

# cERL用主加速器空洞入力カプラー用 テストスタンドでのhigh power 試験

今回cERLモジュール組込用 2,3号機用のカプラーテストの一通りのまとめ。

**2012/07/17**

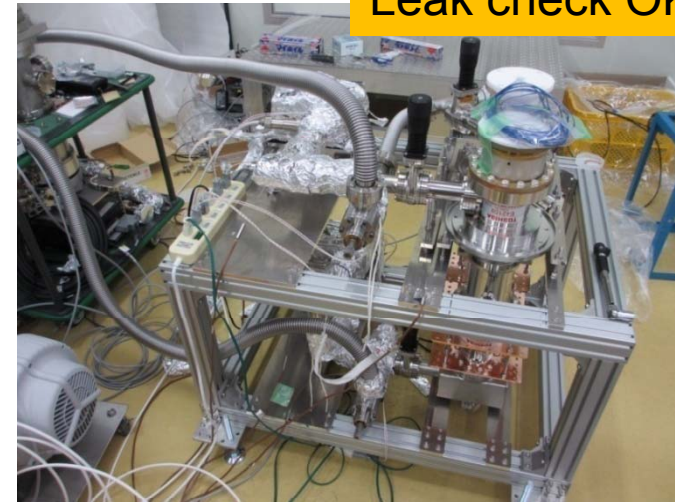
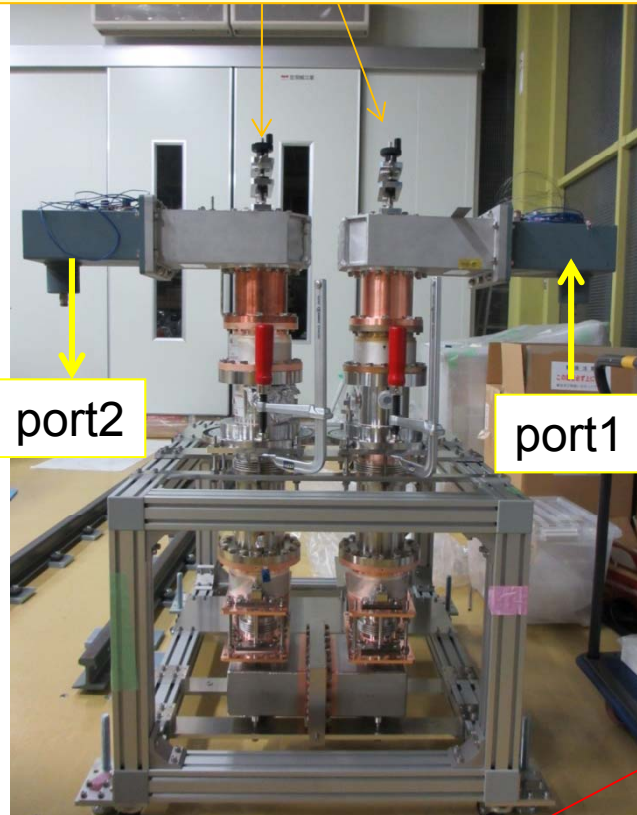
**阪井寛志、篠江憲治、梅森健成、沢村勝、古屋貴章、  
佐藤昌史、久保毅幸、Enrico Cenni**

## Introduction for high power test (2012年3月まで)

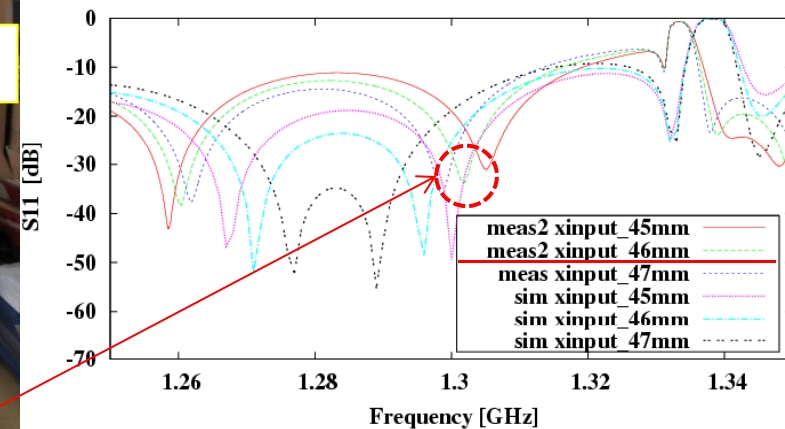
カップラー駆動機構  
この部分を動かしてcold窓のcouplingを変える。

Leak check OK

昨年度にcERL用のカップラーを2台作成(2,3号機)、low level測定と真空checkまでは終了。Injectorのカップラーテスト終了後、今回(4月~5月にかけて)はハイパワー試験とarc sensorの詳細studyを行った。



Measurement & simulation (x\_input 45 46 47mm)



Default値でS11&S22で-25~-30dB以下の反射になっている。設計値とほぼ近かった。

### 目的

### Low level測定

#### ・カップラー2、3号機用のhigh power test stand

--今回はprocessがメイン。80kW (1/2 duty)以上の進行波(20kW定在波相当)で**カップラー全面のprocessing**を行う。injector用の1.3GHz CW 300kW klystronを用いて行う。

#### ・アークセンサの詳細study。

-- モジュール組込用のfiberを用いたもの。3月末に**アーク判定モジュール**が納品。

BU検討会(2012.7.17)

# Setup (coupler stand) for high power test

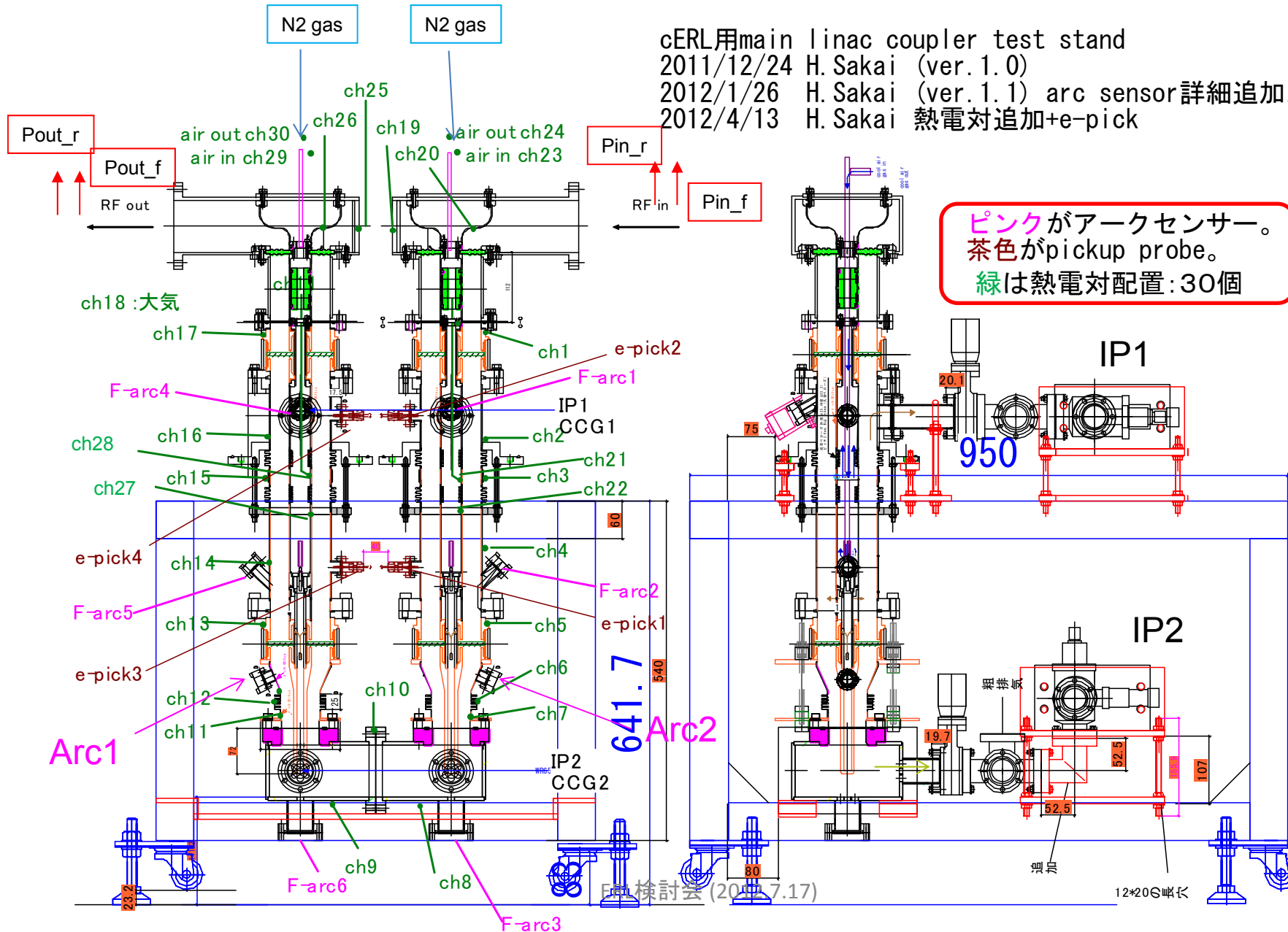
内導体はN2 gasで空冷：流量をモニター

cERL用main linac coupler test stand

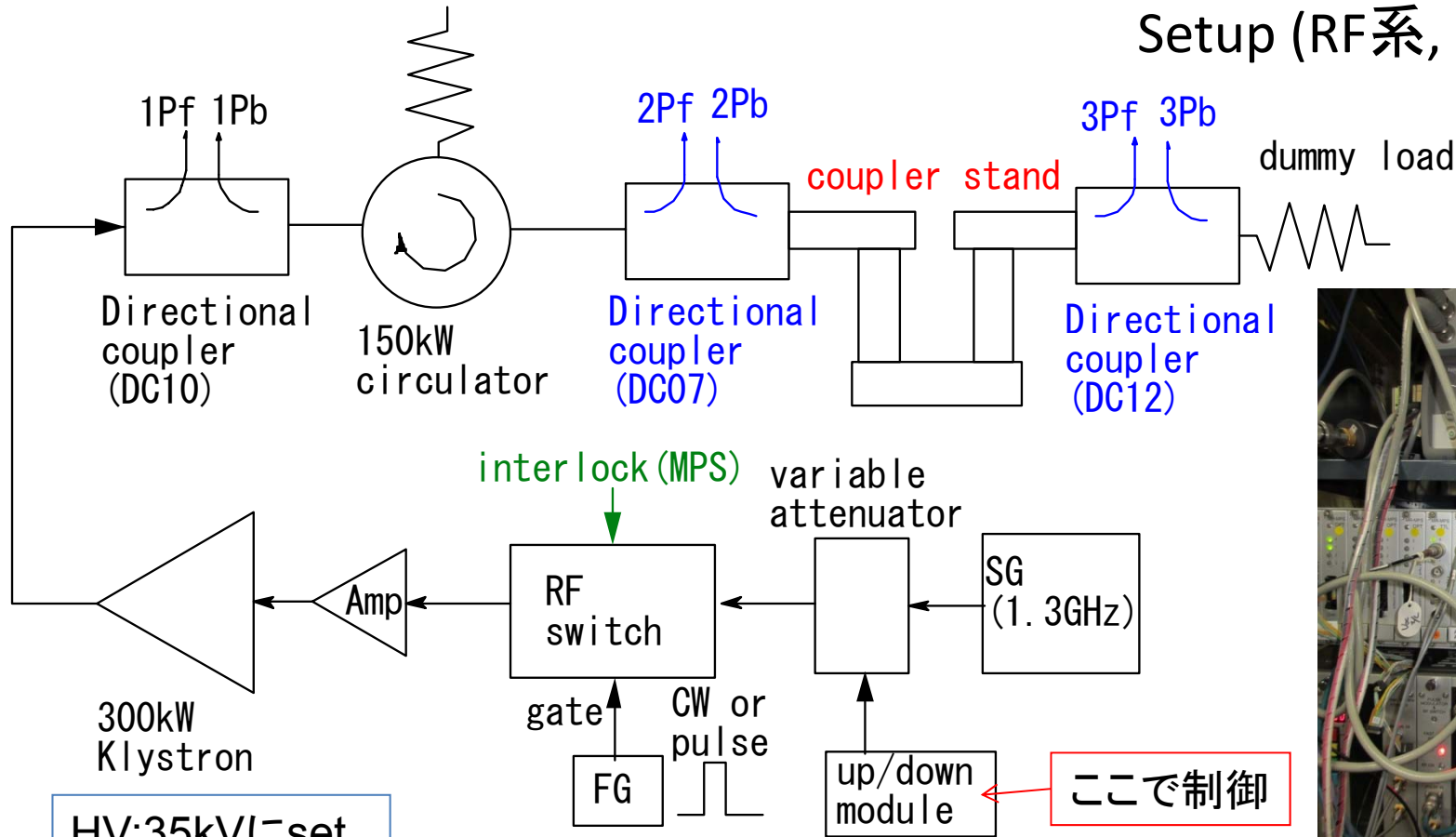
2011/12/24 H. Sakai (ver. 1.0)

2012/1/26 H. Sakai (ver. 1.1) arc sensor詳細追加。

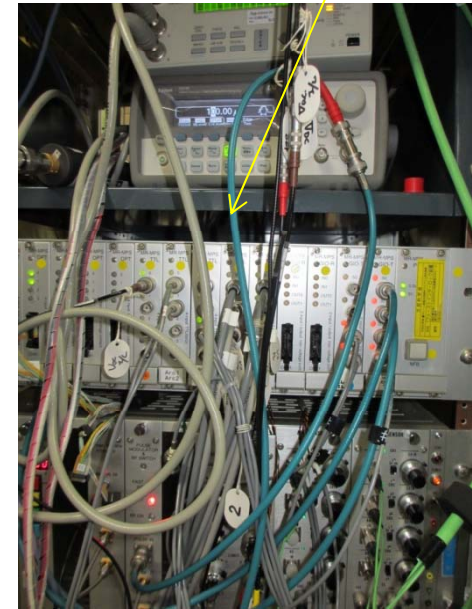
2012/4/13 H. Sakai 熱電対追加+e-pick



# Setup (RF系, interlock)

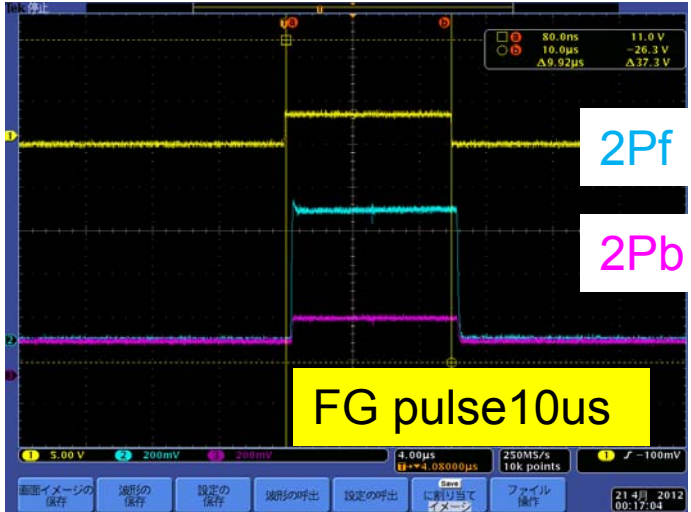


Interlock 用  
MPS module



HV:35kVにset  
Max 100kWくら  
いの出力。  
最終的にHV:  
38kVにset

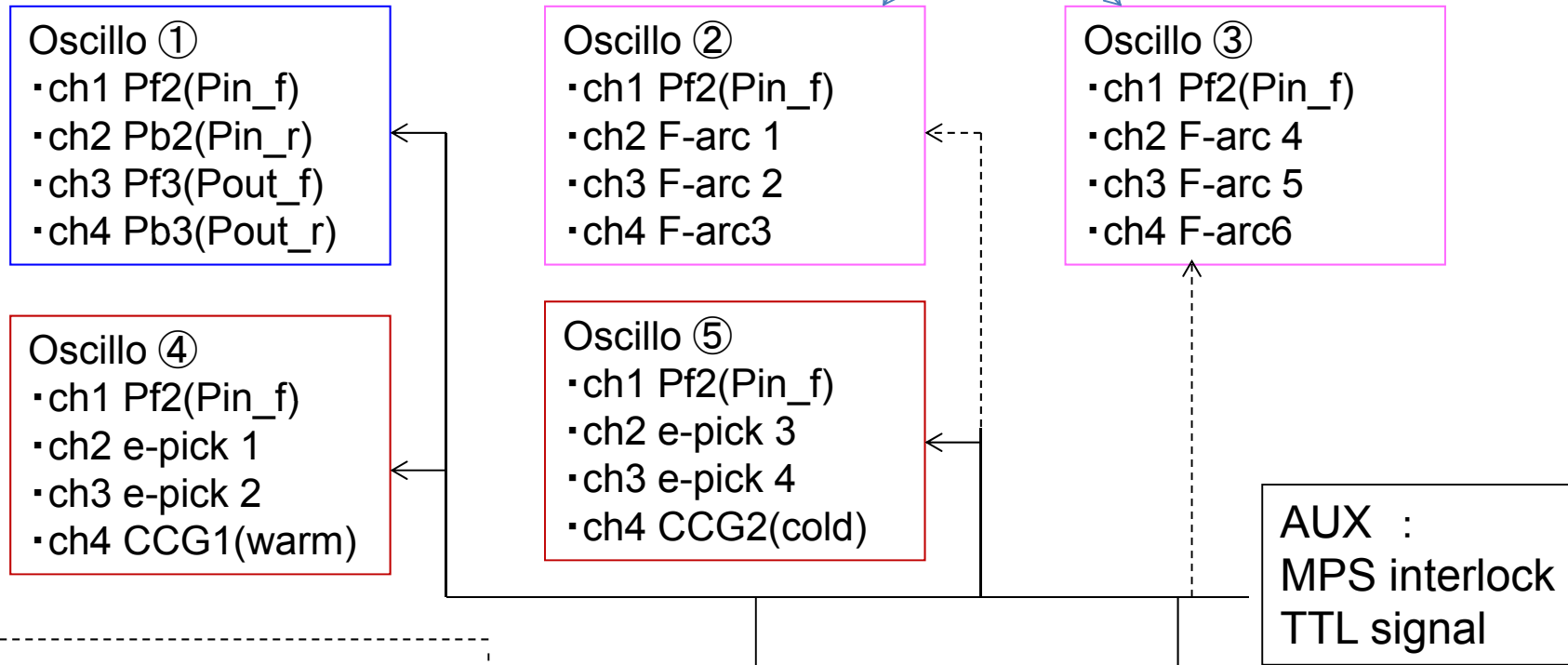
Test standの前後  
に方向性結合器を  
置きpower(f,r)をモ  
ニター



# Setup (monitor)

オシロの信号の配置。

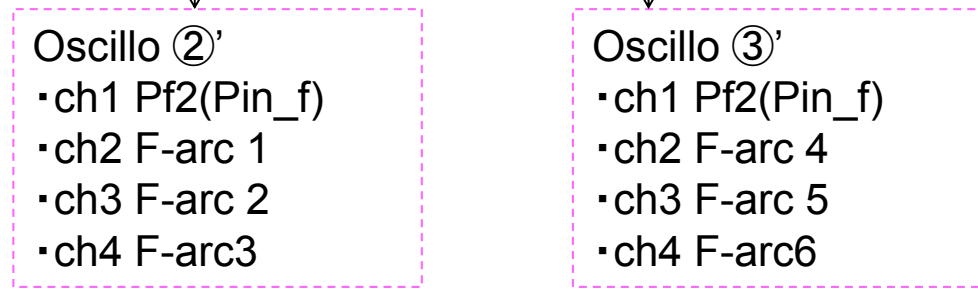
Ch1でtrigger



## Data loggerのデータ

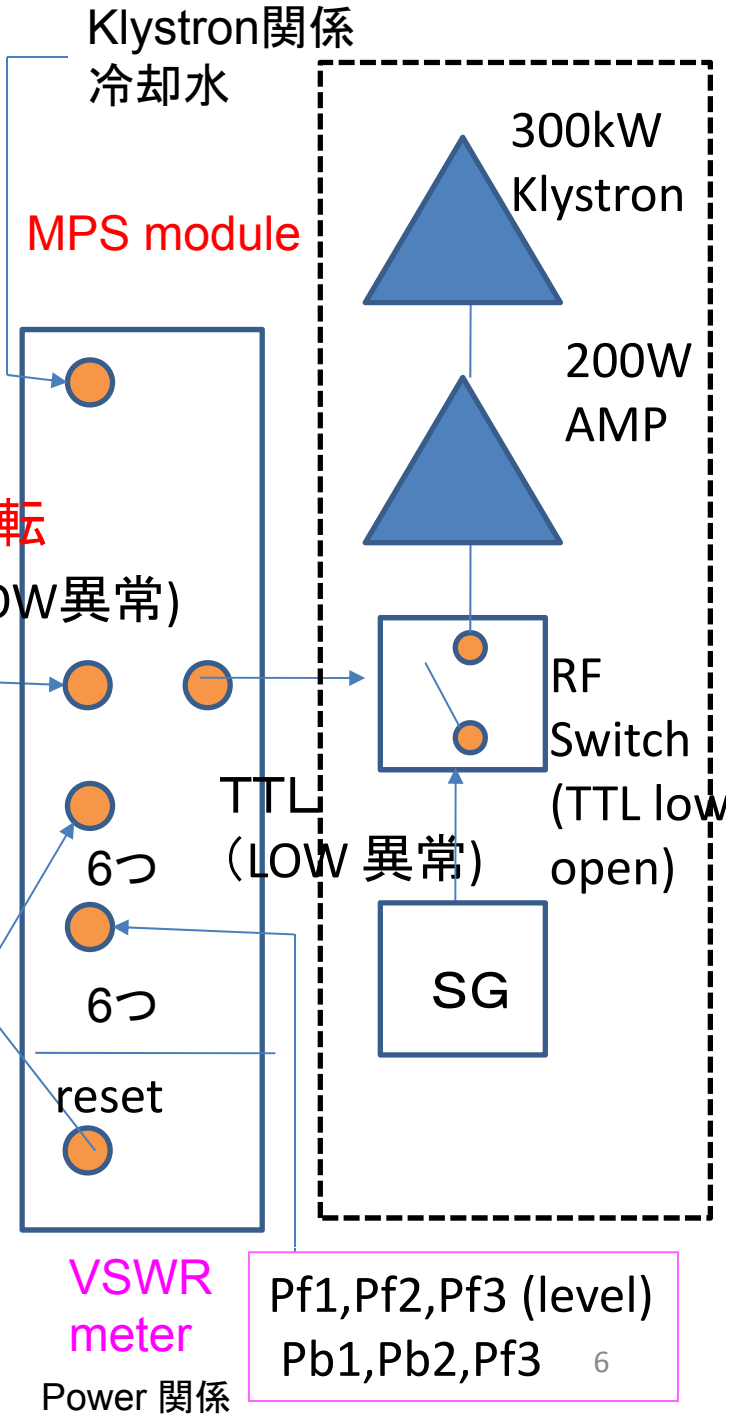
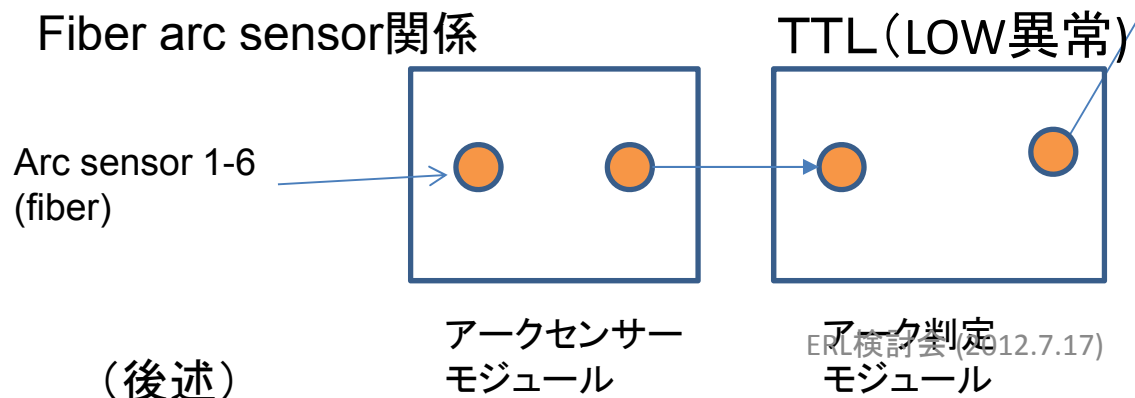
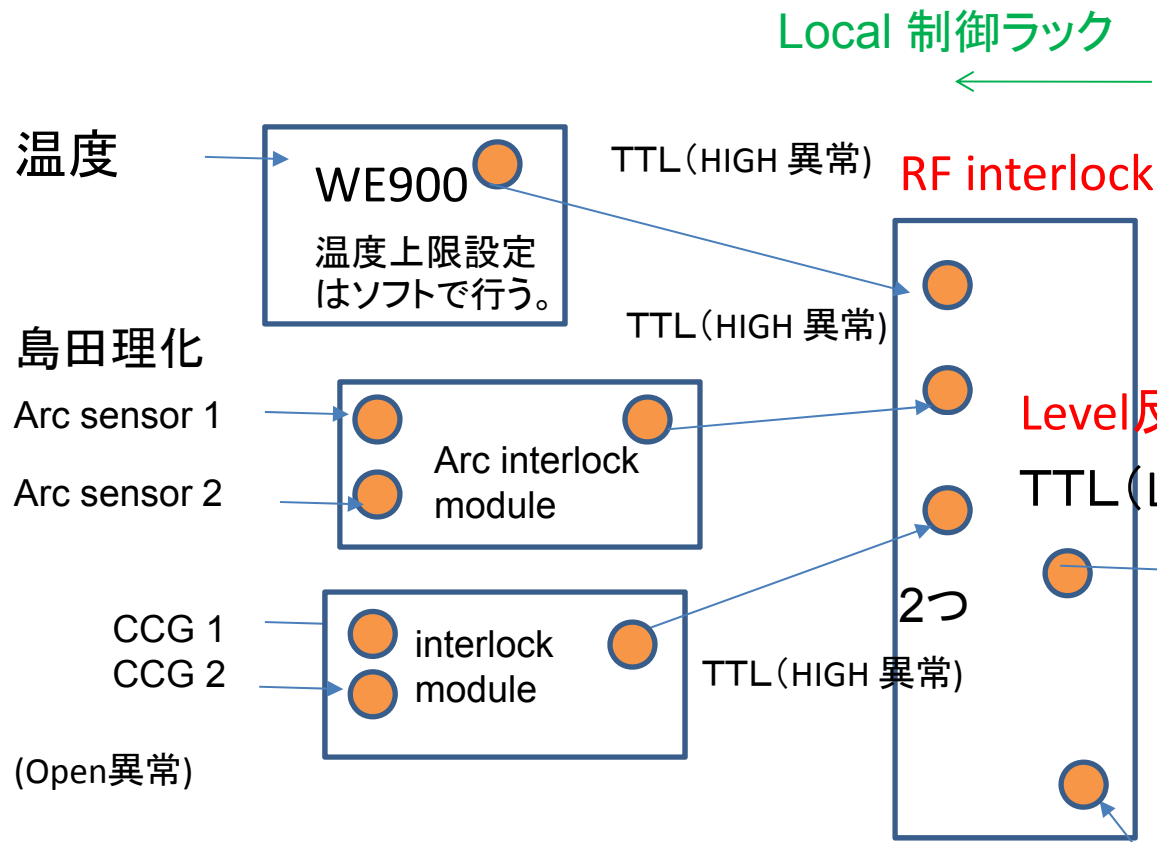
- Data logger:
- Pf1(CW)
  - Pb1(CW)
  - Pf2(Pin\_f) (CW & pulse)
  - Pb2(Pin\_r) (CW&pulse)
  - Pf3(Pout\_f) (CW & pulse)
  - Pb3(Pout\_r) (CW&pulse)
  - CCG1,2
  - 温度(ch1-ch30)
  - N2 gas flow (1,2)

1sでdataを取る。



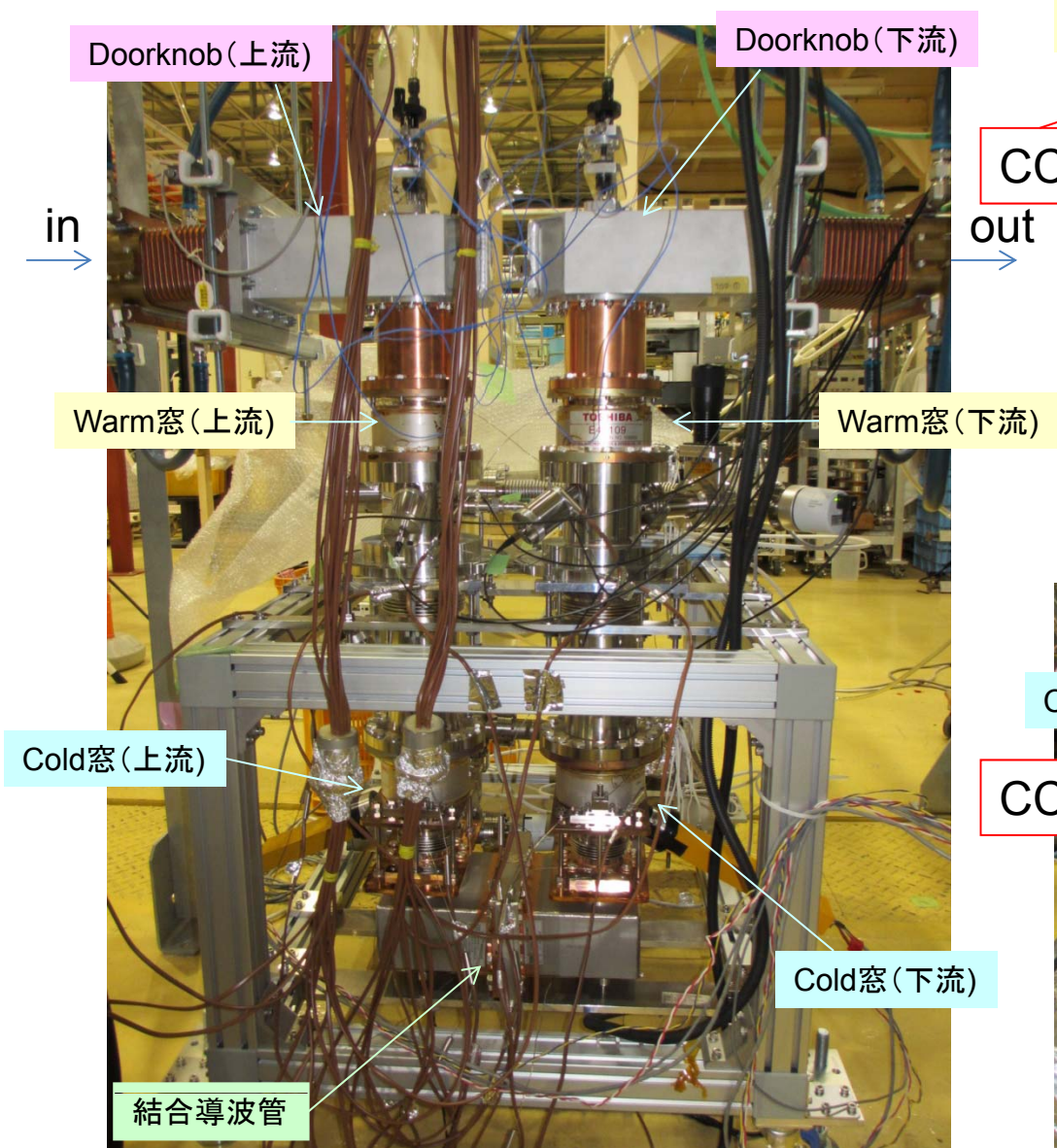
②',③'はinterlockがかかった時のfiberの信号をmonitor。それに対し、②,③は同じ信号だが、常時モニターするために設置。それ以外はch1でtriggerをかけており、臨機応変にAUXのinterlockでtriggerをかける。

Interlock logic(power+温度+真空+arc)



EPL横討会(2012.7.17)

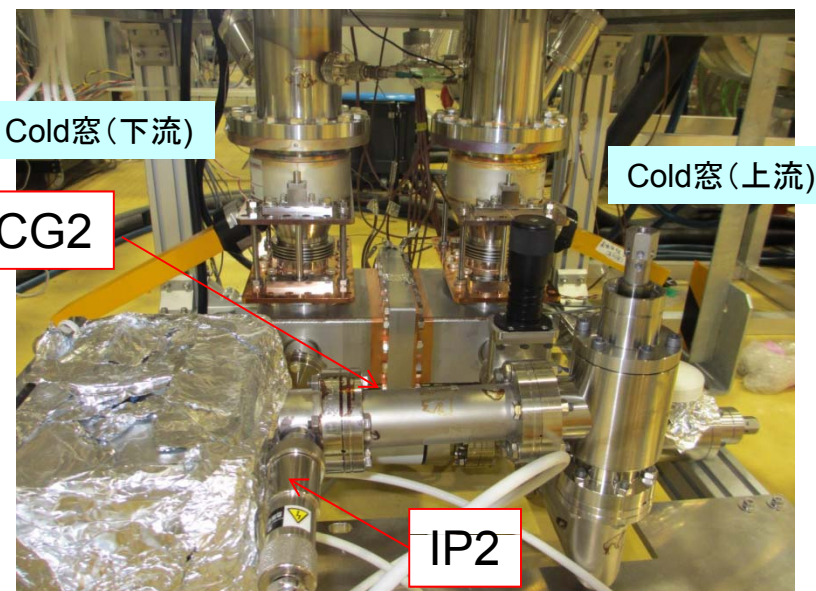
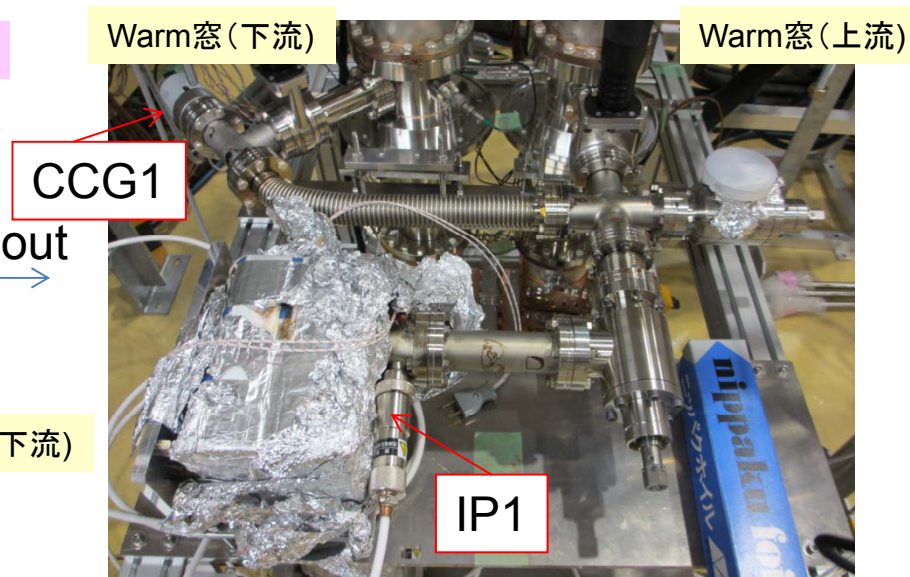
# Setup写真(coupler test stand)



(全体像、正面)

ERL検討会 (2012.7.17)

## 上段真空排気部(warm)



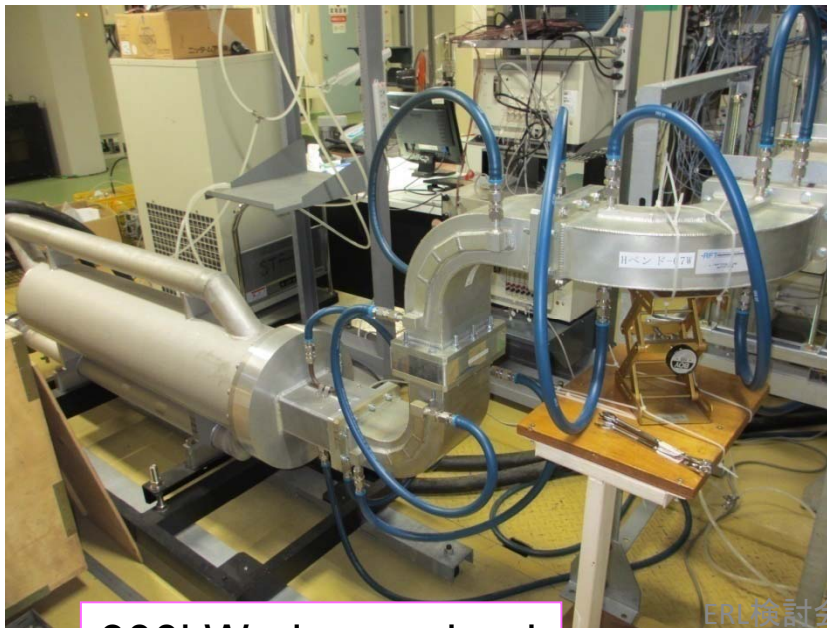
下段真空排気部(Cold)  
CCG2はIP2の裏にある。

# Setup写真(RF系統)

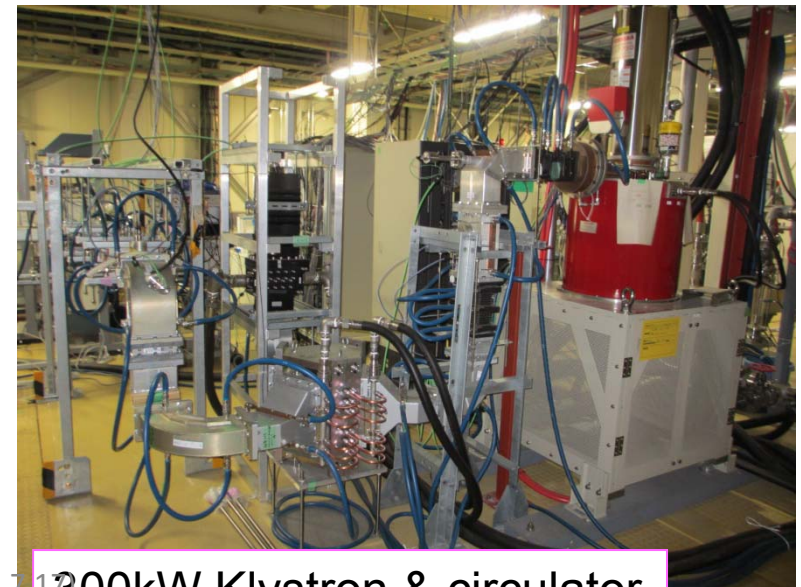
Amp



方向性結合器  
(DC12)



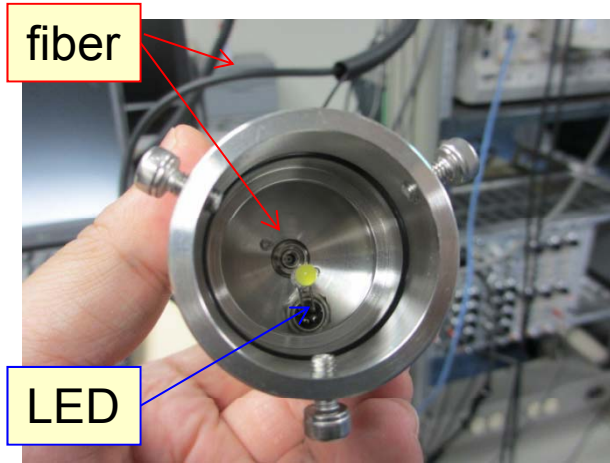
300kW dummy load



300kW Klystron & circulator

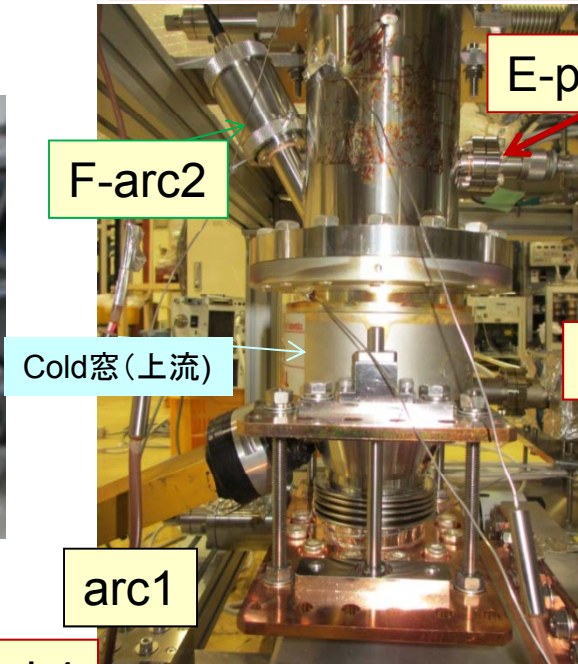


# Setup写真 (arc,pickup)

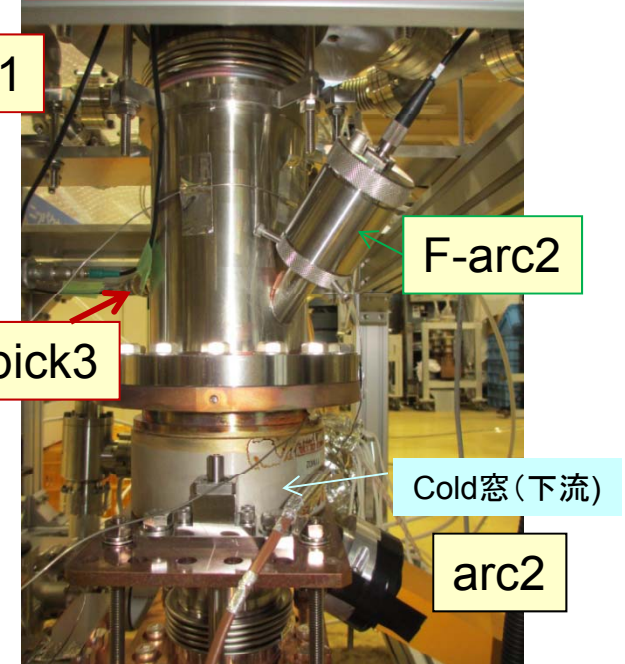


Fiber arc センサー本体

Cold部上流のmonitor配置



Cold部下流のmonitor配置



E-pick2

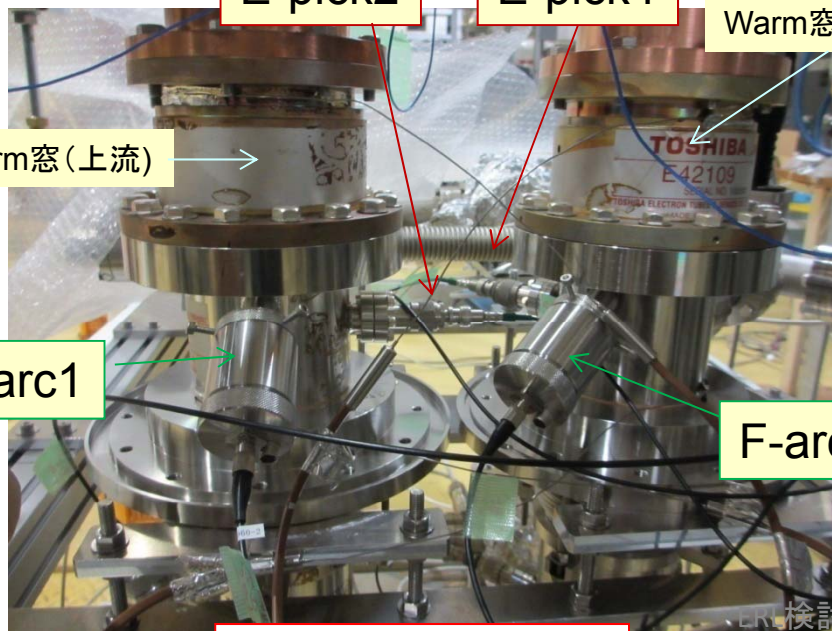
E-pick4

Warm窓(下流)

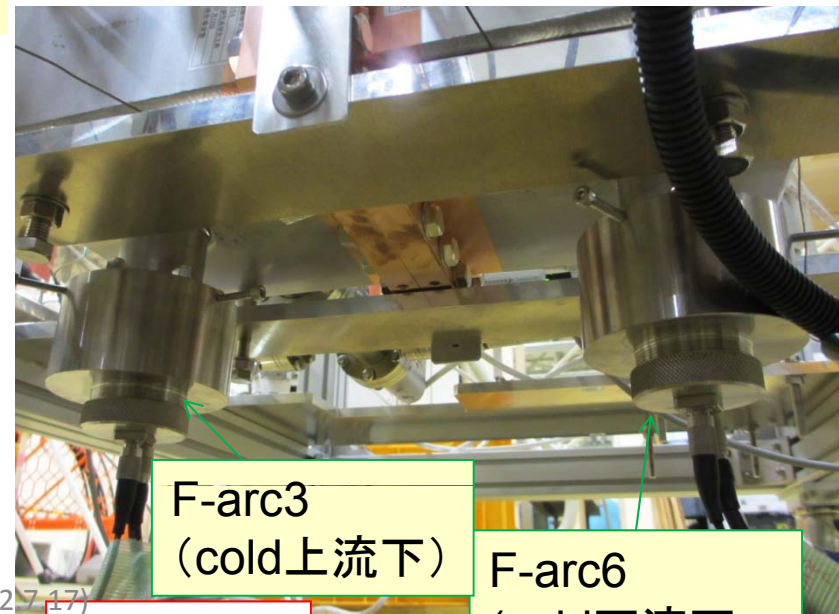
Warm窓(上流)

F-arc1

F-arc4



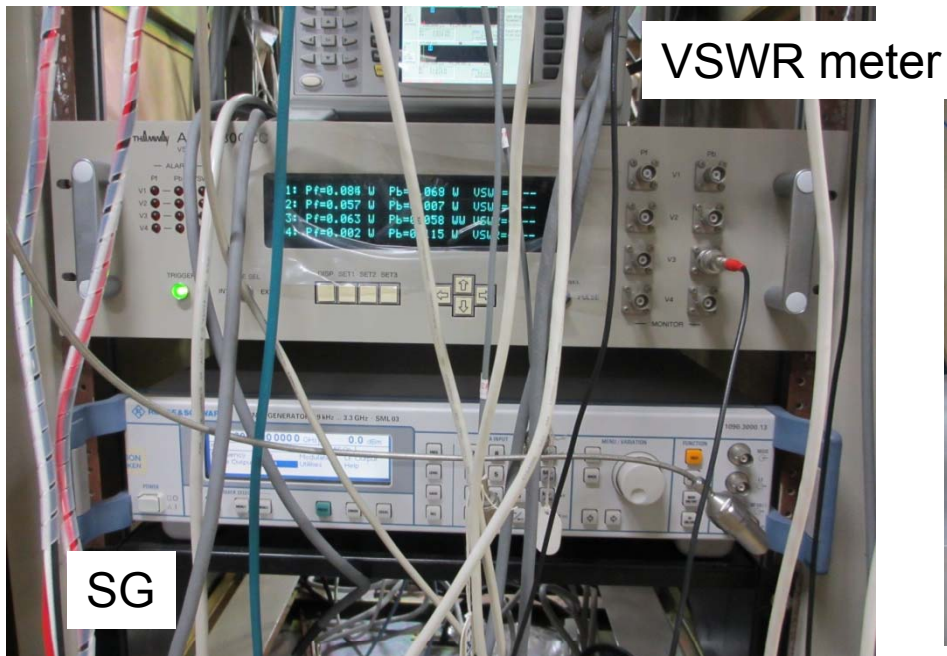
Warm部のmonitor配置



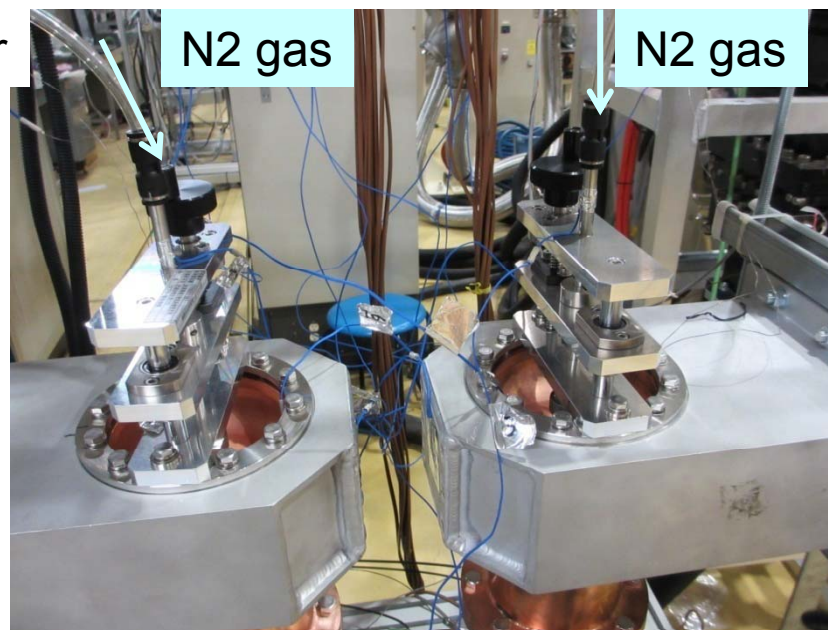
結合導波管下

F-arc6 (cold下流下)

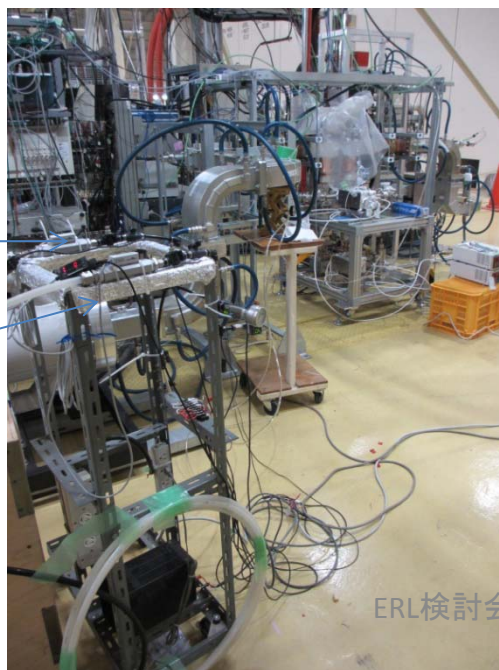
Setup写真(他モニター)



ドアノブ周辺(温度モニター、流量)



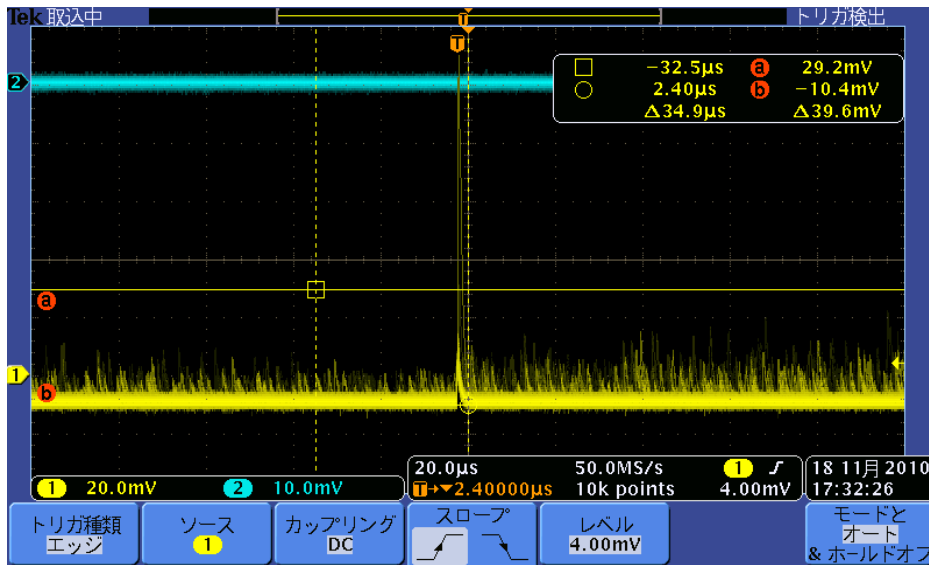
N2 gasの流量  
メータ



ERL検討会 (2012.7.17)

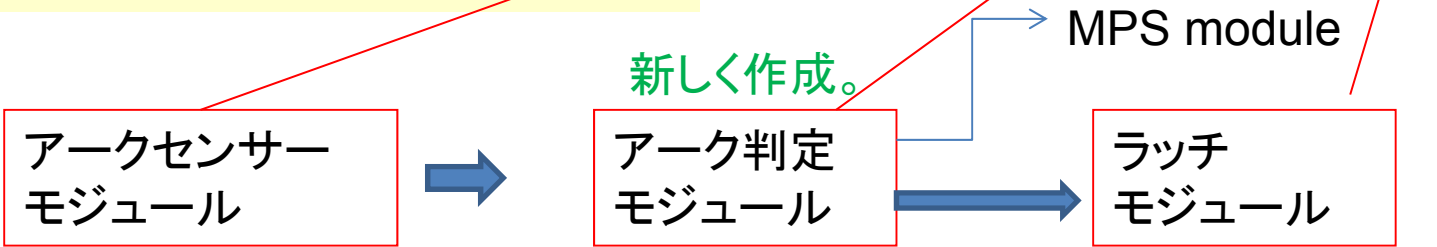
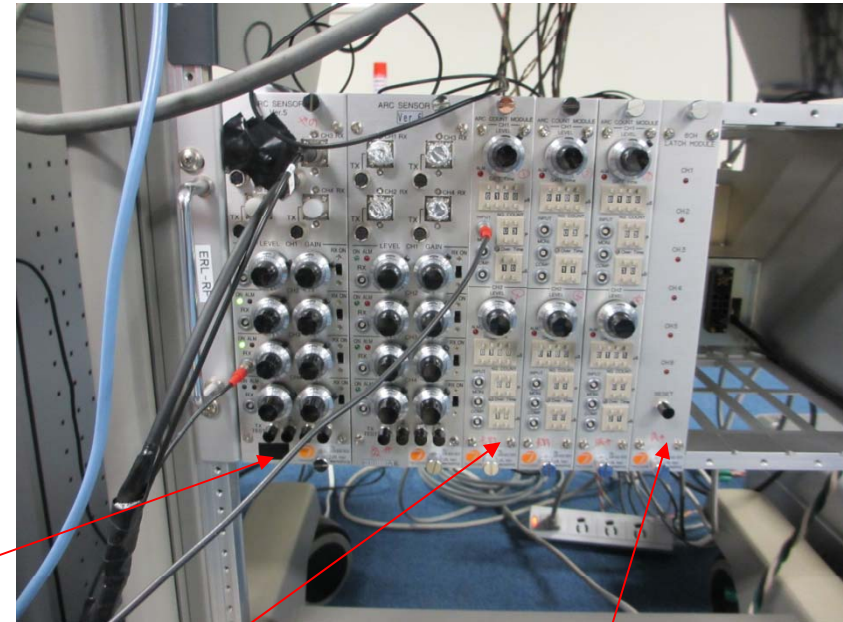
全体

# Typical なfiber arc sensorのsignal (1号機)



Process時は早いpulseがたくさん来ることがわかった。それに対し、モジュール内のPMTがたまに宇宙線でhitするため、カウント数がN以上の時だけinterlockを出すようなlogicを新たに設けた。

# Fiber Arc sensor logic



Pulse、heightに対し、Threshold以上のものが出れば、pulse2µsを出す。

Pulse数をあるwidth内であるカウント数N以上がくればTTLを出す。

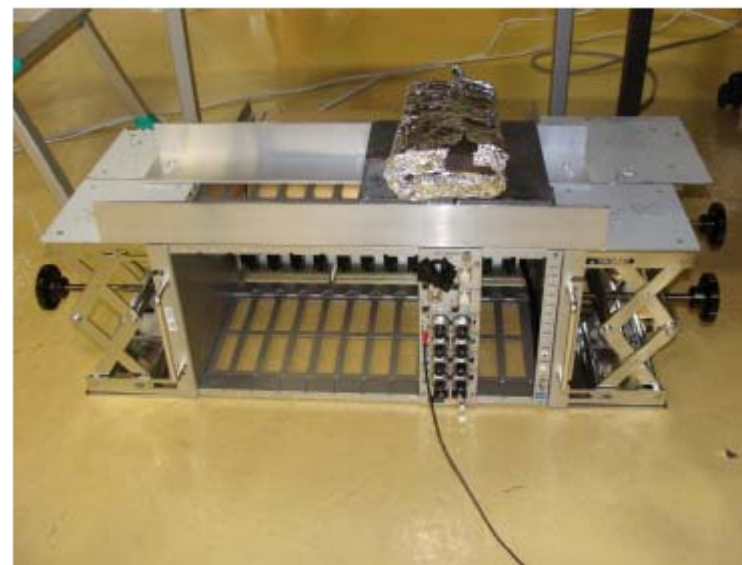
TTLが来るとラッチする。

# 宇宙線によるアークセンサーモジュール信号とcount数(2011年夏)

梅森さんのテストより

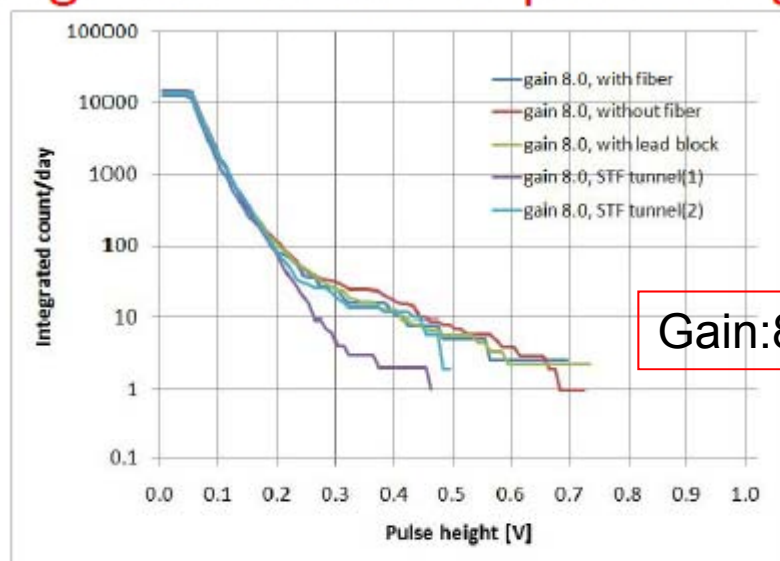
1号機のテストで宇宙線でarc sensorの信号がなることが分かったため、宇宙線からの信号をどれくらいの頻度でなるかをpulse heightに合わせてカウントした。Fiber ありなしに関係なくアークセンサーモジュールのgainでほぼ一定のカウントであった。

→アーク判別モジュールの導入へ



Top of module was covered with lead blocks

## Integrated counts vs pulse height



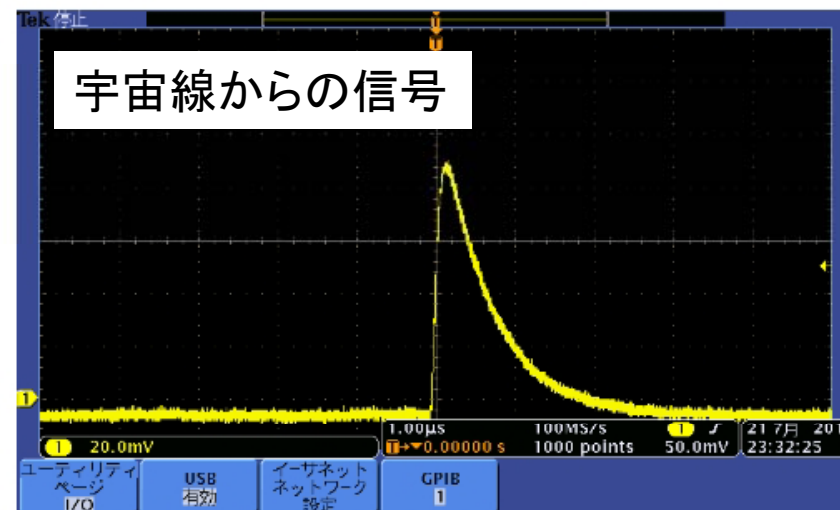
If threshold can be raised up to 1V or more, trigger rate become less than once per day.

Is that too high against real arc events???

0.1V以上のcountは1日1000回以上。

ERL検討会 (2012.7.17)

## Typical signal



Typically 1µm pulse width

初期setup intelock(2012/4/26)

Powerのforwardのthresholdおよび  
 アークのVth(gain)はpowerを上げ、  
 processが進むにつれて変更していった。

	DC_f	power	DC_r	power
DC10	1Pf	20kW	1Pb	5kW
DC07	2Pf	20kW	2Pb	5kW
DC12	3Pf	20kW	3Pb	5kW

### Interlock

CCG1 (warm):  $1 \cdot 10^{-4} \text{Pa}$   
 CCG2 (cold) :  $1 \cdot 10^{-4} \text{Pa}$

島田理化arc sensor

- ①上流 紙11枚(赤)紙12枚(緑)
- ②下流 紙11枚(赤)紙12枚(緑)

温度 <math>60^{\circ}\text{C}</math> (WE900でsoftで制御)

arc	アークセンサーモジュール			アーク判別モジュール		
fiber	module	gain	Th設定値(Vth)	N(pulse数)	Gate width	Over time
①	Ver5	8	0.1(0.05V)	3	100us	99us ->9us
②	Ver5	8	0.1(0.05V)	3	100us	99us->9us
③	Ver5	8	0.02(0.01V)	3	100us	99us->9us
④	Ver5	8	0.1(0.05V)	3	100us	99us->9us
⑤	Ver6	8	0.1(0.05V)	3	100us	99us->9us
⑥	Ver6	8	0.02(0.01V)	3	100us	99us->9us

# Power test history(その1)

80kW でduty 1/2でpulse幅1s程度を確保するため、10usで100kWを目指す。

- **2012/4/26** : 10us 5Hz process start  
75kWまでno interlock(IL)(0.5h)→IL work後arc signal 出る。  
その後、processを進めながら27kWまで到達。(1 hours)
- **2012/4/27** : 10us 5Hz (10Hz) 27kW → 40kWまで(3 hours)
- **2012/4/30** : 10us 10Hz (40kW->60kW) (5h 15min)  
10us 20Hz (60kW -> 70kW) (2h 30min)
- **2012/5/1**: 10us 20Hz (10Hz) (70kW -> 85kW) (3h 25min)
- **2012/5/2**: 10us 10Hz (5Hz) (85kW -> 100kW) (6h 30min)

10us のpulse幅で100kWまで到達。  
Totalの時間は21h 40min。

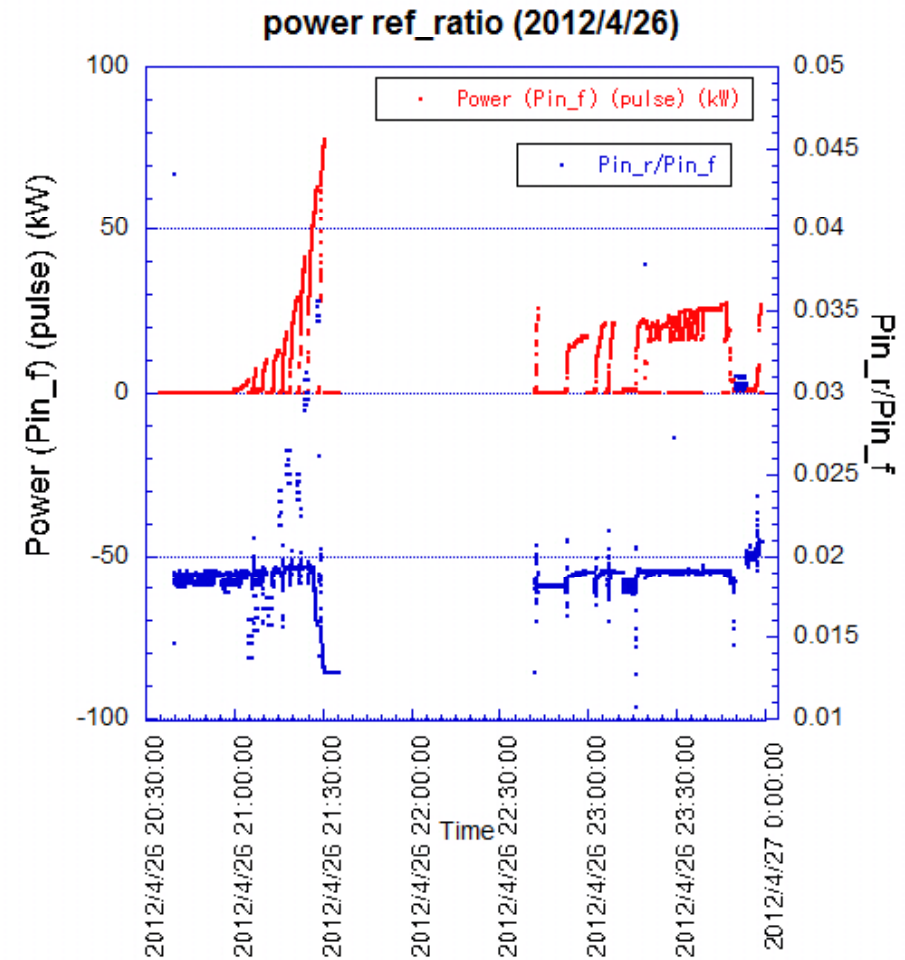
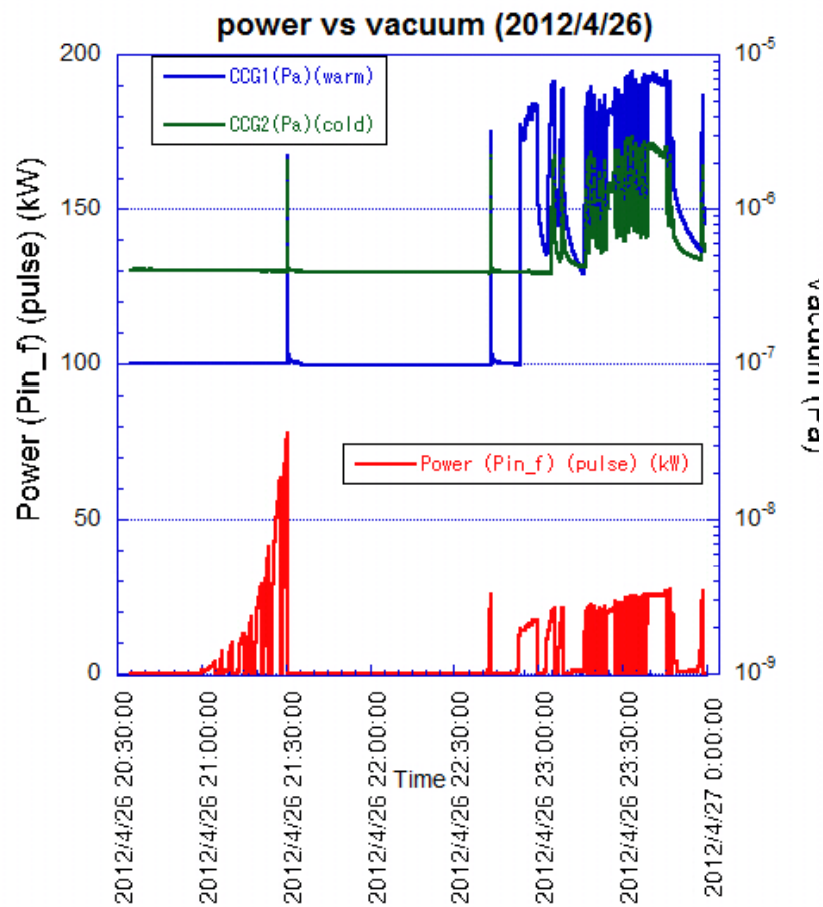
# Power test history(その2)

- 2012/5/7 :
  - 30us 5Hz (->100kW) (2h 10min)
  - 100us 5Hz (15Hz) (->102kW) (1h 50min)
  - 200us 10Hz (20Hz) (->105kW) (1h 20min)
- 2012/5/9
  - 500us 20Hz (->102kW) (1h 7min)
  - 2ms 5Hz (100kW) (1h 11min)
  - 10ms 5Hz (95kW) (1h 7min)
  - 50ms 2Hz (92kW) (1h 4min)
  - 200ms 1Hz (88kW) (1h 5min)
  - 1s 0.5Hz (85kW) (1h 25min)
- 2012/5/11
  - CW (43kW) (4hours)

->付きはprocess  
を行っている。

1s 0.5Hz 85kWまで  
pulse operationを継続。  
10usから数えてpulseの  
process+operation時間  
はTotalの時間は約  
34hours。

## Power tests results (2012/4/26)



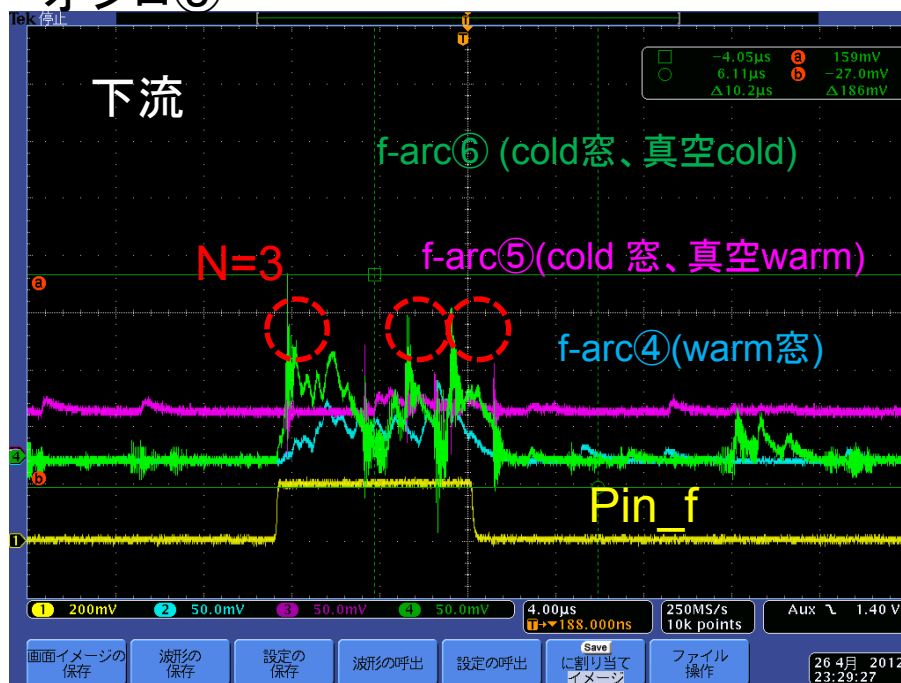
10us,5Hzにパワーをkeepしながら、power rise, VSWR meterの Interlockを上げながら、パワー上昇。75kWまでは真空のactivateはなし  
 75kWに到達した時点でarc⑥(cold下流)が反応、それ以降は20kWから Arc信号が出始めた。真空も両方activate。  
 ちなみにPin\_r/Pin\_f = 0.02。これはlow level測定と割と合うか



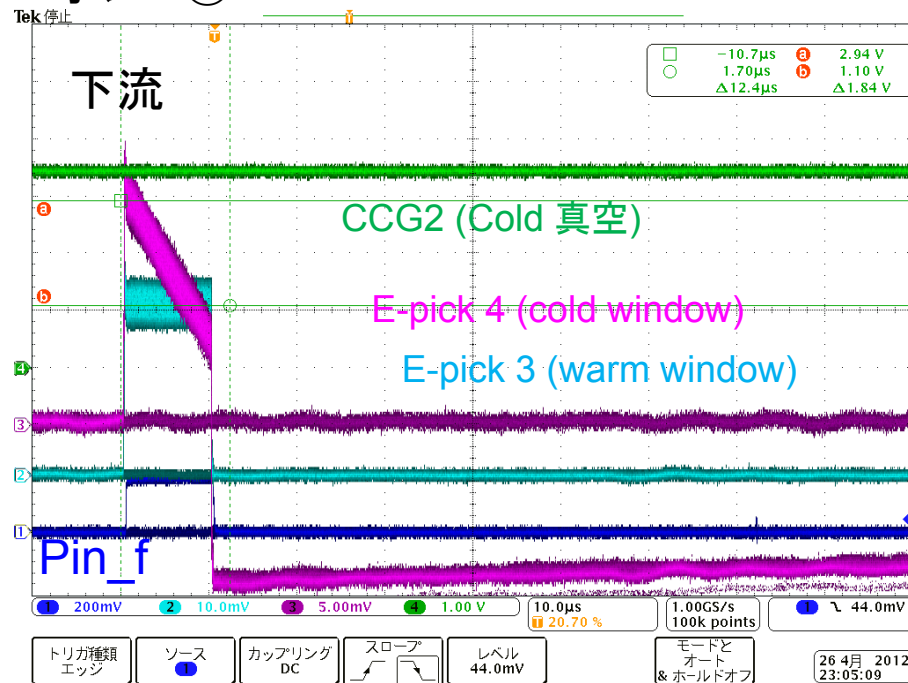
# Typical data of fiber arc and e-pick after interlock (2012/4/26)

Pin<sub>f</sub> = 23kW

オシロ③'



オシロ⑤



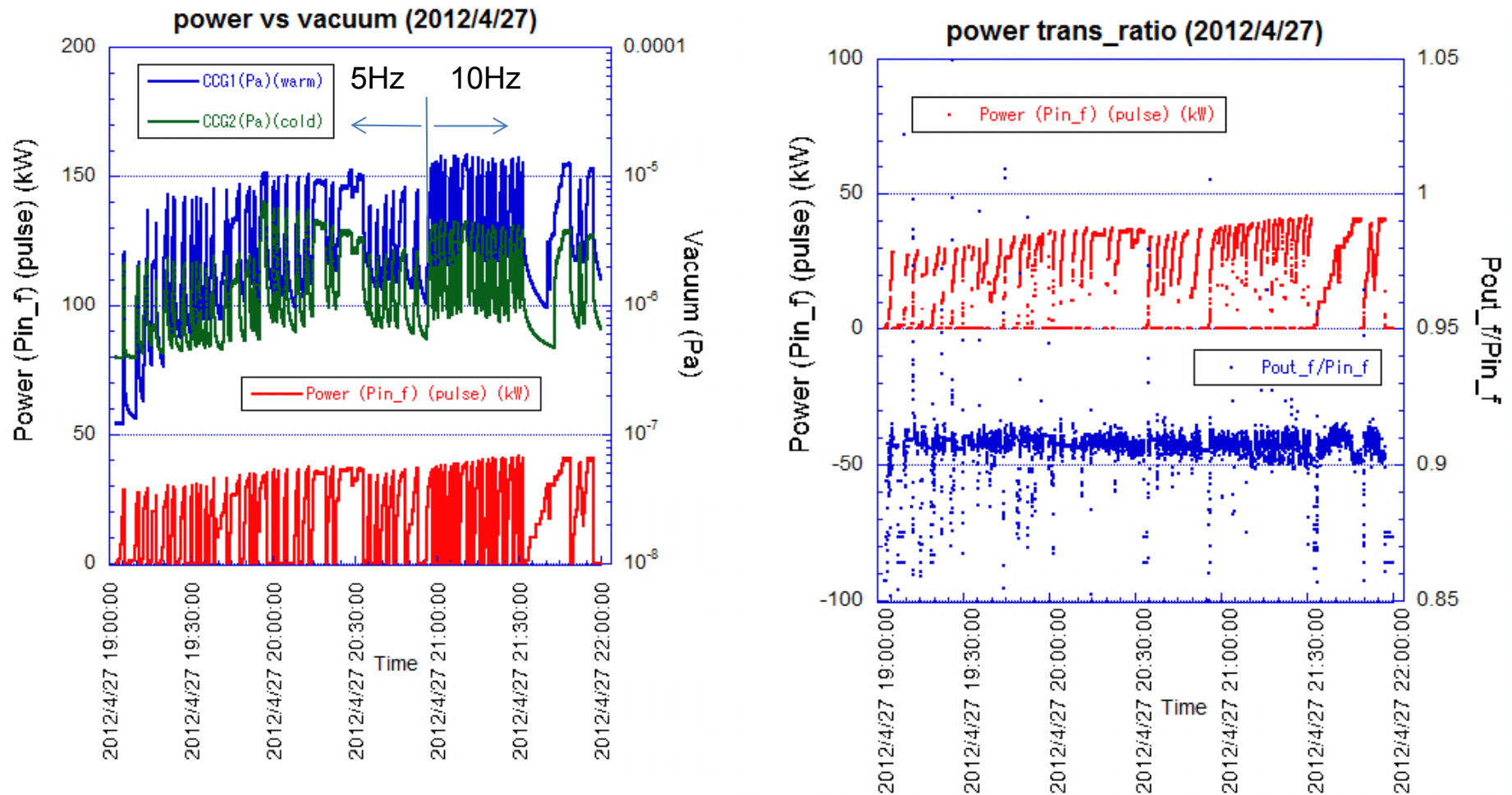
F-arc ⑤、⑥が反応、そのさいに⑤と関係するe-pick 4も信号が大きくなる。  
もちろん、これに応じて真空も前々ページのように増大。(warm, Cold両方とも)

Fiberでarc interlockがかかった時は1us以下でpowerは落ちる。  
ちなみにMPS moduleのこの時の設定は0.24usのdelay



Interlockとして十分<sup>17</sup>

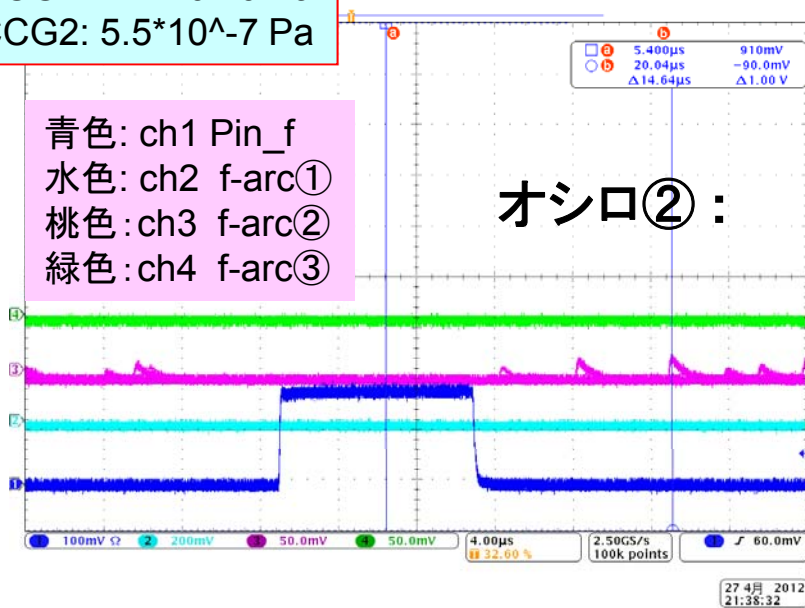
## Power test results (2012/4/27) (10us, 5Hz -> 10Hz)



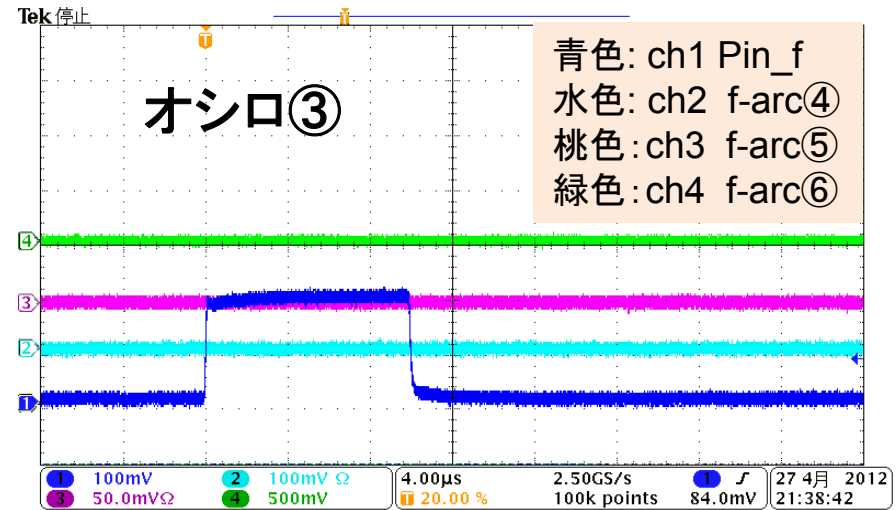
Arc sensorのthresholdを上げながら、少しずつpower rise。(51回のinterlock (fiber arc))。この日はpulseで40kWまで。Power 漏れをハザードメータでcheck。その際にPout\_fのケーブルが緩んでいたのを発見。全てもう一度checkし、Pout\_f/Pin\_f = 0.91となった。これはカプラーをつなぐ前のthroughでの結果と近い値なので、正しい。他は問題なし。

# Fiber arc sensor signal level (2012/4/27) その1

Pin\_f = 20kW  
 CCG1:  $1.1 \times 10^{-6}$  Pa  
 CCG2:  $5.5 \times 10^{-7}$  Pa

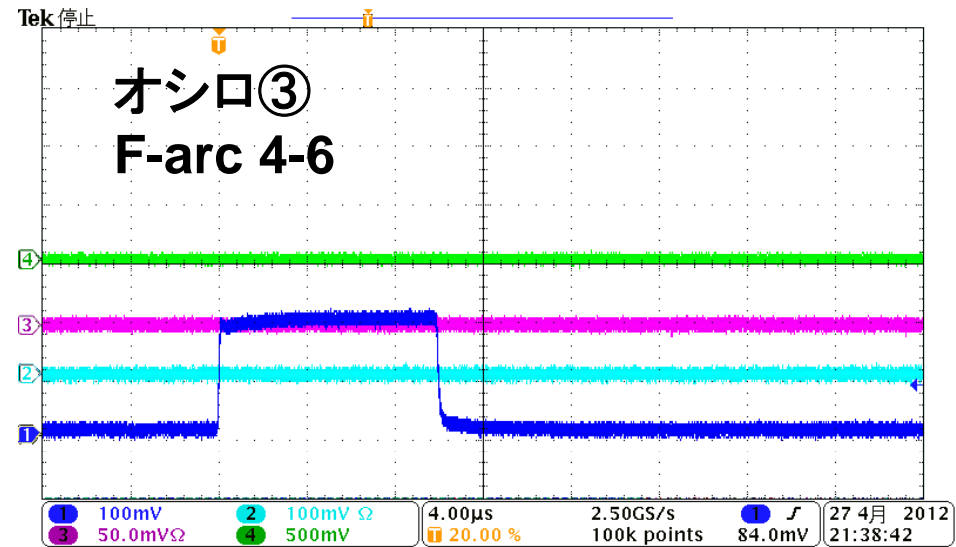
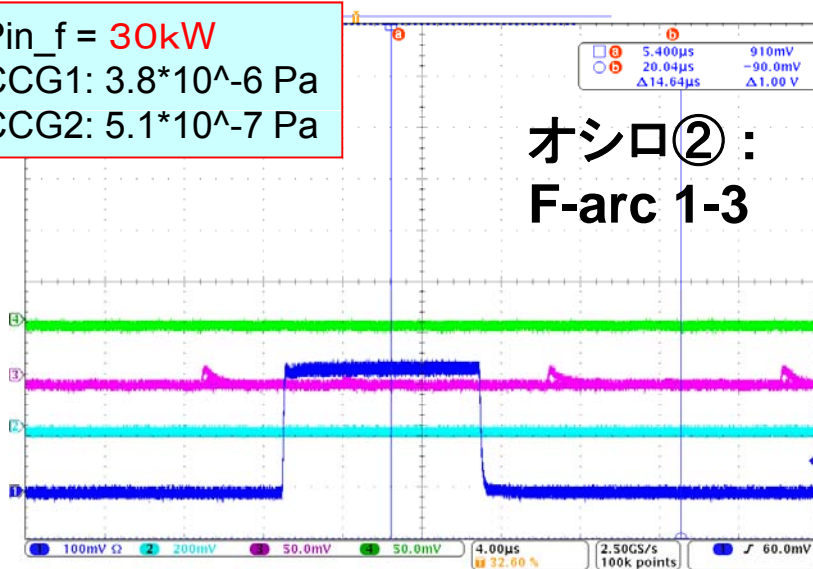


終了直前でpower levelによるオシロのデータ取り。



(ほぼ) No signal

Pin\_f = 30kW  
 CCG1:  $3.8 \times 10^{-6}$  Pa  
 CCG2:  $5.1 \times 10^{-7}$  Pa

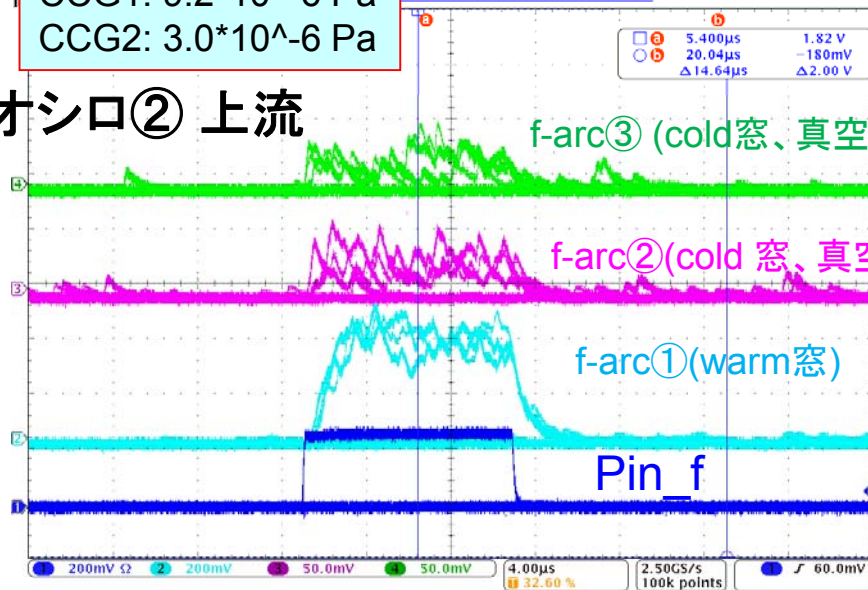


同じく(ほぼ) No signal、前日よりprocessが進んでいるようだ。

# Fiber arc sensor signal level (2012/4/27) その2

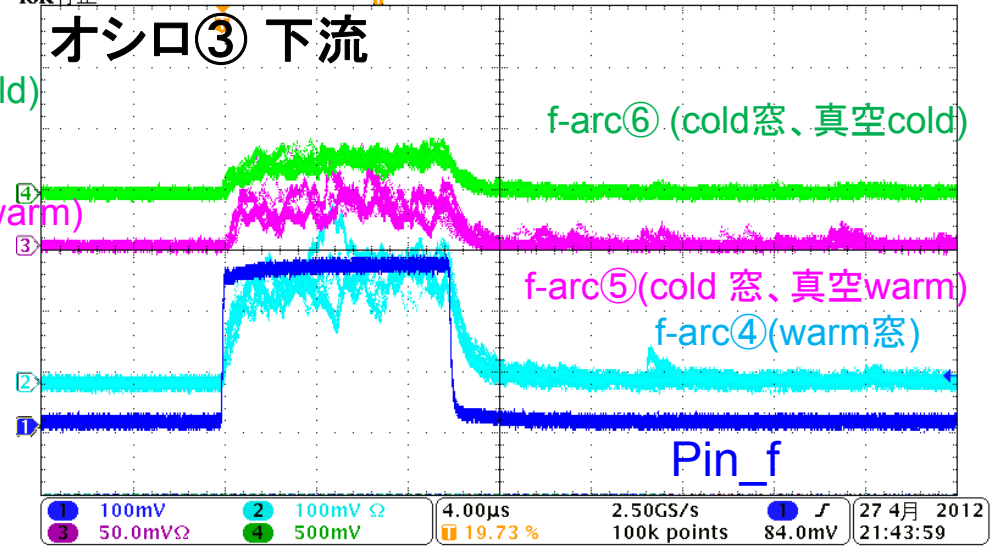
Pin\_f = 35kW  
 CCG1:  $9.2 \times 10^{-6}$  Pa  
 CCG2:  $3.0 \times 10^{-6}$  Pa

オシロ② 上流



Tek 停止

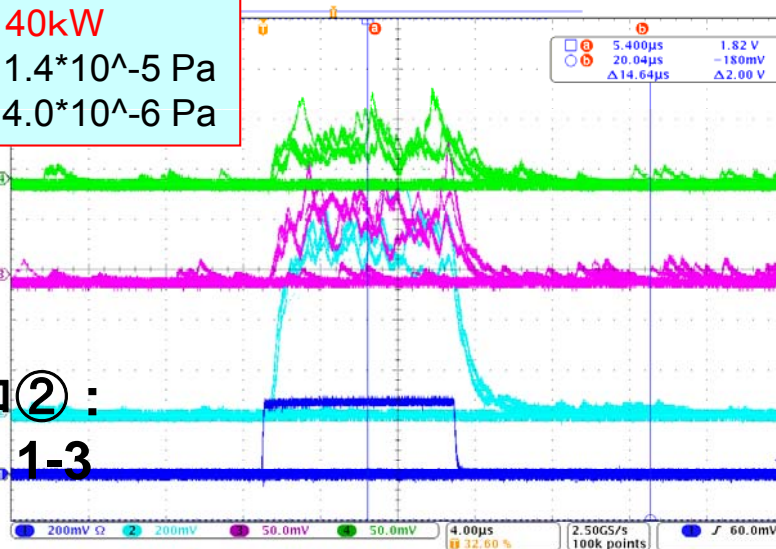
オシロ③ 下流



33kWあたりからarcの信号が出始める。35kWでは全部でている。それに合わせ、真空も悪くなる。

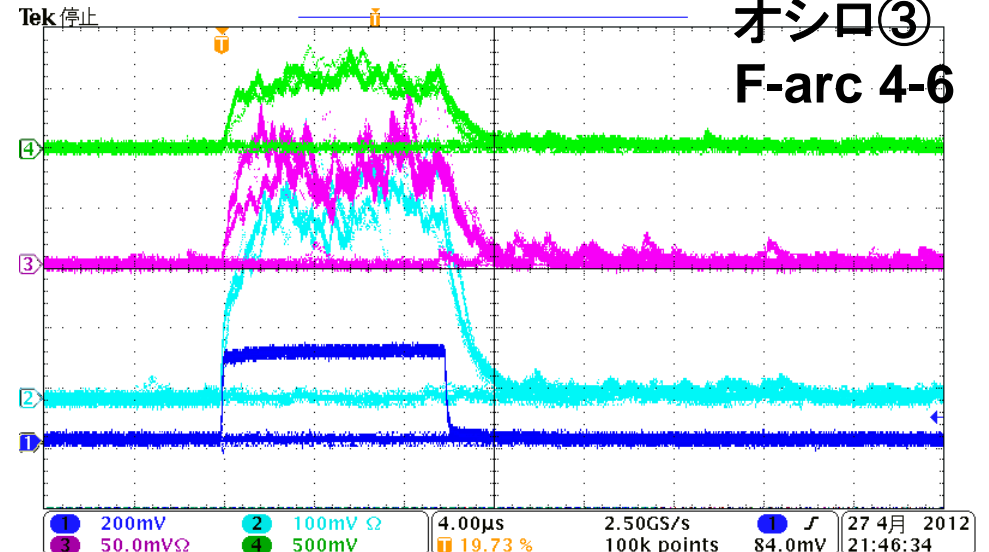
Pin\_f = 40kW  
 CCG1:  $1.4 \times 10^{-5}$  Pa  
 CCG2:  $4.0 \times 10^{-6}$  Pa

オシロ② :  
 F-arc 1-3



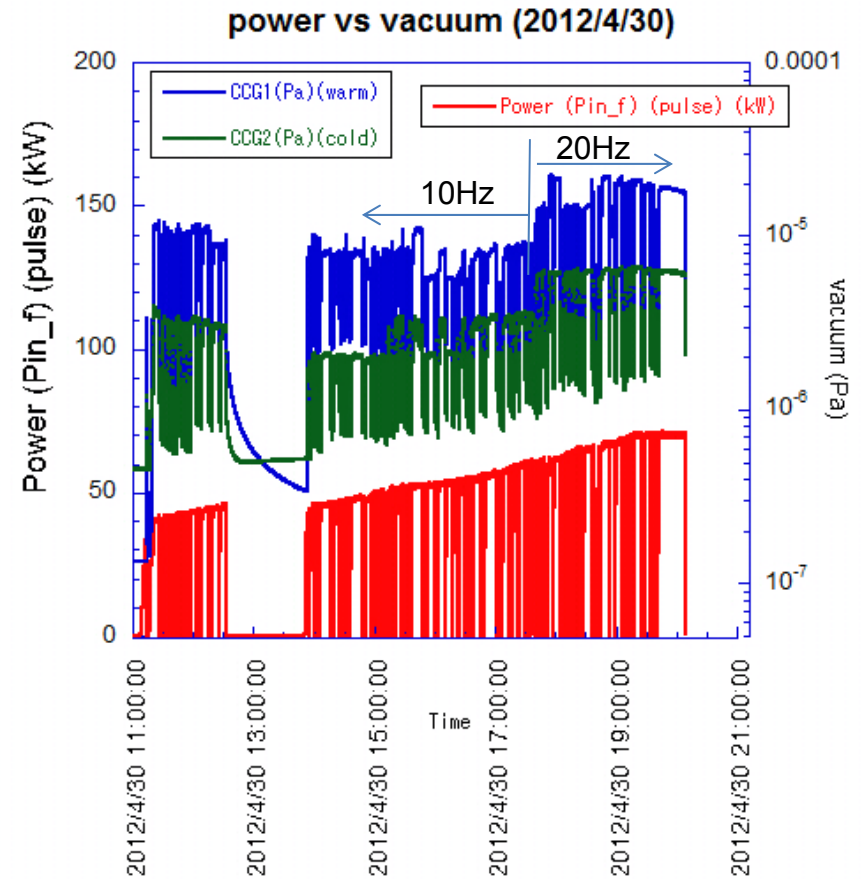
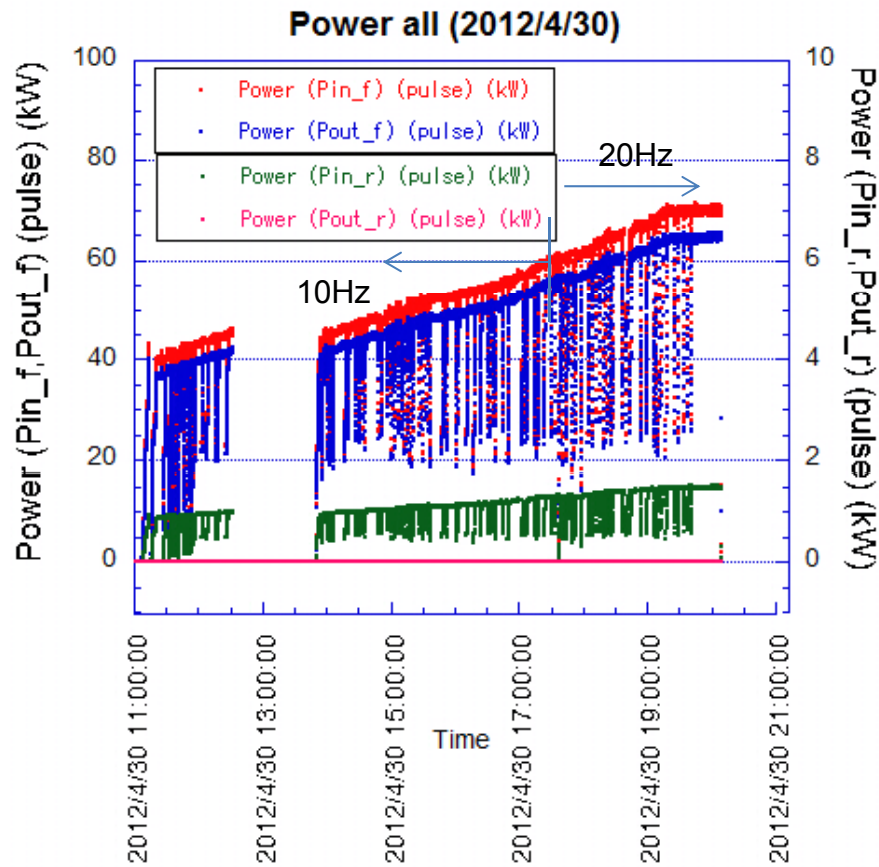
Tek 停止

オシロ③  
 F-arc 4-6



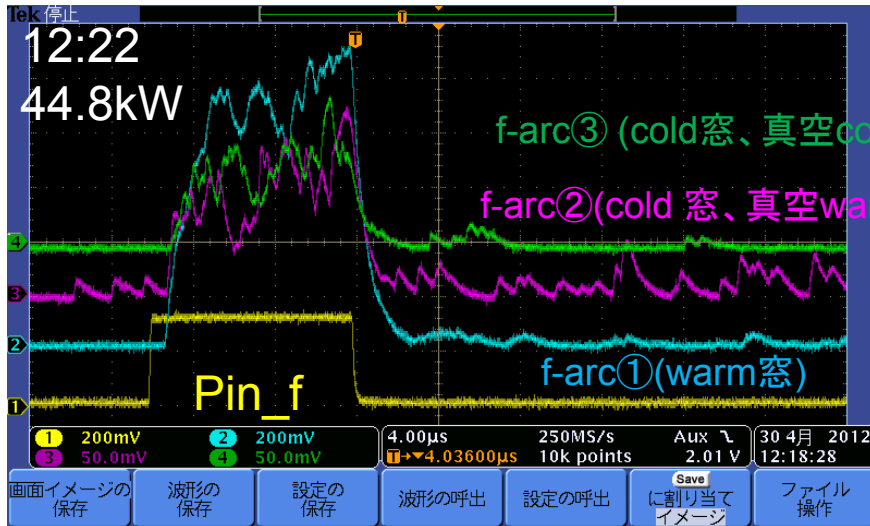
40kWではarc信号がさらに大きくなる。40kWではこの状態で10分keep出来ず、arc4でILがかかる。

# Power test results (2012/4/30) (10us, 10Hz (→20Hz))

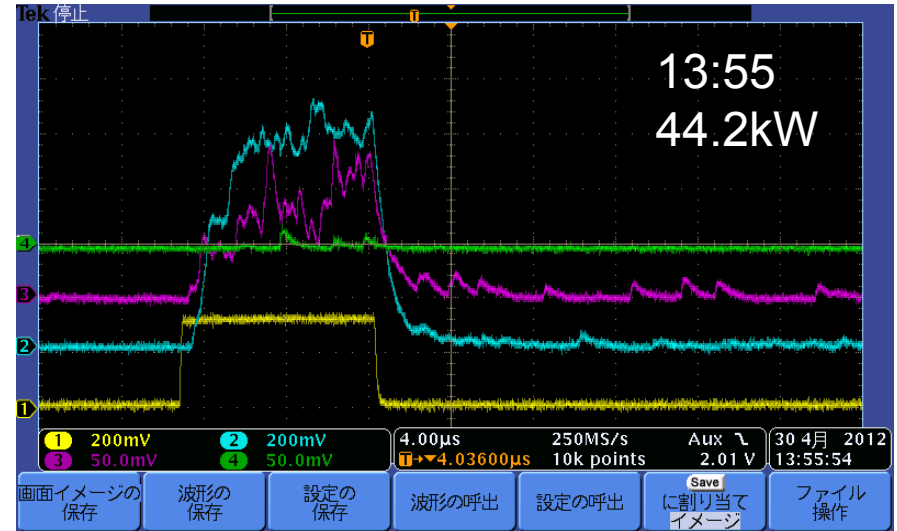


Arc sensorのthresholdを上げながら、少しずつpower rise。  
 この日はpulseで40kW→70kWまで。  
 真空は70kW,20Hz,10usで $2 \times 10^{-5}$ Pa

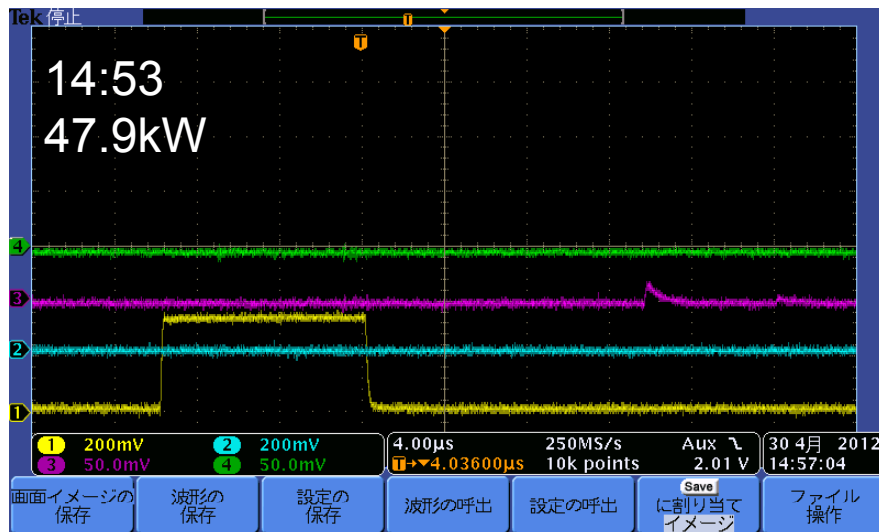
# Arc sensorのオシロの様子(2012/4/30) (変化のあったものを抽出)



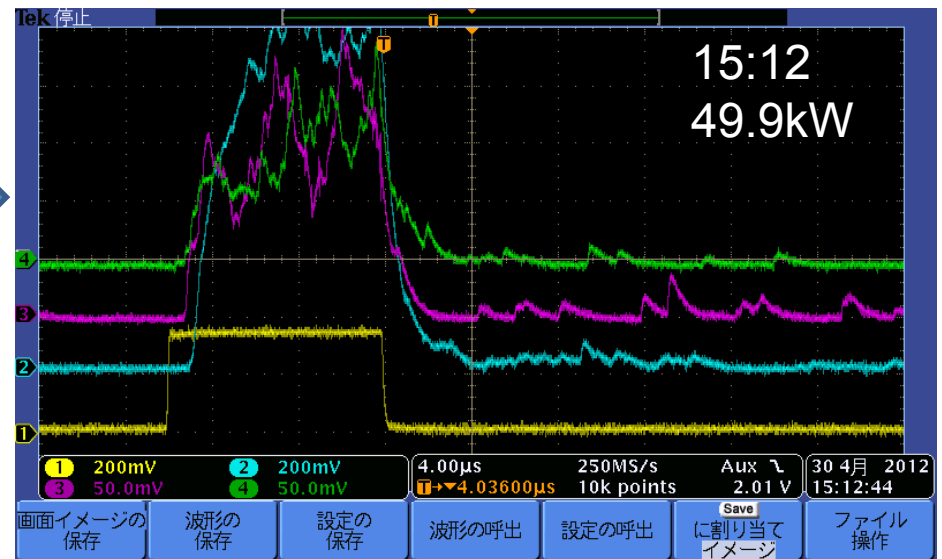
オシロ②'



途中でf-arc③がprocessされたようだ。

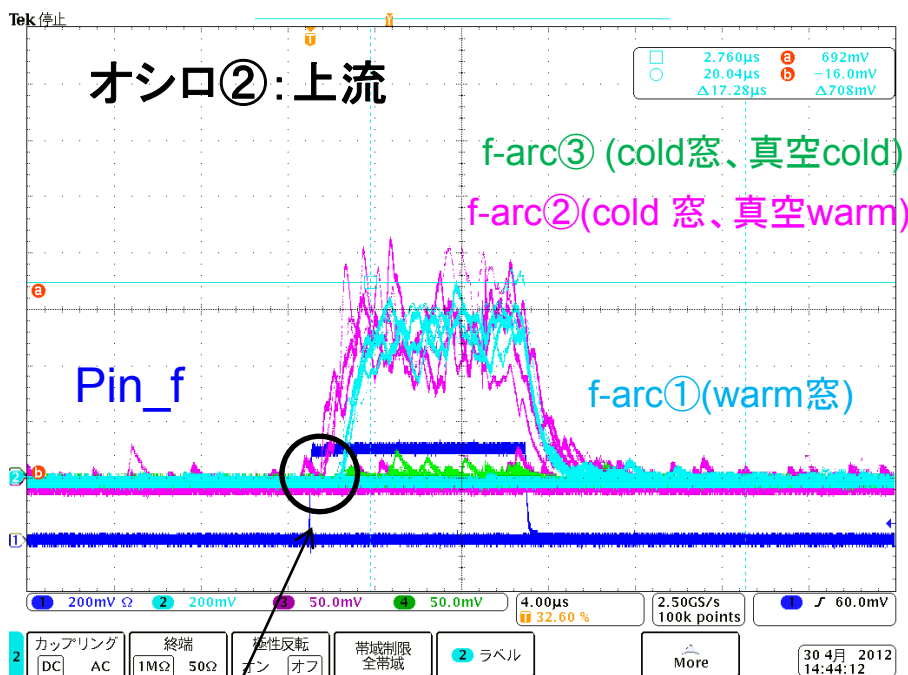


f-arc①, ②もprocessされたようだ。

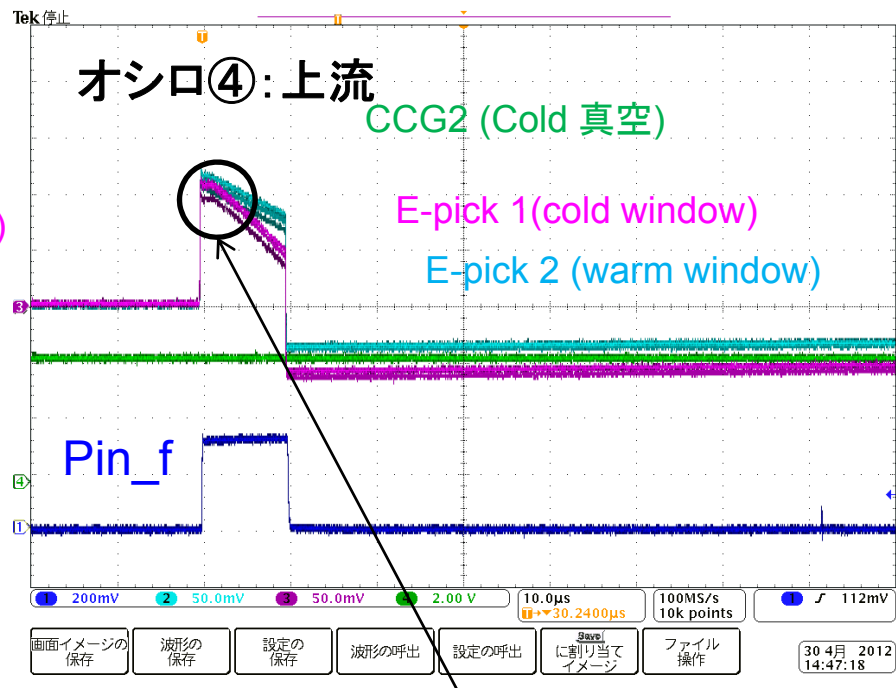


Powerを上げるとf-arc①, ②、③が復活した。

# Arc sensor+pickupのオシロの様子(2012/4/30) (processの様子?)



立ち上がりより少し遅れて arc 信号が見え始めるようになった。

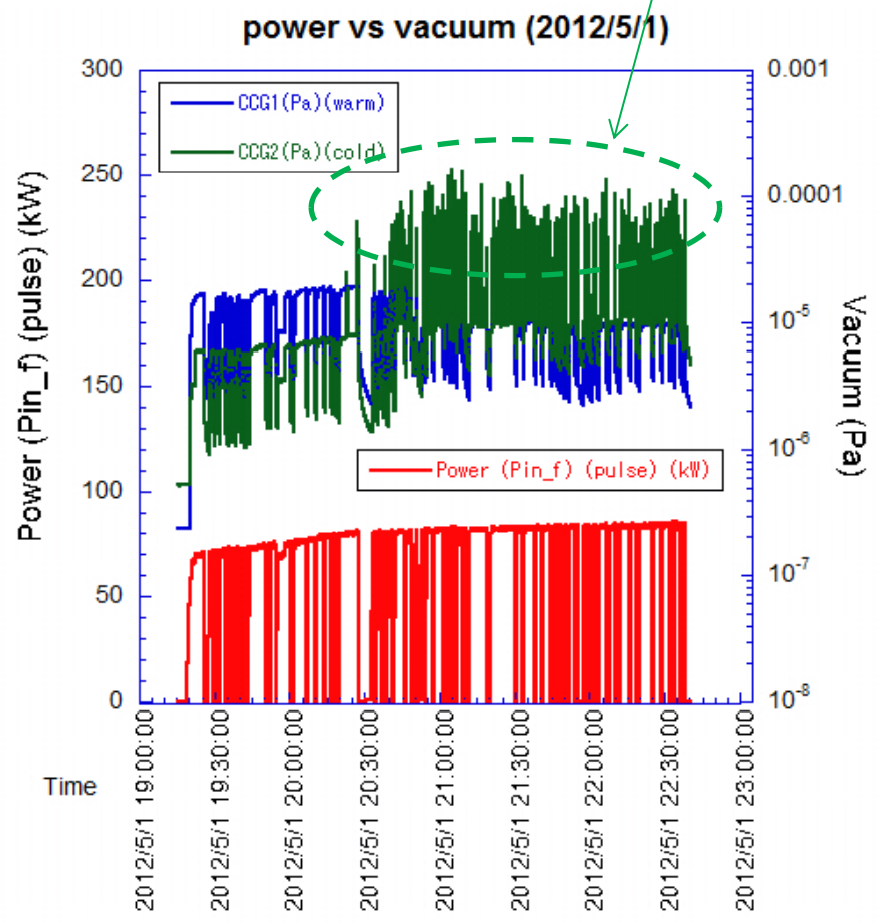
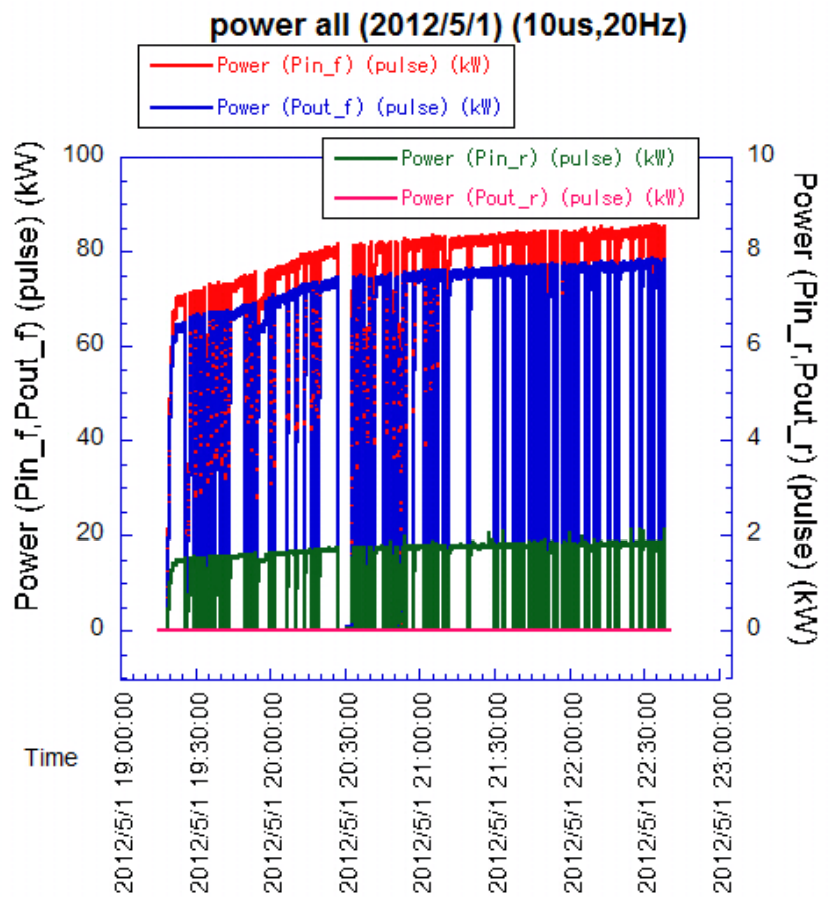


Arcに合わせて同じ所を見ているe-pickの信号の最初がflatになっている。

Arcが出始めるのが遅くなっていく様子が見られている。

# Power test results (2012/5/1) (10us, 20Hz(->10Hz))

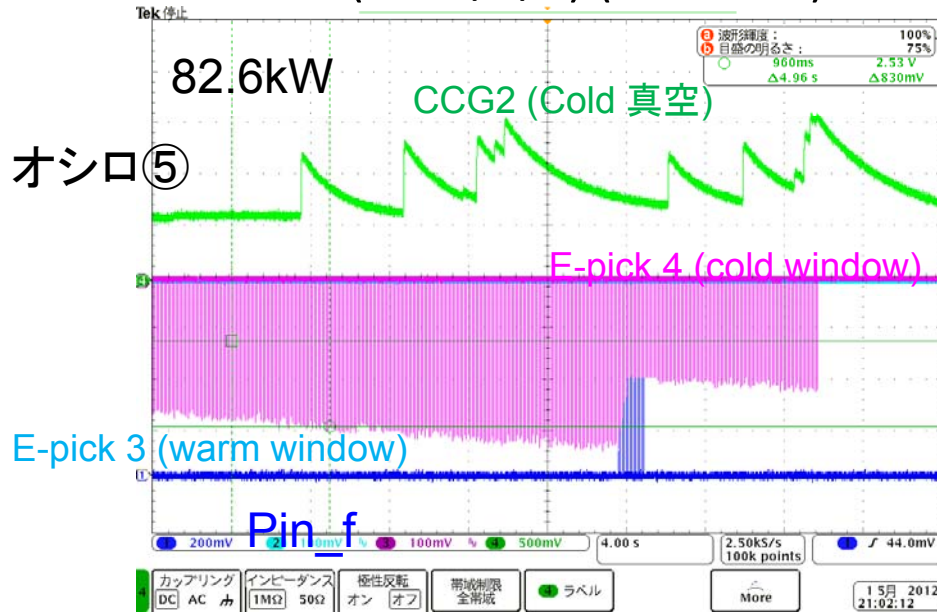
Cold部の反応が大きくなる。



Arc sensorのthresholdを上げながら、少しずつpower rise。  
 この日はpulseで70kW→85kWまで。  
 真空は80kW以降でぼこぼこ出始めた。そのため、power riseをゆっくりにもた20Hz->10Hzにした。(2.5Kw/hour)のpower riseでprocess

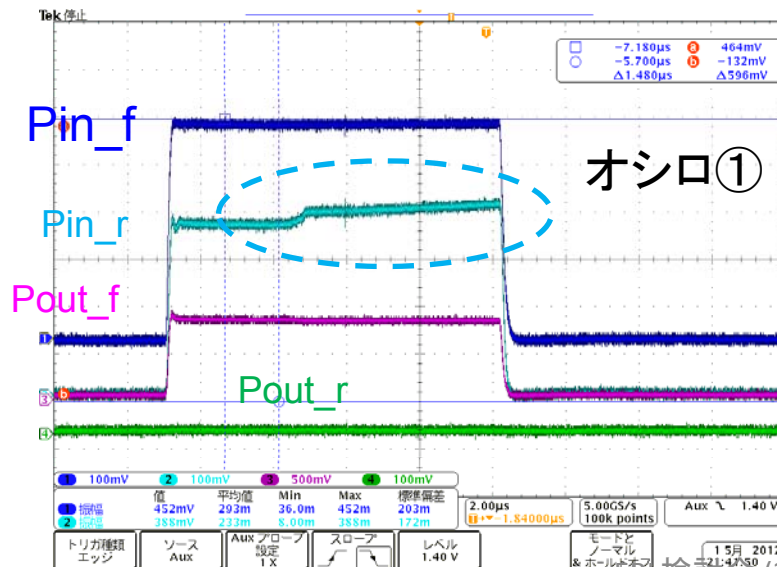
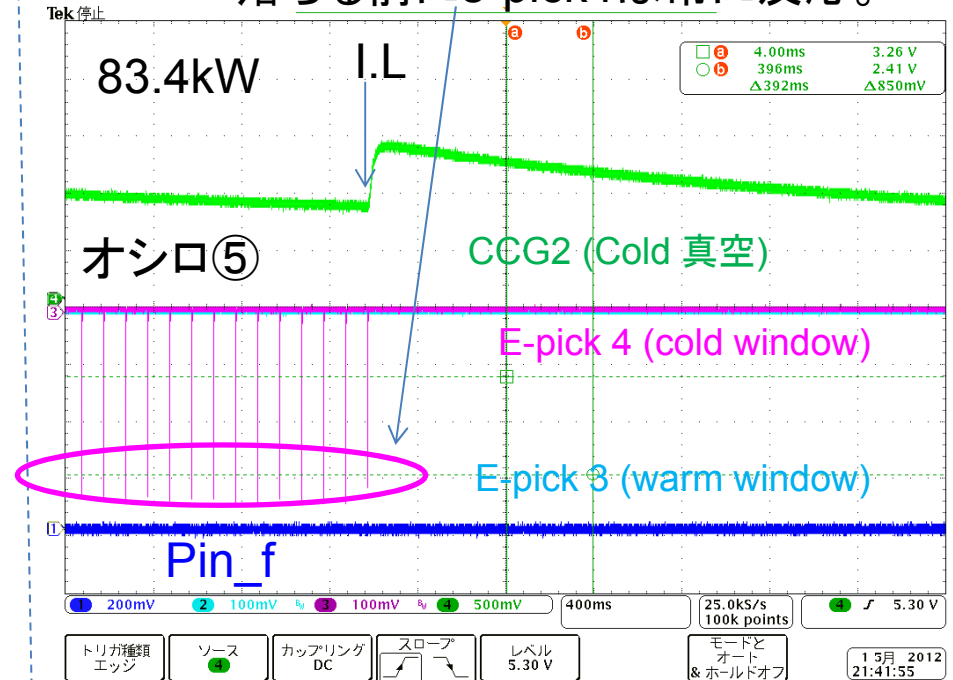


# オシロの様子(2012/5/1) (cold真空)



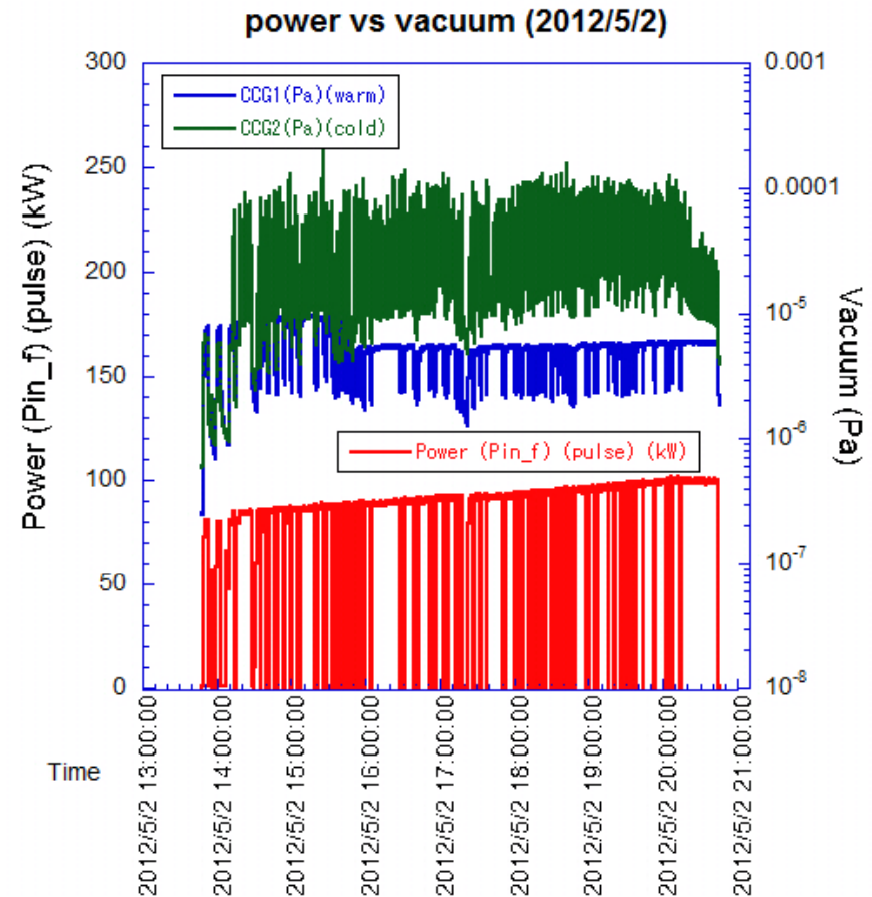
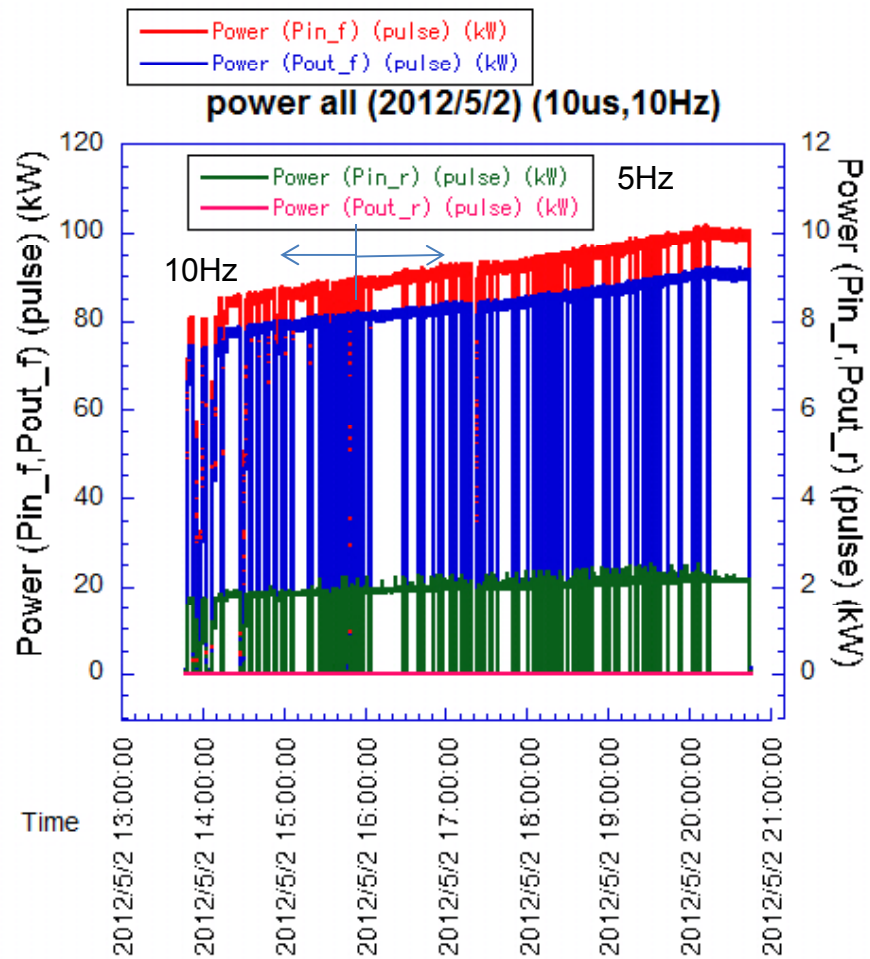
80kW以上でのCCG2 (Cold2)の真空の反応。定常的に上昇するわけではなく、突発的に真空が上昇する傾向が見られた。

落ちる前にe-pick4は常に反応。



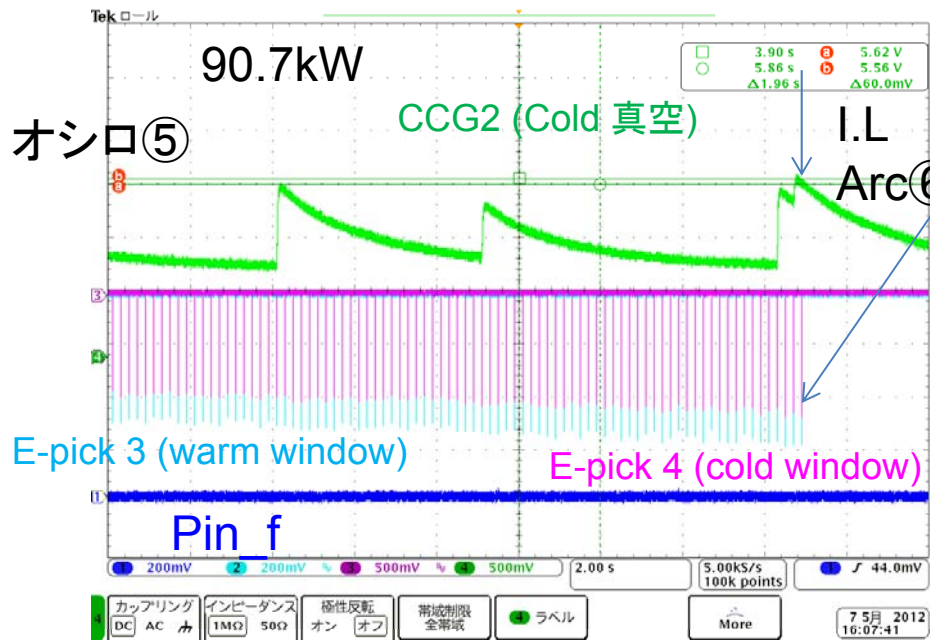
Interlockがかかった時に、Pin\_rで反射が増加する様子が見られるようになった。危険？

# Power test results (2012/5/2) (10us, 10Hz->5Hz)

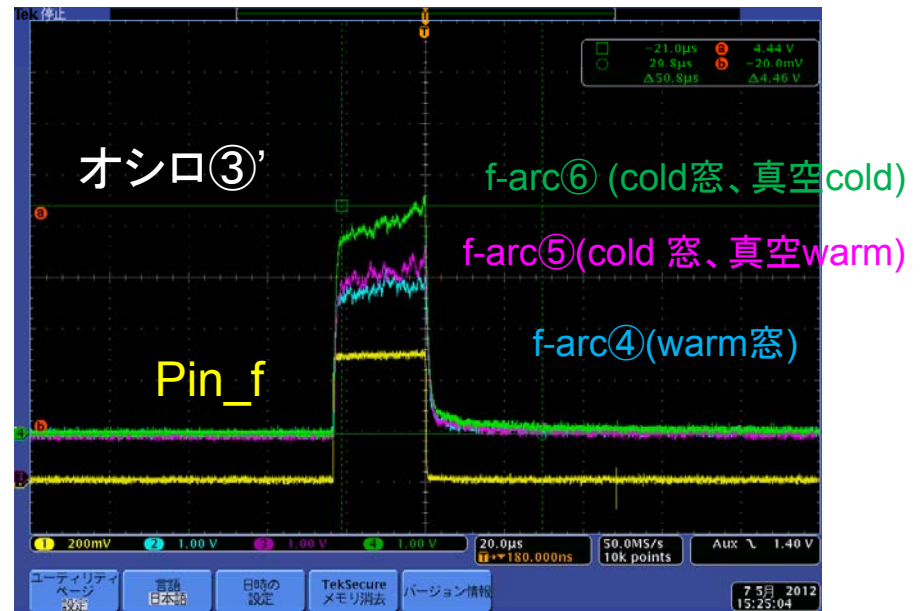
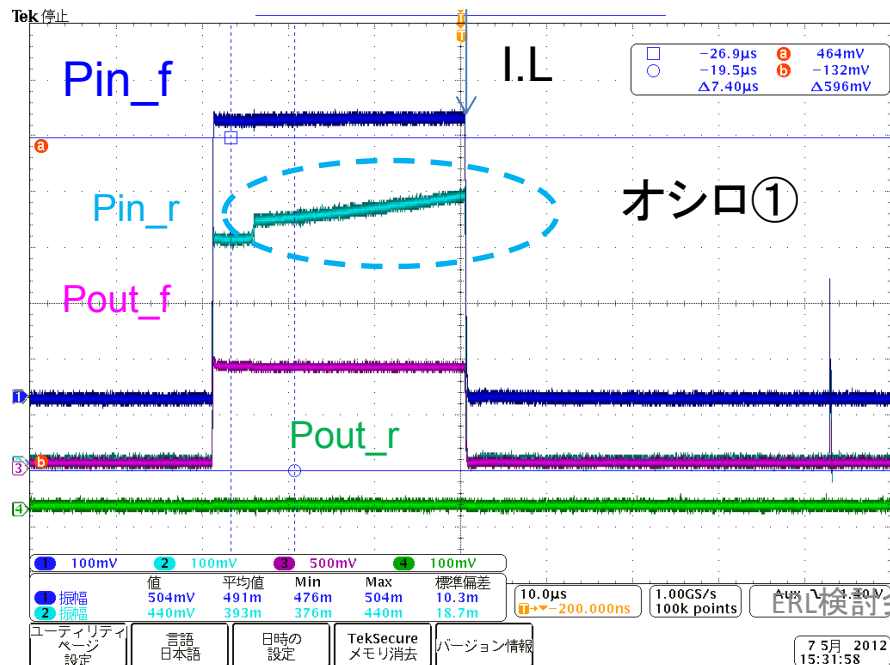
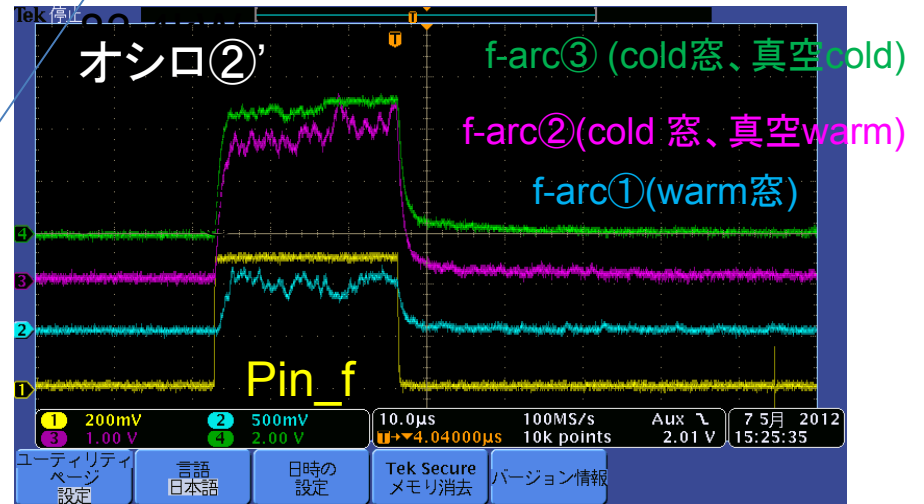


Arc sensorのthresholdを上げながら、少しずつpower rise。  
 85kWまでは前日processしたのでスムーズにincrease。  
 真空は85kW以降で前回同様ぼこぼこ出始めた。power riseをゆっくりに  
 また10Hz->5Hzにした。(2.5Kw/hour)のpower riseでprocess。100kWに到達。  
 その後30分程度keep。その時はpowerは落ちなかった。

# オシロの様子(2012/5/2) (cold真空+arc)



落ちる前にe-pick4は常に反応。



前日同様Interlockがかかった時に、Pin\_rで反射が増加する様子が見られる。

# 2012/5/7 history

Enlarge pulse width

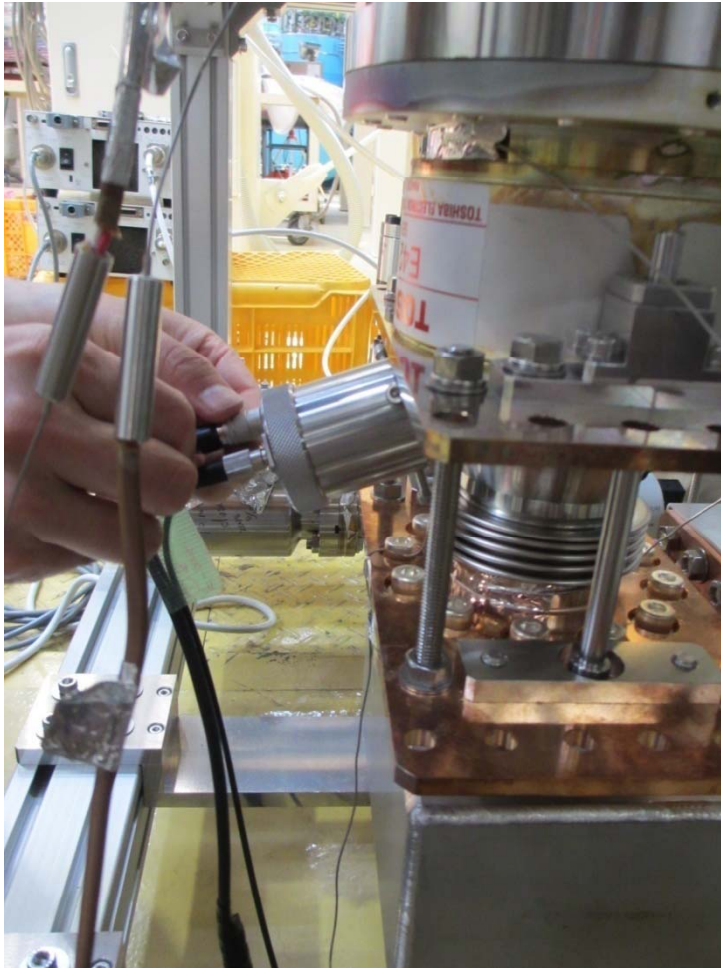
- 13:54 power on (10us,5Hz)  
島田理化arc①, ②を外しfiber arc ③,⑥を外した場所に付ける。  
同じpower level (90kW)で光量の大きさ比較。\*\*\*
- 15:08 process start (30us,5Hz)
- 15:06 arc3の動作不良 ver5→ver6
- 17:01 100kW到達  
– Powerをもう一度上げ直す。Processしているようだ。
- 17:15 30us終了
- 17:17 process start (100us,5Hz)
- 17:57 102kW到達, 5Hz → 15Hz 1hour keep
- 19:07 100us終了
- 19:11 process start (200us,10Hz)
- 19:17 105kW到達, 10Hz → 20Hz 1hour keep  
– N2を内導体に流す。Flow1,2 : 30l/min
- 20:29 200us終了

Fiber arc sensor  
のthresholdを上  
げながらpowerを  
増やしていく。

Total  
62回のinterlock

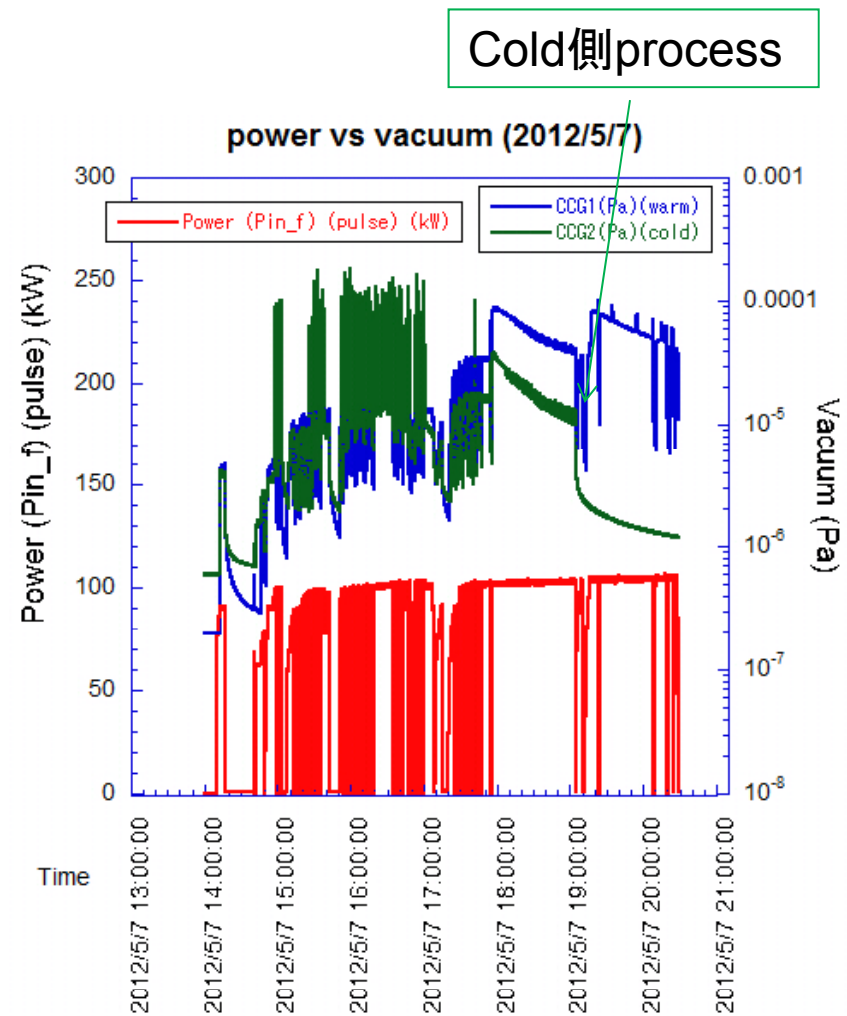
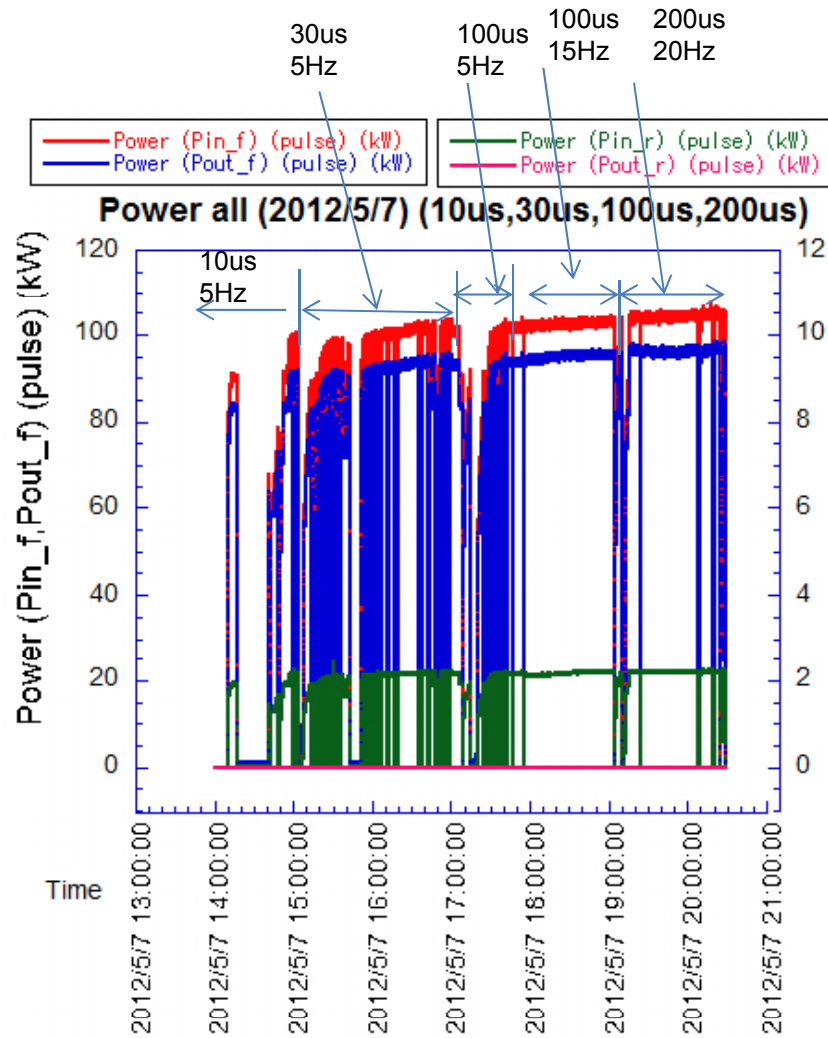
ERL検討会 (2012.7.17)  
200us,20Hzで105kWまで到達。ここがmax

## Fiber arc③、⑥のつけなおし (2012/5/7)



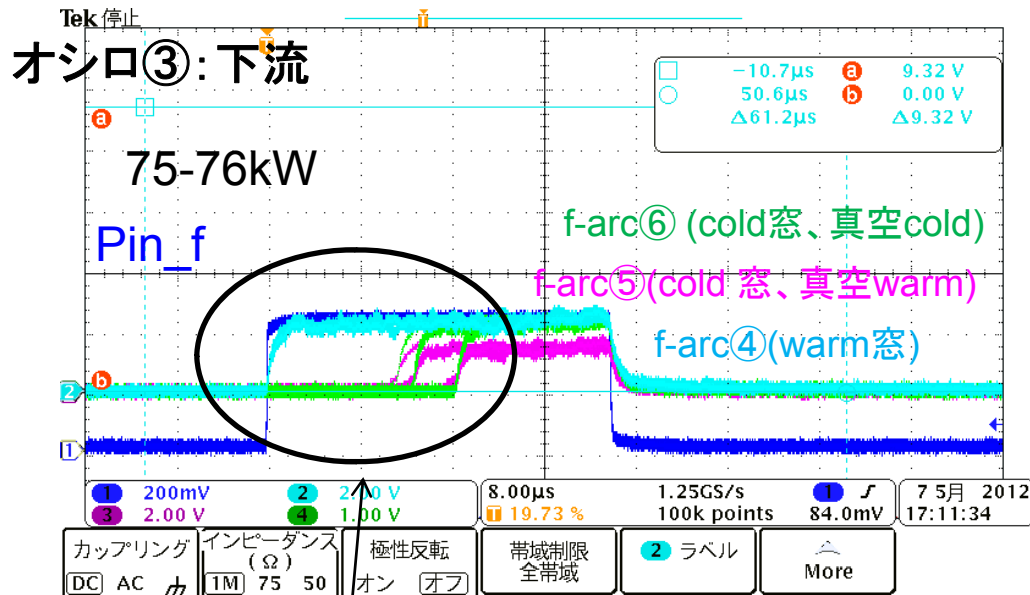
島田理化のアークセンサがあった場所にfiber アーク③、⑥をもってきた。  
90kWのパワーでのarc信号を見た所、Cold窓の正面の場所に対し、arcの信号は3倍も大きくなった。発光源はやはりセラミックの近くであると予想される。

# Power test results (2012/5/7) (10us,30us,100us,200us)



100kWまで到達したので、ようやくpulse幅を30us以上にchange。但し、100kWにkeepするときはまだprocessがすすむようにすこずつpowerを増やしていった。それで30->100→200usとパルスはばを増やしていった。あと、後半はHz数を増やし真空を $10^{-4}$ Pa近くにして、processが進むようにした。後半ではColdからのarcは無くなった。あと、最後にはwarmからのarcもなくなり、全部がなくなったようだ。

# Arc sensorのオシロの様子(2012/5/7) (30us 5Hz, processの様子)

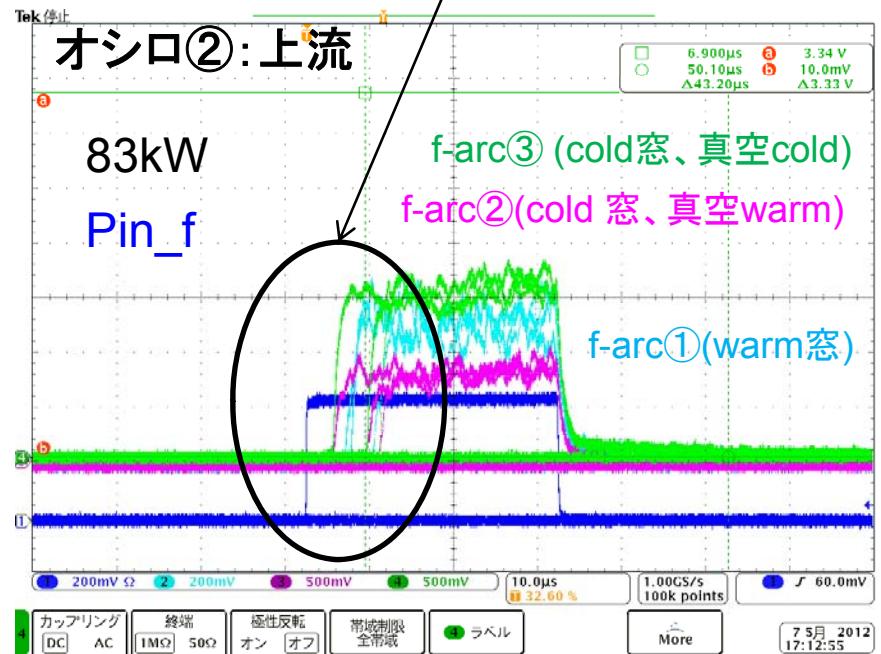


立ち上がりより少し遅れて arc 信号 ⑤、⑥が見え始めるようになった。

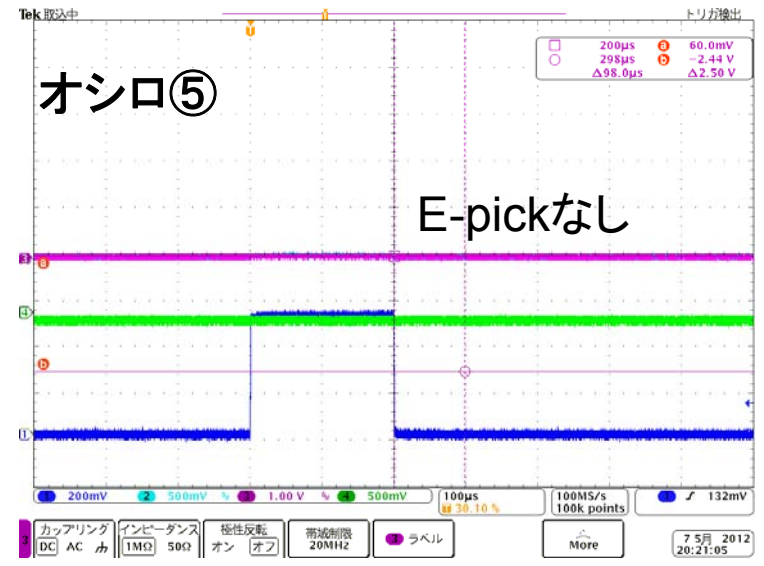
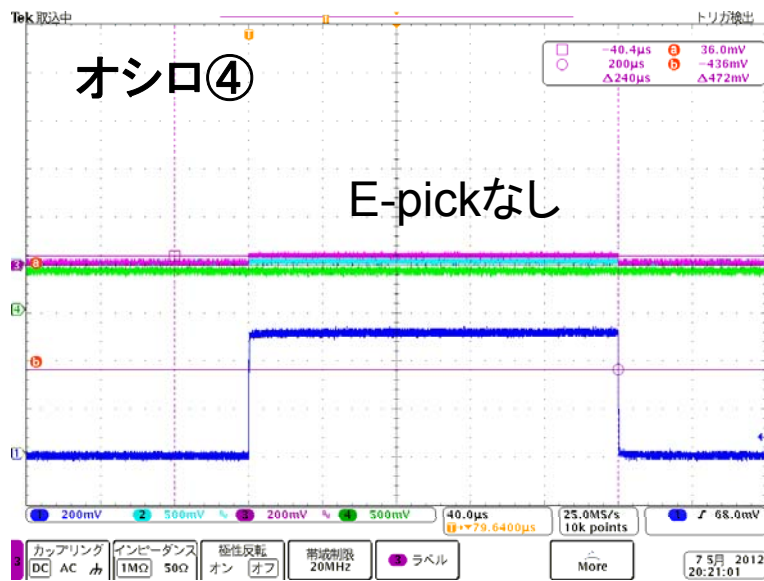
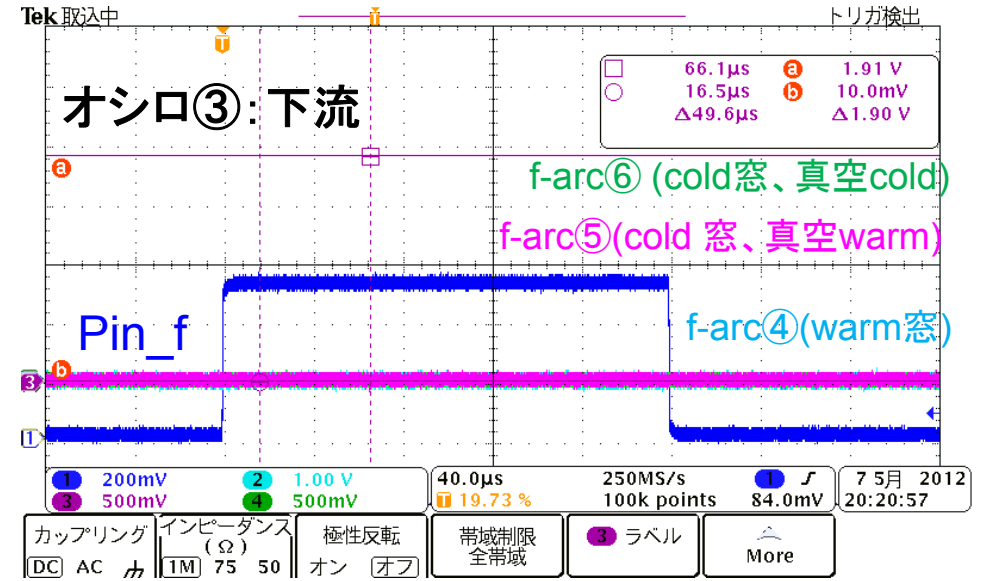
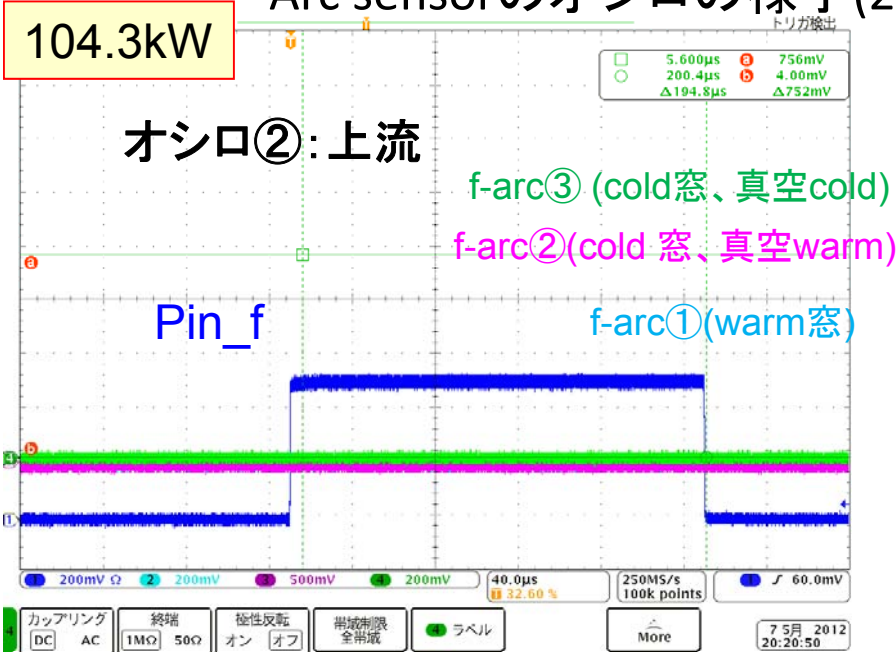
10usではf-arc⑤, ⑥はsignalが出ていないがそれより後でarcの反応があることがここからわかる。  
→Pulse widthを伸ばすとprocessの履歴のlevelが少し下がる。  
このpulseを伸ばしてなおかつarcの信号を消すことが重要。

Arcが出始めるのが遅くなっていく様子が見られている。Processが進んでいるようすがわかる。

立ち上がりより少し遅れて arc 信号 ①、②、③が見え始める。



# Arc sensorのオシロの様子(2012/5/7) (200us 20Hz, finalの様子)



最終的にarcのsignal及びe-pickのsignalはprocessされて無くなった。  
 但し、powerの変動で出てくる可能性はあり。



## 2012/5/9 history

- 11:45 N2 flow 1,2 30l/min
- 11:46 process start (500us,20Hz) 102kW keep
- 12:53 500us終了
- 14:24 外部空冷追加 (Fan)
- 14:26 power rise start (2ms,5Hz)(duty 1%)
- 15:15 2ms終了 (100kW keep)
- 15:16 power rise start (10ms,5Hz)(duty 5%)
- 15:19 N2 flow 1,2 120l/min (cERLの設定値)
- 16:23 10ms終了 (95kW keep)
- 16:26 power rise start (50ms,2Hz)(duty 10%)
- 17:30 50ms終了 (92kW keep)
- 17:31 power rise start (200ms,1Hz)(duty 20%)
- 18:36 200ms終了 (88kW keep)
- 18:37 power rise start (1s,0.5Hz)(duty 50%)
- 20:02 1s終了 (85kW keep) (1hour) power off
- 21:40 Fan off, N2 flow off

Fiber arc sensor  
のthresholdを上  
げながらpowerを  
増やしていく。

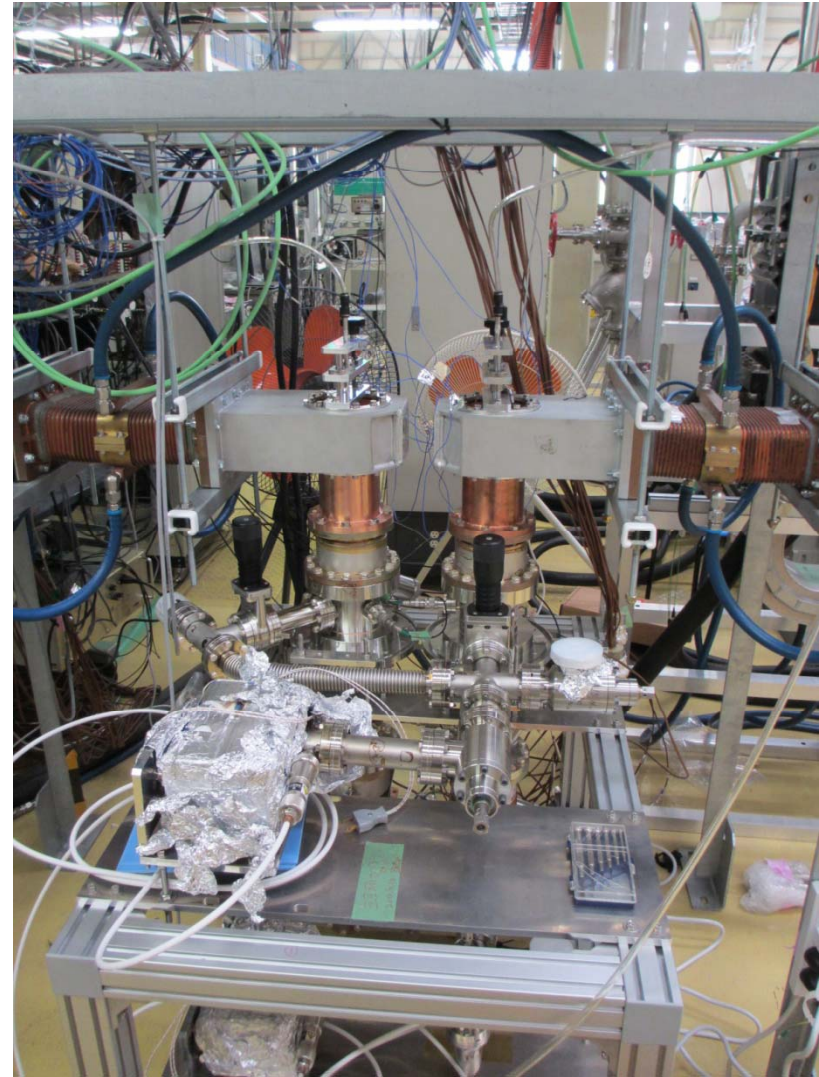
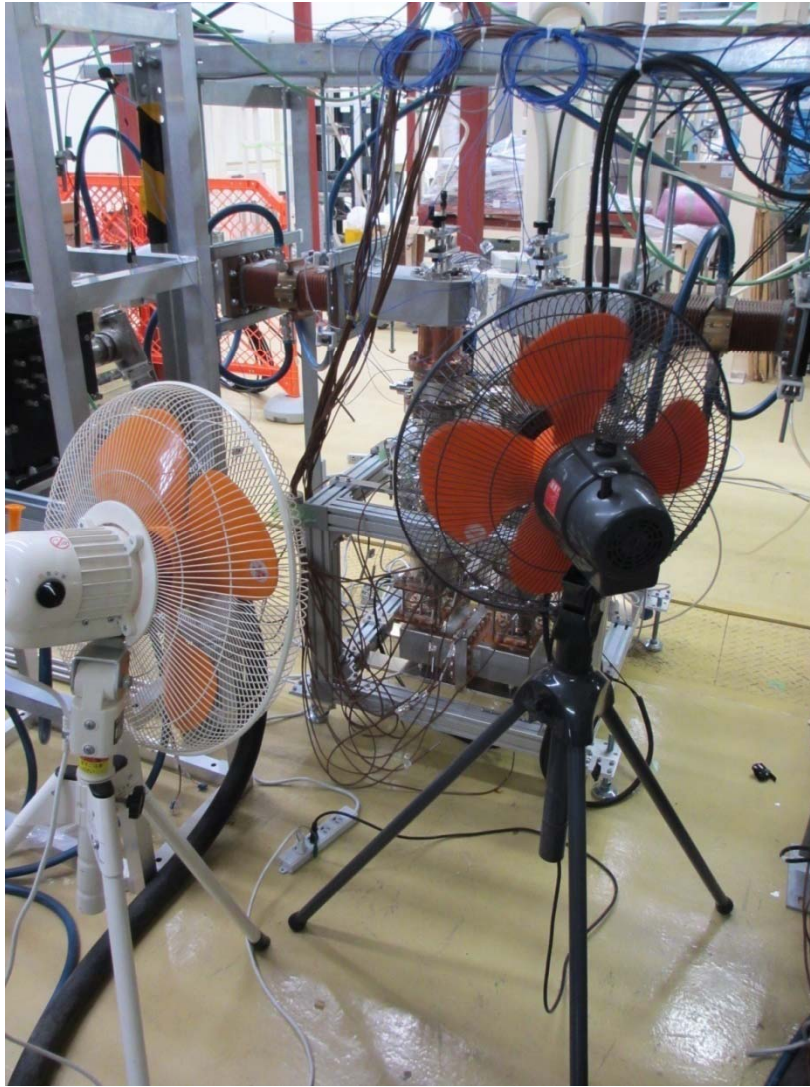
ここからはFiber  
arc sensorの  
thresholdは低め  
にして、どのlevel  
のpowerがarcで  
落ちないかを  
pulseを伸ばしな  
がら確かめる。

Enlarge pulse width  
& keep long time  
stability

Total  
62回のinterlock

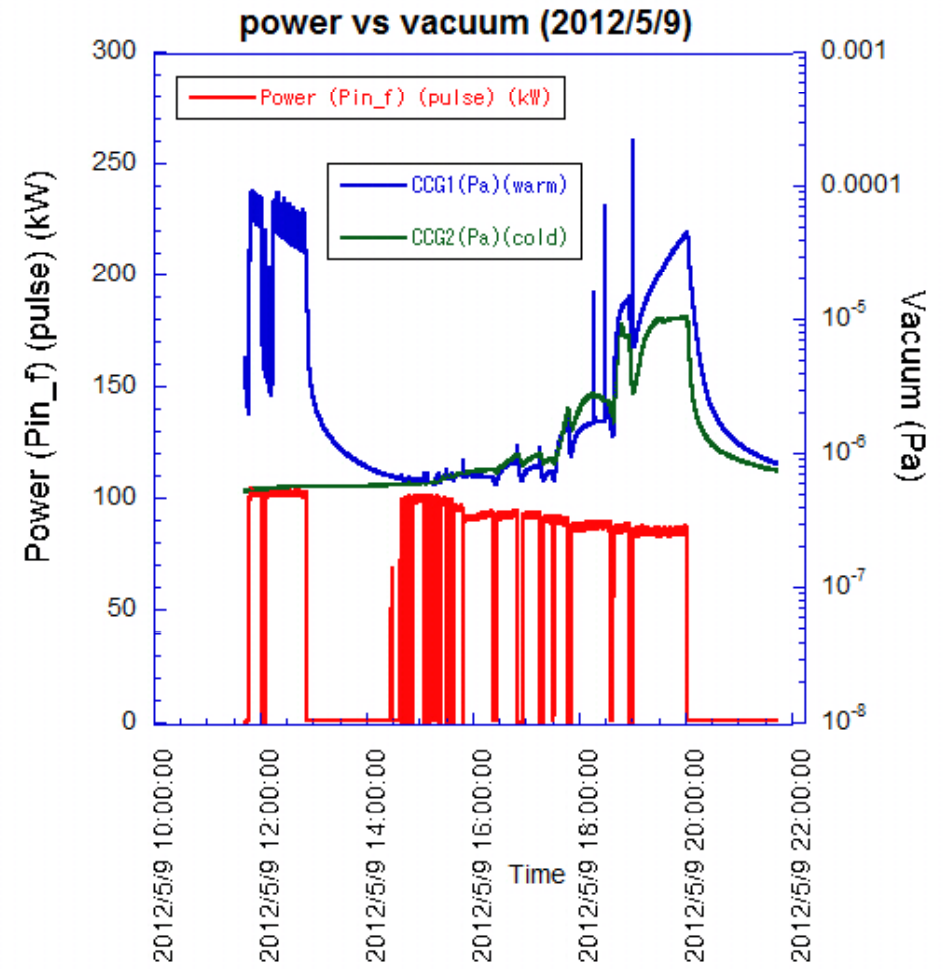
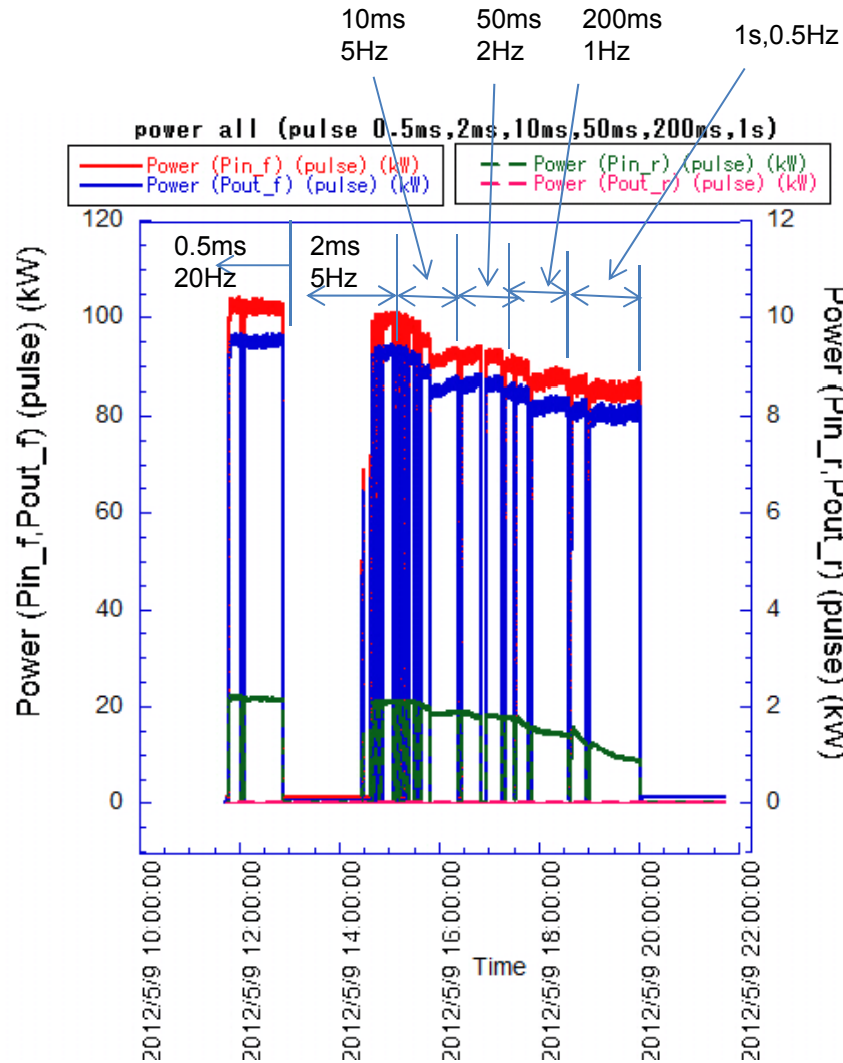
80kW duty 50%で1hour keep

# 外部空冷(2012/5/9)



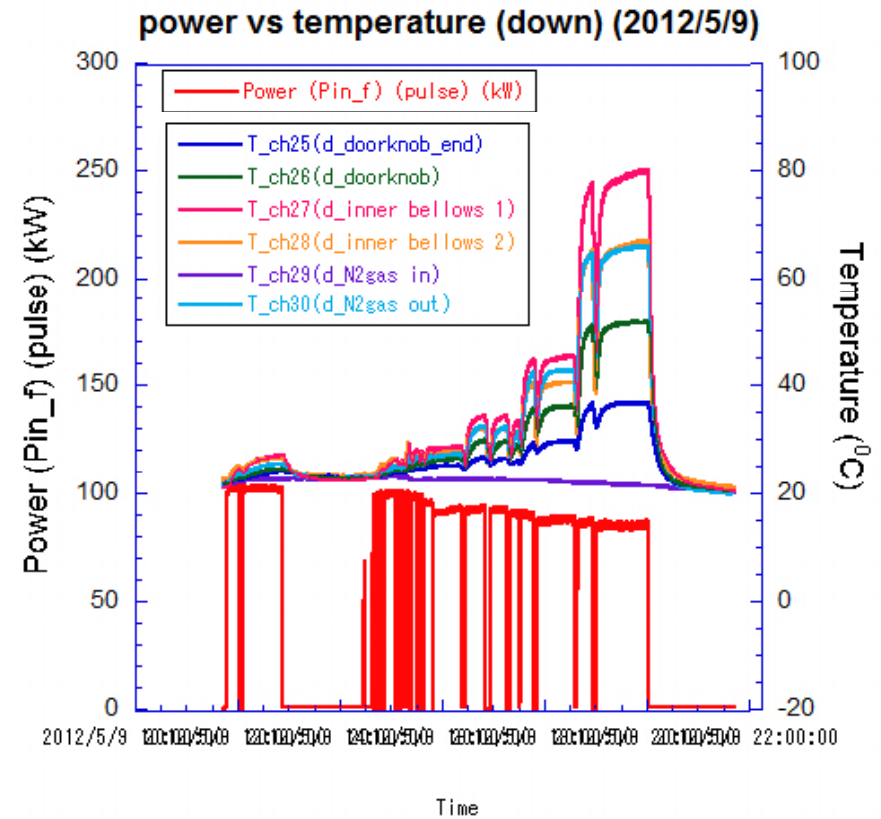
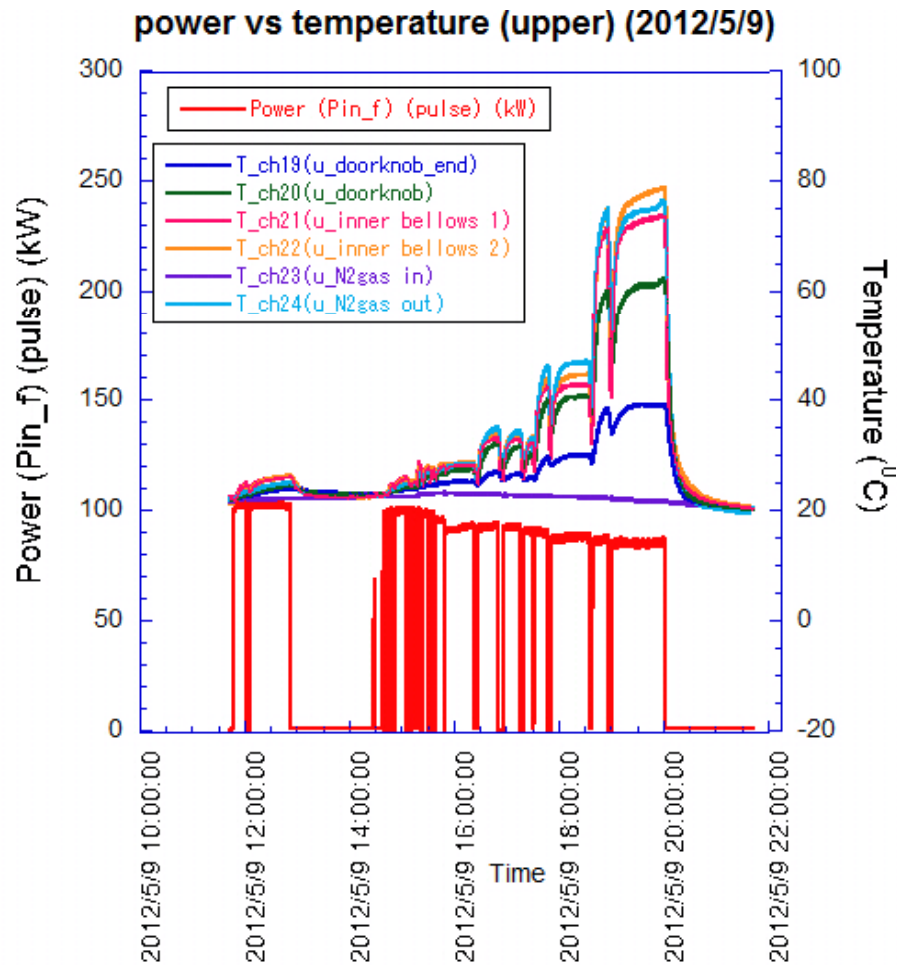
流石にdutyが高くなると外も冷却が必要。モジュール時は液体窒素がその役割。  
念のためだが、1号機で熱負荷テストでその温度上昇も問題ないことは確認している。<sup>34</sup>

# Power test results (2012/5/9)



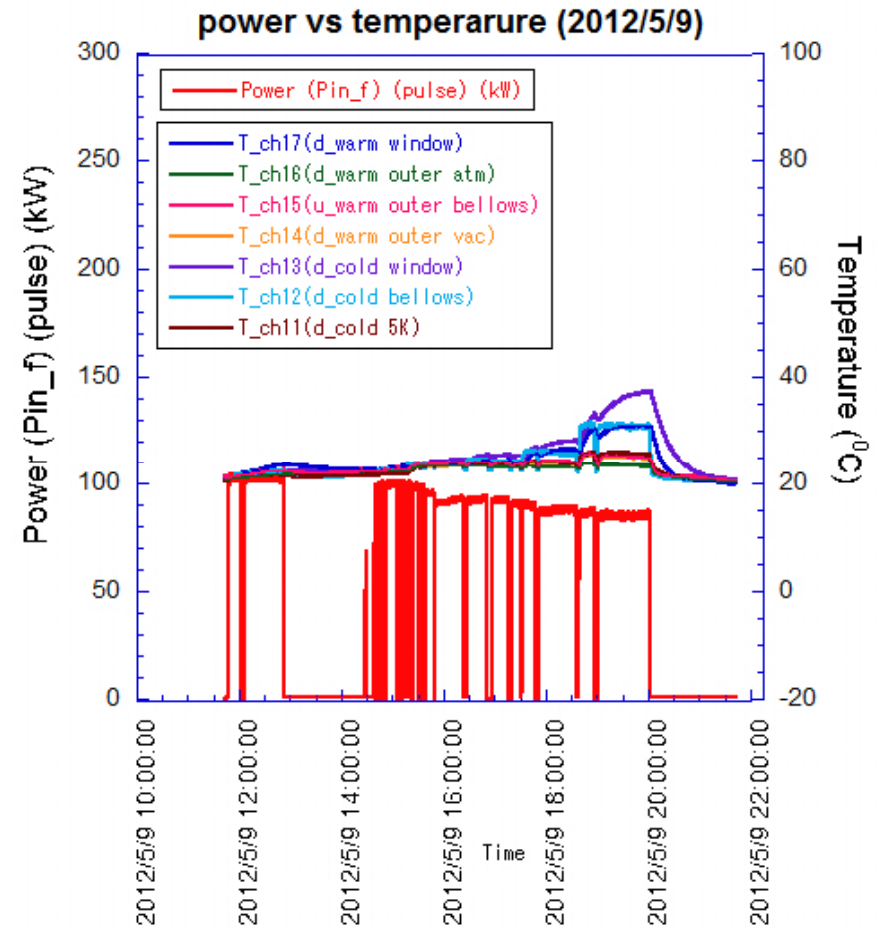
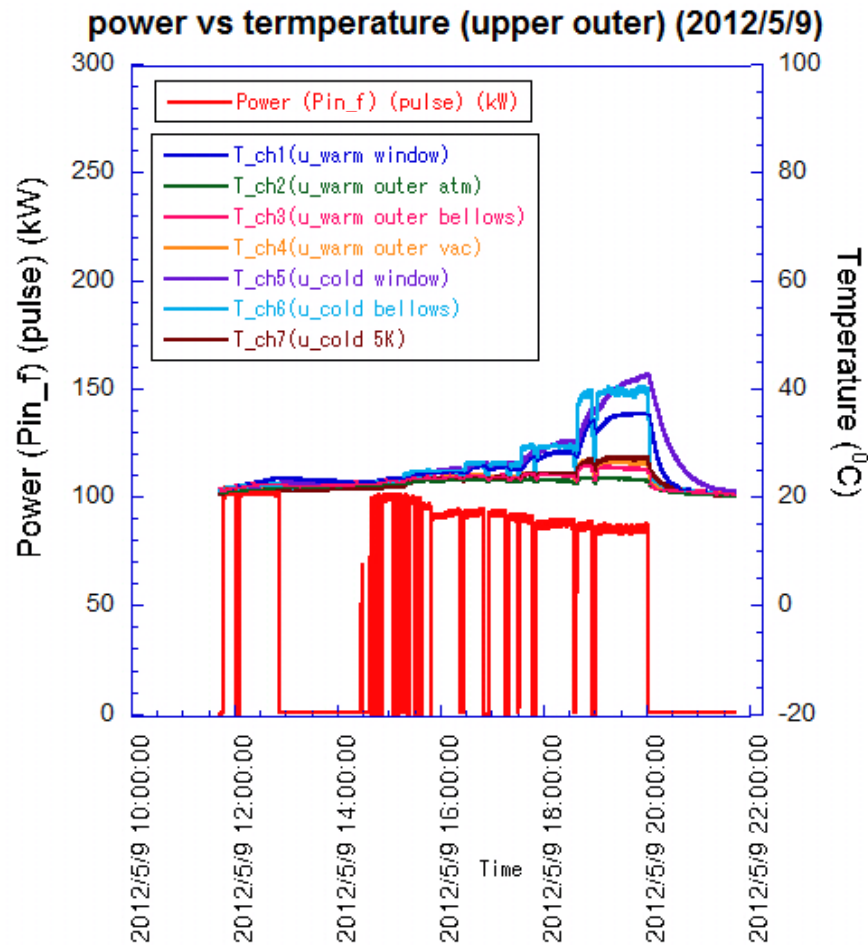
Pulse幅をさらに増やしていった。またこの日はprocessより、メインはkeep可能なfieldを探することに専念した。最後は1s 0.5Hz(duty 50%)で1時間keep可能でした。Warm部の真空はまだ温度上昇に合わせてまた上がっているようである。

## Power test results (2012/5/9) (temperature inner)



温度上昇は内導体が一番多く、80°C、問題なし。

## Power test results (2012/5/9) (temperature outer)



外導体はCold窓、40°C、問題なし。但し、上昇傾向。

ERL検討会 (2012.7.17)

## Process終了後のアークセンサーthreshold変更値(2012/5/9)

500us, 20Hz 102kW process終了後の  
アークセンサーモジュールの設定値

arc	アークセンサーモジュール		
fiber	module	gain	Th設定値
①	Ver5	8	3.8
②	Ver5	7.3	5.5
③	Ver6	7.4	9.0
④	Ver5	7.3	8.0
⑤	Ver6	6.7	5.2
⑥	Ver6	5.8	5.5

2ms 5Hzでのpower keep test前の  
アークセンサーモジュールの設定変更値

arc	アークセンサーモジュール		
fiber	module	gain	Th設定値
①	Ver5	8	1.0
②	Ver5	8	1.0
③	Ver56	8	1.0
④	Ver5	8	1.0
⑤	Ver6	8	1.0
⑥	Ver6	8	1.0



初期値からここまで上がった。ばらばら

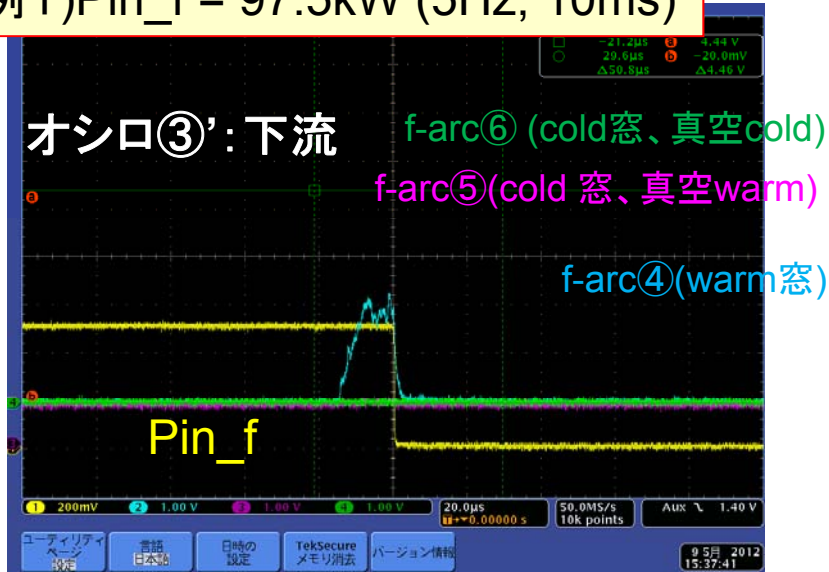
設定を低めで同じにした。

Gainは0.7増えることに2倍程度のsignalの違いがある。  
Th設定値は設定電圧の倍の値。

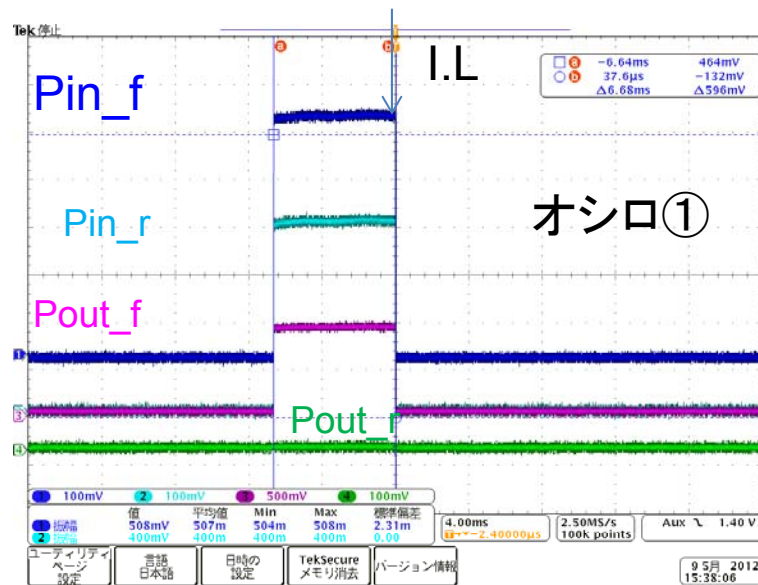
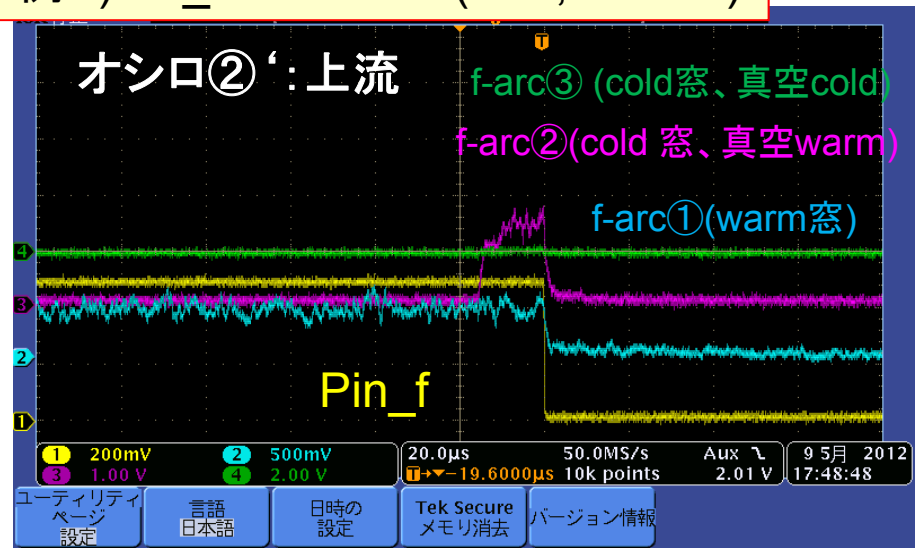
基本的には全て同じthresholdにして、低い値でarcがひっかかるような設定にした。但し、初期値ほどちいさくせず(理由は宇宙線がたまにひっかかる)thは1.0にとどめた。Gainの設定値は高めの初期値に戻した。これでpower keep時でもarcの反応があるか見る。

# Typical fiber arc signal when IL was occurred (2012/5/9)

例1) Pin<sub>f</sub> = 97.5kW (5Hz, 10ms)

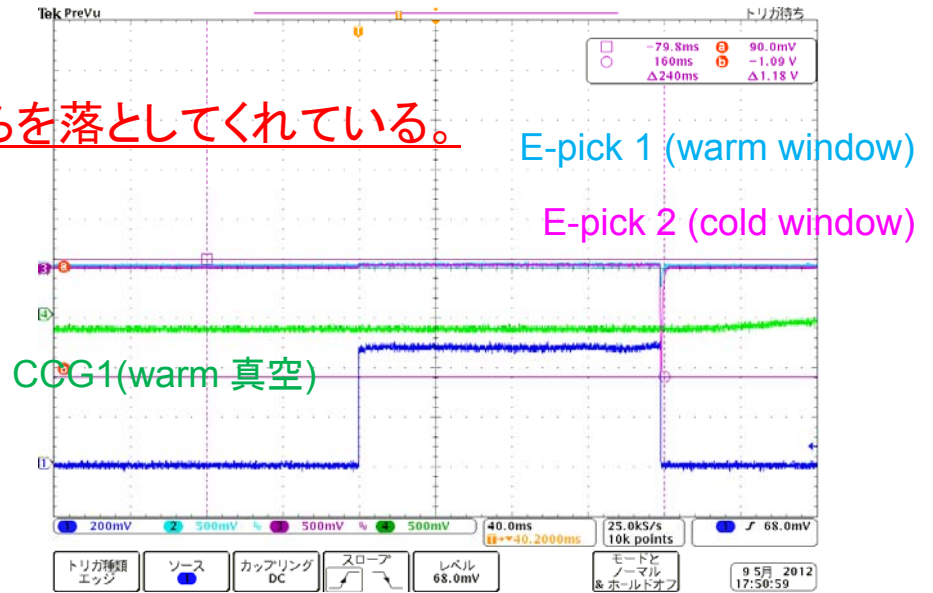


例2) Pin<sub>f</sub> = 88.0kW (1Hz, 200ms)



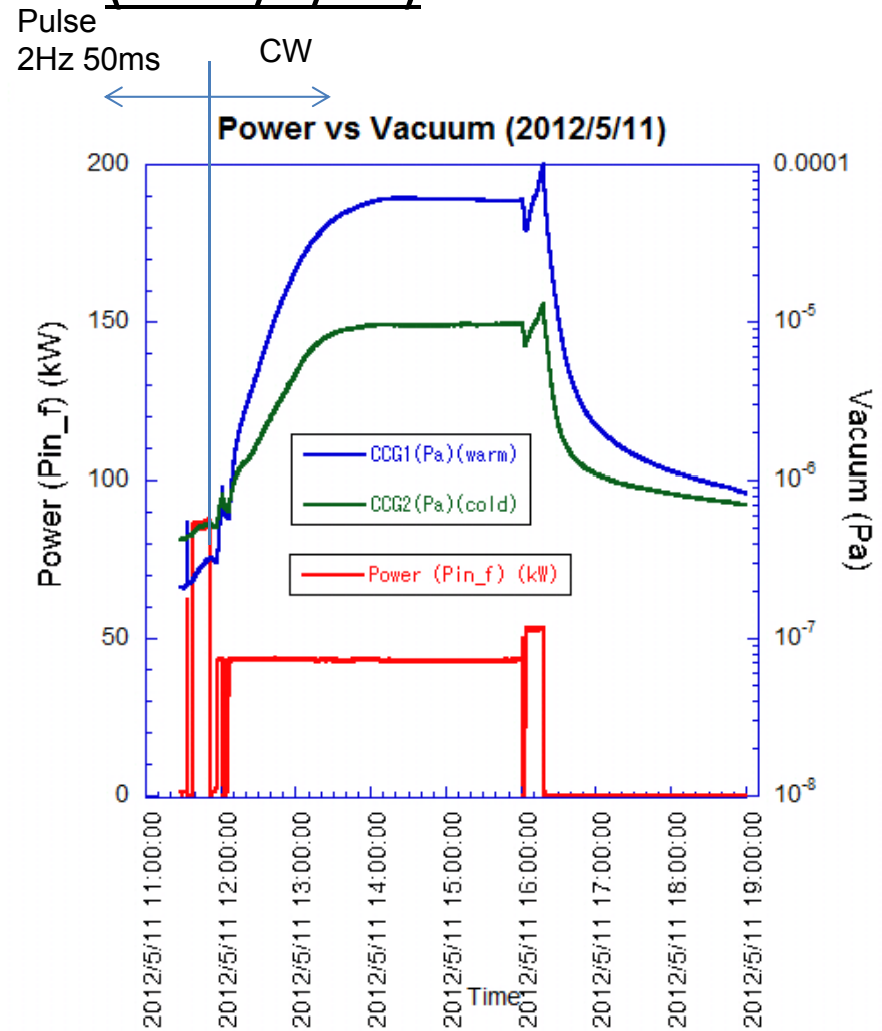
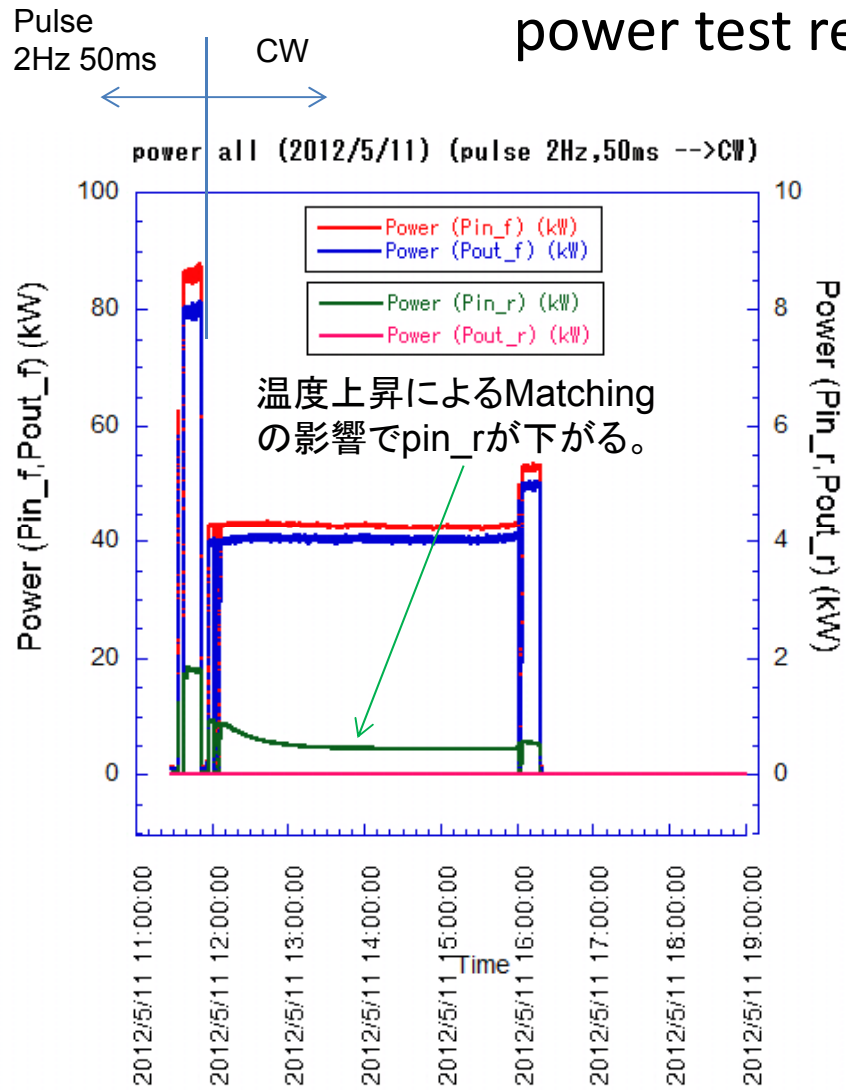
6.68ms後にIL。F-arc④が反応。  
Powerの反射には影響なし。

これらを落としてくれている。



159.6ms後にIL。Arc②が反応すると同時に  
e-pick2が反応。Electronの成長が見られる。

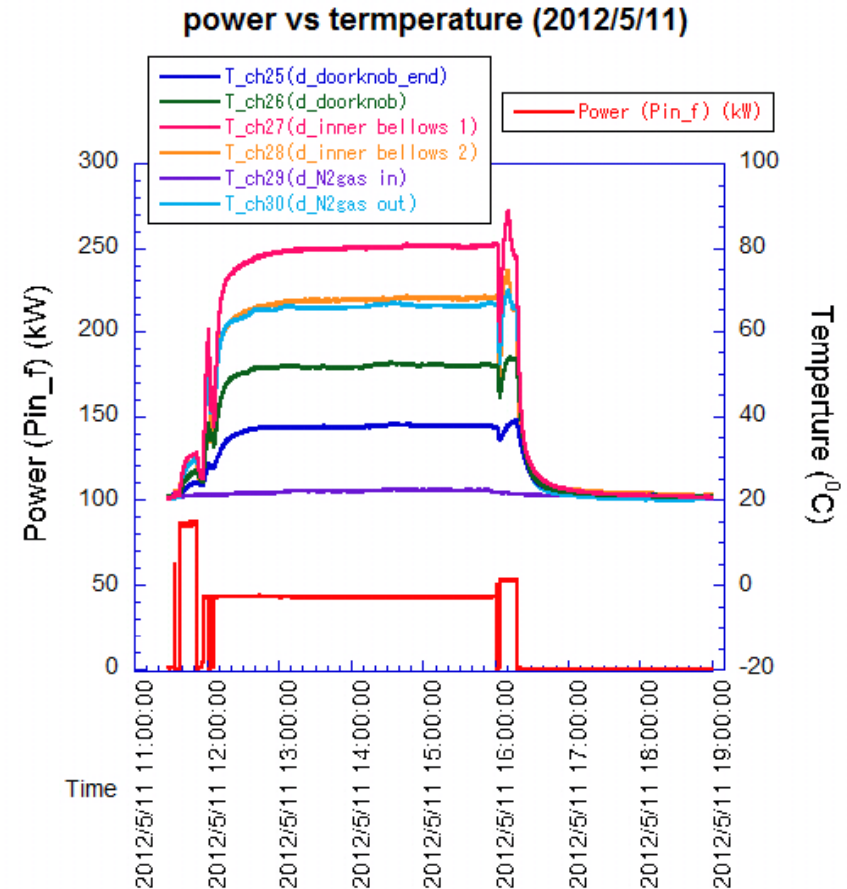
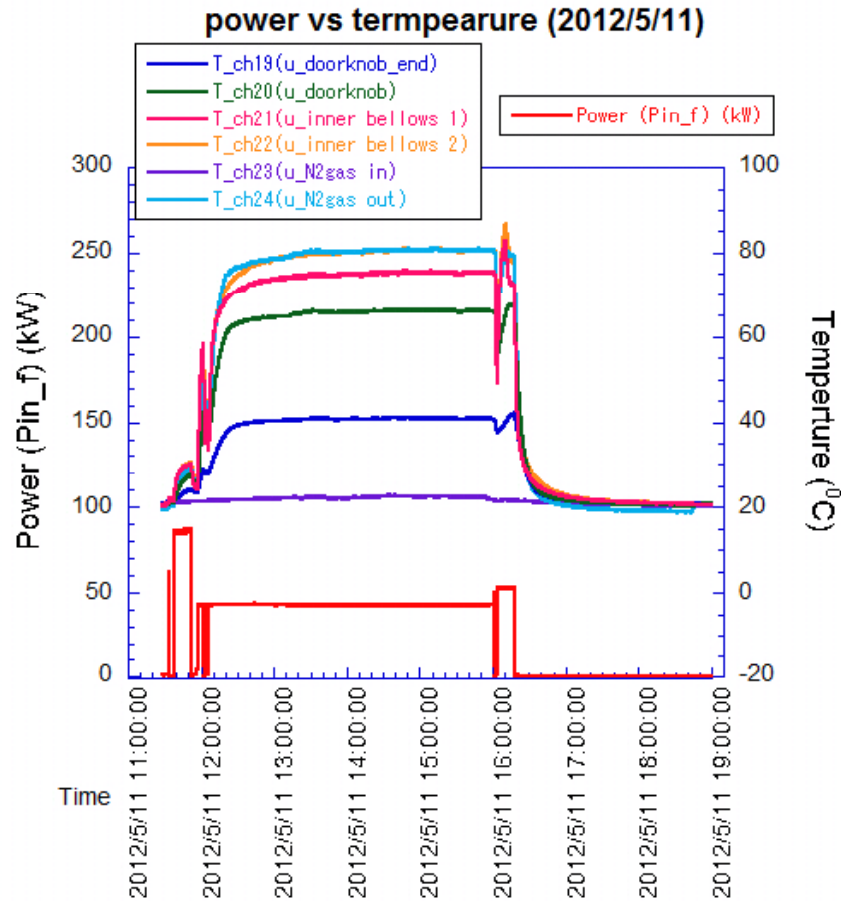
# power test results (2012/5/11)



最初にpulse でprocessがされているか確認を行う。87kWまで上げる。問題なし。次にCWにかえ、熱負荷テスト及び長期安定テスト。43kW CWで4時間keep可能であった。特に真空の上昇が気になったがwarmで14:30に $6.7 \times 10^{-5}$ Paを最高にそこから減少していく傾向が見られた。Coldも $1.1 \times 10^{-5}$ Paがmax。その後、50kW(N2 150l/min)にtryしたが、20分後にwarm部が $1.0 \times 10^{-4}$ Paを超え、vac interlockでdown。それで終了とした。

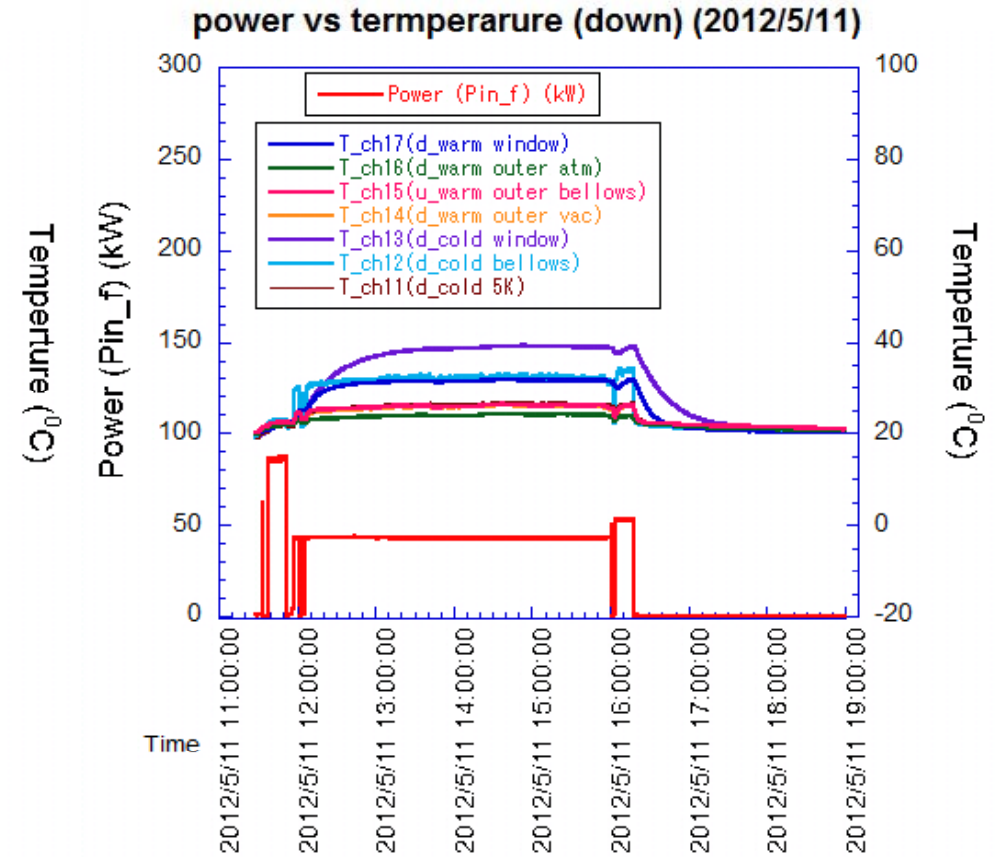
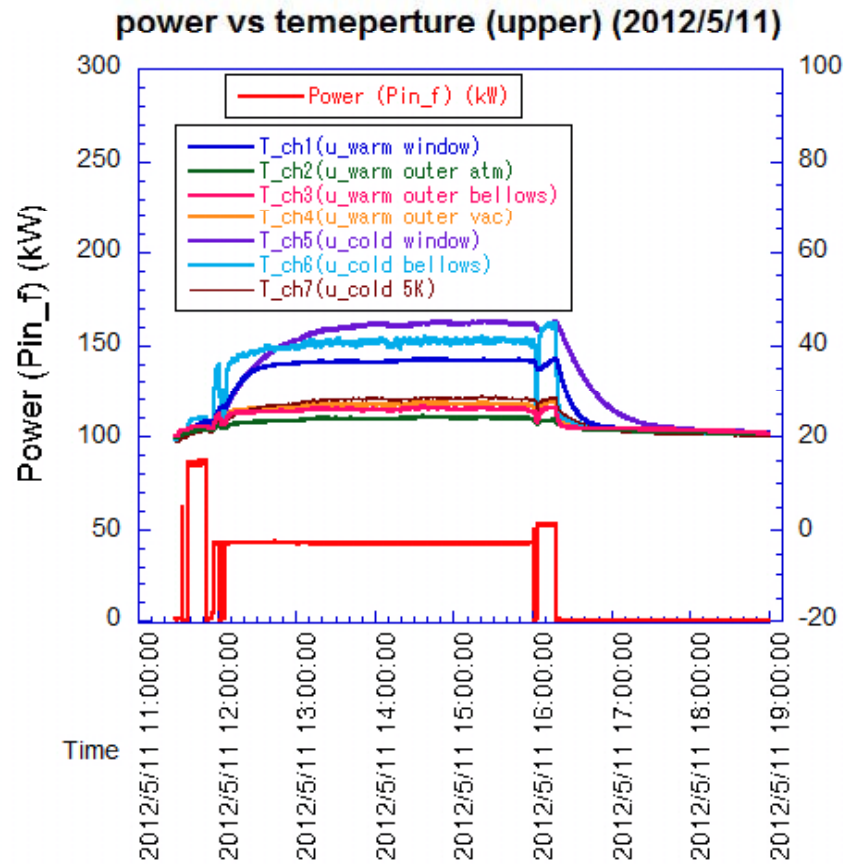


# Power test results (2012/5/11) (temperature inner)



温度上昇は内導体が一番多く、80°C、問題なし。  
温度は内導体の風冷のおかげで30分くらいでサチる。  
50kW上昇時には150l/minのN2を流したところ、温度上昇は問題なし。  
外部空冷をきっちりやれば50kWも可能ではないか??

# Power test results (2012/5/11) (temperature outer)



外導体はCold窓、40°C、問題なし。温度も安定した。

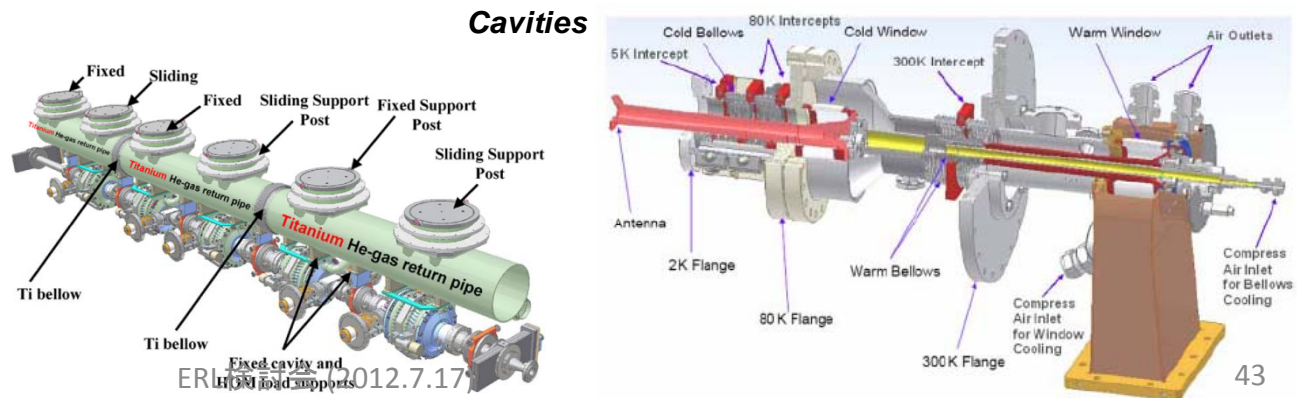
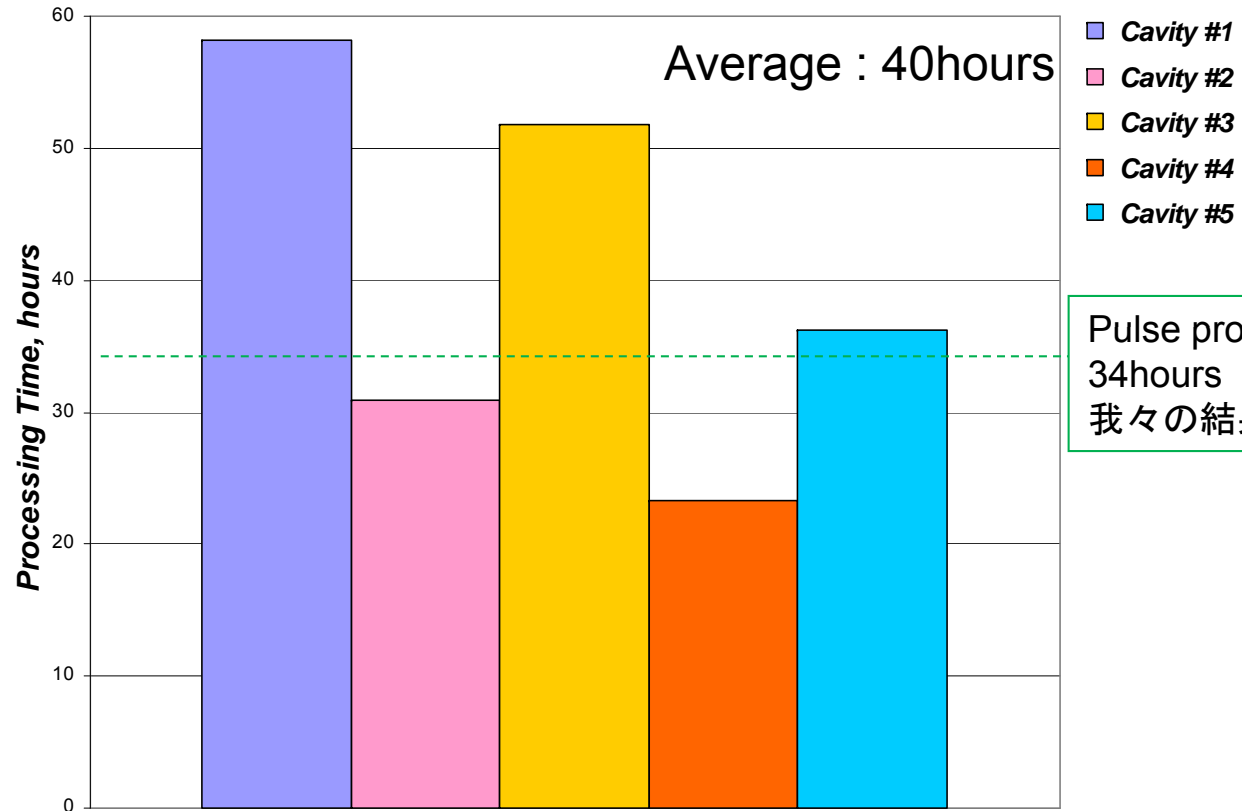
# (考察) Coupler Conditioning time (vs Cornell injector)

By Vadim Veshcherevich

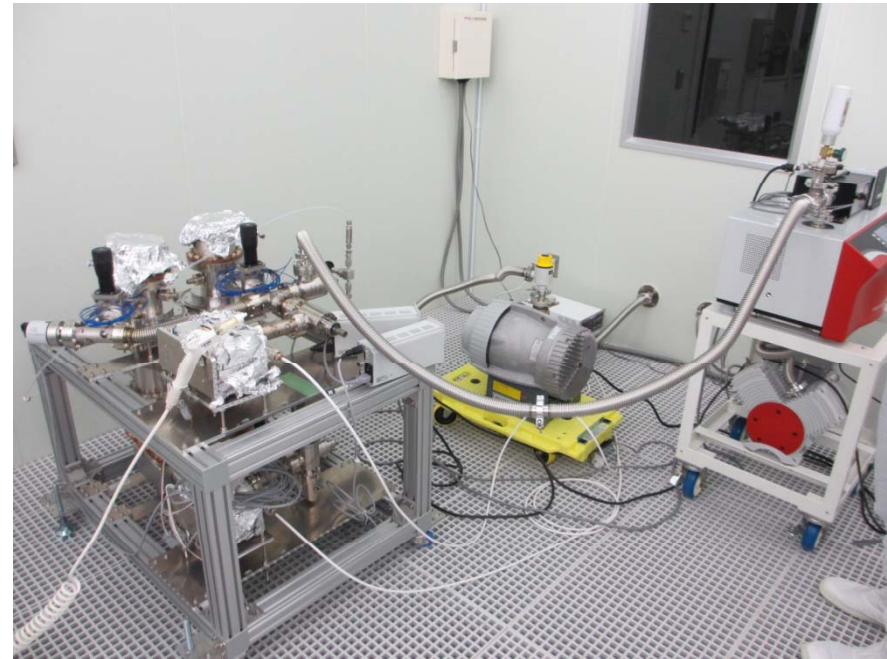
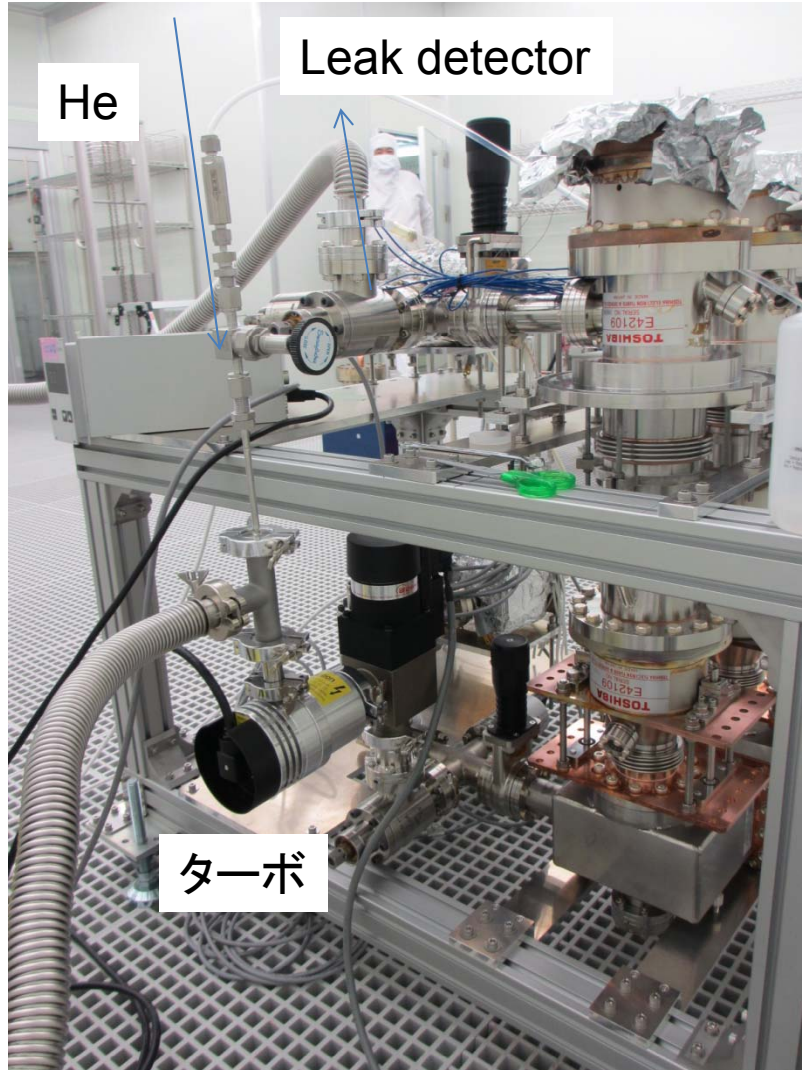
Processing Time for Couplers of Cornell ERL Injector Cavities (up to 25 kW SW per two Couplers):

Cornell injectorに用いるカプラーの空洞につけた5台の空洞についた2つずつのカプラーのそれぞれのprocess time。(peak powerが25kW SWなので我々の100kW TWに匹敵)。

我々の結果はpulse processだけ載せるが、そこまで時間がかかっているようには見えない。むしろ、慎重にやった感じが見受けられる。



# Leak check after power test in clean room(2012/5/24)



Warm部にはHe  
をかける。Cold部  
にはHeを入れて  
warmとColdの間  
をleak detectorに  
つなぐ。

He leak detector : warm時  $9.7 \times 10^{-11} \text{ Pa m}^3/\text{s}$ ,  
cold時  $1.0 \times 10^{-10} \text{ Pa m}^3/\text{s}$

→ O.K  
保管

## Summary

- Pulse processを行い、pulseで最大105kW(20Hz,200us)に到達。ここからpulse幅を伸ばして1s,0.5Hzのpulse運転にて85kWのpower levelを1時間keep可能であった。
- CW運転では主に熱負荷のcheckのため、43kWまでpowerを投入し、内外冷却下で4hoursをkeepした。但し、53kWでは空冷が及ばず、20分後に真空のinterlockでkeepできなかった。
- Fiber arc sensorによるinterlockがモジュールの改良により的確に反応するようになった。特に宇宙線によるdummyのinterlockは数日の放置下でもなく、arcの反応時にのみfiber arcがinterlockをかけるようになった。
- 安全サイドでThを少しずつ上げながらprocessを進める方法は時間がかかるが、processを安全に進めるには効果的であった。クライオモジュールでのprocess時にもこのmethodは採用した方がよいと思われる。
- Fiber interlockの反応速度は<1usであり、cERLに十分な仕様であった。
- Fiber arcによりprocessする様子がより可視化可能であった。
- Totalのprocess時間は34時間。80kW以上でのprocessに時間がかかった。真空のはねが原因だが、この理由は不明。
- パワーテスト後も窓の割れ無し。→cERL用モジュールへの組込へ

# 謝辞

- RF standについて:  
加古様、野口様、三浦様、竹中様、中島様
- アークセンサーについて: 矢野様