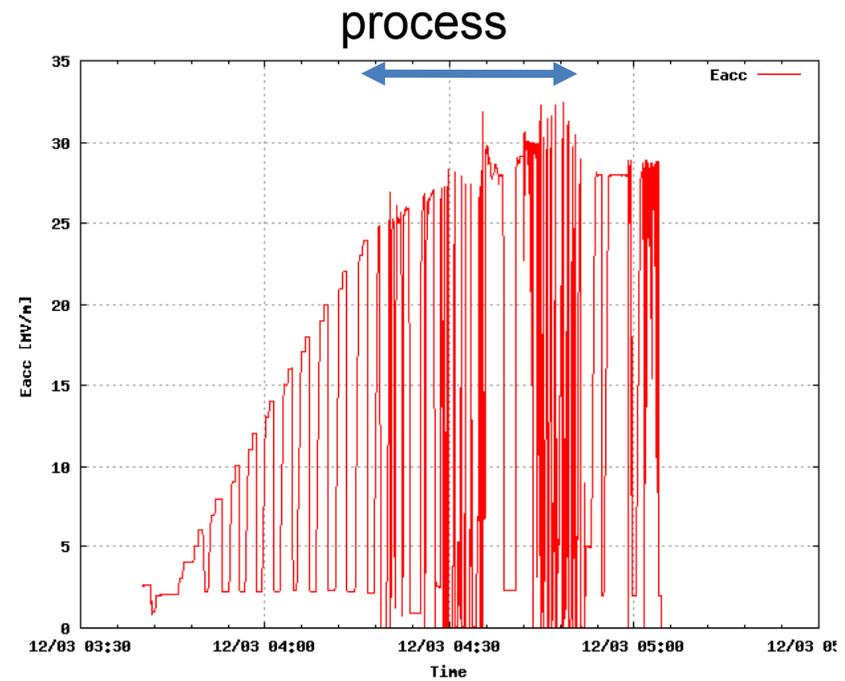
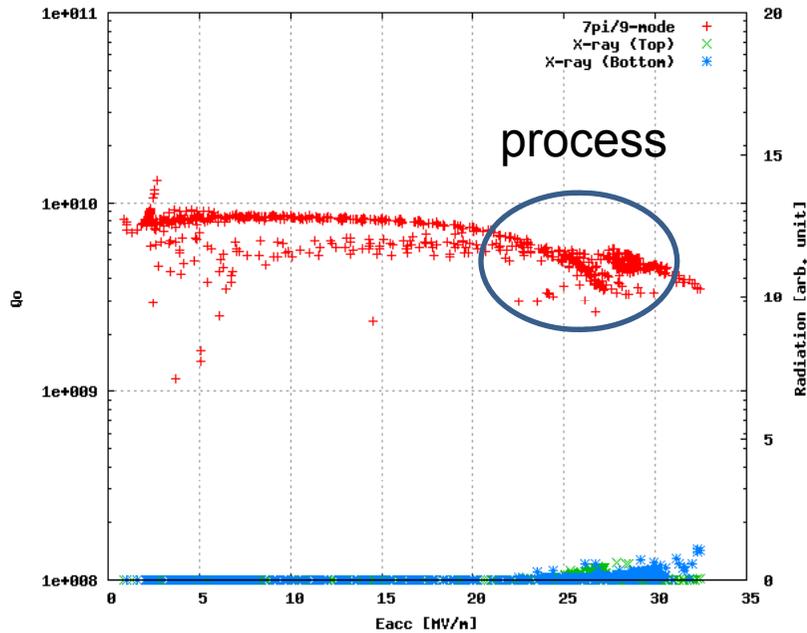


- Left figure was captured with MAX HOLD mode.
- $1\pi$  &  $2\pi$  peak can be seen.
- $1\pi$  was continuously appeared.
- $3\pi$  was also appeared.

# 6/9pi-mode 18MV/m $Q_0=9.0 \times 10^9$ (no iris)



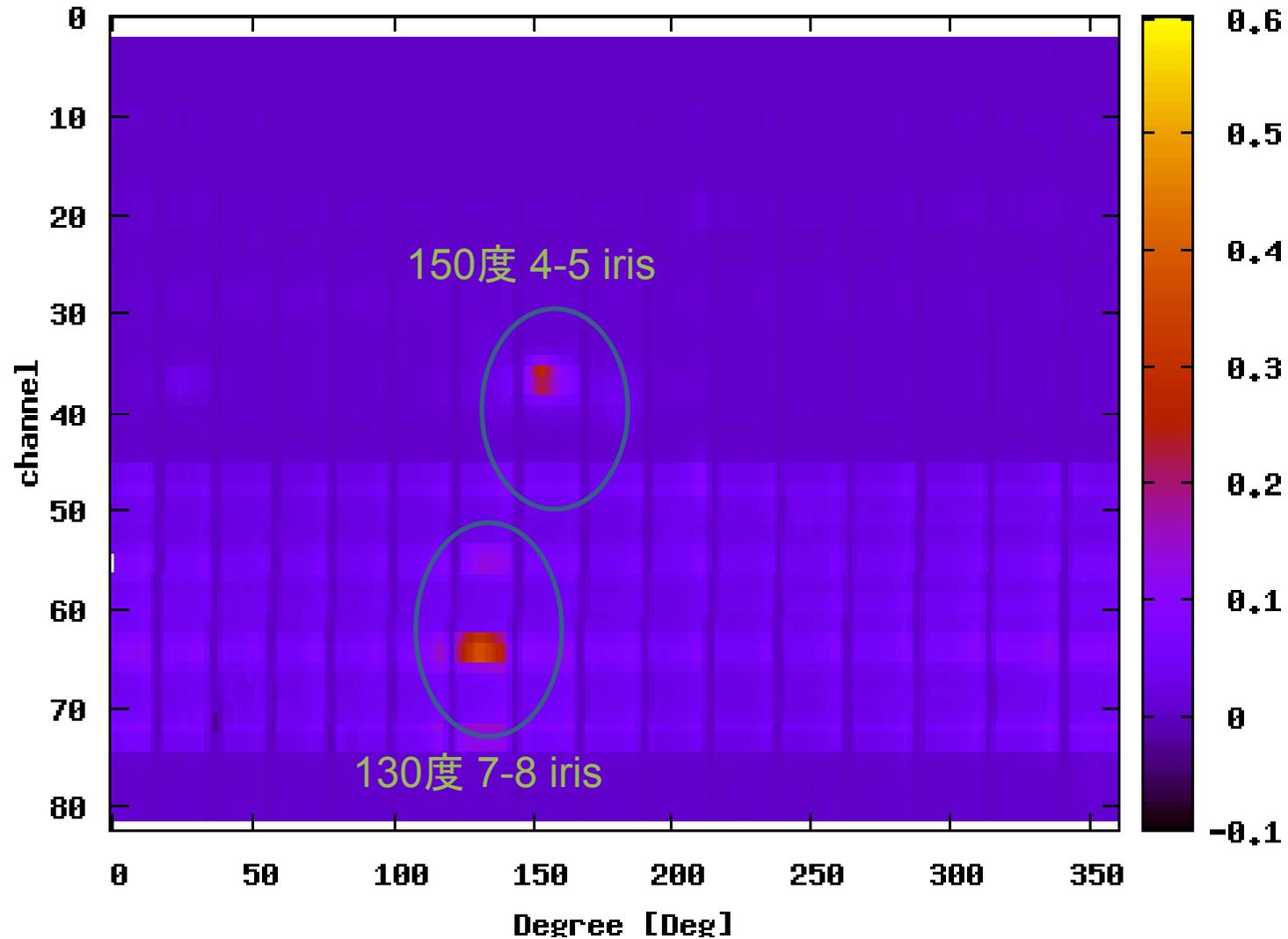
# 7 $\pi$ /9-mode



- Quenches during 25-30 MV/m
- Some processing around 28 MV/m
- Slow quenches at 24-25MV/m . Intermediate state?
- **Maximum  $E_{acc}$  was 32.3MV/m**
- Quenches after keeping several seconds with high field. For lower field, could keep longer time.

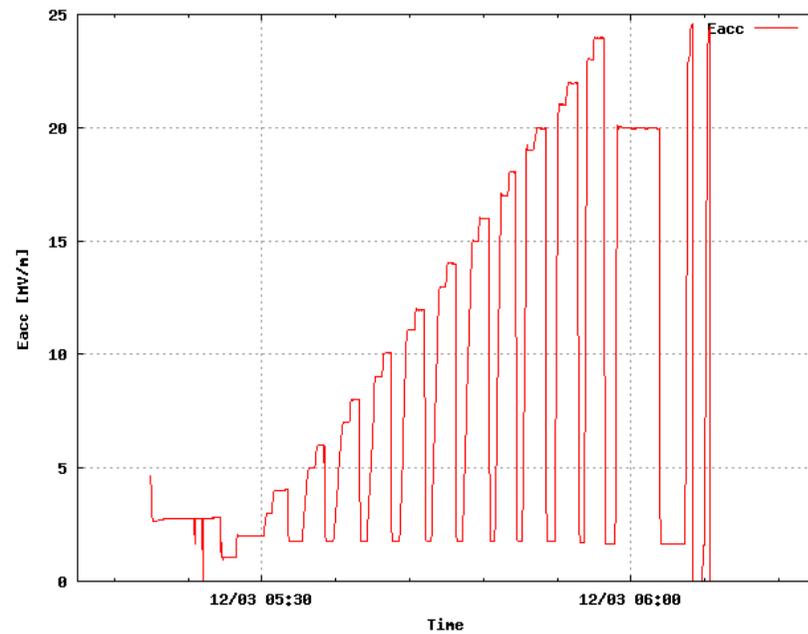
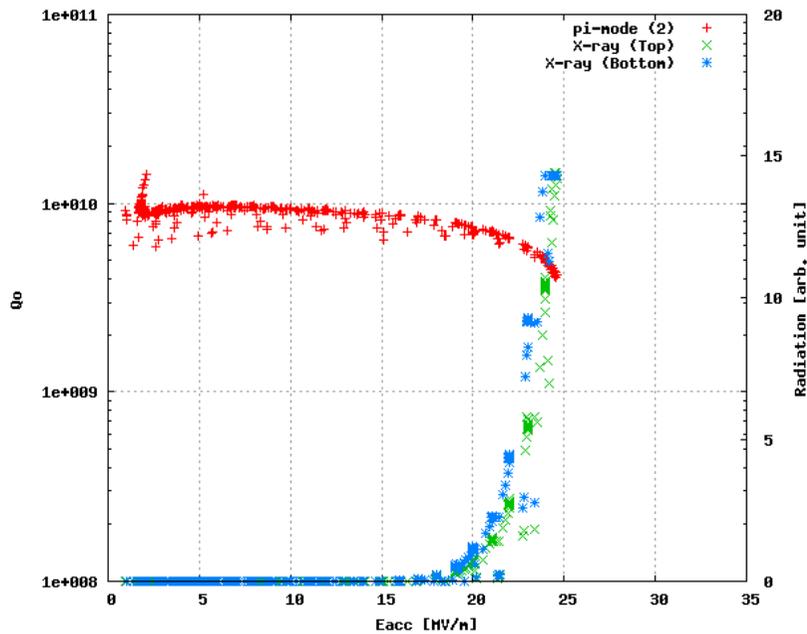
# 7/9pi-mode 28MV/m Q0=5.0\*10^9 (no iris)

7/9pi-mode 28.0MV/m, Q0 = 5.0\*10^9 (self-pulse) (noiris)



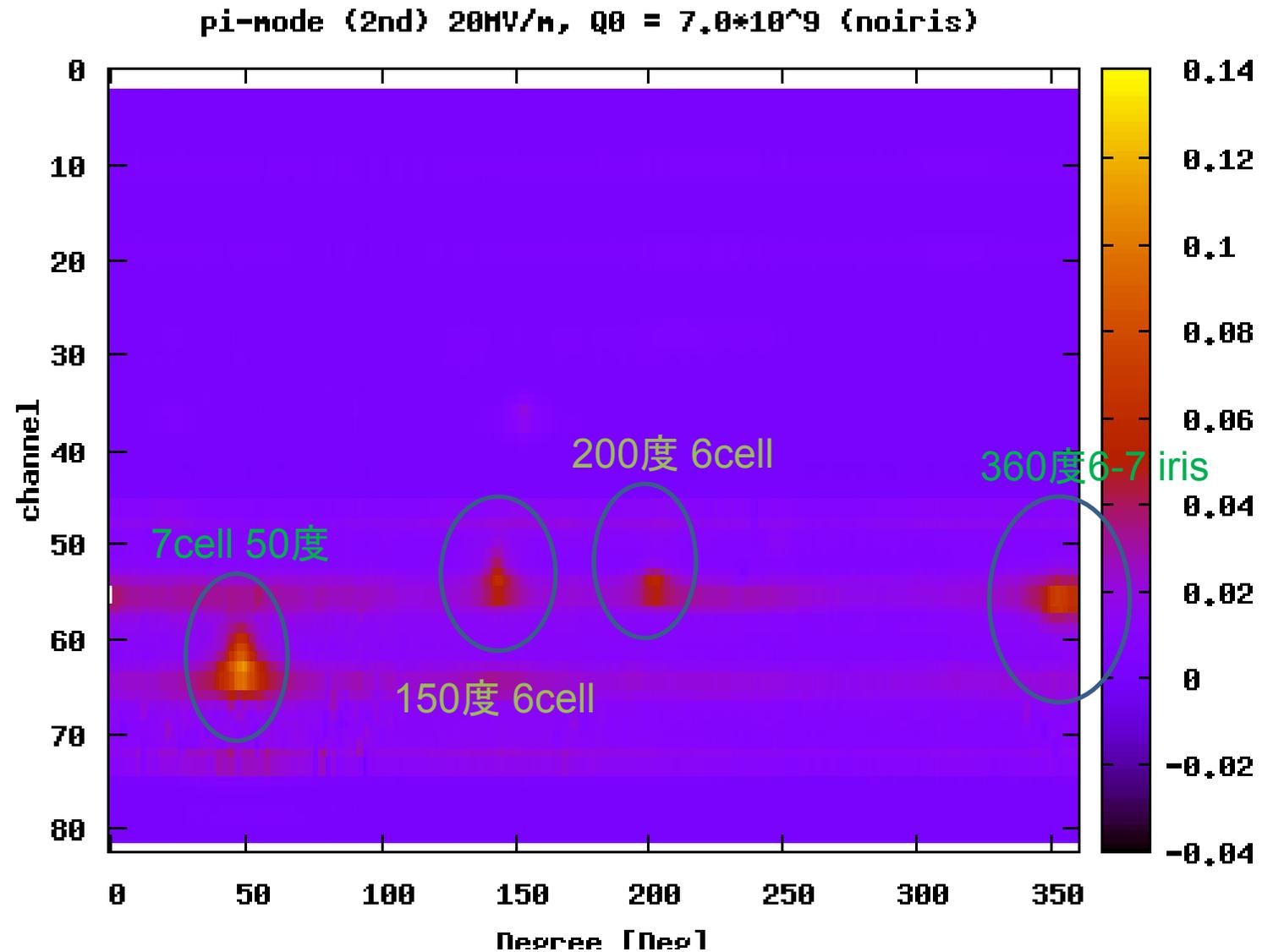
Peak at 130deg is also seen at 3pi/9-mode. Any relation with 290deg peak??  
Peak at 4-5iris 150deg is same with 8pi/9-mode

# $\pi$ -mode(2)



- Reached to 24 MV/m, without quenches.
- X-ray onset raised to  $\sim 13$  MV/m
- But  $Q_0$  value was degraded.
- Final is quench, reason unknown. Probably due to field emission.

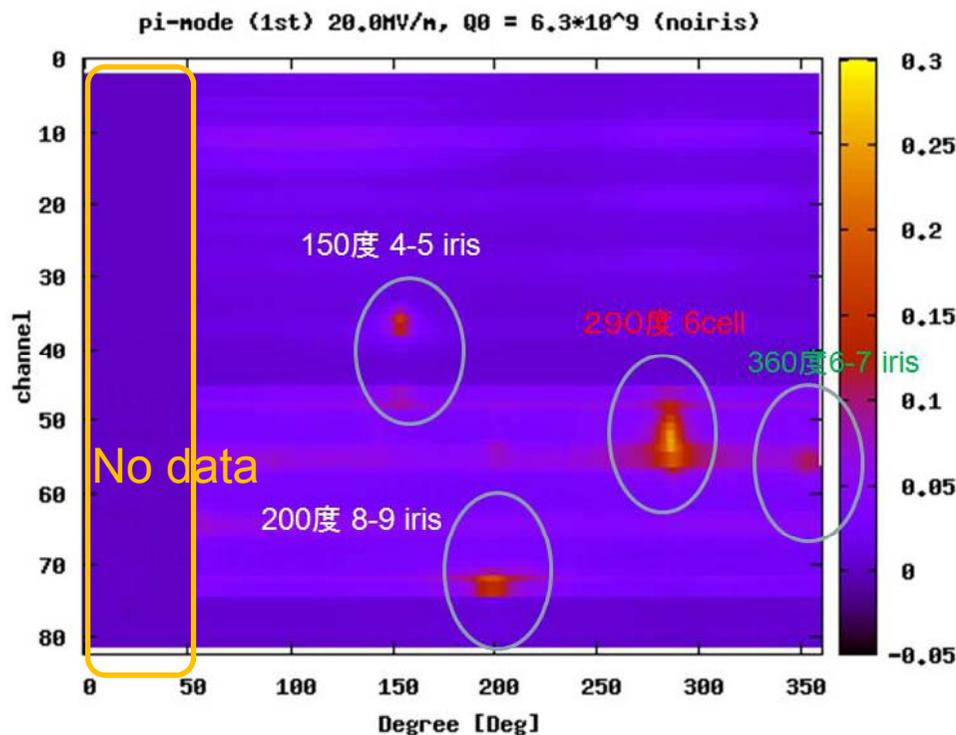
pi-mode (2<sup>nd</sup>) 20MV/m Q0=7.0\*10<sup>9</sup> (no iris)



Trace at 290deg disappeared. It seems that it is related to signals observed at SBP flange around 315deg(angular resolution is rather poor).

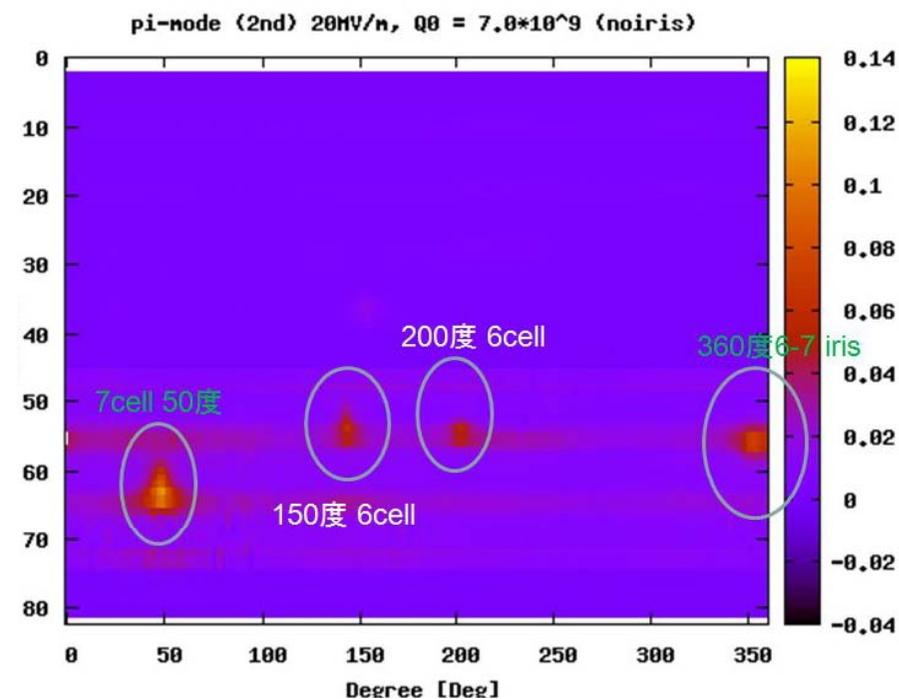
## 1st $\pi$ -mode

pi-mode 20MV/m  $Q_0=6.3 \times 10^9$  (no iris)



## 2nd $\pi$ -mode

pi-mode (2<sup>nd</sup>) 20MV/m  $Q_0=7.0 \times 10^9$  (no iris)



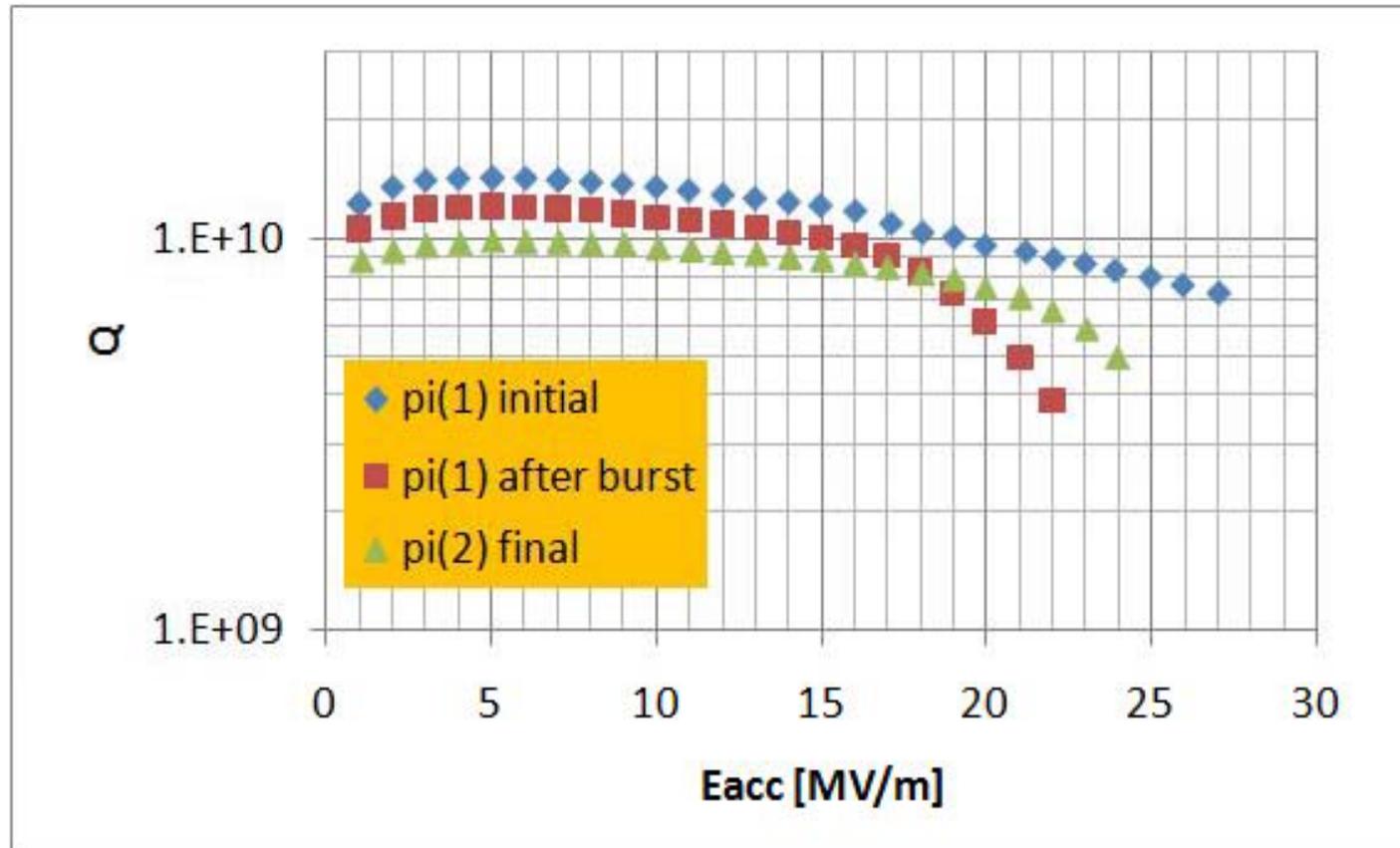
Some trajectories disappeared, but some trajectories appeared.

Disappear: 6cell 290deg, 8-9iris 200deg, 4-5iris 150deg

Appear: 7cell 50deg??. 6cell 150deg, 6cell 200deg

1<sup>st</sup>と2<sup>nd</sup>でradiation profileはdrasticに変化した。Processの効果あり。

## Q-E curve of 2K pi-mode



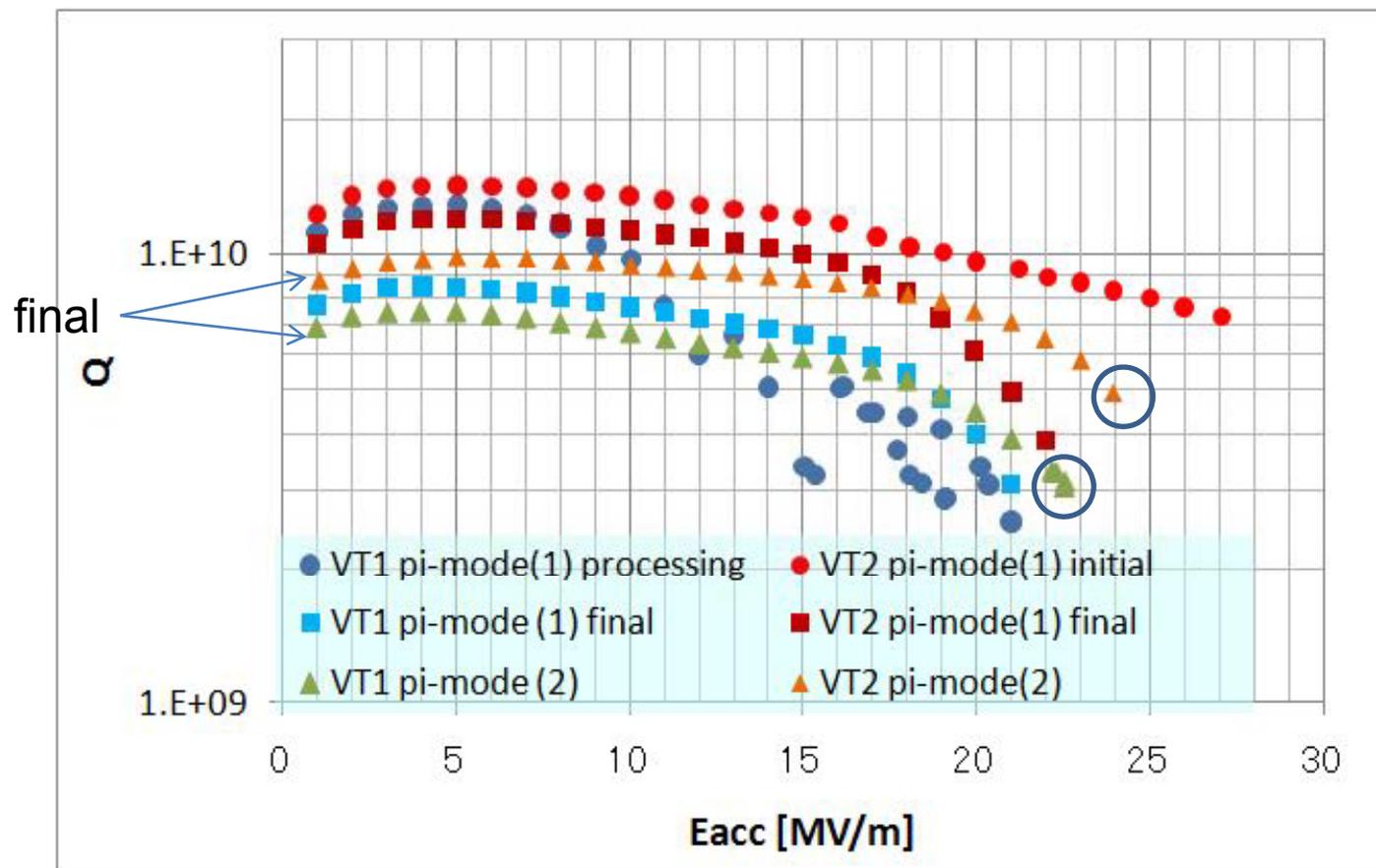
- Initial condition was very nice, reach to 28 MV/m.
- Cavity field was degraded during pi-mode processing
- Somewhat field emission was processed during passband measurement, however, largely  $Q$  value was dropped.

## Achieved field for each cells

	1,9cell	2.8cell	3,7cell	4,6cell	5cell	Comment
9pi	24.6	24.2	24.1	24.1	24.1	Radiation interlock
8pi						
7pi	32.4	17.3	5.6	25.8	33.8	Quench at where??
6pi	23.9	0.5	23.1	23.4	0.1	Many sidebands appear
5pi						
4pi						
3pi	19.0	36.0	17.6	18.2	36.0	Enough power@2, 5, 8cell
2pi						
1pi	7.0	19.1	29.0	35.5	37.7	Enough power @5cell
Max	32.4	36.0	29.0	35.5	37.7	

All of cells (equator part) can reach to around 30 MV/m or more.

# Comparison 1st/2nd vertical tests



1回目、2回目ともfinalはinitialに比べ、low levelからのQ値の劣化が見られる。

考え得る原因としては、

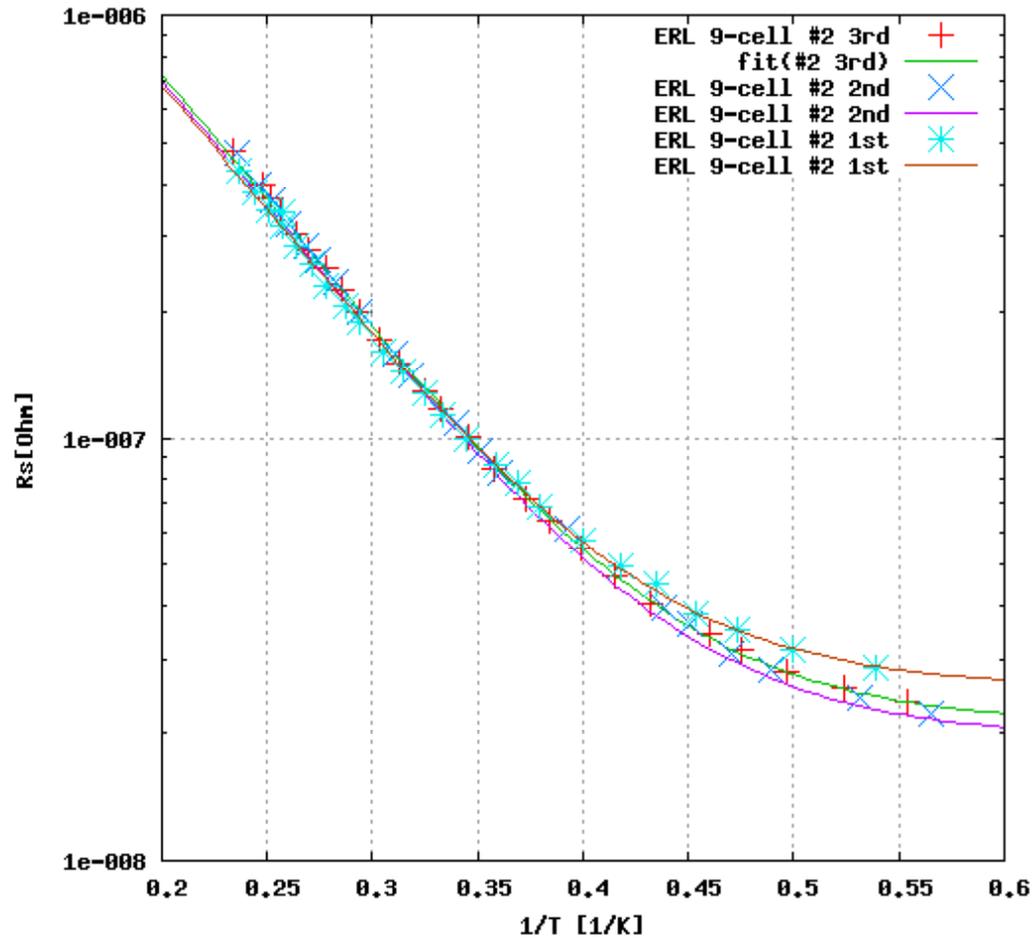
- 表面が実際に汚れた？  
(プロセスの際のスパッター)
- クエンチの際の磁場のトラップ？
- ガスによる影響？

同じsetupで一度昇温のみ行い、  
Q値が回復するかを確認する  
ことが重要。→(3回目の縦測定)

## 3回目縦測定前の条件

- 2回目の縦測定後、室温に戻しただけ。  
(真空も破らず、高真空を保ったスタンドに保管。)
- 目的は昇温のみでQ値の回復が見られるか。
  - 磁場トラップやガス吸着によるQ値の劣化ならばQ値の回復が見込めるという目論見から。
- 3回目縦測定は(2011/1/13-15)に行った。
  - 測定modeはQ値の劣化の見られた。(π-mode, 7/9 pi-mode)の2つ。

# 3回目縦測定 : Q-T curve



VT1 : 26nΩ

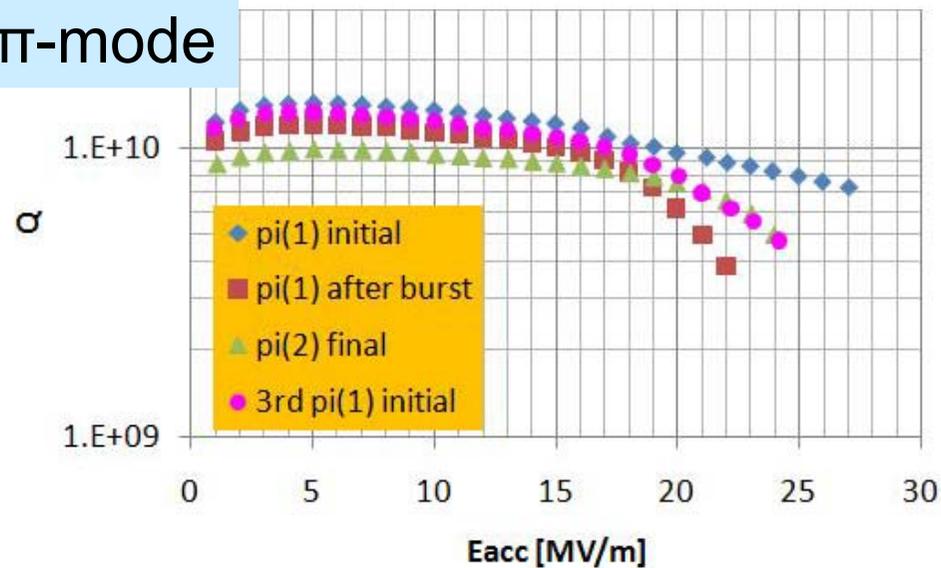
VT2 : 20nΩ

VT3 : 21nΩ

Same with last measurement

# 3回目縦測定と2回目縦測定と比較

## $\pi$ -mode

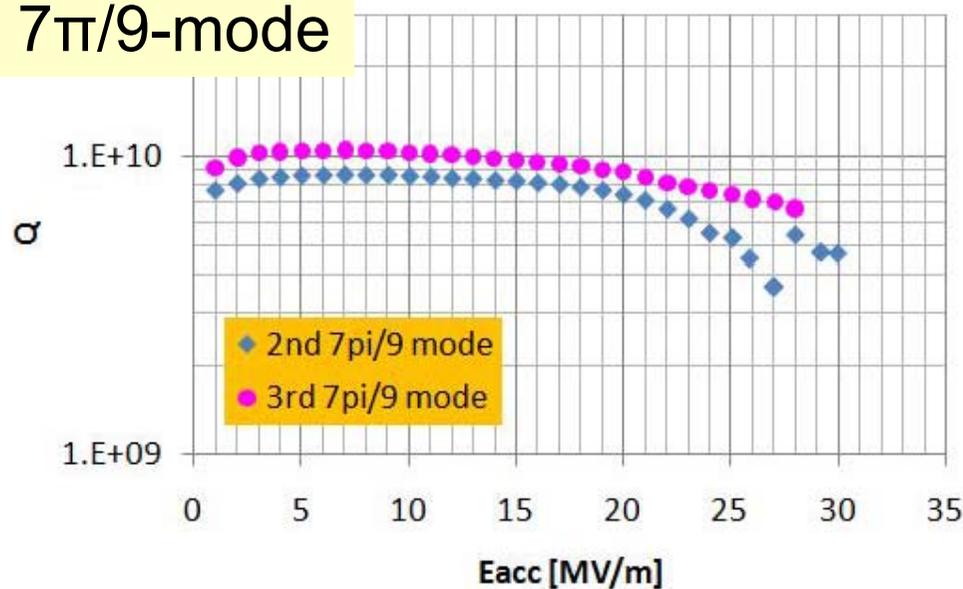


ピンクが3回目測定の測定結果

Pi-modeに関して低い値でのQ値  
2回目の最初の測定を再現して  
いる。すなわちQ値の回復が見ら  
れた。高いfield(> 16MV/m)から  
はQ値が劣化するとともにfield  
emissionが見られ、2回目のfinal  
の状態を再現していた。Mapping  
の結果も同じである。(次ページ)  
これからfield emission sourceは  
昇温のみでは取れてないことが  
わかる。

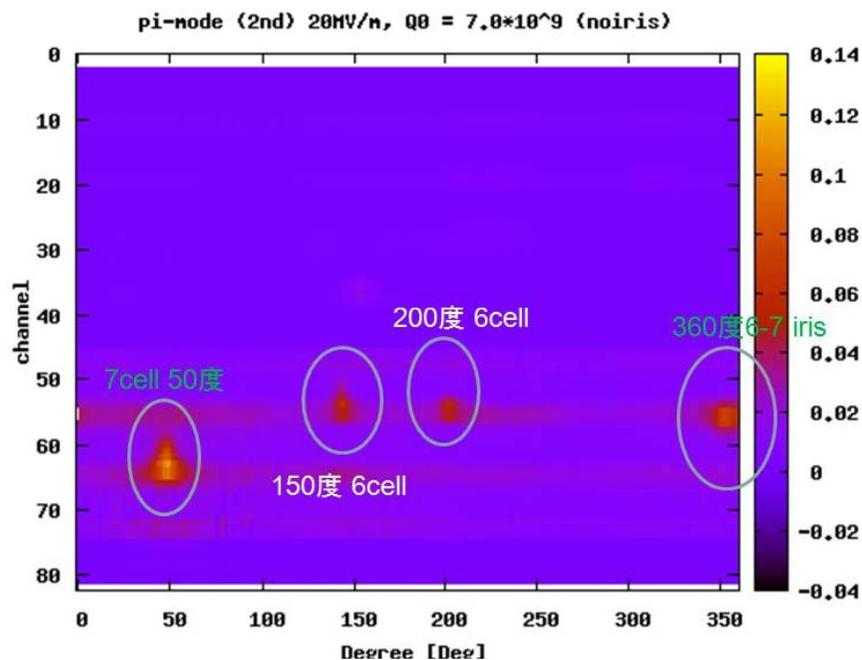
7/9pi-modeでもfieldの回復が見  
られていた。

## $7\pi/9$ -mode

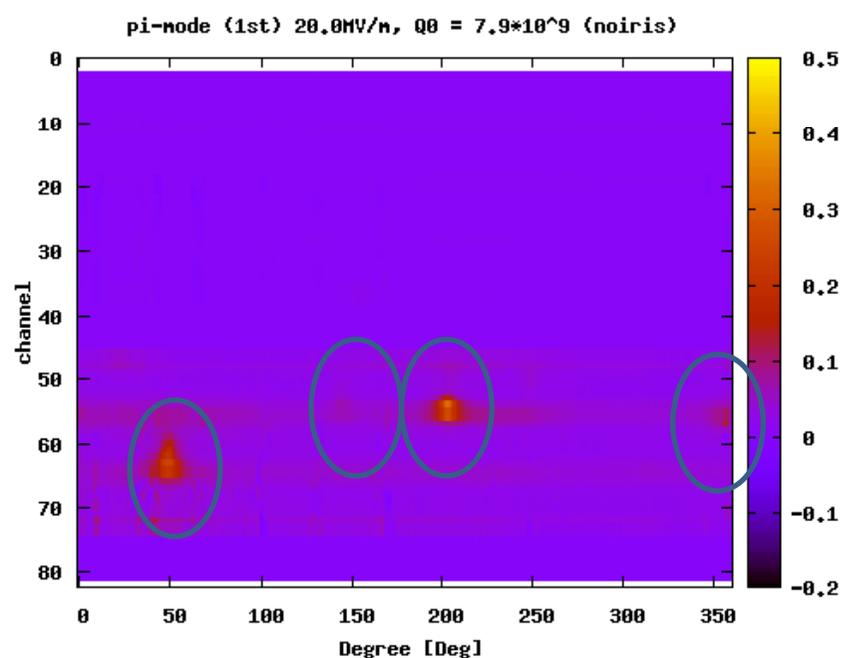


# 3回目と2回目のmappingの様子

2回目縦測定 final pi-mode (20MV/m)



3回目縦測定 initial pi-mode (20MV/m)



2回目と3回目の縦測定では同じprofileが得られた。  
昇温のみではfield emission sourceの分布が変わっていないことがわかる。

# Summary

- 2回目と3回目の縦測定を行った。
- 2回目の縦測定では最初は28 MV/mまで到達。その際radiationは非常に少なかった。但し、burstが起こり、その後はfield emissionが起こった。
- Burst後の最初の $\pi$ -mode 測定では,  $E_{acc} > 20$  MV/m (max 22M/m) で  $Q > 1e10$  (@15MV/m)は満たしていた。
- passband 測定により、プロセスが進み、2回目の縦測定では24MV/mまで到達。但し、1回目同様にlow fieldでのQ値の劣化が見られた。
- 3回目の測定では2回目以降に表面処理やパージなどは行わず、室温に戻し、Q値の回復が行われるかを確認した。
- 結果、low fieldでのQ値は回復( $Q_0 = 9 \cdot 10^9$  (2<sup>nd</sup> final)  $\rightarrow 1.3 \cdot 10^{10}$  (3<sup>rd</sup> initial) した。ERL運転時でもQ値の劣化がlow fieldで見られた際は一度昇温を行えば、回復することがわかる。
- 高いfieldでのfield emissionは昇温のみでは回復しないことがわかり、field emissionのsourceはガスなどの吸着ではなく、バースト時にばらまかれた異物などが影響していると考えられる。
- 昇温のみでQ値の回復のメカニズムはこれだけではわからないが、Low fieldのQ値の劣化は磁場トラップの可能性が考えられる。より詳細なstudyが必要。
- 4回目縦測定では上下のカプラーを変えて行う予定。(field emission の削減)

## ここまでの縦測定からわかるERL運転への要点

- 加速電圧をかけすぎないこと。バーストするとどうしようもなくなる。
- バーストおよびプロセス後はQ値は劣化。高い電圧でのemissionも増える。
- 室温に戻すと15MV/mまでのQ値は回復。High fieldのfield emissionは消えない。
- 15MVでは何時間運転してもQ値の劣化はしない。→CW運転では大丈夫なようだ。

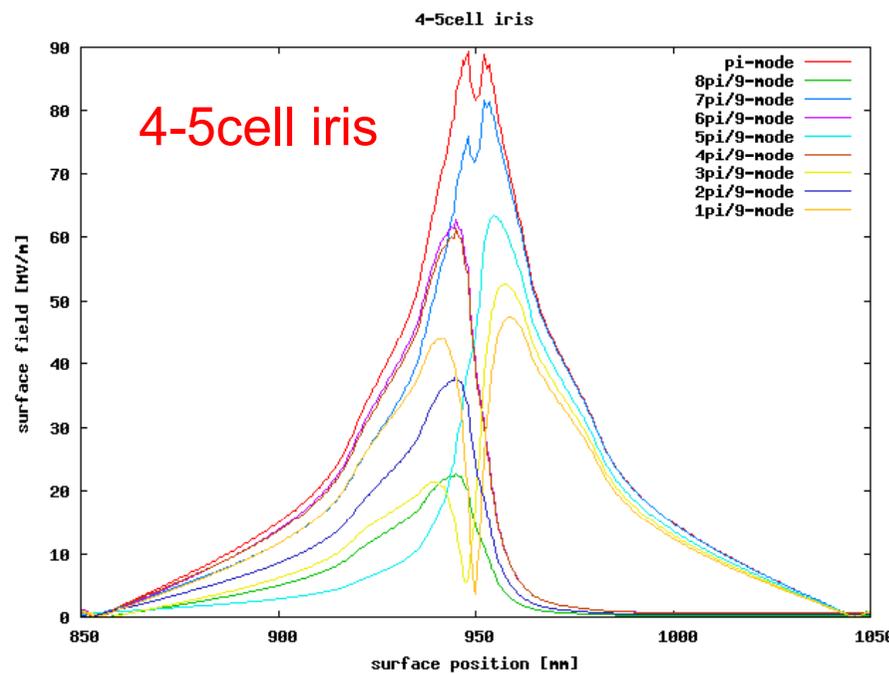
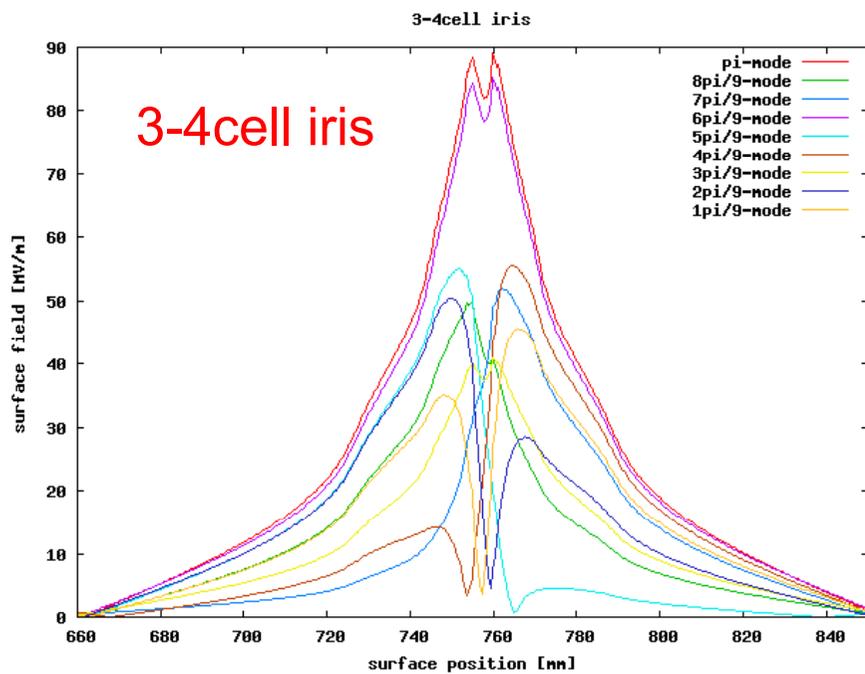
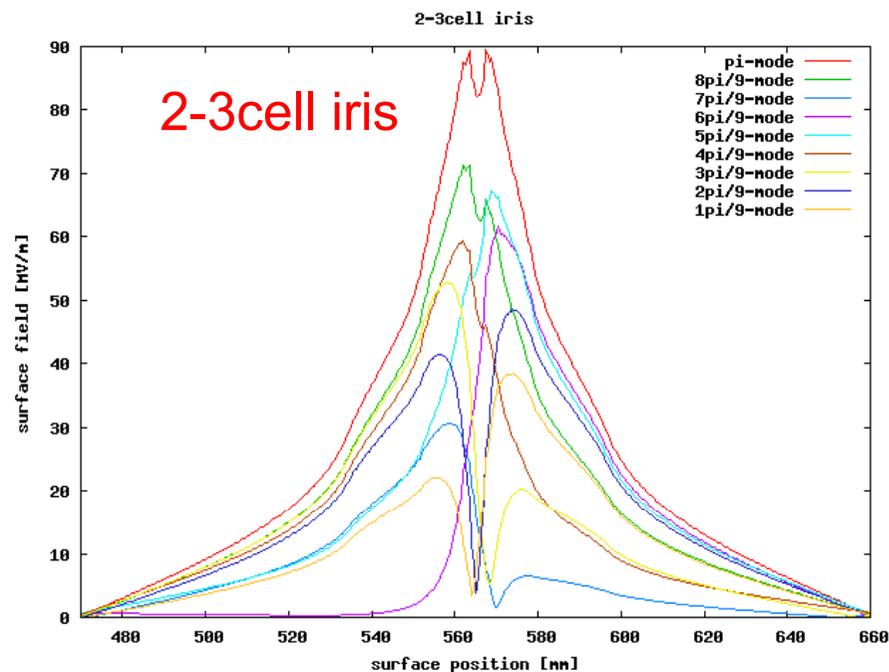
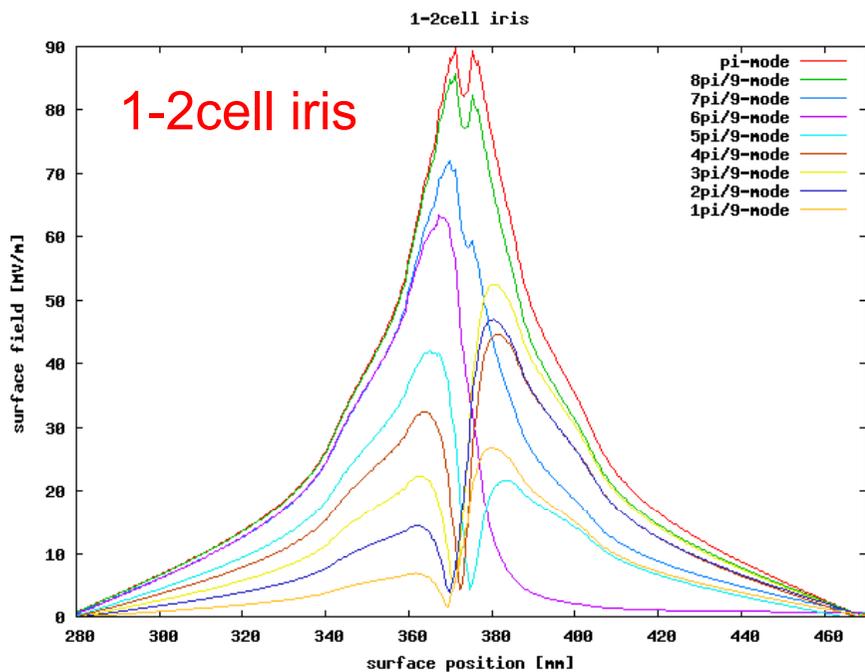
Reference slide

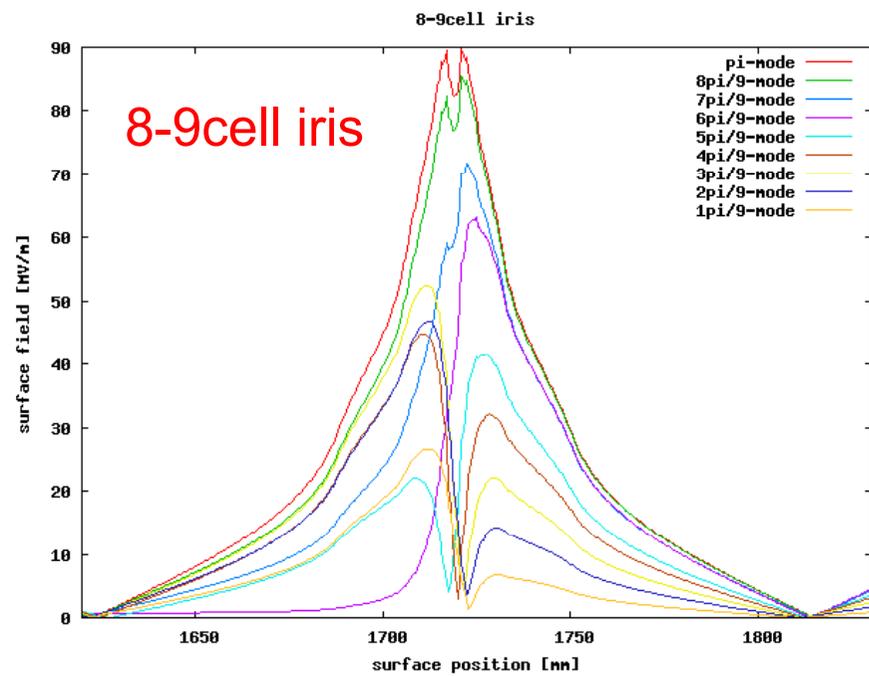
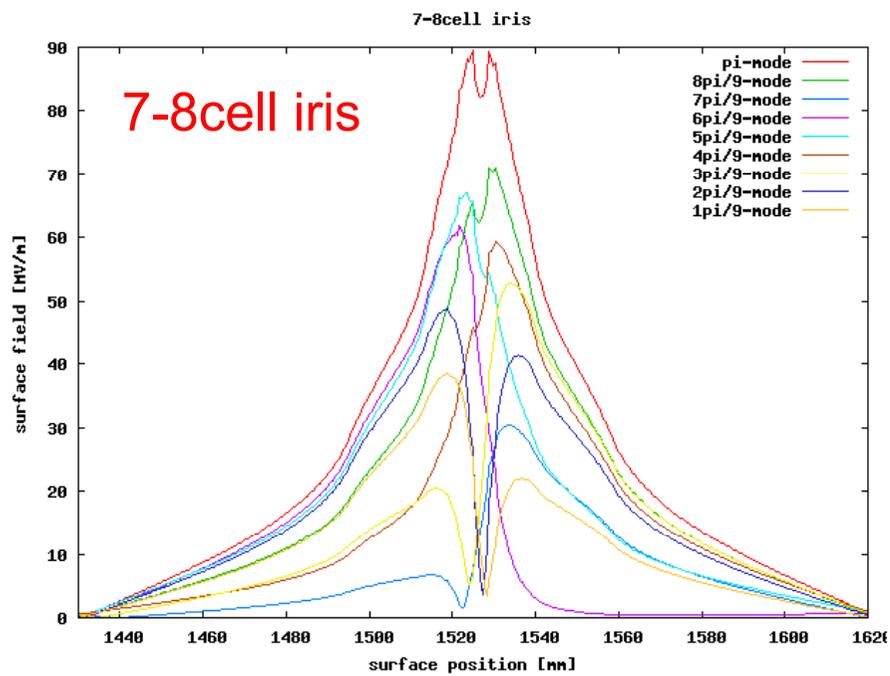
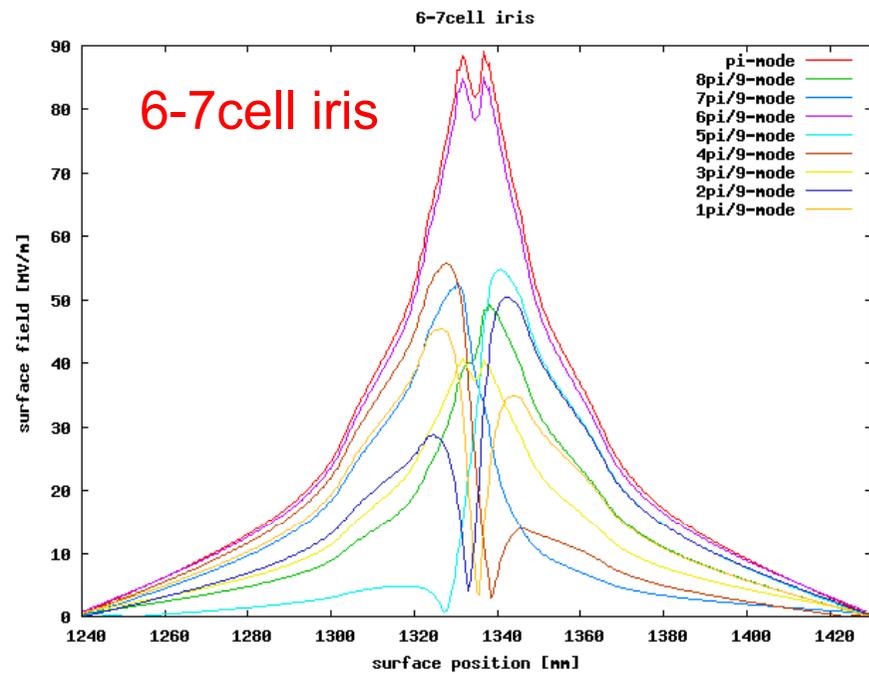
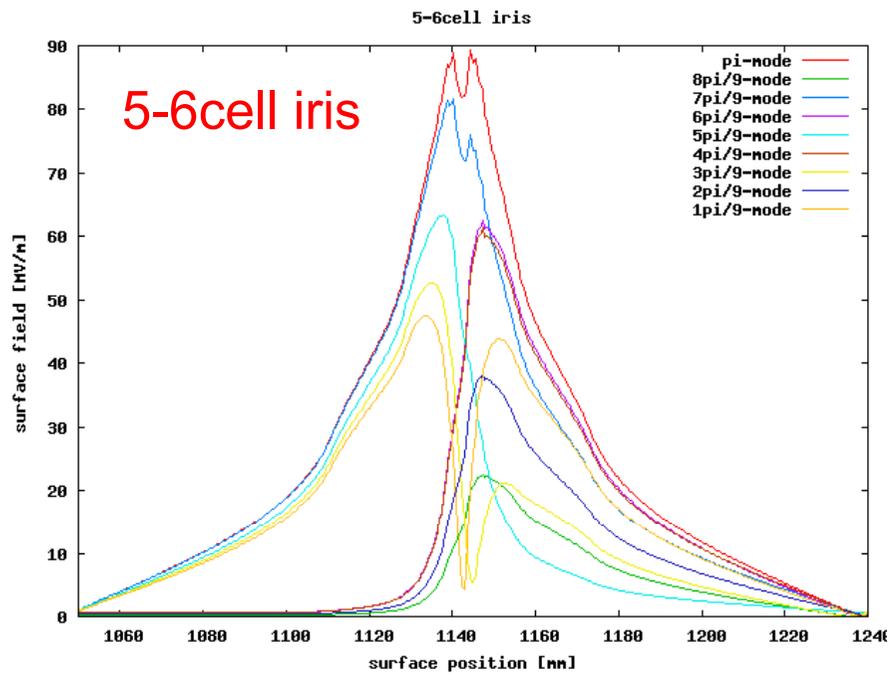
# Profile of surface electric field

Normalized each passband modes as following.

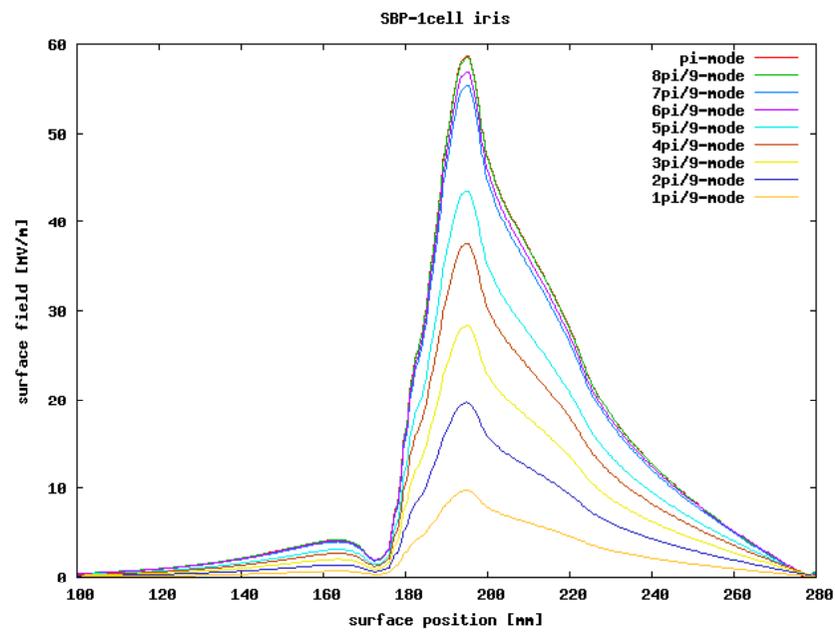
- maximum on-axis field ( $E_{acc}$ ) is 30MV/m

	1, 9cell	2,8cell	3, 7cell	4, 6cell	5 cell
$\pi$	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
$8\pi/9$	30.0	26.0	19.3	10.3	0.0
$7\pi/9$	28.7	15.3	5.0	22.9	30.0
$6\pi/9$	30.0	0.6	29.0	29.3	0.1
$5\pi/9$	23.5	14.4	28.4	5.0	30.0
$4\pi/9$	20.5	26.1	10.9	30.0	0.1
$3\pi/9$	15.9	30.0	14.6	15.2	30.0
$2\pi/9$	11.1	26.7	30.0	19.5	0.1
$1\pi/9$	5.6	15.2	23.1	28.2	30.0

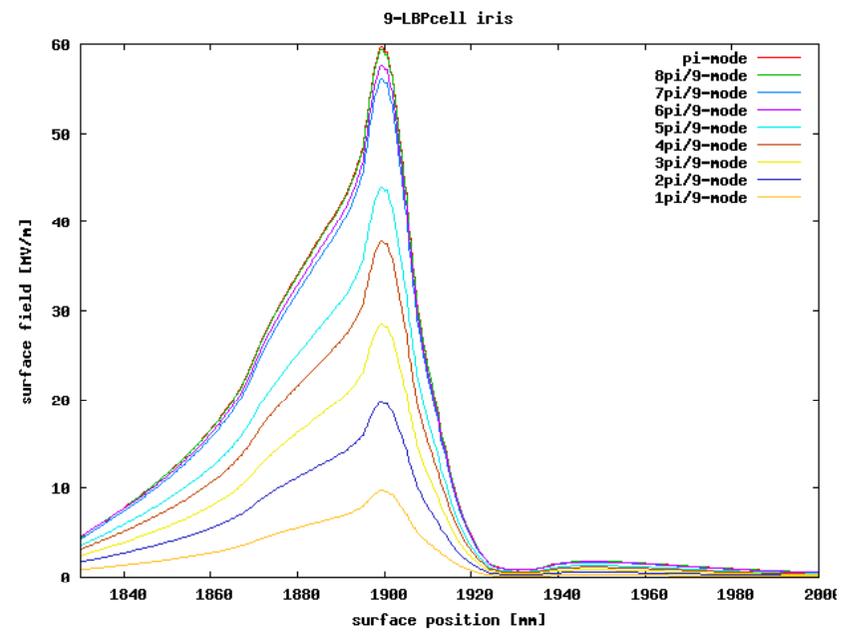




## SBP-1cell iris



## 9cell-LBP iris



# Comparison between initial /final state of 3rd VT

