

# LCとの合同加速器建設の可能性

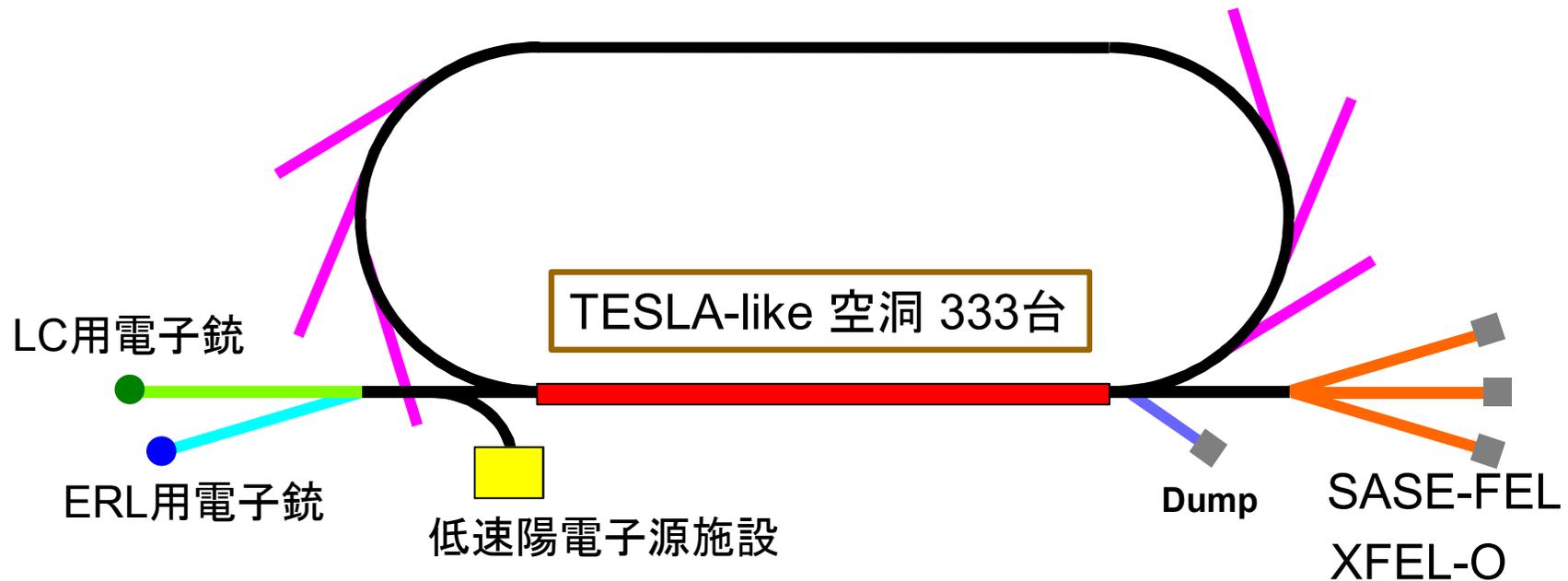
- 合同加速器検討タスクフォースの状況 -

第4回ERL計画推進委員会

2011.2.23

山口誠哉

1. 5 GeV ERL (100 mA, CW, 15 MV/m)
2. 10 GeV FEL (10 mA, pulse, 30 MV/m)
3. 10 GeV XFEL-O
4. 9 MeV slow  $e^+$



# 機器の技術的検討

まず、空洞, RF, 冷凍機についての技術的検討を始めた.

- 全体                    小林(幸), 山口
- ユーザー              河田, 足立
- STF                    早野
- (c)ERL                坂中
- 空洞                    古屋, 加古
- RF                      道園
- 冷凍機                仲井

第1回 12/27

検討課題のリストアップ, ほか

第2回 1/12

ビーム構造, RF

第3回 2/1

空洞, 冷凍機

第4回 2/24

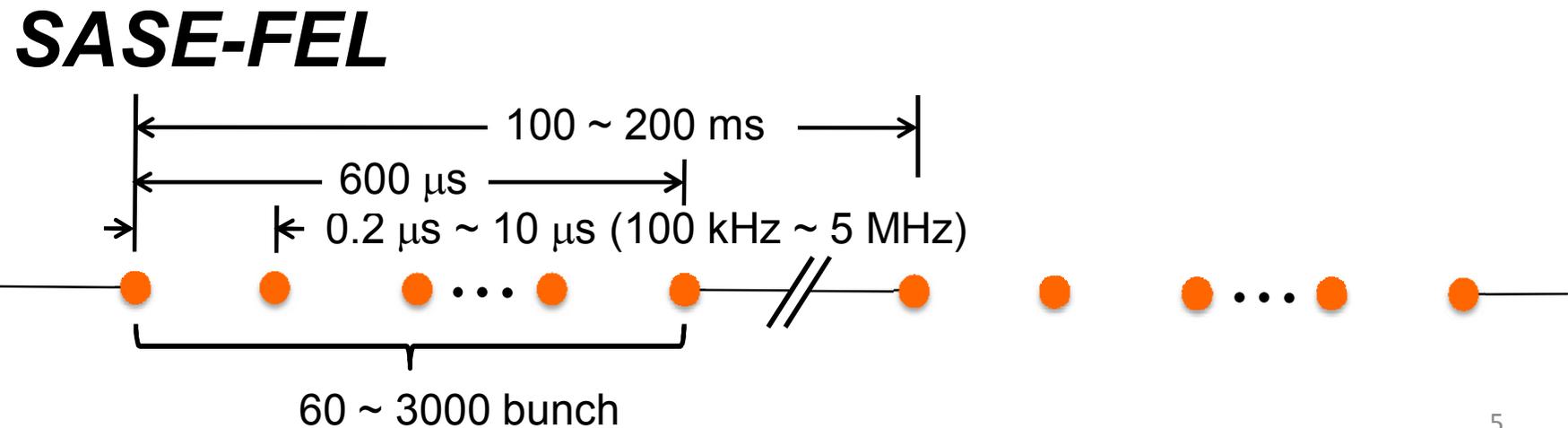
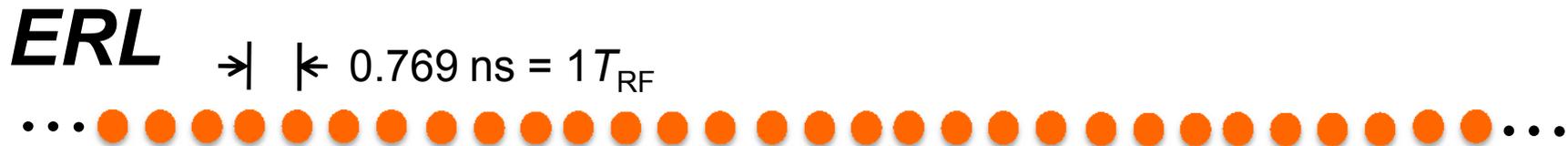
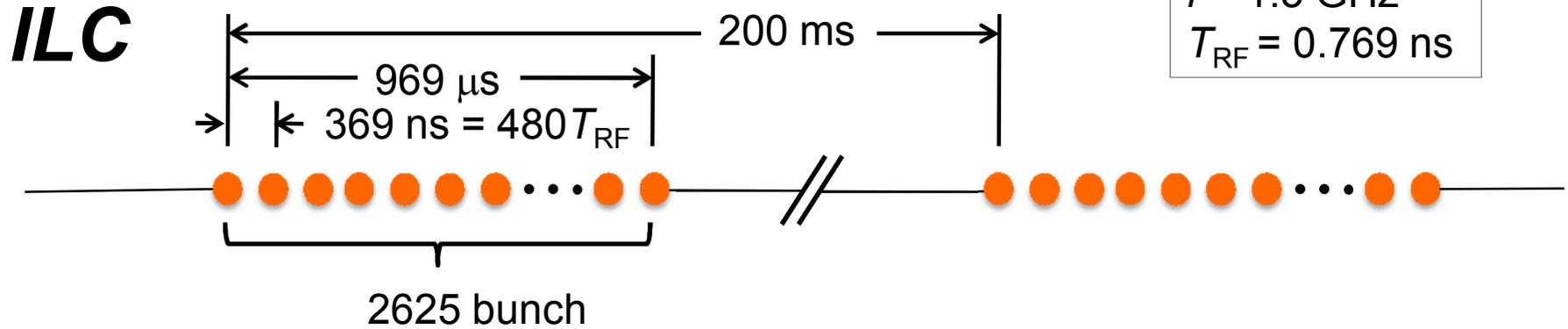
BBU(山本康), cERLでのTESLA空洞の使用

# 開発すべき要素技術

1. 超伝導加速空洞
2. 入力カプラー
3. 大電力高周波源 - クライストロン, IOT
4. 電源
5. 立体回路
6. 低電力高周波源 (LLRF)
7. 冷凍機システム, クライオモジュール
8. 電子銃
9. バンチコンプレッサー
10. ビーム輸送系
11. モニターシステム
12. タイミングシステム
13. 真空システム
14. 冷却水システム
15. ビームダンプ

# ビーム構造

RF:  
 $f = 1.3 \text{ GHz}$   
 $T_{\text{RF}} = 0.769 \text{ ns}$



# 空洞関係の課題

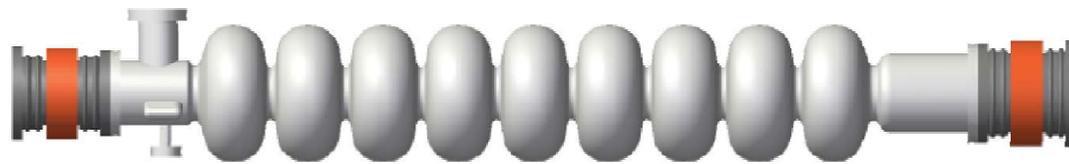
- HOM (higher order mode)
  - dipole, quadrupole  $\rightarrow$  BBU  $\rightarrow$   $\varepsilon$  増大  
( $TM_1, TE_1$ )      ( $TM_2, TE_2$ )
  - monopole  $\rightarrow$  発熱  $\rightarrow$  クエンチ  
( $TM_0$ )

**HOM減衰**が ERL main linac における最大の課題

# TESLA空洞, ERL空洞(Model 1, 2) に対するHOM-BBU閾電流値

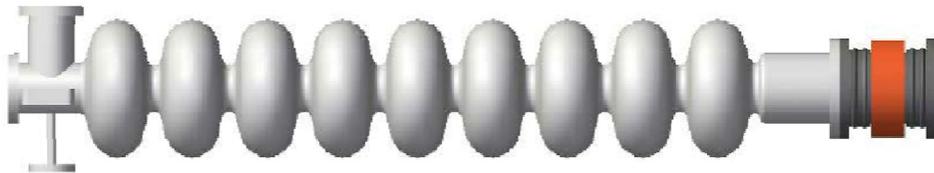
**Model 2**

アイリス径:  $\phi 70 \rightarrow 80$  mm, 両側に吸収体

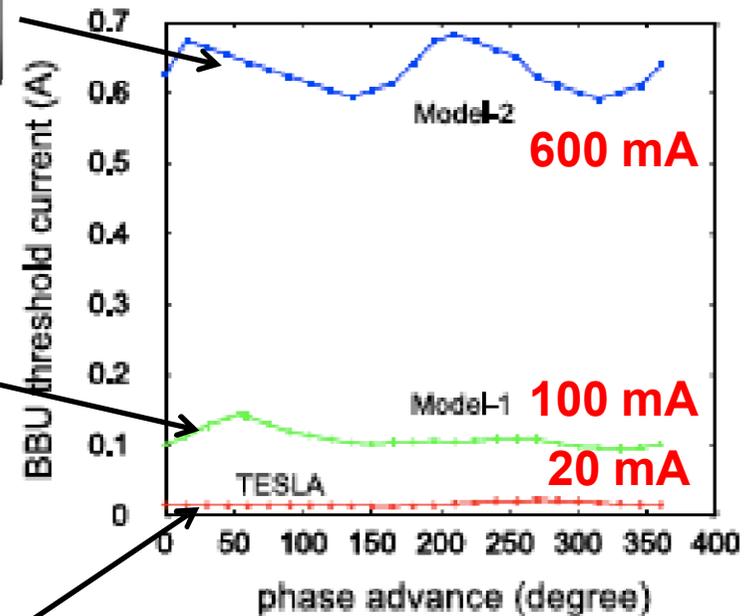
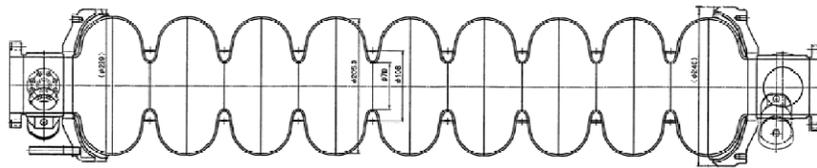


**Model 1**

Large beam pipe(片側のビームパイプ:  $\phi 108$  mm), セルはTESLA型



**TESLA-like**

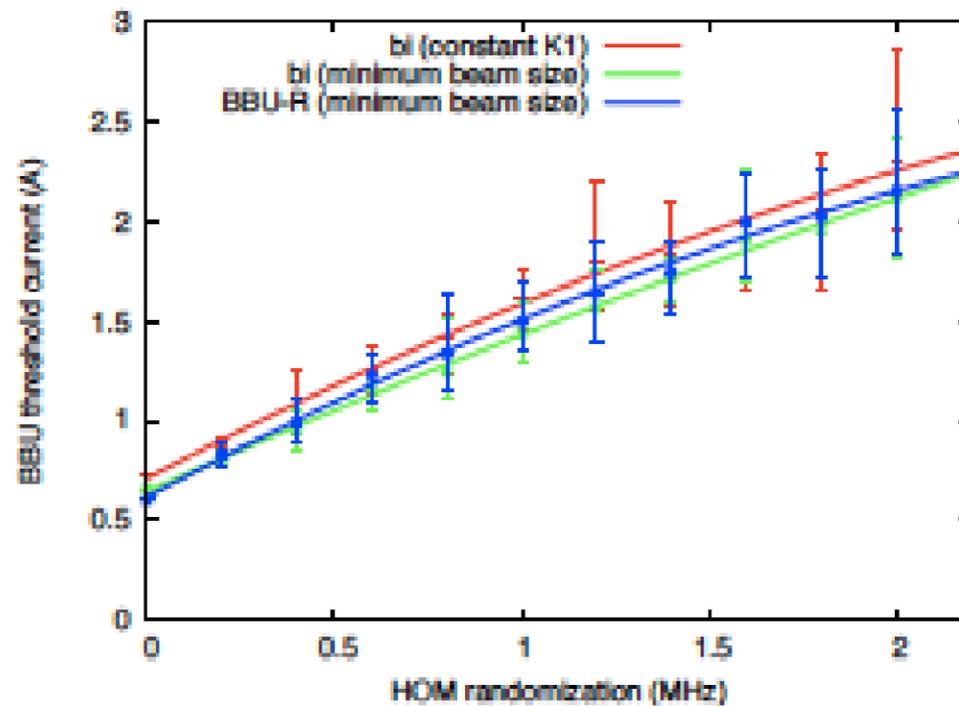


TESLA-like空洞をERLで使えないか？

BBU発生の閾電流値を上げる方法

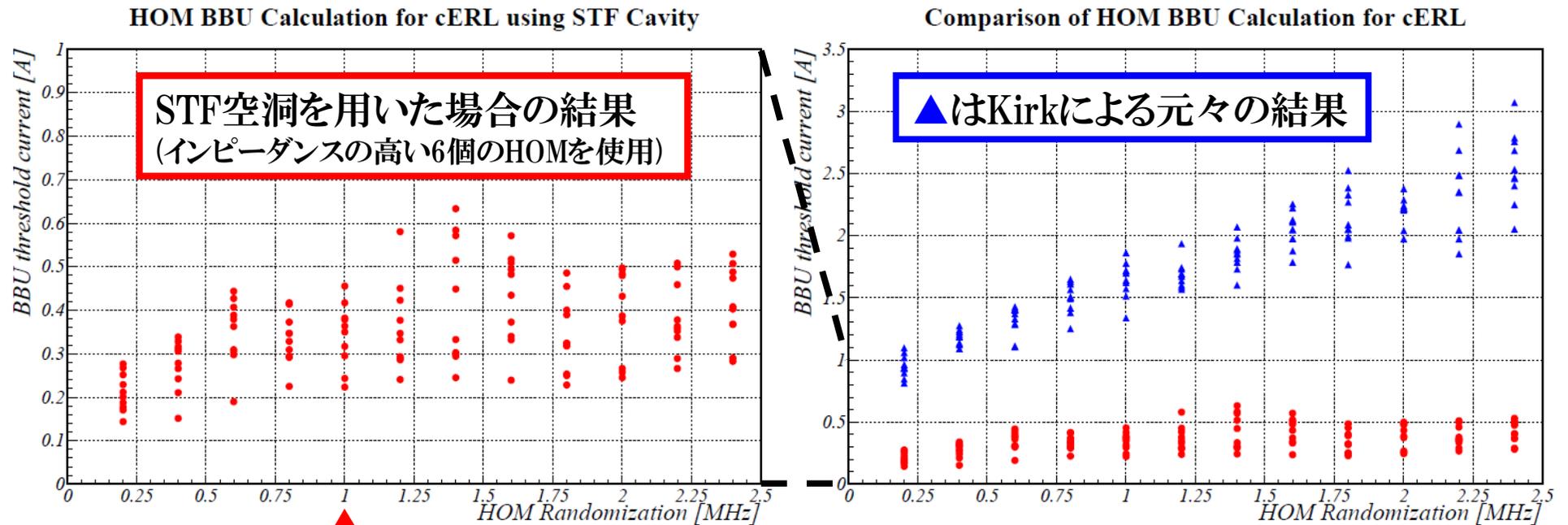
⇒ HOM frequency randomization

5GeV ERL (Model 2)

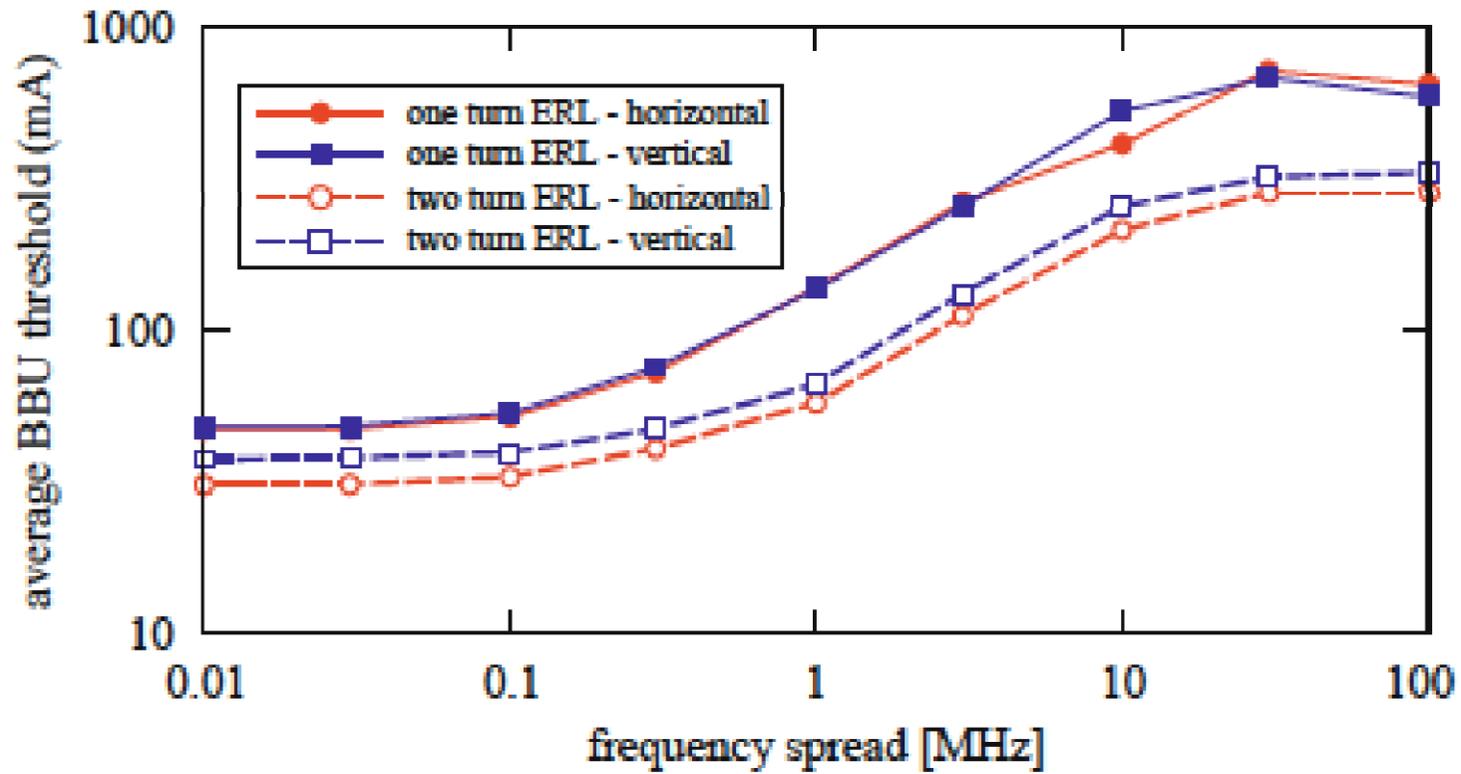


# 計算結果③

図3.34との比較



1MHzで100mAは超えているようである。  
1MHz以上ではthreshold currentはサチっているように見える。

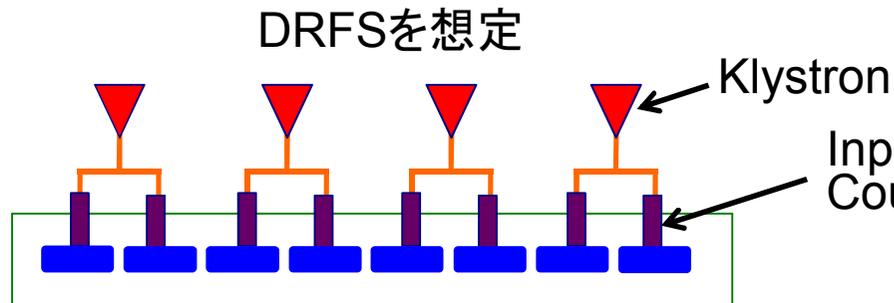


R. A. Bosh, et al. NIM A620 (2010) 105-111

$$\Delta f / \Delta r \sim 10 \text{ MHz} / 1 \text{ mm}$$

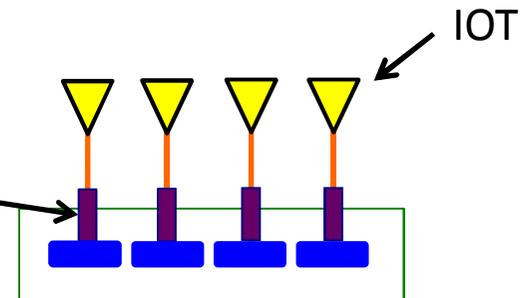
# 入力カプラー

**ILC**



カプラー通過電力  
ピーク: 400 kW (1 ms, 5 Hz)  
平均: 2 kW

**ERL**

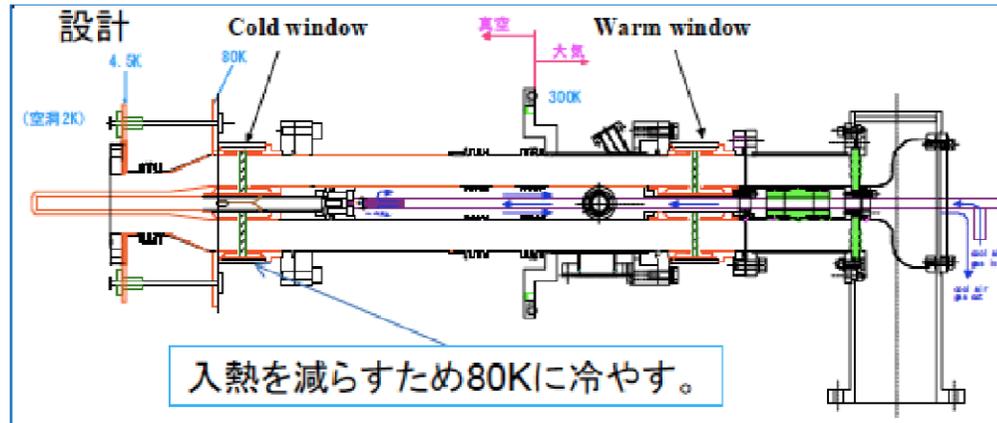


カプラー通過電力  
CW: 25 kW

カプラー通過電力  
ピーク: 400 kW  
平均: 25 kW

# 入力カプラー (2)

## ERL



### 【ERL用カプラー】

・LCのものをベース

・発熱対策

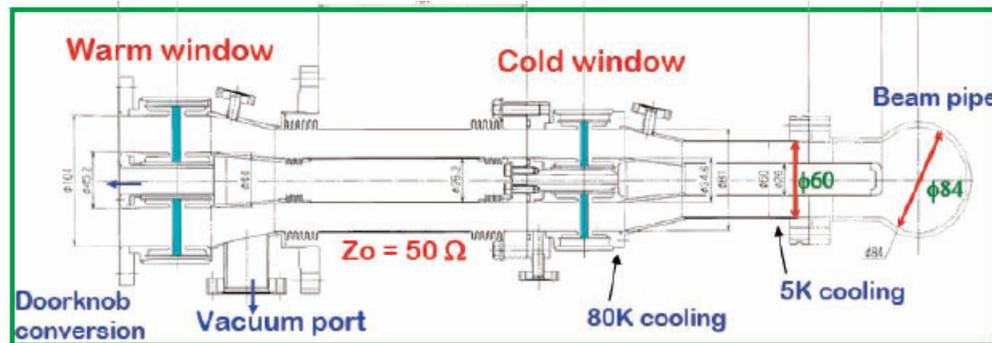
- 同軸管内導体: 水冷

-  $Z=60\Omega$

- 窓: HA997 ( $\tan\delta=1\times 10^{-4}$ )

**問題** コールド窓のサーマルサイクル試験で真空リークが発生. 対応策検討中.

## ILC



# 結合度可変性

- 要求

- $Q_L = 2 \times 10^6$  (LC),

- $5 \times 10^6 \sim 2 \times 10^7$  (ERL) ER無しも含む.

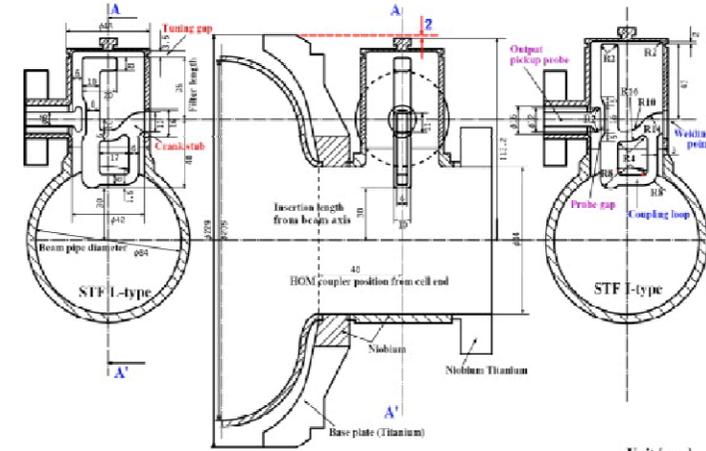
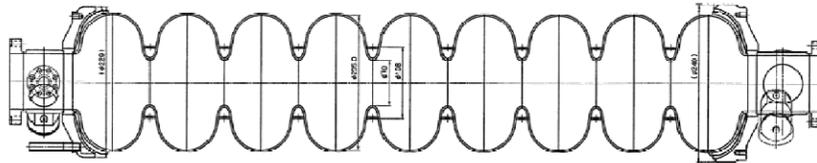
- カプラー内導体のストロークは

- $\Delta L = \pm 10$  mm 以上.

- 課題: ベローズの冷却, 耐久性など.

# HOMカプラー

## ILC (TESLA-like)

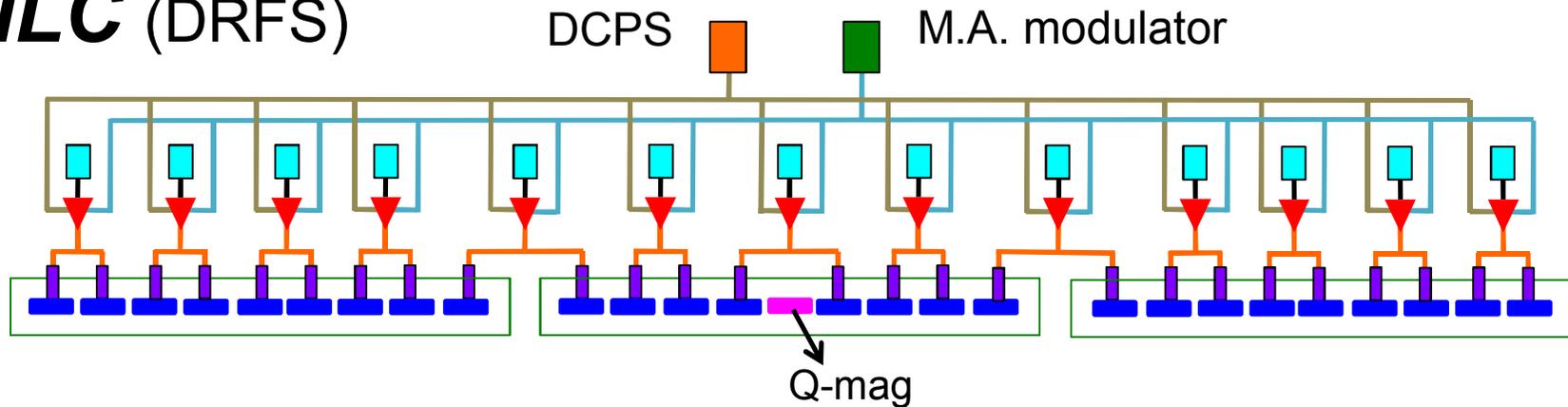


ERLの入射部用空洞で試験

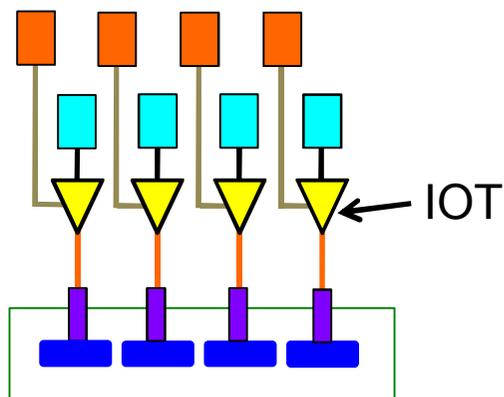
- HOMカプラー  
13 MV/mで発熱によりクエンチ → 要改良
- ケーブルの通過電力  
通過電力は, ERL:約 200 W, LC:約10 W
- コネクタ  
現在:N型コネクタ  
接触抵抗大 → 発熱 → 要改良

# 高周波源の構成と要検討項目

## ILC (DRFS)



## ERL



- 大電力高周波源  
クライストロン / IOT
- クライストロン電源
- 立体回路
- LLRF

# 大電力高周波源

		電力 [kW]	モード	種類	収束	$\mu$ パービアンス [A/V <sup>3/2</sup> ]	効率 [%]
(A)	LC	800	パルス	クライストロン	将来永久磁石	1.16	59
(B)	ERL	30	CW	IOT	電磁石	-	63
(C)	LC & ERL	30	CW	クライストロン	(A)と同じ 将来永久磁石	0.5	60

## 【課題】

- 高出力と低出力で効率を高くすること.  
→ 出力空洞の変更(アイリス追加 or 3stub)だけで可能か? 要検討.
- 永久磁石の使用. ←コスト, 耐放射線  
→ CW運転では偏磁に起因するビームロスが問題となる. 許容範囲か?  
要検討.

# 電源

構成 ILC:13クライストロン / 1電源  
ERL:1 IOT / 1電源

	電圧 [kV]	電流 [A]	電圧安定度 [%]
既存			
CW	35	1.6	0.3
CW	52	10	0.3
パルス	120	100	1
パルス	70	40	5
新規開発			
CW	25	2	0.05
パルス	70	20	1

- 電源が最も両立が難しい.
- パルスの電圧サグを低減するためにCW用よりも大きな充電コンデンサーを用いる.
- 試作が必須.

# 立体回路

	構成	サーキュレーターの必要性
(A)	LC 2空洞 / 1クライストロン	STF2で試験
(B)	ERL 1空洞 / 1 IOT	cERLで試験
(C)	LC&ERL 2空洞 / 1クライストロン	?

- サーキュレーターを省略できれば9億円の節約になる.
- マジックT, ダミーロード等の共用可能性の評価が必要.

# LLRF

	振幅・位相安定度 (rms)	構成
ILC	0.1 %, 0.1°	4空洞 / 1 FBシステム
ERL	0.01 %, 0.01°	1空洞 / 1 FBシステム

## 【課題】

- RFケーブルの温度補償.
- クライストロン入出力の非線形性への対応→ソフトウェア開発
- パルス運転における空洞の離調制御.
- RFモニター, インターロック系は共用可能性実証.

# クライオ

- スペースファクター, 運搬, 搬入の制約等を考慮すると, ~8空洞/クライオスタットが適当 (LC, ERLとも).
- LC+ERL合同加速器では, ILC仕様の8空洞/クライオスタット. 冷凍パワーは既存技術で実現可能.
- R&D: 減圧用排気装置からの油除去, 窒素循環装置, 冷却性能向上など
- コストダウンが課題



## STF 9セル連空洞の空洞損失

- R/Q : 1016  $\Omega$
- 空洞長さ : 1.035 m
- 加速電界 : **15 MV/m**
- 加速電圧 : **15.5 MV**
- Q値 :  $1 \times 10^{10}$
- 空洞損失 : **23.7 W (CW)**
- 8 空洞の全損失 : **190 W (CW)**



## STF全体の熱負荷

温度 [K]	冷却システム [W]	クライオモジュール [W]	合計 [W]
2	4	200*	204
4.5	55	60*	115
80	310	500	810

\*クライオモジュールの静的負荷を 10 W @ 2K, 60 W @ 4.5K と仮定

$$2\text{K} : 204 \text{ W} \rightarrow 204/0.6 = 340 \text{ L/h}$$

$$4.5\text{K} : 115 \text{ W} \rightarrow 115/3 = 39 \text{ L/h}$$

$$340 + 39 = 379 \text{ L/h}$$

TCF-200が2台で (500 L/h)、約30%の冷却能力余裕となる

# まとめ

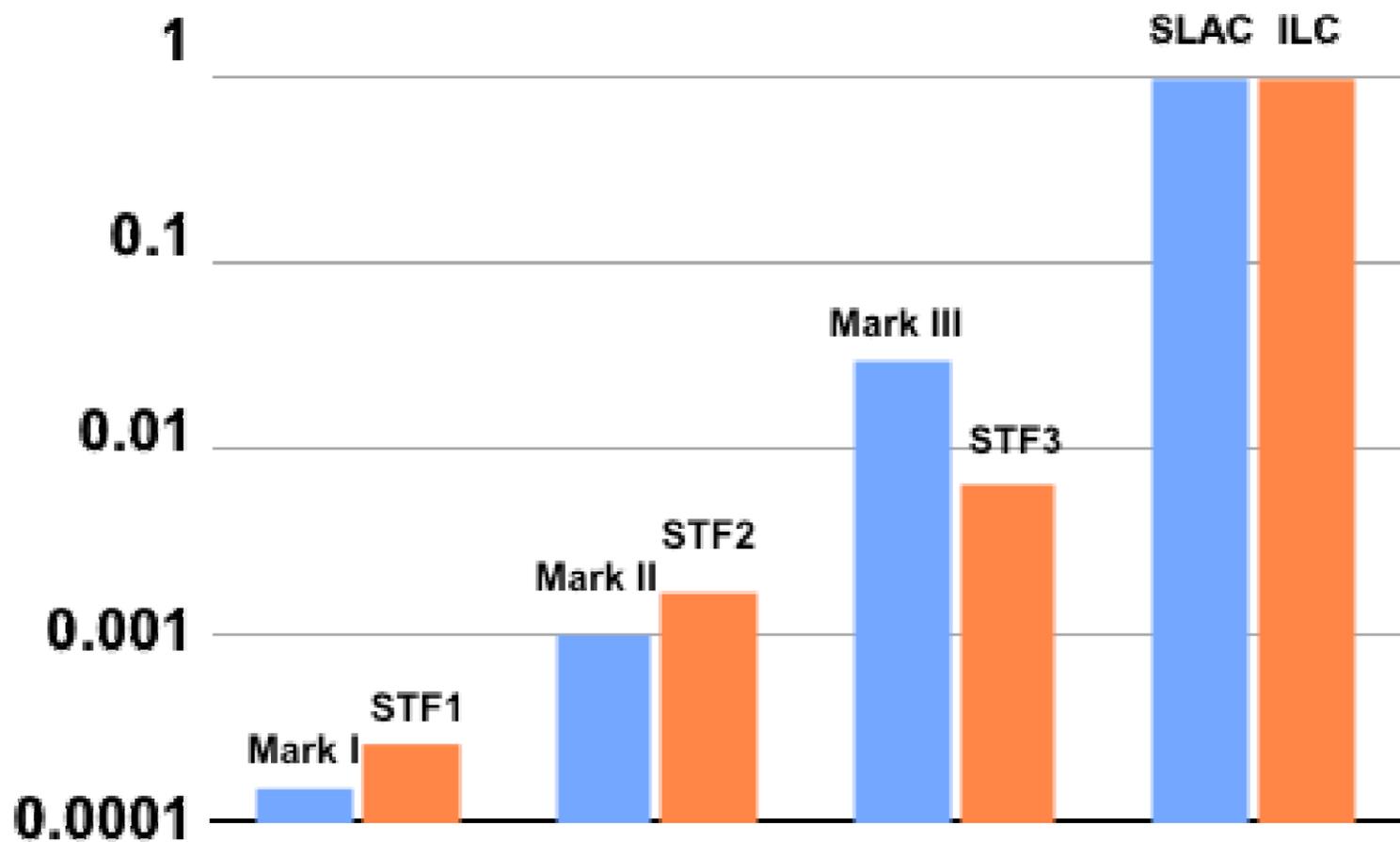
- ILCのR&DとERLの両立を目指す加速器の技術的検討を始めた.
- TESLA空洞でも, HOM周波数のrandomizationにより, BBU閾電流値に対し十分なマージンが取れる可能性がある.
- 入力カプラー, HOMカプラーの発熱対策が必要.
- RF源は, CWとパルスを兼用できるシステムを検討中.

# LC, ERLについての得失

	ERL	LC
pros	<ul style="list-style-type: none"><li>・支持層が増え<sup>?</sup>て予算を獲得しやすくなる</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・工業化実証 (2% 規模)</li><li>・人材育成</li></ul>
cons	<ul style="list-style-type: none"><li>・BBU発生閾電流値が下がる → <math>\Delta f_{\text{HOM}} \sim 10\text{MHz}</math>で回避可 (?)</li><li>・CW, パルス兼用機器の開発が必要</li></ul>	-

LC groupにとっての位置づけ: LHC, CLICの動向は不明  
→ 保険

実機と試験機のエネルギー比



おわり