

# STFクライオモジュールの cERLでの利用についての検討状況

2012/7/17

ERL検討会

梅森 健成

# 背景

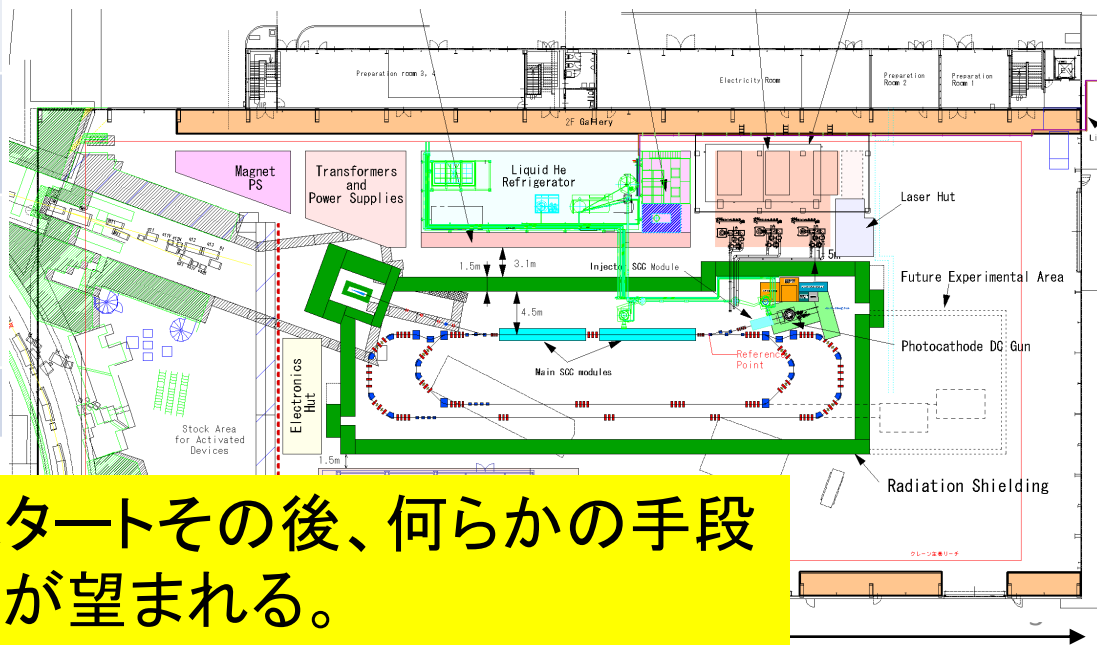
- リニアコライダー(KEK-STF)とERLとの協力関係を探る一環として、LC推進委員長の山本明氏よりSTF空洞・クライオモジュールをcERLで使うに当たってどのような問題点・改造の必要があるのか検討して欲しいとの依頼があった。(今年5～6月)
- cERLのenergy upgradeのために、4空洞入りモジュール1台を増強するという場合を想定する。
- STFクライオモジュールをCWで使用した際に、何が問題になるのか、そしてどのような対応策が考えられるのかを検討している、その現状に関して、今回報告する。

# Compact ERL(cERL) project

Demonstrate the technologies needed for future multi-GeV class ERL, and show its beam performances

## Parameters of the Compact ERL

	Parameters
Beam energy	35 - 200 MeV
Injection energy	5 MeV
Average current	10 - 100 mA
Acc. gradient (main linac)	15 MV/m
Normalized emittance	0.1 - 1 mm·mrad
Bunch length (rms)	1 - 3 ps (usual) ~ 100 fs (with B.C.)
RF frequency	1.3 GHz

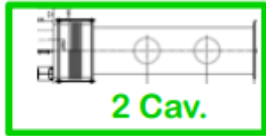


35MeVで2013年にスタートその後、何らかの手段でのエネルギー増強が望まれる。



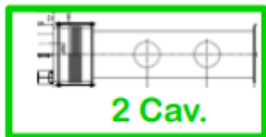
Presented by E. Kako

1. Capture Cryomodule (2)



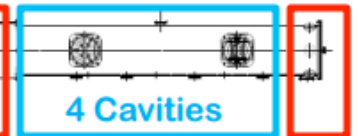
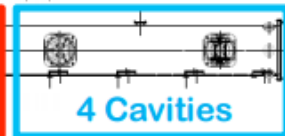
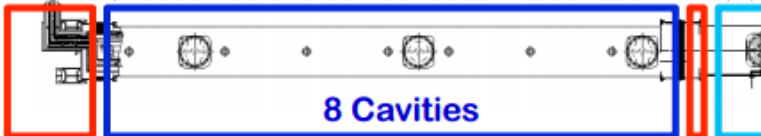
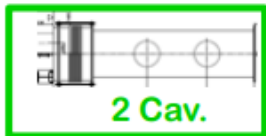
2012', Feb. Cool-down  
(for Quantum-Beam Experiments)

2. Capture Cryomodule (2) + STF-2 #1 Cryomodule (8)



2014', Jan. Cool-down  
(#1; for long cryomodule performance)

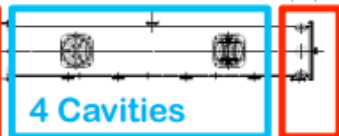
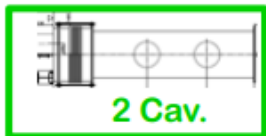
3-a. Capture Cryomodule (2) + STF-2 #1 Cryomodule (8)  
+ STF-2 #2 Cryomodule (4) + #3 Cryomodule (4)



Under Discussion !!

(2015', Jan. Cool-down)

3-b. Capture Cryomodule (2) + STF-2 #2 Cryomodule (4) + #3 Cryomodule (4)



(#2 ; for cost reduction)  
(#3 ; for R & D)

(2012/6/11 LC推進委員会での山本明氏のスライドより。元々は5/14の加古さんの発表?)

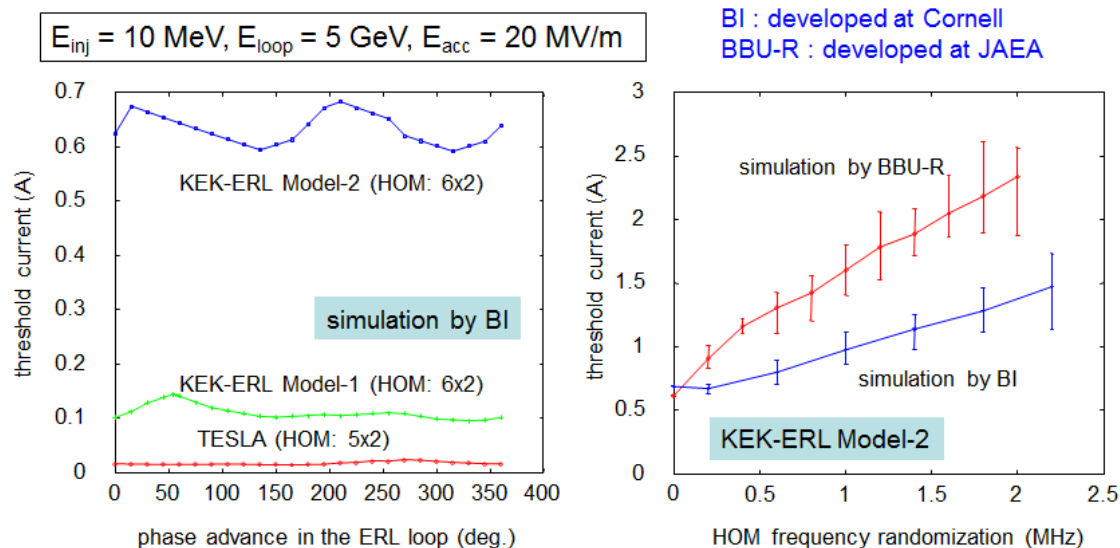
# 問題点の検討

# 空洞(本体)

- 加速勾配は問題ないであろう(HOM coupler発熱の問題は別)
- Dipole mode (BBU)に関しては、要検討ではあるが、cERLでは空洞台数が少ないので、運が悪くなければ大丈夫だろうと思う。
- Monopole modeは場合によっては問題になる可能性があるかもしれない。2.6GHzの整数倍近い周波数のHOMには要注意。
- 空洞ジャケットの径については要確認。たぶん大丈夫？
- 空洞本体(TESLA型空洞)は、cERL用としてはおそらく問題無い

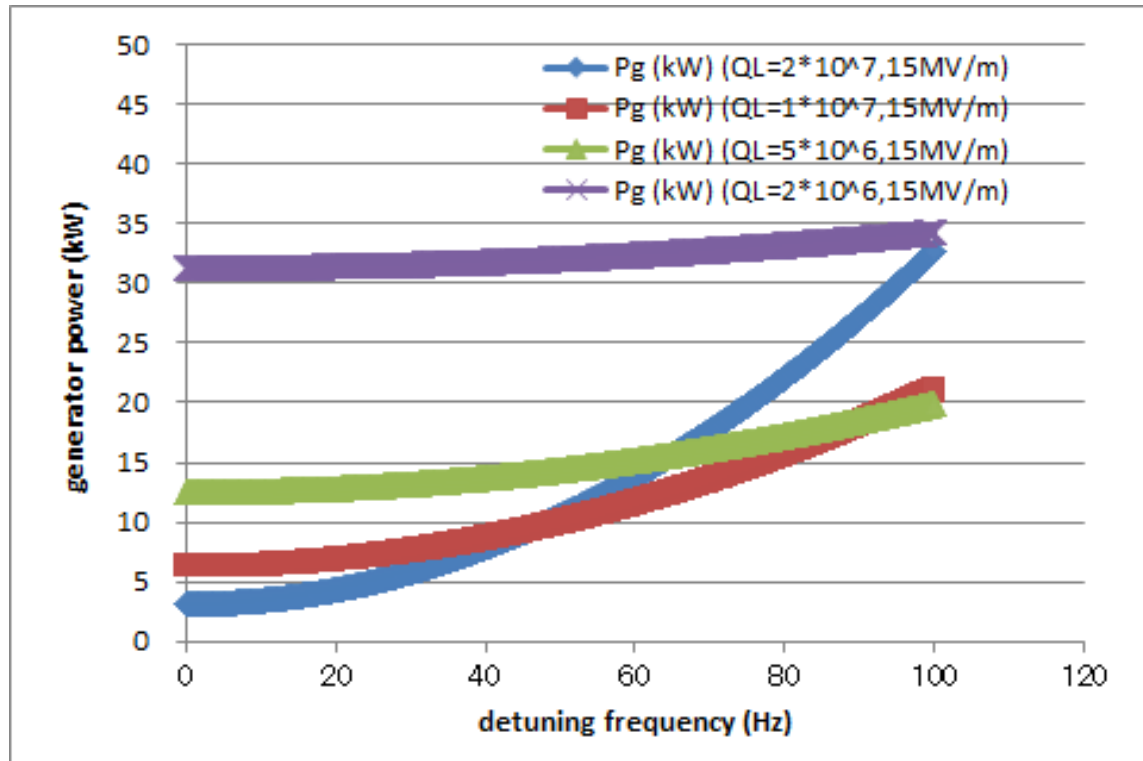
## HOM-BBU threshold current

(Calculation performed by R. Hajima, JAEA)



# 入力カップラー

- STF空洞の $Q_{ext}$ は $2 \times 10^6$ 。これをそのままERL主加速部で用いると**最低必要なRFパワーは？**
  - 15MV/mでの使用時: 31kW全反射(CW)
- カップリングの最適化と冷却強化(CW対策)が必須



# HOMカップラー

- $E_{acc}=15\sim 20\text{MV/m(CW)}$ での運転に耐える必要あり。**フィードスルーでの発熱問題。**
- 100mA+100mA運転だと、1空洞あたり100W以上のHOM lossが想定される。**数10W/HOM couplerのハンドリングは厳しい。**
- CW & 大電流のcERLでの使用においては、HOMカップラーをどう対処するかが、最大のポイント



# 周波数チューナー

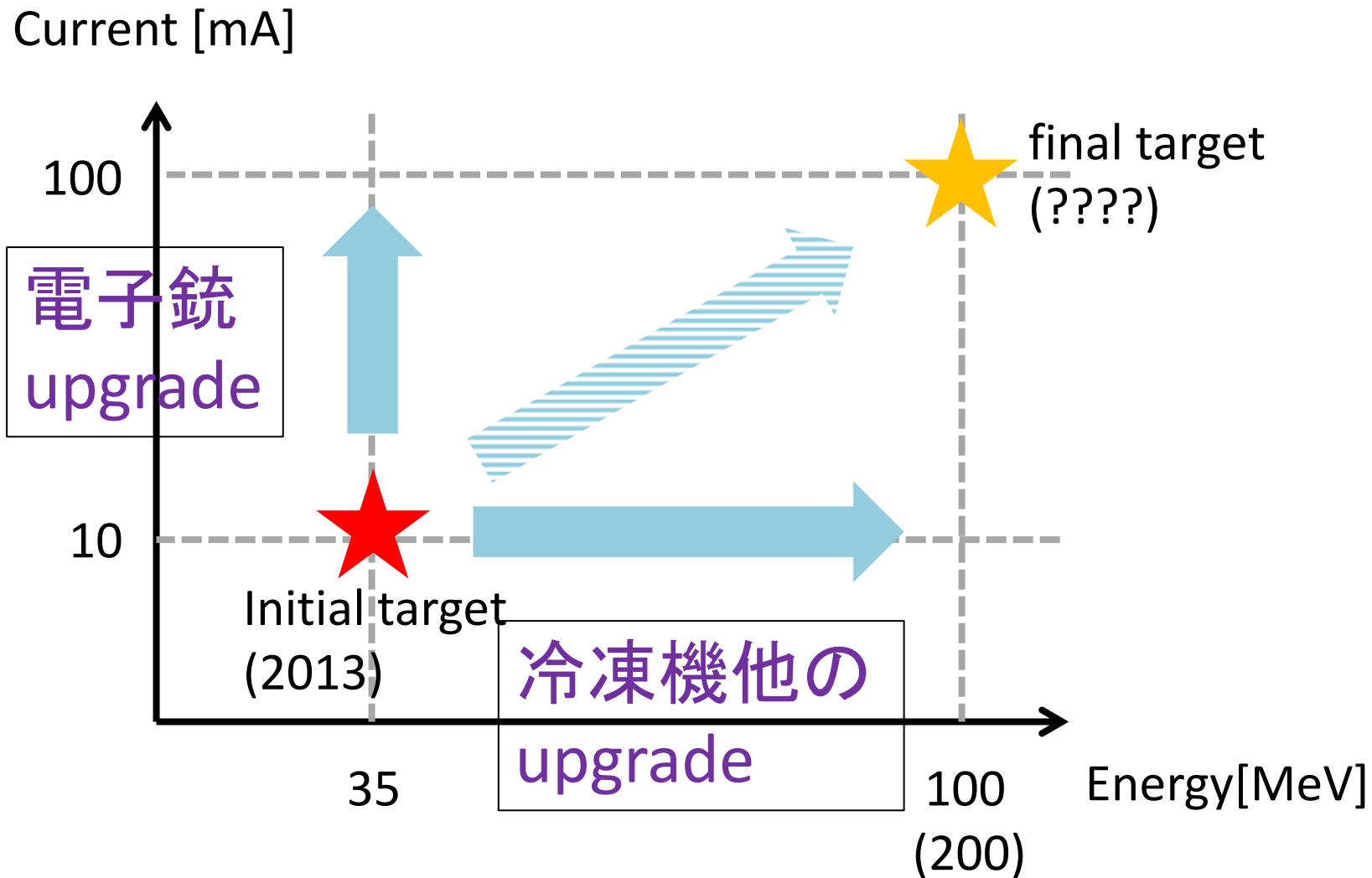
- チューナー制御のパターンとしては、メカニカルチューナーで粗い共振周波数合わせ。ERL運転中は、メカニカルチューナー固定で、ピエゾチューナーにて常に共振周波数制御。(という状況で運転できることを期待している)
- Microphonic detuningに対応できれば良い。
- Lorentz force detuningは気にならない。
- チューナーは特に問題とならない

# クライオモジュール

- CW運転の15～20MV/mに対応できること
- 1空洞あたり20W、4台で80W程度(@2K,  $E_{acc}=15\text{MV/m}$ )の熱負荷に対応できること。つまりこの熱負荷に対し、十分な冷却能力を持つこと。
- 空洞ジャケットからの細い配管は、回収されるHeガスのコンダクタンスを制限する可能性がある。
- アラインメントの要求精度は1mm程度。これはクリアできそうか？
- cERLの冷凍機側配管と接続できること
- HOM couplerの部分を大改造する場合には、モジュール全長が長くなる可能性もあり。
- He配管を太くするなどに対処できる可能性あり(現状の太さでどうかは要確認)。HOM coupler部分を改造する場合には、設計変更となる可能性もあり。

CW利用に向けたいくつかの案

# Direction of cERL upgrade??



- STFモジュールのCW (cERL) 利用の際に問題になり得るのは

- 入力カップラー

- 結合度(STF:  $2 \times 10^6$ , ERL:  $\sim 2 \times 10^7$ )
- 冷却が必須

- HOMカップラー

- CWの場合、feedthroughでの発熱の問題
  - 加速勾配を制限
- Monopole modeからの熱負荷 (100mAで $>100\text{W}$ /空洞)
  - ビーム電流を制限

- He回収系

- 空洞あたり20Wの熱負荷へ対応できていない可能性
  - 加速勾配を制限

# CW化へ向けた対策(1)

## [入力カップラー]

- 結合度: STF  $2e6 \Rightarrow$  ERL  $\sim 2e7$ へ
- 数kW全反射。CWなので冷却必須



**cERL移設の際に、CW用のカップラーに交換する**

## [He回収配管]

- 空洞1台あたり20W( $E_{acc}=15\text{MV/m}$ )の負荷によるHeガスを回収できない可能性がある。実際にどうかは要検討。



**必要であれば、あらかじめ配管を太くする/後に太い配管へ取り替える**

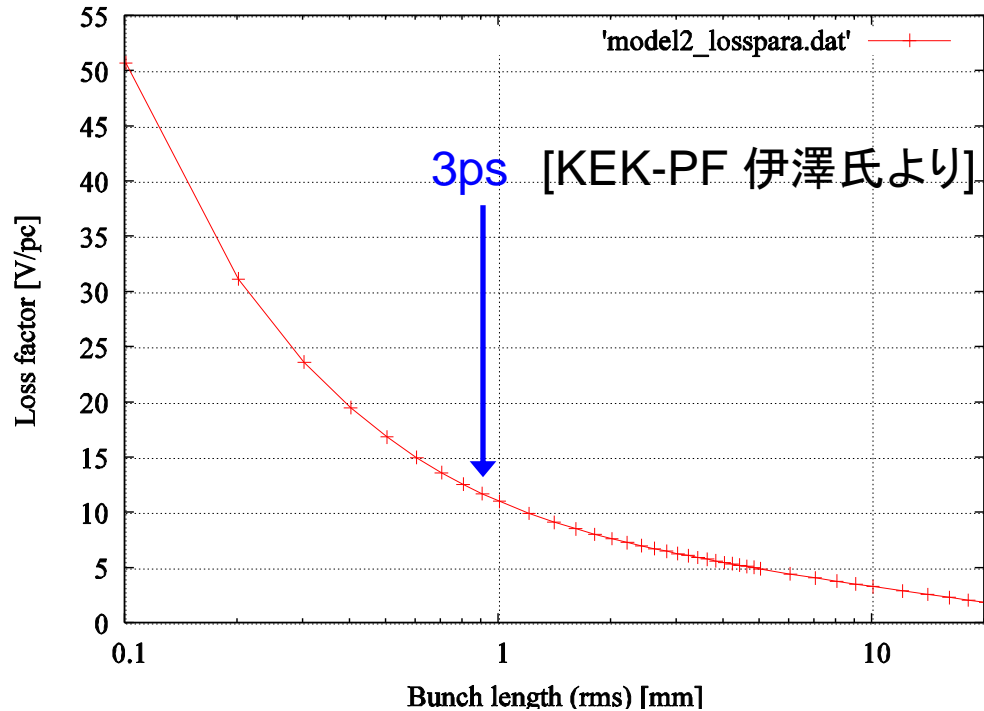
※ 以上の変更の全体設計への影響は比較的小さい

# CW化へ向けた対策(2)

## [HOMカップラー]

- **加速勾配**: 加速モードによるfeedthroughの発熱により制限される(10MV/m以下)
- **HOM loss**: 大電流運転時には100W以上のHOM lossが想定される。→真空中のコネクタは大電力持たない(>100mW??)

# ERL-9cell空洞のロスファクター



Beam current	Bunch charge	HOM power
100mA	77pC	154W
10mA	7.7pC	1.5W
5mA	3.85pC	0.38W
1mA	0.77pC	0.015W

※ ビームは1.3x2 GHz繰り返しの場合

- ・ 上記計算結果は、加速モードのloss factor(～2V/pC)込みの値。空洞形状からのロスのみ。
- ・ HOM power = loss factor(V/pC) x bunch charge(pC) x bunch current (A)
- ・ ビーム繰り返し一定の場合、ビーム電流の2乗に比例する
- ・ バunch長3ps(=0.9mm)の時、HOMによるロスファクターは12-2=10V/pC  
→ 77pC/bunch, 1.3x2=2.6GHzのビーム繰り返しだと～ 150W
- ・ 5mAだと、一つのHOM couplerあたり100mW以下



## [HOM couplerの考え得る対応策]

### 1. Feedthroughに替えてブランクにしてしまう

- 加速勾配は15MV/m以上確保できる
- HOM減衰はできないので、ビーム電流はかなり厳しい
- ビーム無しのCW大電力試験なら、これで十分

### 2. そのまま使用する

- ビーム電流、加速勾配はいけるところまで。

### 3. HOM couplerを冷却強化型に改造する、など

- 加速勾配は15MV/mに(近いところ)まで期待
- HOMロスへの対応が、ビーム電流を制限(>5mA)

### 4. 大電流へ向けた何らかの改造型HOM couplerを開発

- 加速勾配は15MV/mいけるであろう(設計次第)
- HOMロスへはどこまで対応? これがビーム電流値を制限か?
- どのように改造すれば良いのかは???

### 5. 空洞ビームパイプを改造。ビームパイプ型HOMダンパーに変更する。

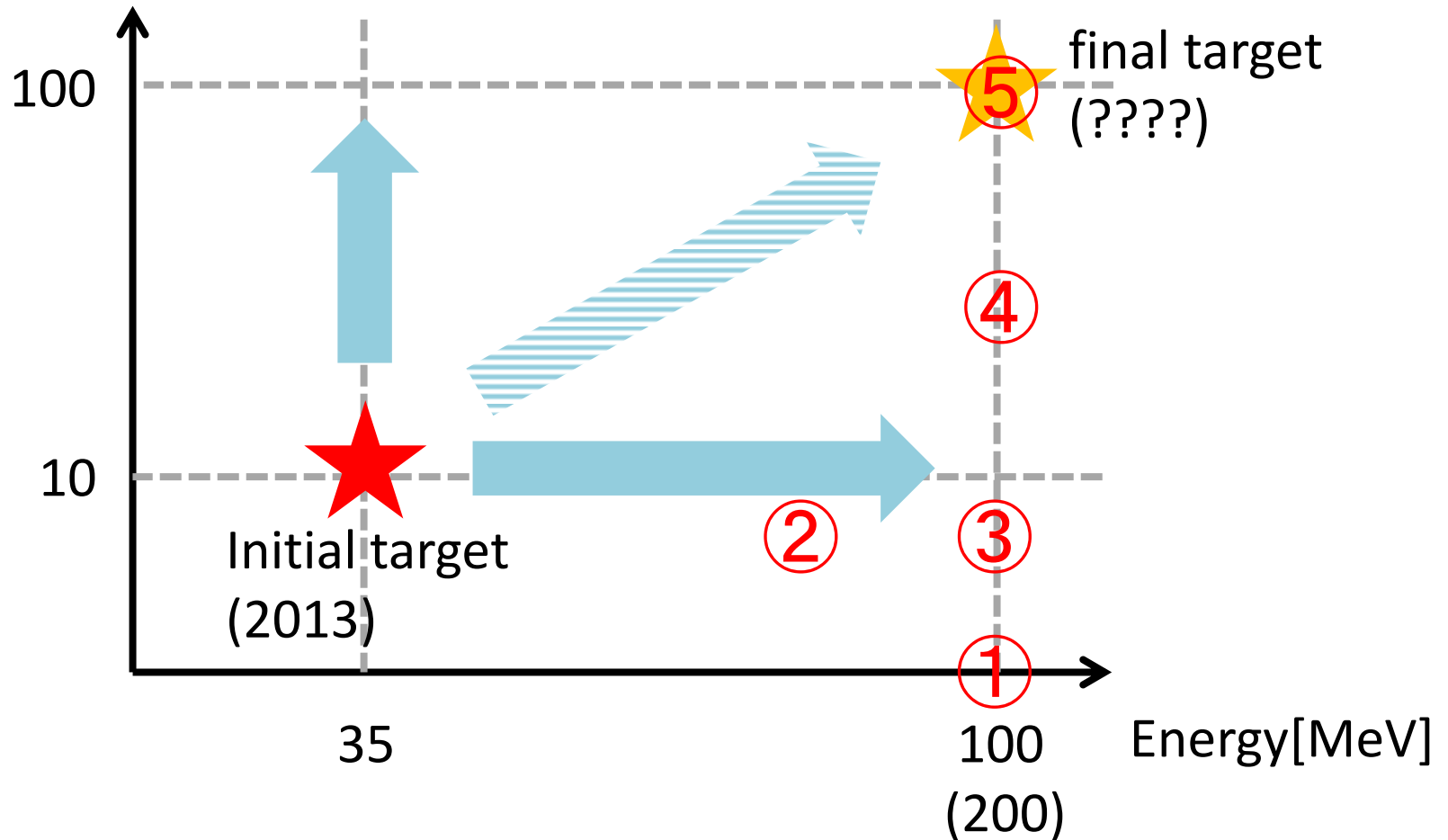
- 加速勾配は問題ない。
- 大電流(100mA)への対応は可能
- モジュール全長も伸びるので、モジュール全体の改造も必要

案	入力カップラー	HOM coupler	空洞ビームパイプ	クライオモジュール	コメント
①	変更	ブランク	そのまま	必要ならHe配管太く	加速勾配OK ビーム電流はかなり厳しい(ビーム不安定性) ビーム無しのCW試験なら可能か
②	変更	そのまま	そのまま	そのまま	加速勾配・ビーム電流ともに、行けるところまで。 ビーム電流はHOMロスにより制限
③	変更	冷却強化型?	そのまま	必要ならHe配管太く	加速勾配は15MV/m(に近いところ)までいけるか ビーム電流はHOMロスにより制限
④	変更	CW大電流に向けた改良型を用意??	???	必要ならHe配管太く/全長伸びるなら改造必要	加速勾配OK ビーム電流は設計次第(HOMロスにより制限か?)
⑤	変更	ビームパイプ型HOMダンパーへ	大口径へ改造	必要ならHe配管太く/全長伸びるので要改造	加速勾配OK ビーム電流OK

# Direction of cERL upgrade??

Current [mA]

前頁の案でどのあたりが狙えるか？



# まとめ

- LCとERLの協力の一環として、STFクライオモジュールのcERL利用に関しての検討を行っている。その現在の状況に関して報告を行った。
- パルス用に開発されたSTFモジュールをCW運転であるcERLで用いる場合に考えられる問題点を明らかにした。
- 問題となりそうなのは、入力カップラー、He回収の配管、HOMカップラーなど。
- また、それらの問題点に対して、いくつかの案を示した。
- 大電流(> 数10mA)対応とするためには、HOM couplerに対して根本的な対策が必要。