# ERL計画及びcERLの現状




河田　洋
ERL 計画推進室, KEK

2013年6月1日　放射光光源将来計画討論会

# ERL Collaboration Team

**High Energy Accelerator Research Organization (KEK)**
S. Adachi, M. Akemoto, T. Aoto, D. Arakawa, S. Asaoka, K. Endo, A. Enomoto, S. Fukuda, K. Furukawa, T. Furuya, K. Haga, K. Hara, K. Harada, T. Honda, Y. Honda, H. Honma, T. Honma, K. Hosoyama, M. Isawa, E. Kako, Y. Kamiya, H. Katagiri, H. Kawata, Y. Kobayashi, Y. Kojima, T. Kume, T. Matsumoto, H. Matsumura, S. Michizono, T. Mitsuhashi, T. Miura, T. Miyajima, H. Miyauchi, N. Nakamura, S. Nagahashi, H. Nakai, H. Nakajima, E. Nakamura, K. Nakanishi, K. Nakao, T. Nogami, S. Noguchi, S. Nozawa, T. Obina, S. Ohsawa, T. Ozaki, H. Sagehashi, H. Sakai, S. Sakanaka, H. Sasaki, S. Sasaki, Y. Sato, K. Satoh, M. Satoh, T. Shidara, K. Shinoe, M. Shimada, T. Shioya, T. Shishido, T. Takahashi, R. Takai, T. Takenaka, Y. Tanimoto, M. Tobiyama, K. Tsuchiya, T. Uchiyama, A. Ueda, K. Umemori, K. Watanabe, M. Yamamoto, Y. Yamamoto, S. Yamamoto, Y. Yano, M. Yoshida

**Japan Atomic Energy Agency (JAEA)**
R. Hajima, R. Nagai, N. Nishimori, M. Sawamura, T. Shizuma, S. Matsuba

**Institute for Solid State Physics (ISSP), University of Tokyo**
I. Ito, H. Kudoh, T. Shibuya, H. Takaki

**UVSOR, Institute for Molecular Science**
M. Katoh, M. Adachi

**Hiroshima University**
M. Kuriki, H. Iijima

**Nagoya University**
Y. Takeda, Xiuguang Jin, T. Nakanishi, M. Kuwahara, T. Ujihara, M. Okumi

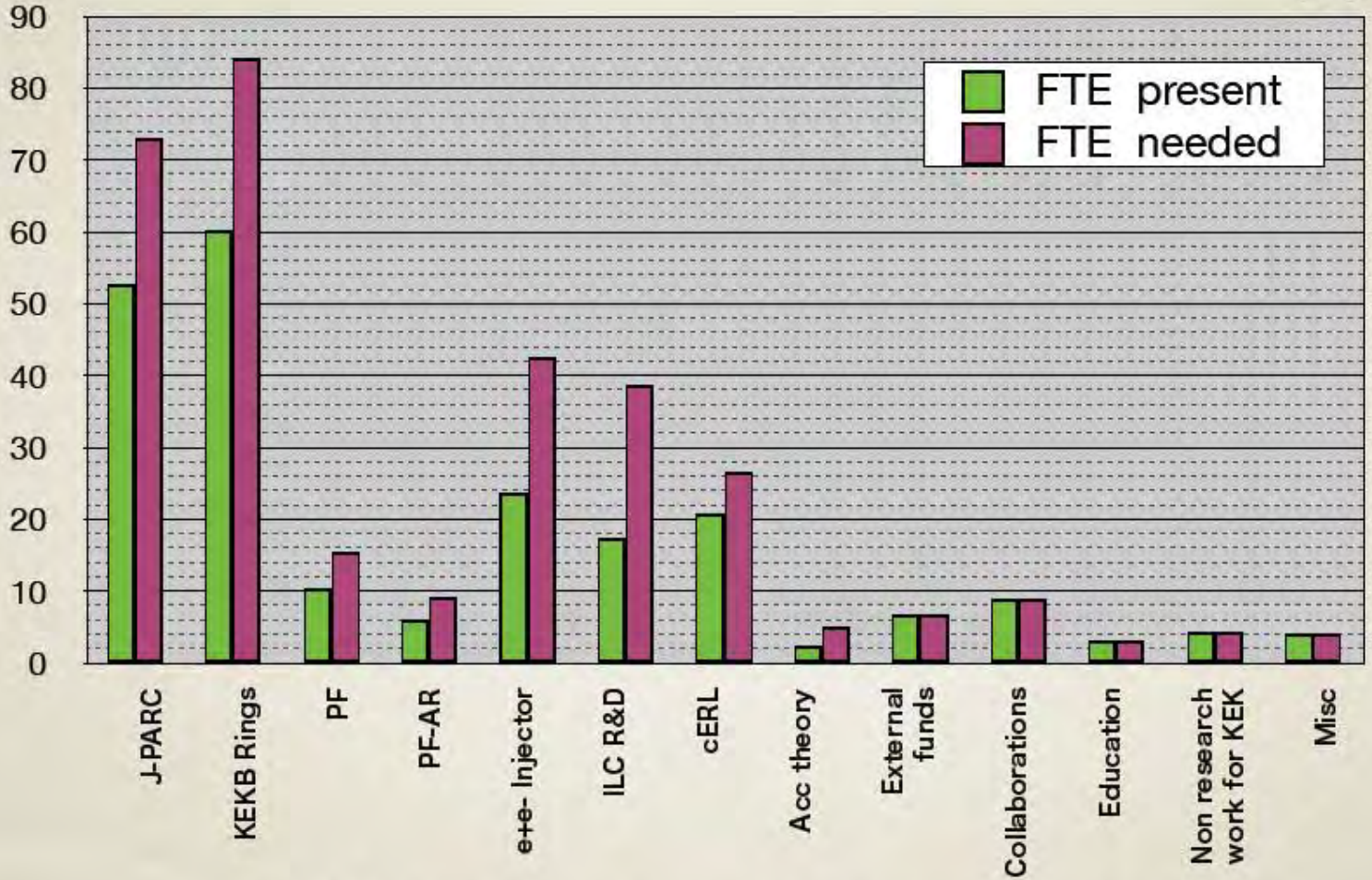
**National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)**
D. Yoshitomi, K. Torizuka

**JASRI/SPring-8**
H. Hanaki

**Yamaguchi University**
H. Kurisu

# Human Resources in the Acc Lab

as of Dec. 2012




FTE total: 220 present, 321 needed.

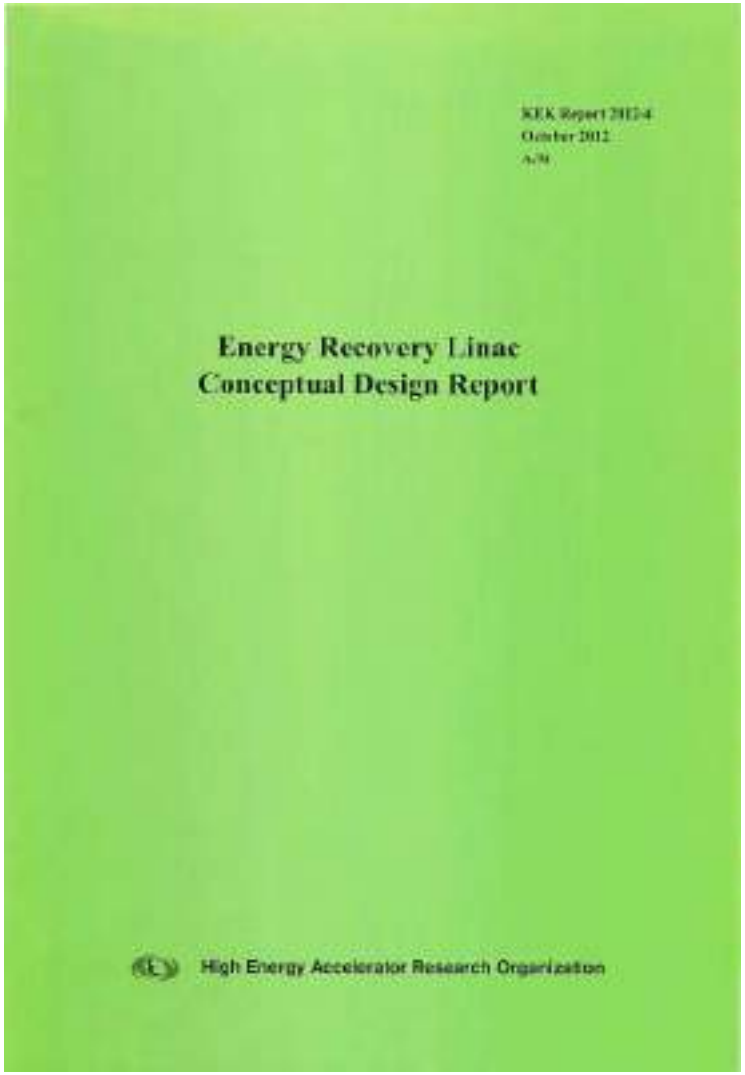
生出施設長資料：5th/April/2013 KEKロードマップ評会委員会

# KEKロードマップ
## フォトンサイエンス（放射光科学）部分

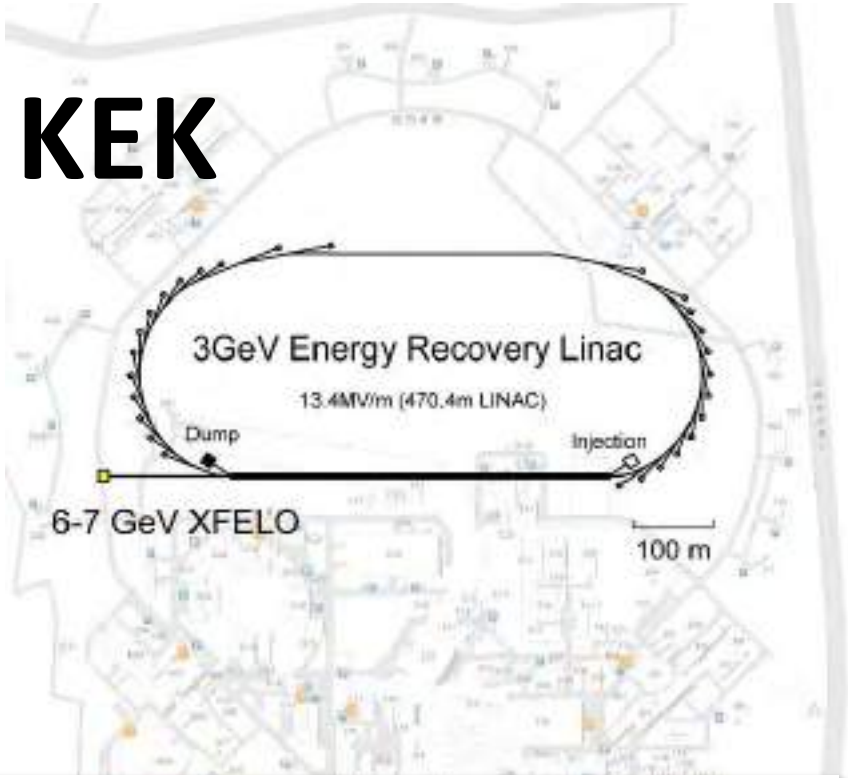
1．PFおよびPF-ARを高性能化・高効率化することで放射光科学の推進を継続するとともに、

2．コンパクトERLによりERLの加速器技術を実証する。これによりERLが新たな研究分野を開拓する光源であることを示して、3 GeV ERL建設開始を目指す。

3．さらに、日本全体の放射光科学の発展に対して先導的な役割を果たす。



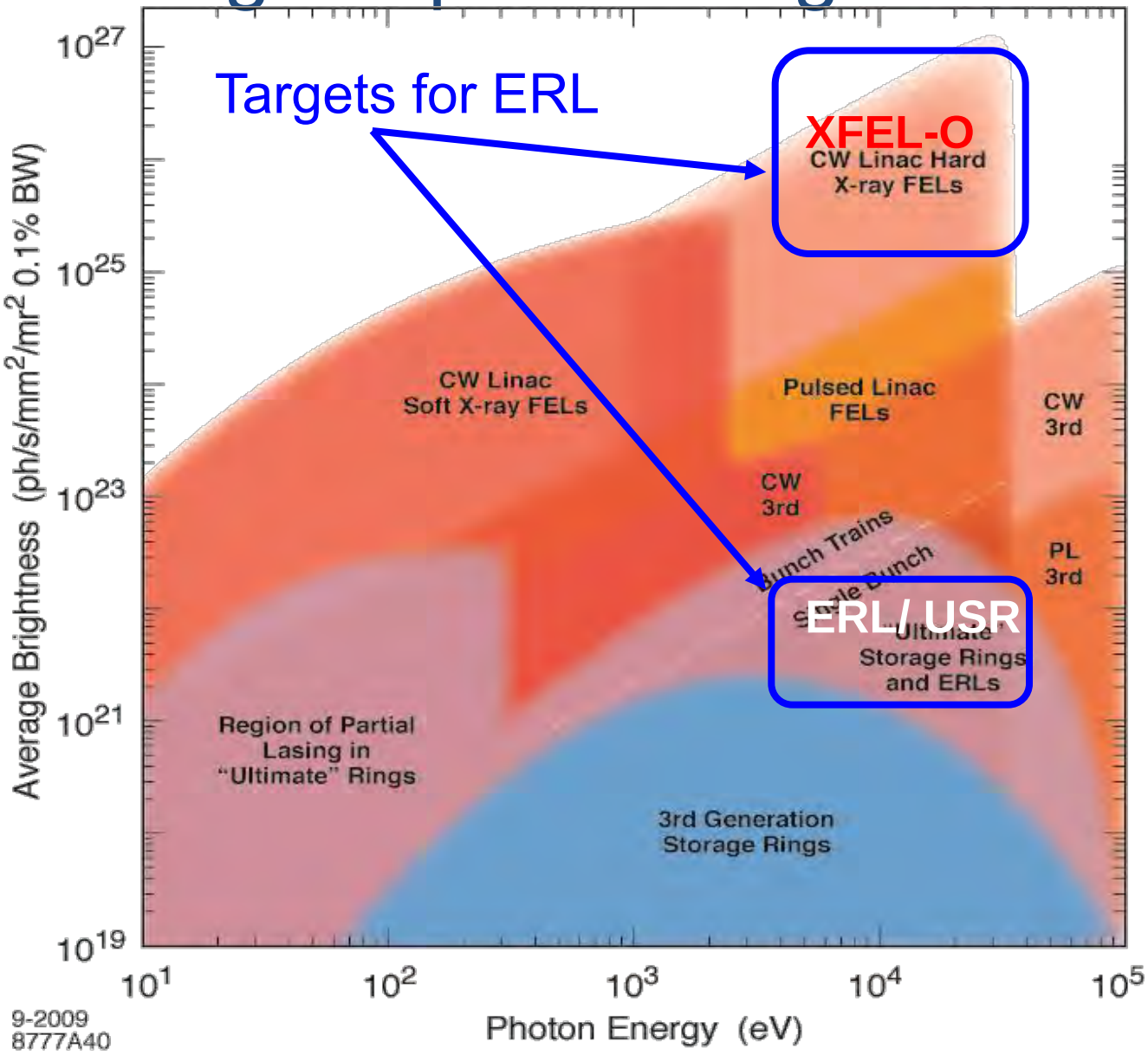

# KEK




- Beam energy
  - Full energy: 3 GeV
  - Injection and dump :10 MeV
- Geometry
  - Linac length : 470 m
- Straight sections for ID's
  - 22 x 6 m short straight
  - 6 x 30 m long straight

http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/detabase/ERL_CDR_full_text.pdf
KEK Report 2012-4

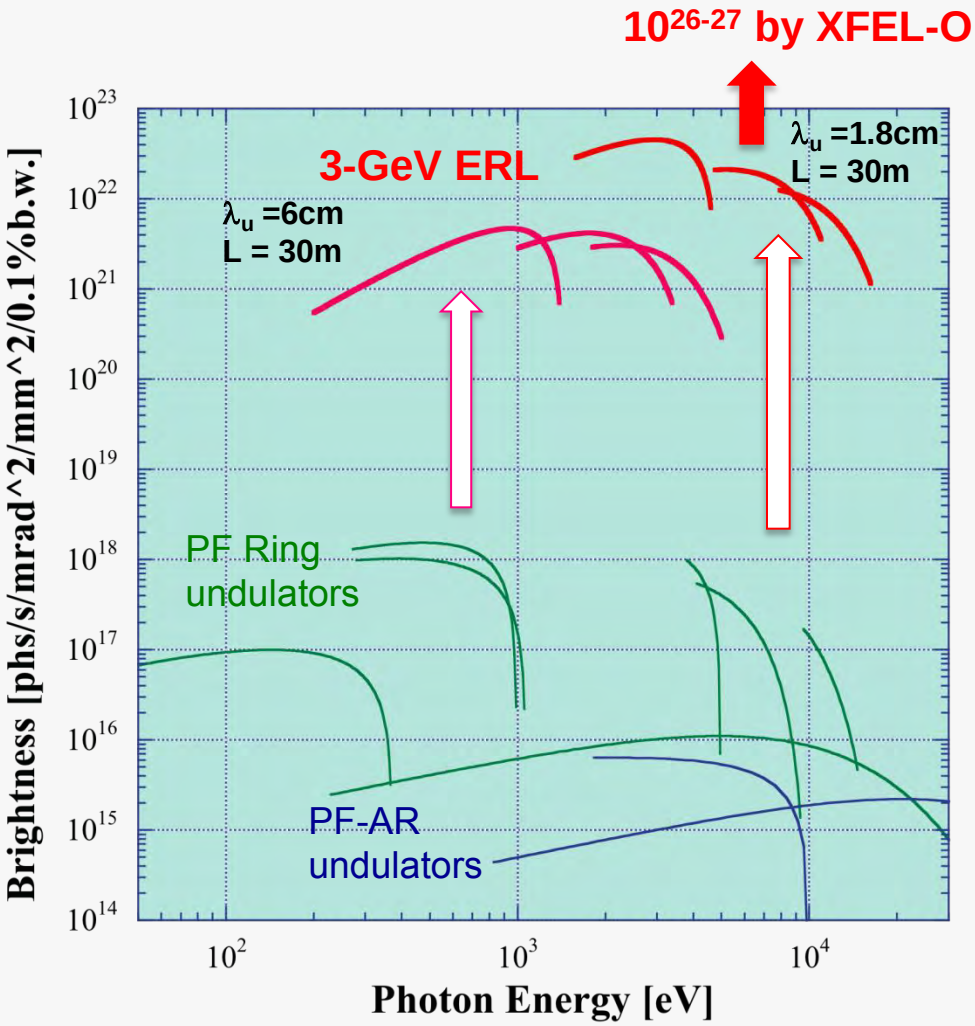
# Target: spectral brightness



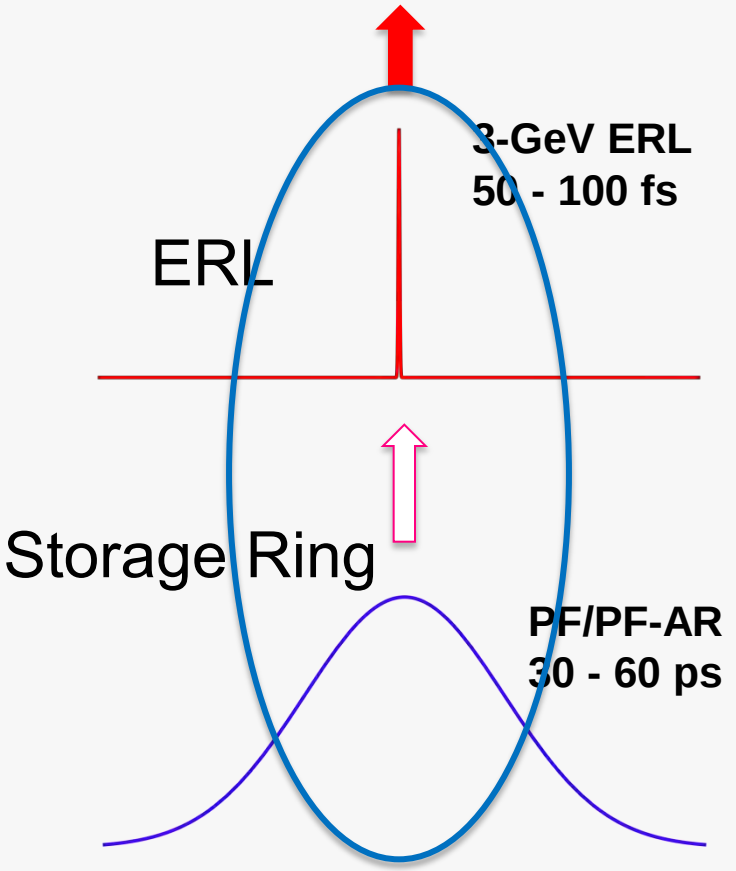

Figures are cited from: R. Hettel, "Performance Metrics of Future Light 13 Sources", FLS2010, SLAC, March 1, 2010.

# Light Source Performance

## Spectral Brightness




## SR Pulse length




Calculated by K. Tsuchiya

# International Advisary Committee for 3GeV ERL project



Date: 2-3, July, 2012
Place: KEK
Committee members:

| | |
|---|---|
| Ingolf Lindau (Chair) | Stanford Univ. |
| Thomas Tschentscher | Euro XFEL |
| Kwang-Je Kim | APS |
| Zhao, Zhentang | SSRF |
| Jun-ichiro Mizuki | Kwansei Gakuin Univ. |
| Masahiro Kato | UVSOR |
| Alfred Baron | Riken |

http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/detabase/ERL_AC/ERL_iac3gev/index.html

Question 1 – Are the scope and strategies of the 3GeV-ERL project including the further upgrade of XFEL-O satisfactory as the future light source in KEK?

3GeV-ERL+XFEL-Oの組み合わせた次世代放射光源は、他のhigh-gain FELとultimateストレージリングと相補的な性能を有しており、今までにできなかった新しいサイエンスを切り開く。したがって、**KEKの次期光源計画として論理的に最もふさわしい候補である**。

Question 2 – The Science Case for the 3GeV-ERL project.

A. Is the scope of the science case of the 3GeV-ERL reasonable and also satisfactory?

B. Is the effort to brush up the science case enough?

C. Further recommendation for this item

**委員会は委員会で紹介があった3GeV-ERLサイエンスケースやCDRに記述されているサイエンスに関して、新しいサイエンスがERLで生み出されることを確信した。**そしてさらなるサイエンスケースの発掘のためのワークショップを開催していくことを勧める。またEEHGの技術的可能性とそのサイエンスに関しても進めて行くことを勧める。

Question 3 – Development for accelerator technologies

A. Is the technical development for the accelerator components for the cERL sufficient?

B. Is there anything to check the technical problem in cERL before construction of the 3GeV-ERL?

**コンパクトERLの進展に強い印象を受けた。個々の要素技術に関して進展しており、2012年度末にビームを出すことは問題ない。**cERLの建設、運転することによって、多くの加速器要素は確認され3GeV-ERLの建設に必要となるものが確立する。ただし、ビームの安定化に関してさらなる技術開発が必要である。

Question 4 – Construction of 3GeV-ERL

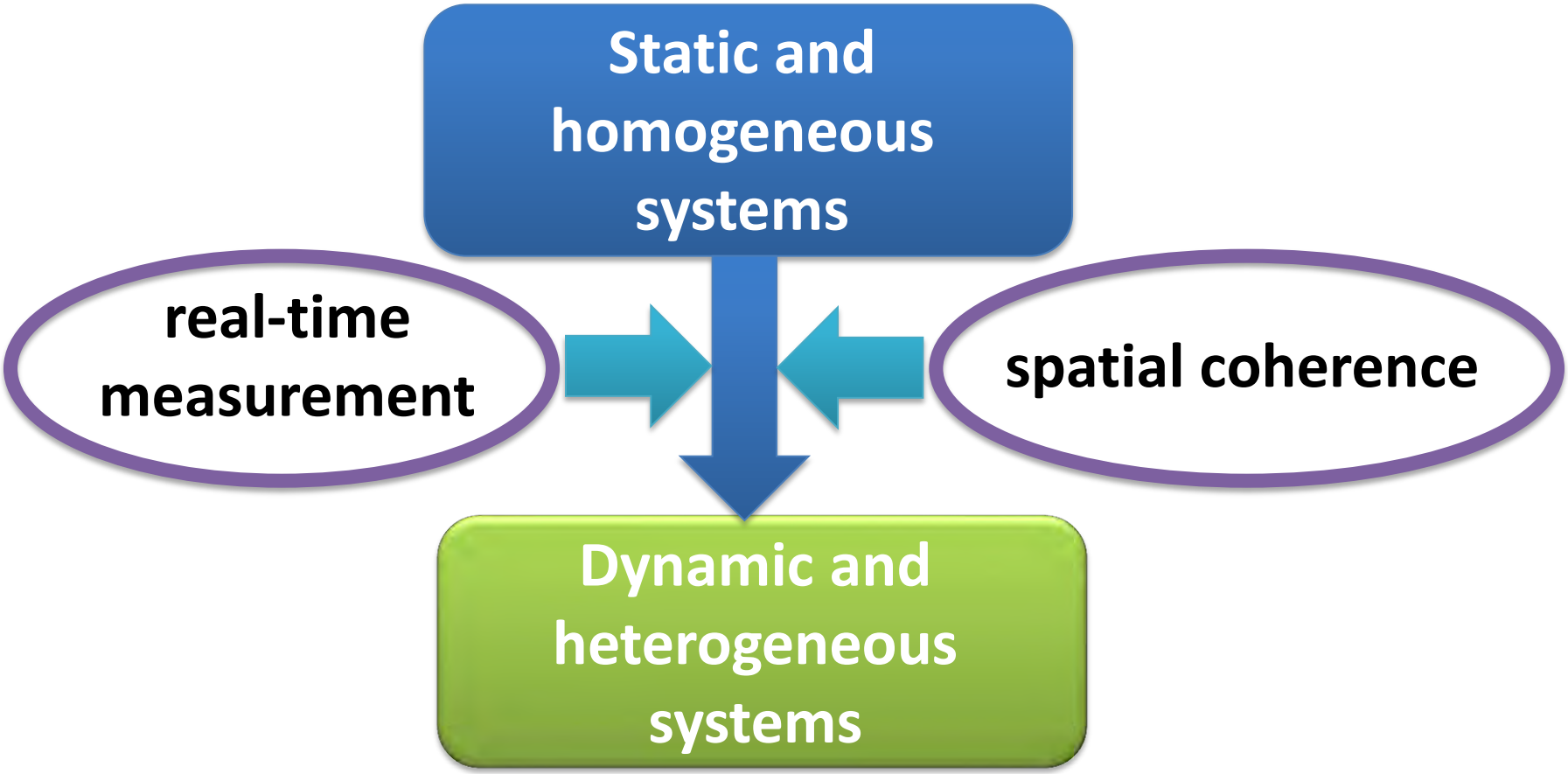
A. Is the construction of the 3GeV.ERL feasible under the R&D planning of accelerator development?

B. Further recommendations for this item.

**2012年から運転するcERL経験を生かして2014年度の3GeV-ERLの設計をまとめるという提案を支持する。**その設計を外部の評価委員を含めて進めて行くことを勧める。今後行うべきリストが提示されているが、その具体的な予算、マンパワーを含めた計画案を作成することを勧める。また電子銃の開発に関しては、本計画建設と並行して長期に開発を進めるという手順を支持する**。2021年に3GeV-ERLの建設を終了するという計画は、それに必要はリソースの投入が行われれば十分に可能である。**

# Strategy for new light sources

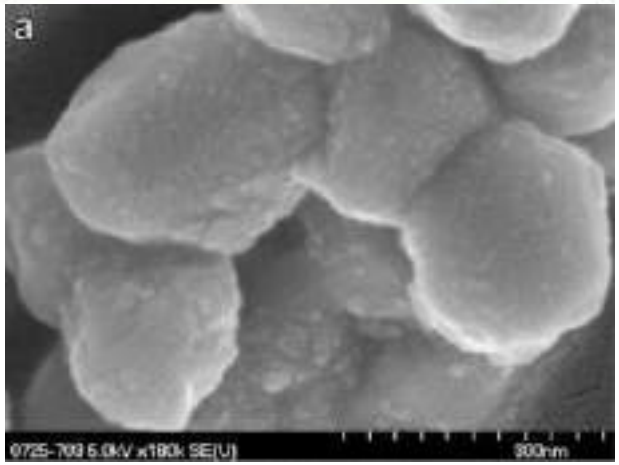
## Our Goals: Characterizing heterogeneous and functional materials in action at nano-scale



物質科学
エネルギー
環境問題

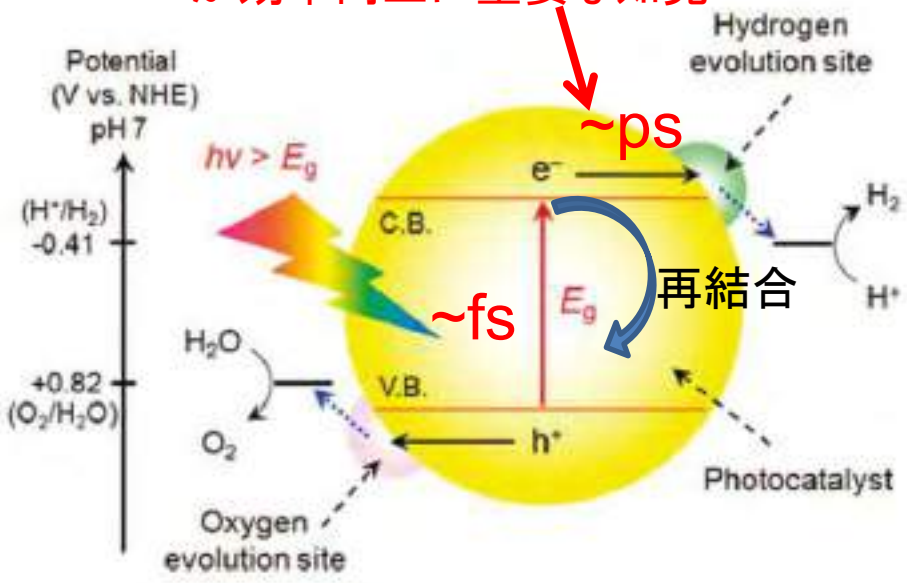
# 人工光合成を目指した光触媒反応機構の解明



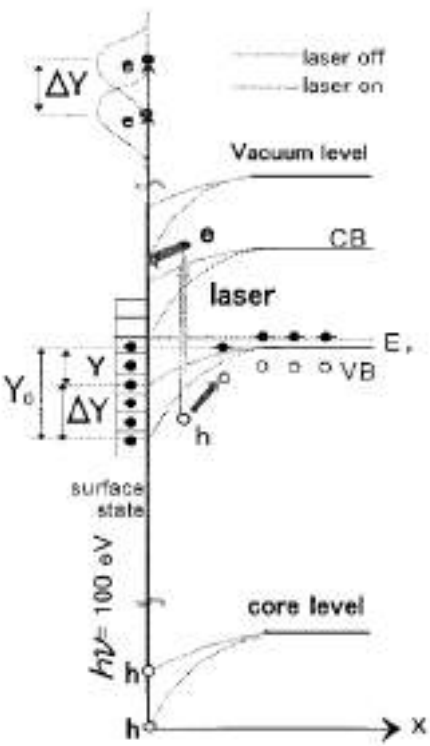

Maeda K. et al. (2006) *Nature* **440**, 295

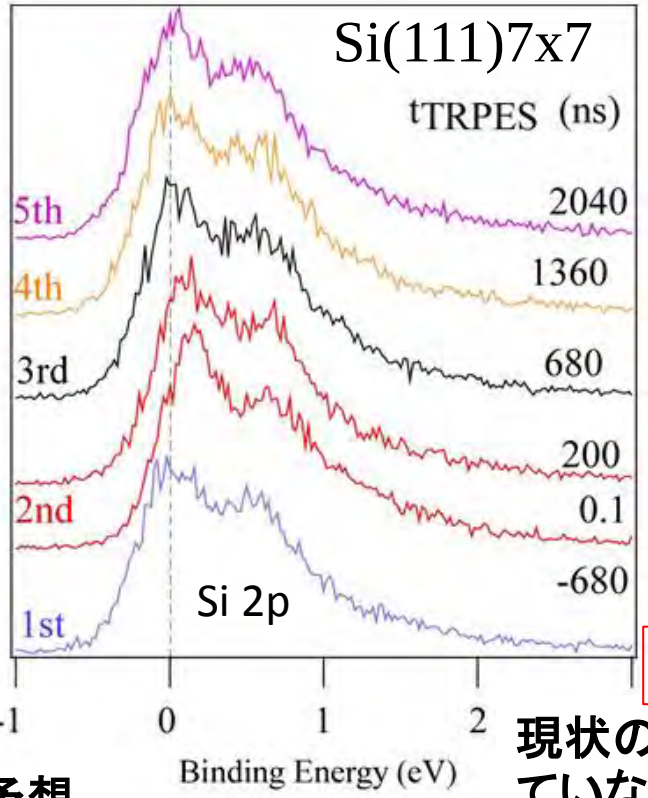
キャリアの移動を観測すること
が効率向上に重要な知見



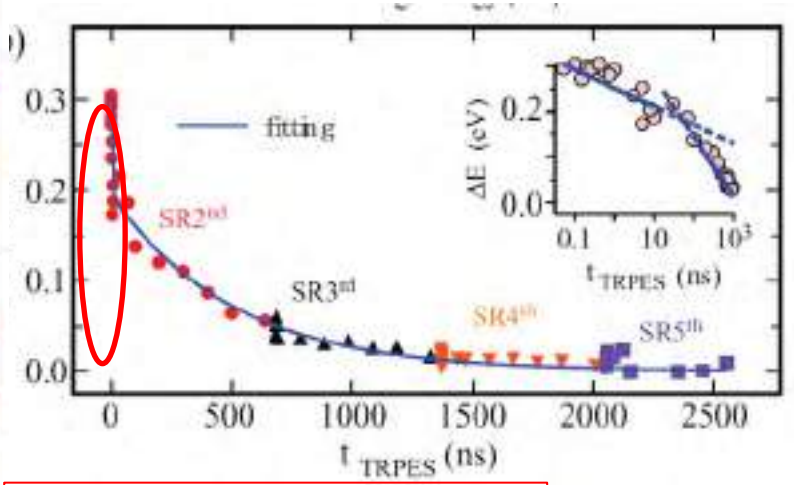

Maeda, K. and Domen K. (2010)
*J. Phys. Chem. Lett*. **1**, 2655.

# 半導体表面のバンド構造とキャリアダイナミクスの追跡




M. Ogawa, S. Yamamoto *et al.*,
Rev. Sci. Instrum. **83**, 023109 (2012).




初期のキャリア移動は？

**キャリア移動に伴う予想されるバンド構造変化**

**現状の光源では緩和課程だけしか捉えられていない**

**初期のキャリアダイナミクスを捉える事はERLの重要なテーマ**

松田　巌氏（東大）発表資料より抜粋　第2回ERLシンポジウム

# 時間コヒーレンスの向上

- 物性変数の時間発展を、光の位相情報を用いて検出する

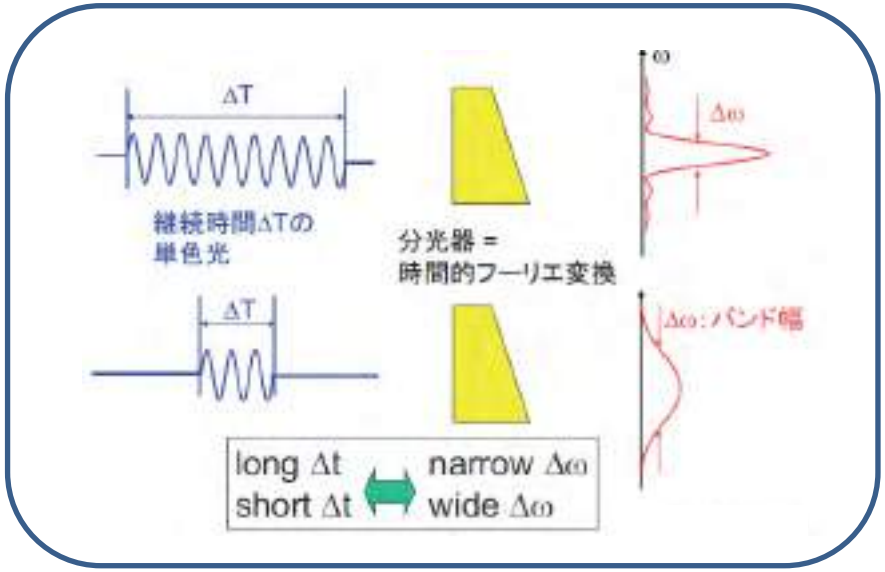
ERL + XFEL-O光源



光のフーリエ限界

$$\Delta\omega\Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

Storage Ring:
ΔT ~**100ps**, Δω ~**μeV**
ERL:
ΔT ~**0.1-1ps**, Δω ~1-10**meV**



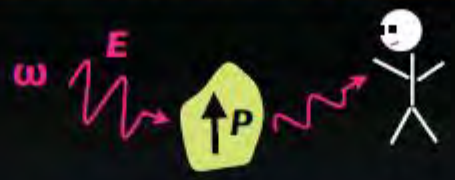

放射光基礎講習会資料（抜粋）

- XFEL-Oではシングルモードの X線
- ERLでも、ビームライン分光器で1-10meV程度に分光すれば、シングルモードの軟・硬X線

↓

**非線形現象や多光子過程の現象に即した物質科学の新展開**

# Linear & nonlinear optical processes




$$P = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 + \chi^{(3)}E^3 + \cdots$$

Linear process:

- Bragg reflection ← $\mathrm{Re}[\chi^{(1)}_{\mathbf{Q}}]$
  - *Structural analysis*
  - *Optical elements (mono.)*
- Refraction ← $\sim\mathrm{Re}[\chi^{(1)}(\mathrm{r})]$
  - *Imaging*
  - *Optical elements (mirror)*
- Absorption ← $\sim\mathrm{Im}[\chi^{(1)}(\mathrm{r})]$
  - *Imaging*
  - *XAFS*

Nonlinear process:

- Parametric down-conversion ← $\chi^{(2)}_{\mathbf{Q}}$
- Sum & difference frequency generation ← $\chi^{(2)}_{\mathbf{Q}}$
- Second harmonic generation ← $\chi^{(2)}_{\mathbf{Q}}$
- Two photon absorption ← $\mathrm{Im}[\chi^{(3)}]$
- Electromagnetically induced transparency
- Coherent Raman scattering

玉作賢治　放射光将来光源サイエンス若手シンポジウム資料　2012/8/8

# cERLの現状

- 2006年４月にERL計画推進室設置
- ERL加速器技術開発基地としてcERL建設を検討
  → 2008年２月にcERLのCDRを作成

http://www-lib.kek.jp/cgi-bin/kiss_prepri.v8?KN=200724007&OF=8.

- 2008年度補正予算でERL開発棟の整備
- 機構予算で超伝導空洞のクライオモジュール作成を、また補正予算で第２電子銃開発開始。
- 2010年４月:「ERL評価専門委員会」で2012年度末にcERLの電子ビーム運転を目標と設定。
  http://pfwww.kek.jp/ERLoffice/erl_hyouka/index.html
- 2013年４月のcERLの入射部電子ビーム評価運転を開始。 5月23日に放射線施設検査に合格。

  http://imss.kek.jp/news/2013/topics/0528cERL/index.html

# コンパクトERLの概要

## cERLの目的

- ERL光源実機に向けて、高輝度光発生に必要な低エミッタンスかつ大電流の電子ビームの生成、加速、周回の実証
- ERLコンポーネント（電子銃, 超伝導空洞）の安定な運転の実現
- 第1目標：規格化エミッタンス1mm·mrad @7.7pC/bunch (10mA), 35 MeV

**cERLパラメータ**

| パラメータ | 値 |
|---|---|
| ビームエネルギー | 35 MeV<br>125 MeV (空洞増強)<br>245 MeV (2ループ) |
| 入射エネルギー | 5 MeV (10 MeV) |
| 平均電流 | 10 mA (100 mA ) |
| 規格化エミッタンス<br>（バンチ電荷） | 0.3 mm·mrad (7.7 pC)<br>1 mm·mrad (77 pC) |
| バンチ長(rms) | 1 - 3 ps<br>< 150 fs (バンチ圧縮) |
| 加速勾配（主空洞） | 15 MV/m |
| RF周波数 | 1.3 GHz |




cERL建設場所@KEK



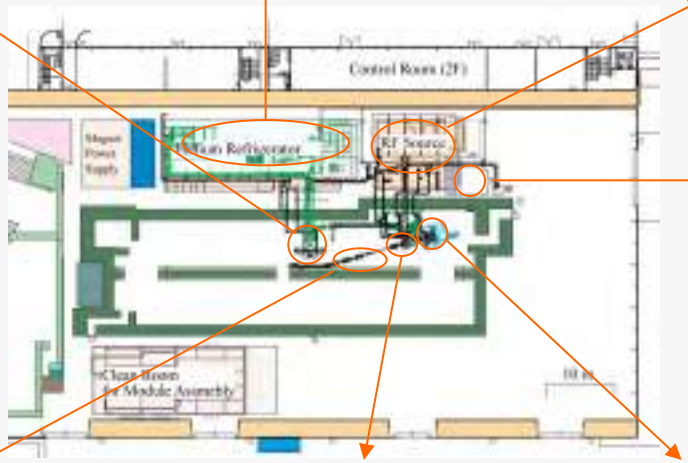
# cERLの現状　2013年4月現在


主加速空洞モジュール


ヘリウム冷凍機システム


RF源


cERL加速器室





電子銃ドライブレーザー


入射器診断ライン


入射器空洞モジュール


光陰極DC電子銃

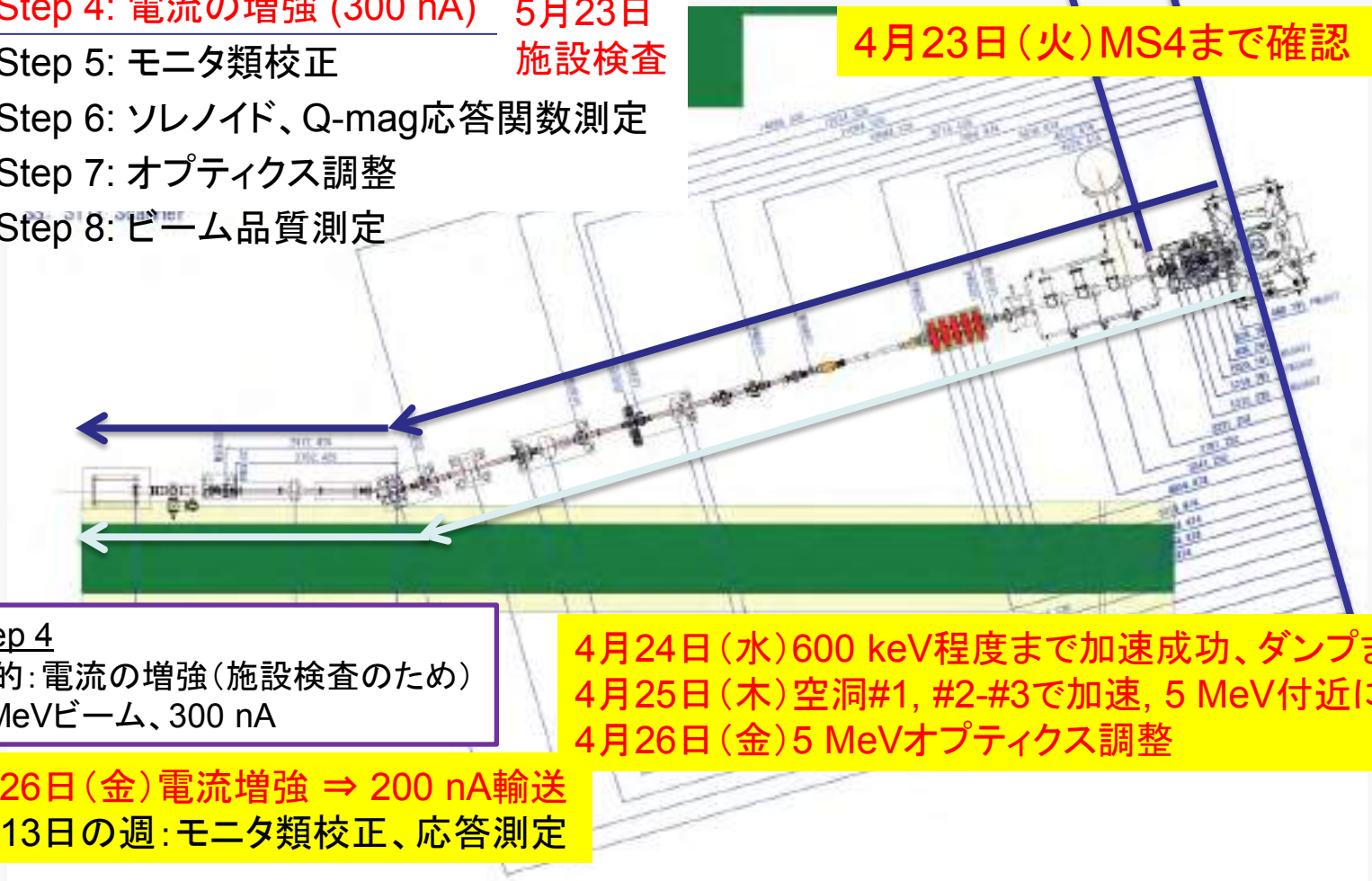
# ４月からの入射部コミッショニングの流れ

- Step 1: Gunから入射器入口までの区間
- Step 2: 390 keVビームのダンプまでの輸送
- Step 3: RF空洞の位相調整
- Step 4: 電流の増強 (300 nA)
- Step 5: モニタ類校正
- Step 6: ソレノイド、Q-mag応答関数測定
- Step 7: オプティクス調整
- Step 8: ビーム品質測定

5月23日
施設検査

Step1:　4月22日（月）完了

4月23日（火）MS4まで確認



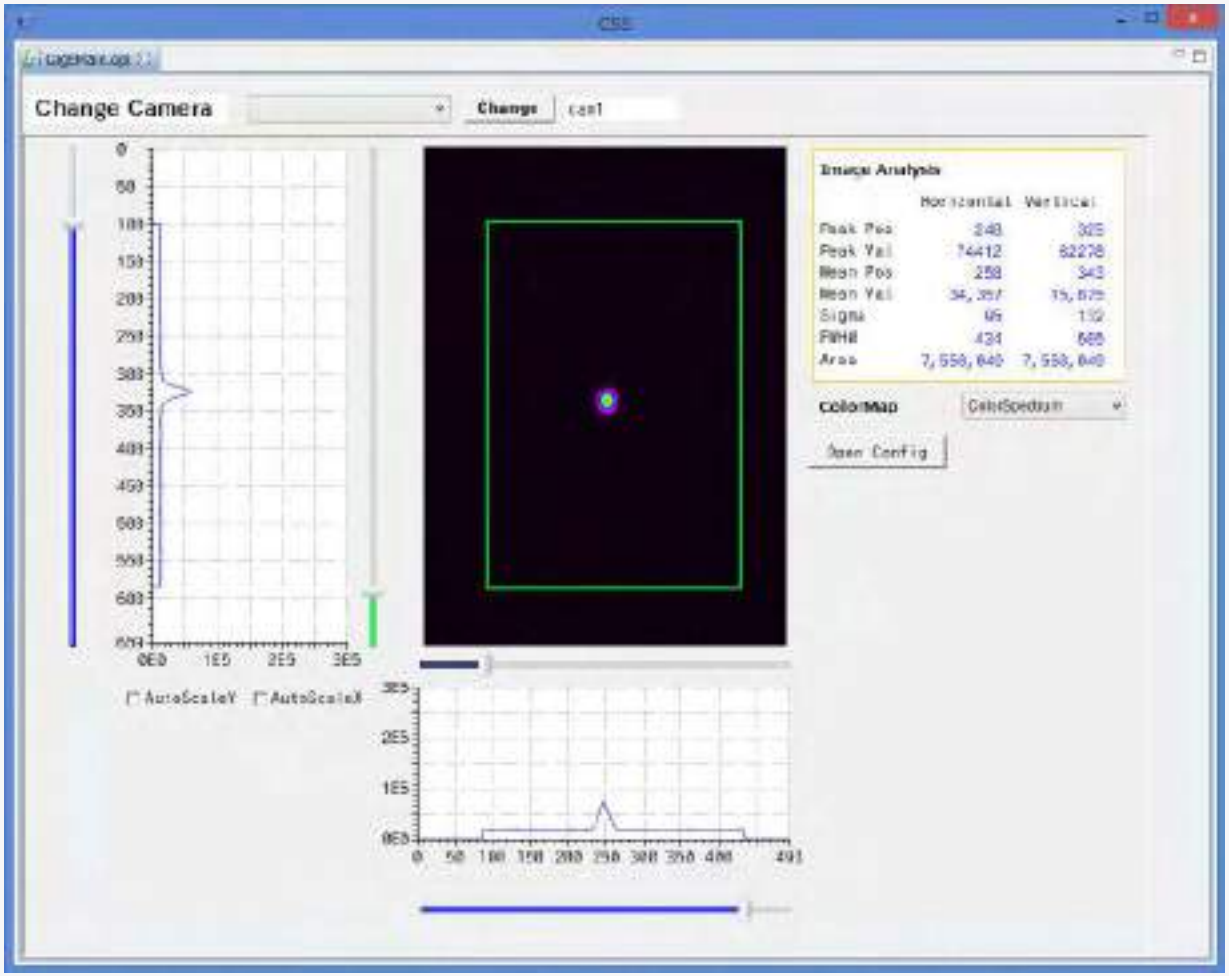
Step 4
目的：電流の増強（施設検査のため）
5 MeVビーム、300 nA

4月24日（水）600 keV程度まで加速成功、ダンプまで輸送
4月25日（木）空洞#1, #2-#3で加速, 5 MeV付近に到達
4月26日（金）5 MeVオプティクス調整

4月26日（金）電流増強 ⇒ 200 nA輸送
5月13日の週：モニタ類校正、応答測定

# 電子銃からのビームをスクリーンMS1, MS2で観測　4/22

- 電子銃電圧：400 kV
- ビーム運動エネルギー：390 keV
- ビーム電流 ：およそ150 pA（パルスモード：パルス幅 1 us、繰り返し5 Hz、マクロパルス当たりの電荷 約30 pC、パルス当たりのバンチ数 約1300）



# Long pulse (1.6 ms)で約4.8 MeV, 約200 nAを達成　4/26

スクリーンは低電流で観測
ダンプ電流は大電流でも観測

MS7
ダンプ手前

MS6
B-magの前

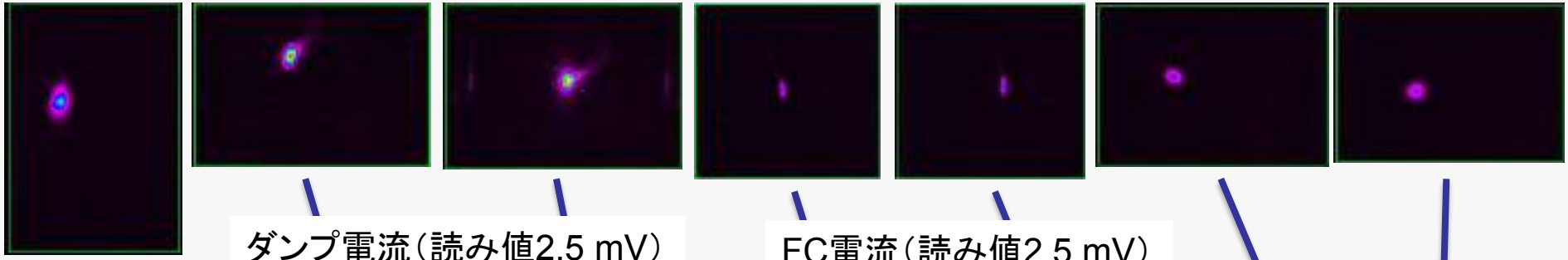
MS5
FCで電流測定

MS4
診断部入口

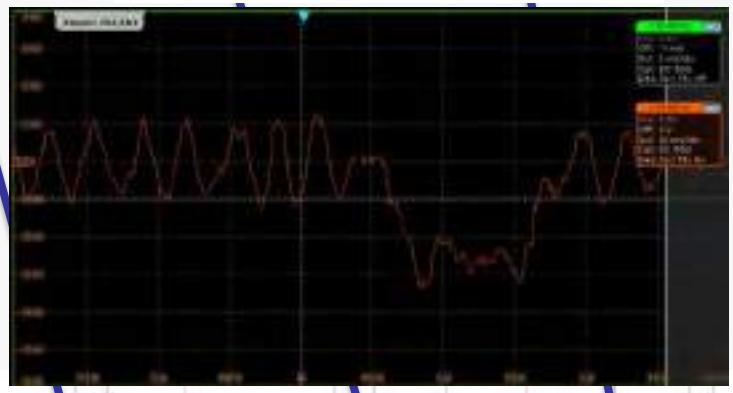
MS3
加速後

MS2
空洞直前

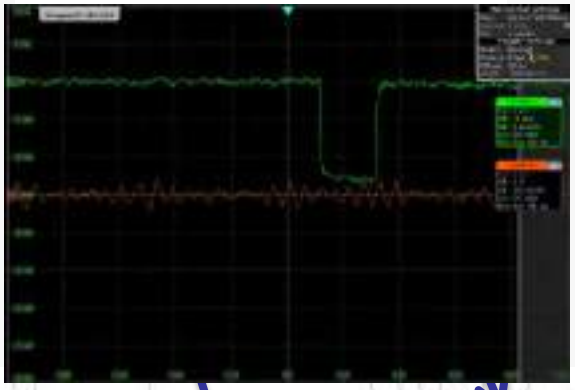
MS1
電子銃後

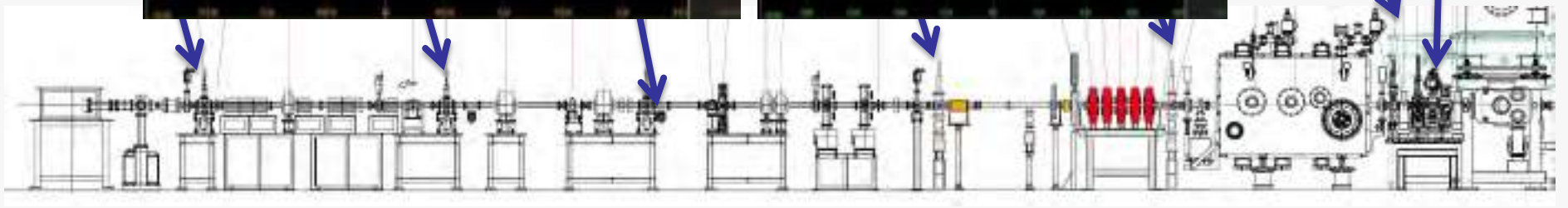


ダンプ電流（読み値2.5 mV）



FC電流（読み値2.5 mV）





# コミッショニング中の様子（@ERL開発棟2階制御室）


2013/4/23


2013/4/24


2013/4/25


2013/4/25 ビームの加速成功を祝う

# 放射線施設検査合格と今後のコミッショニング

- 5/23に放射線施設検査に合格　(5.4MeV, 300nA) http://imss.kek.jp/news/2013/topics/0528cERL/index.html
- シールド外の放射線レベルはバックグラウンドレベル
- 今後、以下の項目をスタディーする。

1）機器の性能試験

電子銃、空洞、冷凍機、電磁石、モニター、コリメータ等の評価

2）ビーム調整法の確立

3）ビーム品質の測定

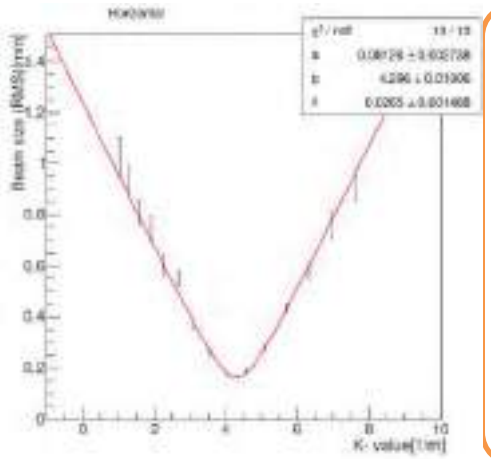
エミッタンス、バンチ長、エネルギー拡がりの評価

# 微小電荷でのエミッタンス測定(preliminary results)

- 微小バンチ電荷（10 fC/bunch程度）でのエミッタンス測定を実施
- 空間電荷効果が効かないので、純粋に輸送路でのエミッタンス増大を評価可能

電子銃下流でのエミッタンス(390 keV)
Solenoid-scan法で測定

17pmrad @ 3GeV

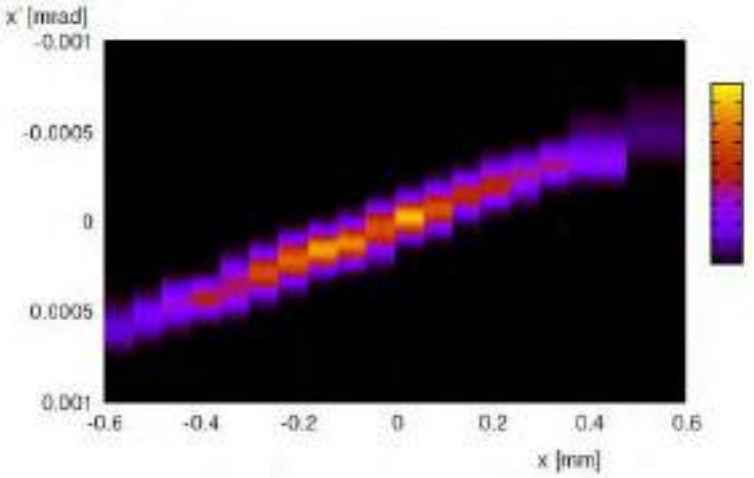


カソードの初期エミッタンス
カソード材質：GaAs
kT = 120 meV
d = 0.8 mm

$$\varepsilon_n = \frac{d}{4}\sqrt{\frac{kT}{mc^2}}$$

$$= 0.097 \text{ mm mrad}$$

超伝導空洞での加速後(5.6 MeV)
Q-scan法、slit-scan法で測定
**規格化エミッタンス：0.195 mm mrad**



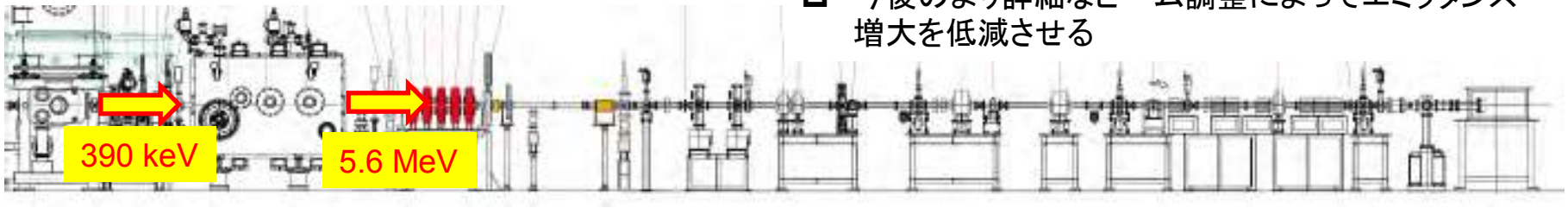

- カソードによって決まる初期エミッタンスと同程度であることが確認された

⇒輸送路でのエミッタンス増大は極めて小さい

- 詳細調整前でも加速後のエミッタンス増大は0.1 mm mrad 程度と小さく抑えられている

⇒輸送路に大きな問題なし

- 今後のより詳細なビーム調整によってエミッタンス増大を低減させる



# 2013年度でのcERLの展開

ERL開発棟





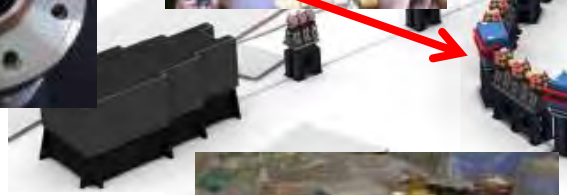












4-6月:入射部立ち上げ調整運転
（順調に進行）

- 7月~10月から周回部を建設・11月頃から周回ビーム調整運転を開始。今年度中に周回運転の施設検査に合格し、ビーム調整運転を行う。

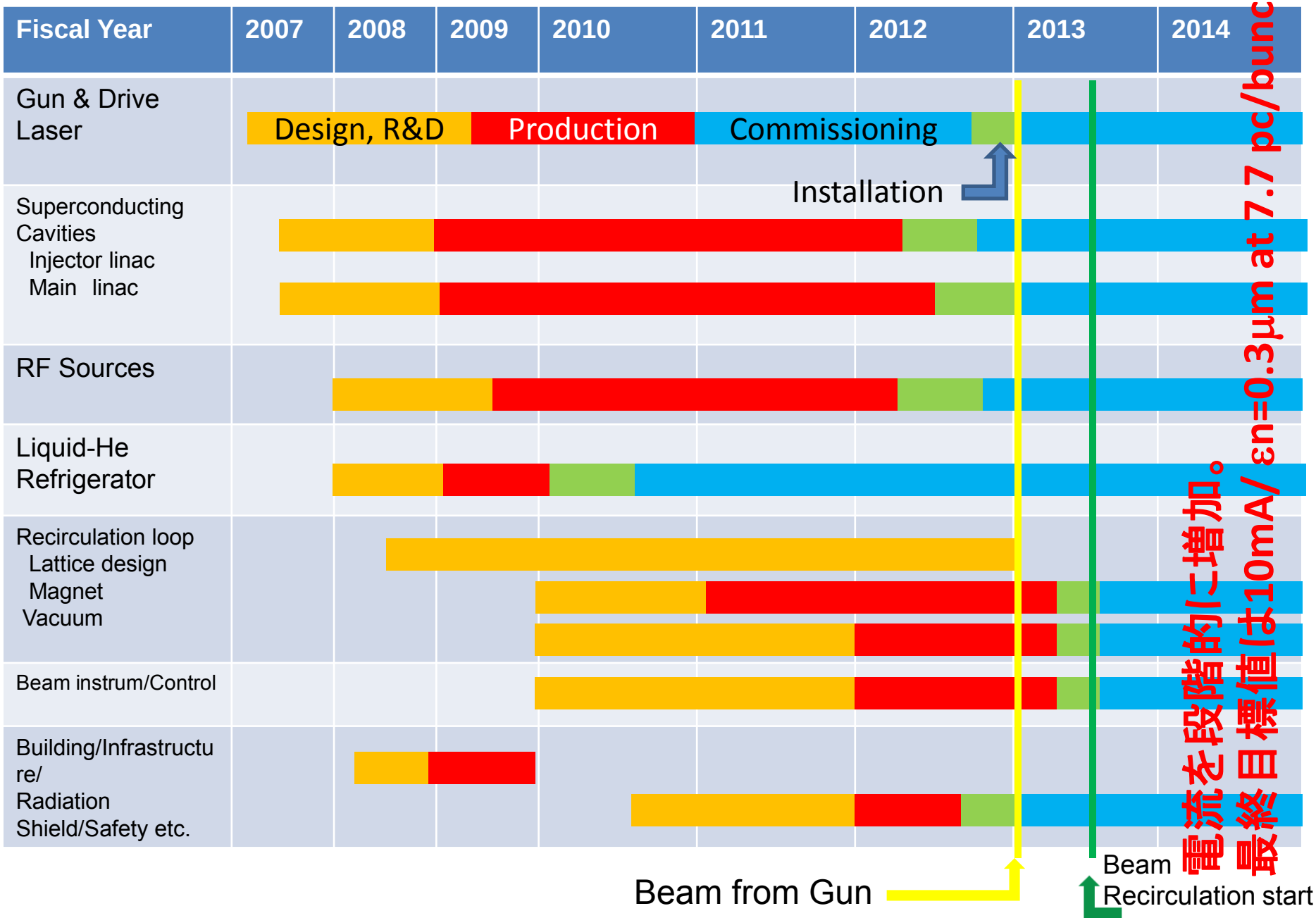
真空・モニター関連装置製作、設置



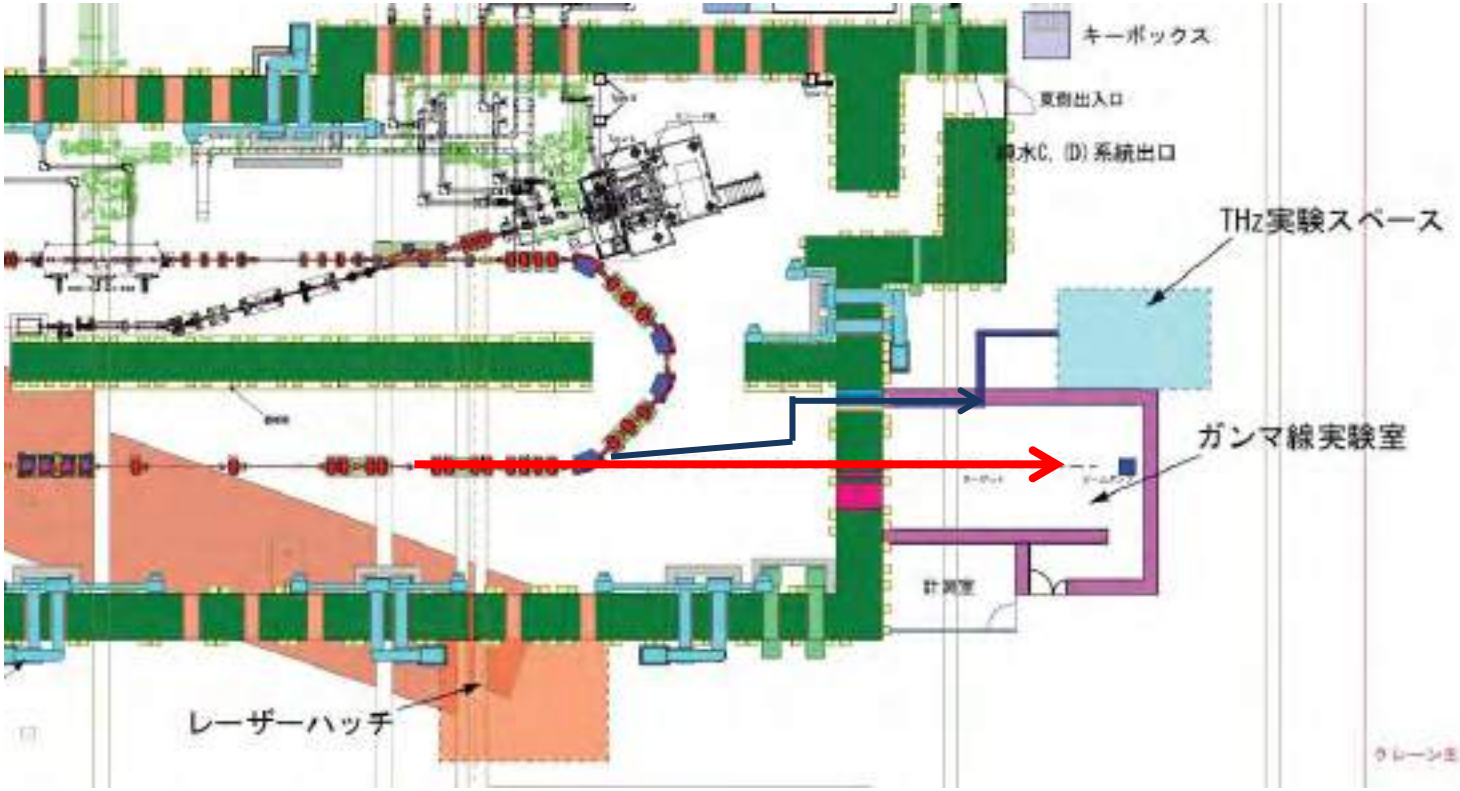


周回部電磁石設置

# コンパクトERLの建設スケジュール



# コンパクトERLの利用実験
## テラヘルツとレーザー逆コンプトンX線




### レーザーコンプトンX線ビームライン

電子ビームとレーザー光の衝突によるX線発生
核燃料評価のR＆D（JAEA）
共振器によるLCSを用いた高flux光源
- 広視野と共振器による高fluxイメージング

90度衝突LCS散乱を利用したフェムト秒光源
- 100fs準単色光を用いた時間分解X線実験

### テラヘルツ光ビームライン

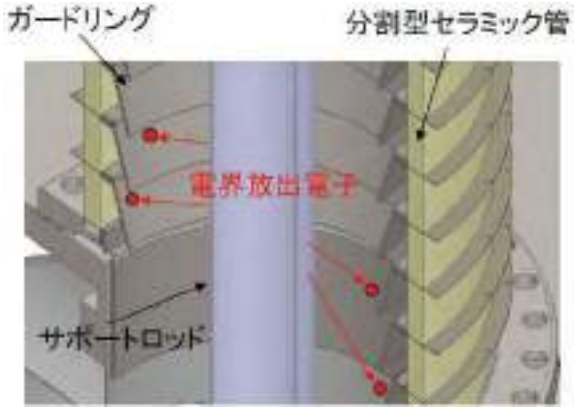
CSRを用いた高強度コヒーレントTHz光源
- フォノン励起用フェムト秒光源
- meV領域における電子状態変化の観測
- コヒーレント性を利用したイメージング

# 3GeV-ERLに向けたR&D項目

1. 電子銃の開発研究
   カソード材質、持続性、エミッタンス
2. 超伝導加速器空洞の開発研究
   フィールドエミッションフリー化
   HOM開発、空洞多連化、
   大量生産化への見通し
3. ビームダイナミックスに関する研究
   ビームハロー、ビーム安定性、放射線安全性

# ERL電子銃ーわれわれの成果

## 分割型セラミック管による500 kVの安定印加に成功（2010年3月）

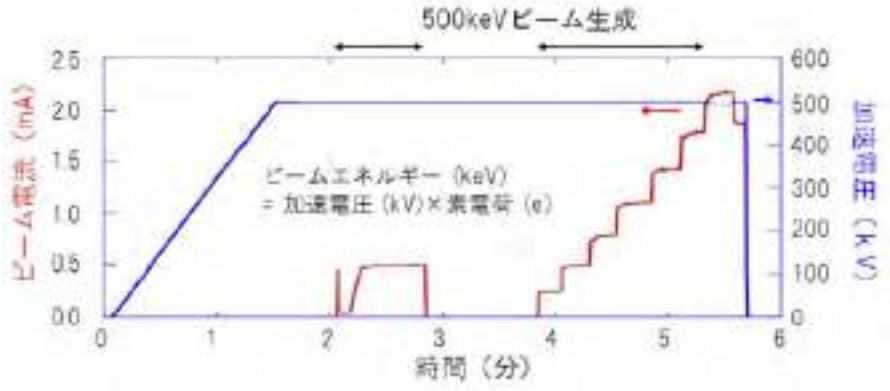


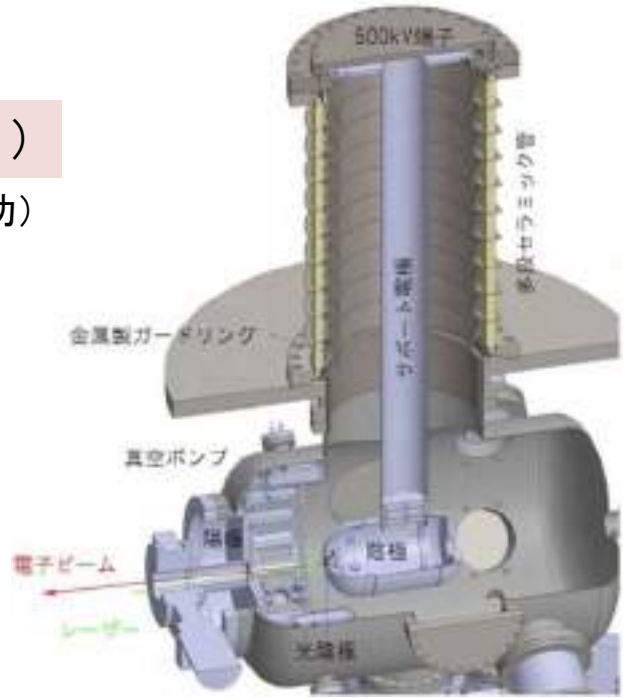

電界放出電子によるセラミックの損傷問題を解決
→ 光陰極DC電子銃の標準設計として
同型機が国内外で製作へ（Cornell、IHEP、JLAB…）

R. Nagai et al., Rev. Sci. Instr. (2010)

## 500 keV, 2 mA 電子ビームの発生に成功（2013年3月）

（180 keV, 10 mA は 2012年に成功）



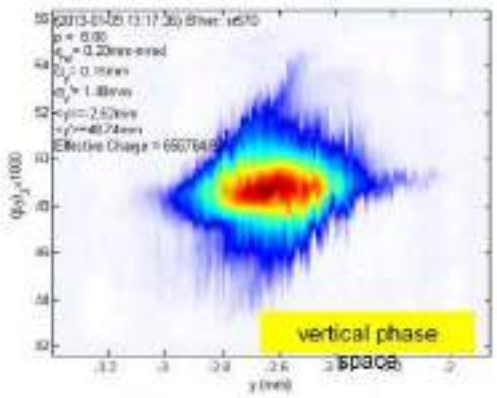




N. Nishimori et al., submitted to Appl. Phys. Lett.

# ERL電子銃—Cornellの成果

## 極低エミッタンス電子ビームの発生

GaAs + 350kV 電子銃 + 8 MeV 入射器 + 合流部



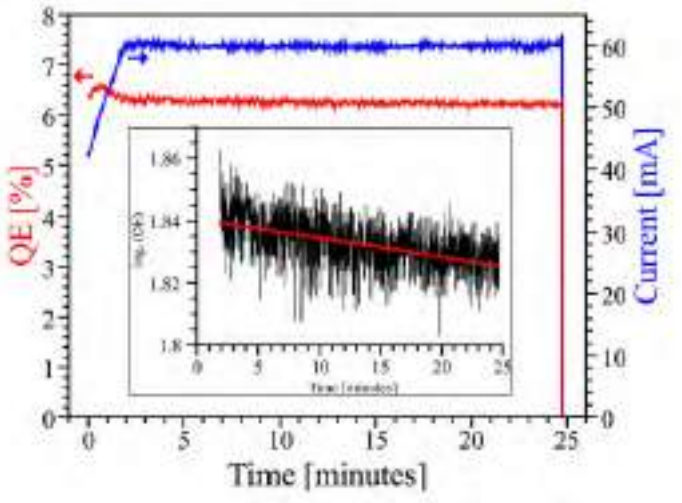

| rms emittance 90% | x (mm-mrad) | y (mm-mrad) |
|---|---|---|
| 19 pC (25mA相当) | 0.22 (37pmrad) | 0.14 (24pmrad) |
| 77 pC (100mA相当) | 0.51 (87pmrad) | 0.29 (49pmrad) |

| “core” emittance | x (mm-mrad) | y (mm-mrad) |
|---|---|---|
| 19 pC (25mA相当) | 0.14@67% (24pmrad) | 0.09@70% (15pmrad) |
| 77 pC (100mA相当) | 0.28@64% (47pmrad) | 0.19@70% (32pmrad) |

C. Gulliford et al., submitted to Phys. Rev. ST-AB (2013)

()内は3GeVまで加速した時のエミッタンス値

## 大電流電子ビームの発生




← 60 mA電子ビームの発生（$CsK_2Sb$カソード）

1/e life time = 30 hours

B. Dunham et al., Appl. Phys. Lett. (2013)

（最新情報（IPAC2013)では、72 mA まで達成）

# ERL電子銃ー今後1-2年の見通し

## 運転パラメータの進展

### 実証済

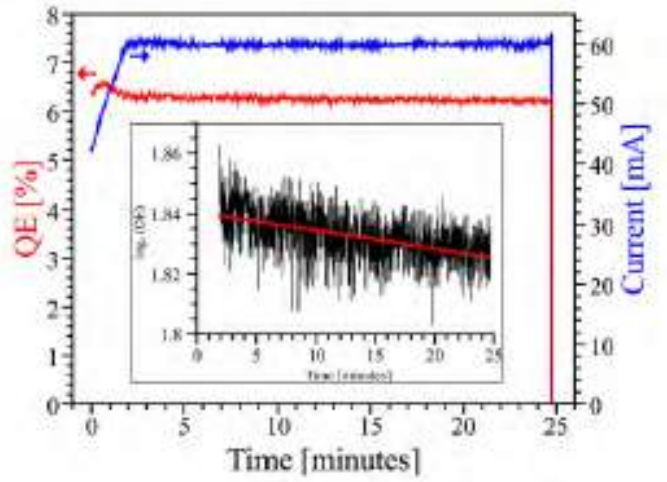
500 kV, 2 mA@JAEA
350 kV, 72 mA@Cornell
($\varepsilon_x$, $\varepsilon y$)
= (0.22, 0.14) @19pC
(0.51, 0.29) @77pC

根本的な障害は、ほぼ解決済

### 設計値の達成へ

500 kV, 10 mA@cERL
500 kV, 100 mA@Cornell
($\varepsilon_x$, $\varepsilon y$)
= (0.22, 0.14) @19pC
(0.51, 0.29) @77pC

## 実用に耐えうるカソードの完成へ




$CsK_2Sb$カソード（Cornell）
60 mA、1/e life time = 30 h

長寿命化に限界のあるGaAsに代わり
アルカリ・カソードの採用
→ $CsK_2Sb$、$Cs_3Sb$など
Cornell が先行して採用
cERL でも採用に向けて準備

熱エミッタンスはGaAsに比べ10-30%増し
最終エミッタンスは遜色ないと期待

$$\varepsilon_f = \sqrt{\varepsilon_{th}^2 + \varepsilon_{sc}^2 + \varepsilon_{rf}^2 + \cdots}$$

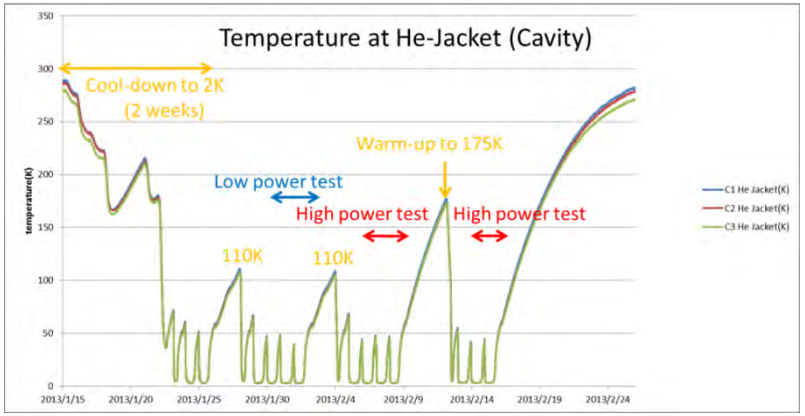
最終エミッタンス　熱エミッタンス　空間電荷効果　RF 効果

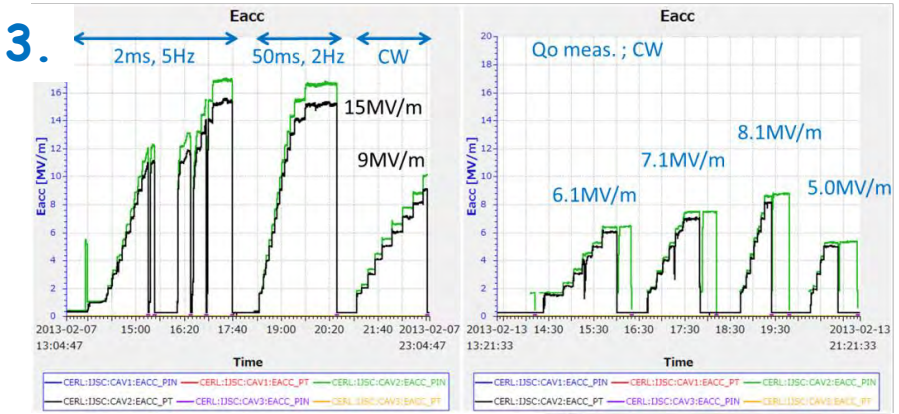
# ERL Injector Cryomodule : cERLでの成果

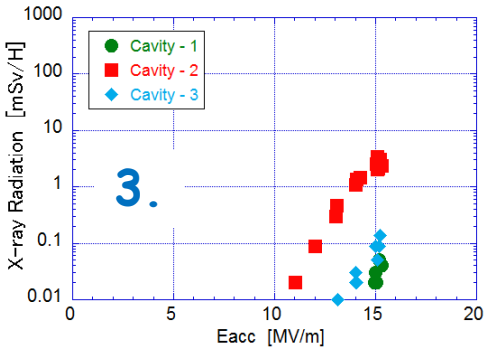


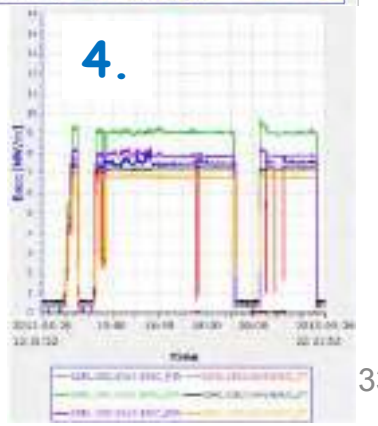

1. Cryomodule assembly; (Apr, 2012)
2. Cool-down tests; at 2K, (Sept. 2012)
3. High power tests; CW, (Feb. 2013)
4. Beam operation; 5 MeV, (Apr. 2013)

2. History of cool-down / warm-up



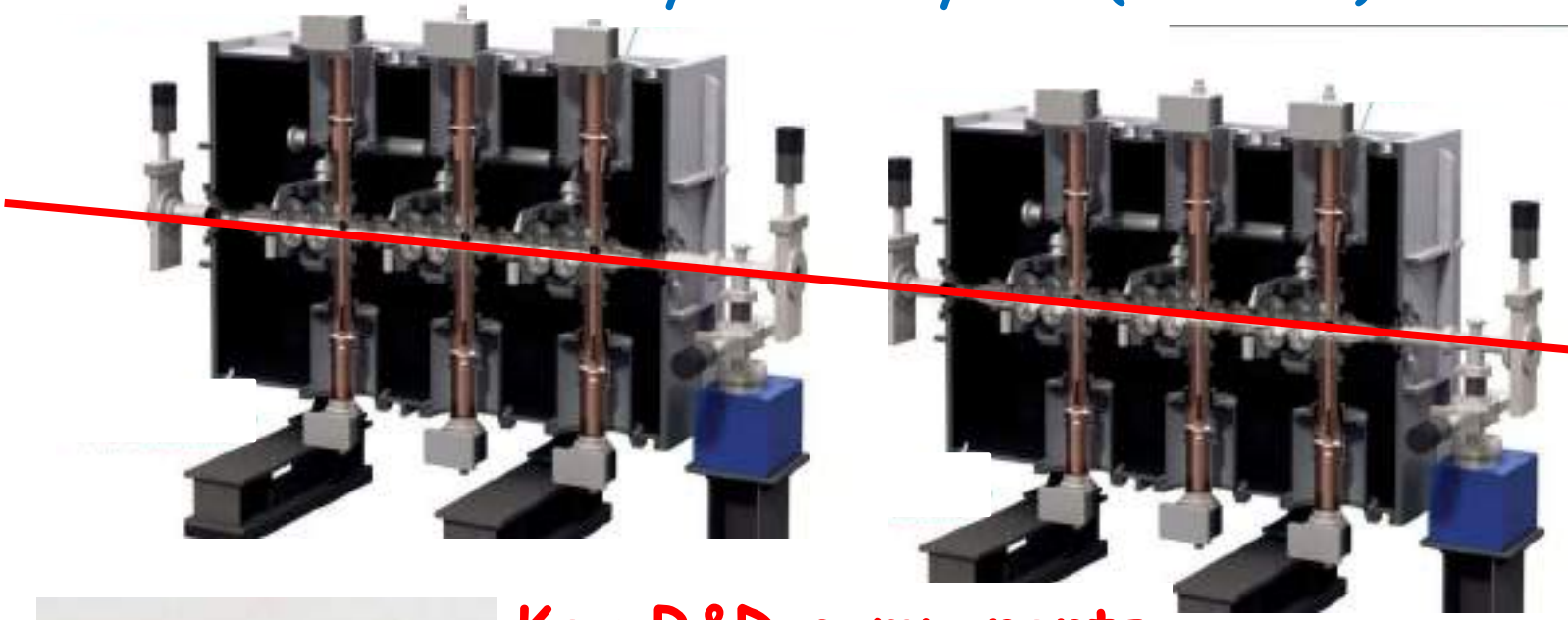



# ERL Injector Cryomodule : 3GeV-ERLへ向けて

Two cryomodule system (5MeV x2)



e⁻ beam
10 MeV
100 mA

## Key R&D components



Six 2-cell SC cavities

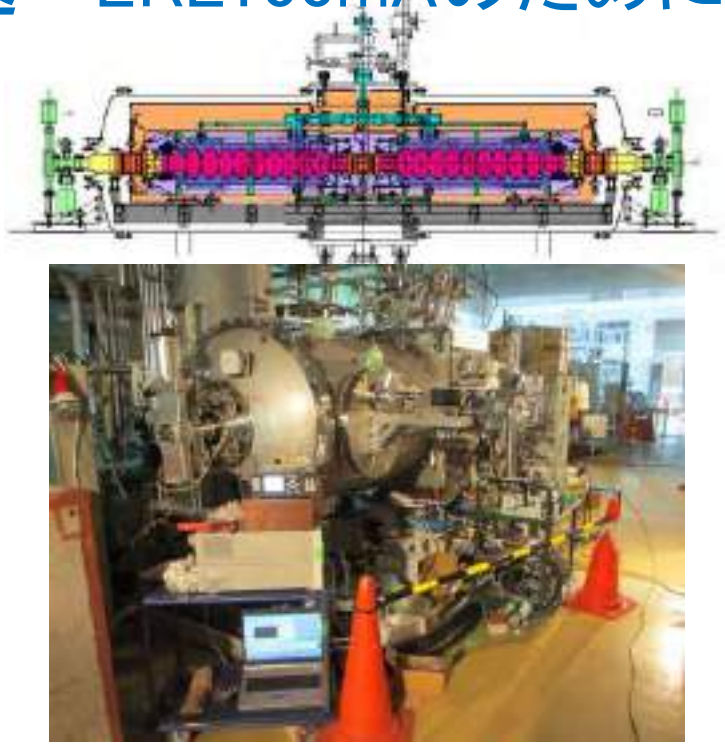


85kW CW input couplers

Thirty RF feedthrough with high thermal conductivity



# ERL主空洞の現状と課題～ERL100mAのために



**cERL試作モジュールの目標と現状**

100mAを保証するCW空洞形状の実現
→単体性能（縦測定）はOK　(>25MV/m)

150W-HOMの吸収と冷却
→HOMの減衰特性はOK、冷却でクラック発生

・入力結合器と周波数チューナー
→15kW確認済み(CPL)、機能はOK。

CW運転を可能にするクライオスタット
→80Wをめざした設計、40Wは実証済み

冷却でも失わないアライメント
→0.3mmは確保できた、熱サイクルはこれから

強いフィールドエミッションの問題
→10MV/m付近から急激に立ち上がる。→ 空洞組立及び形状の最適化の必要性

**cERLモジュールで検証すること**

・空洞性能の確認：加速電場→強いフィールドエミッション→組立の手順の検討　（コーネルでの経験(IPAC2013)
周波数振動→小さいことから入力RF源の軽減化？<5kWにできる？
トリップ頻度の評価

・実運転から学ぶ制御と保護対策

# 主空洞の課題解決に向けたアクションプラン

**ERLモジュールの性能向上に向けた今後のアクションプランと計画**

・100mA空洞形状の最適化

・組立方法の改善

→組立工程の見直しと治工具の開発

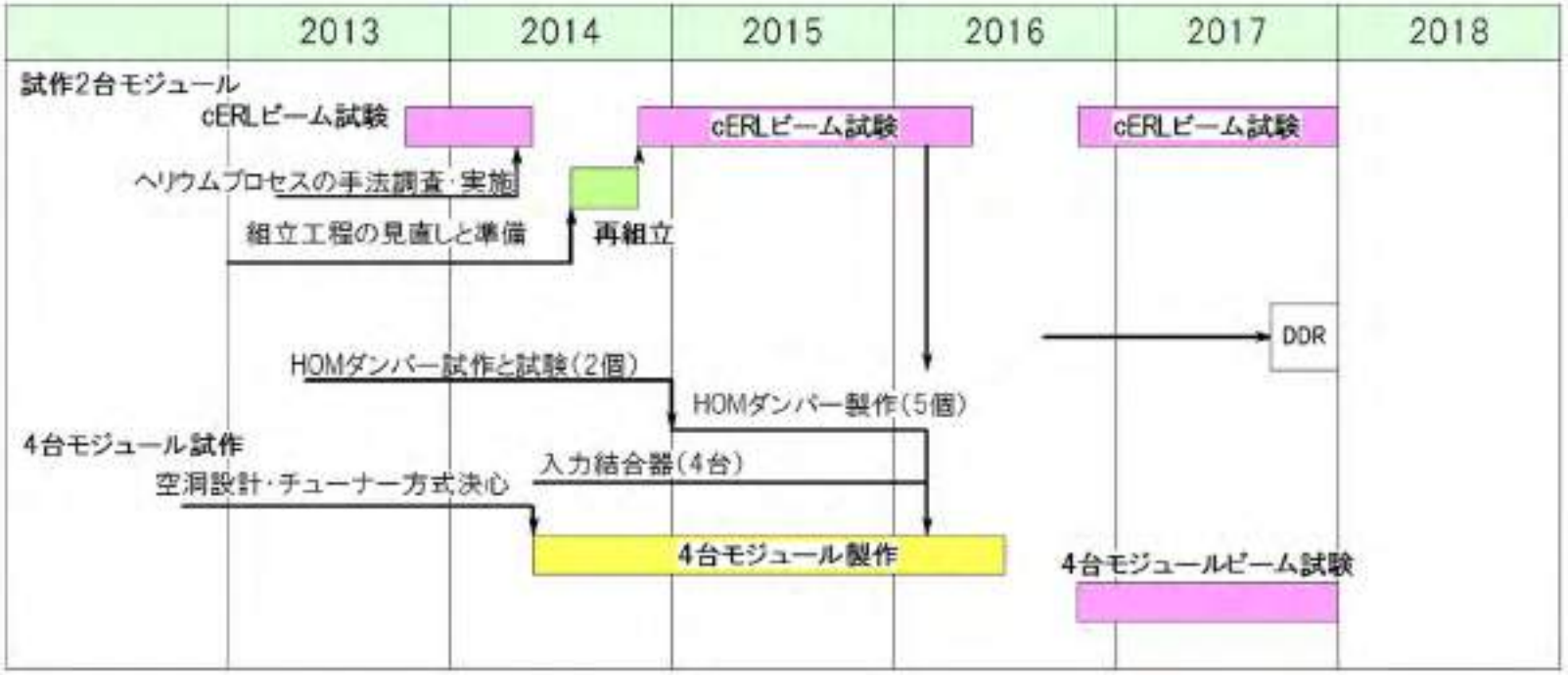
→ヘリウムプロセスの手法検討（冷却空洞の性能回復手段として）

・HOMダンパーの改善

→他材質を用いたダンパーの試作（SiC）

・4台空洞モジュールの設計と実証

→30W×4台(2K)の安定冷却が可能なクライオスタットの設計と製作の育成



# STF（Super Conducting Test facility）を利用した超伝導空洞の量産基地モデル

- 一般高圧ガス設備
- 申請者： KEK
- 製造者： KEK





Niobium sheets









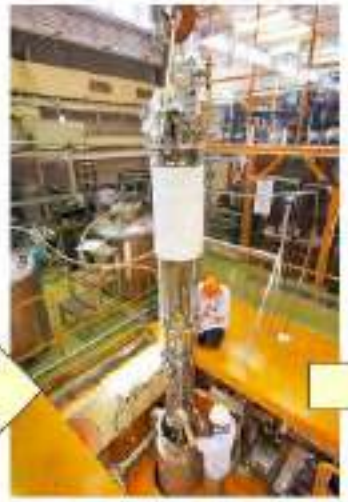

Fabrication company of Nb cavities

by KEK

Fabrication company of Ti jacket



80 cavities / year
8 cavities / month



Vertical tests
at STF



TIG weld of He Jacket
at CFF






by KEK, at CFF

# KEKでのクライオモジュール量産化モデル

**Vertical Test Cycle at STF**



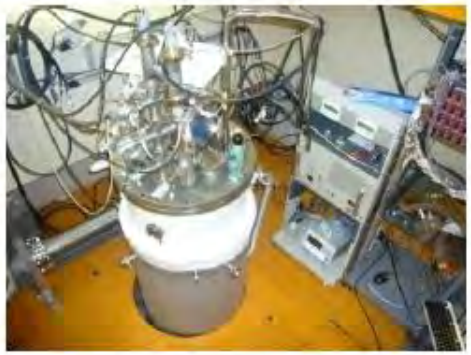

EP device x 2



Baking stand x 2



Hanging stand x 4



VT cryostat x 2

**2 V.T. / week**

約3年で50台のクライオモジュールを制作可能

**(4 cavities / cryomodule)**

couplers, 1 week



Cavity string assembly
1 week



Cold mass assembly
2 week



Insertion into vac. vessel
1 week




**1.5 CM / month**
**16 CM / year**
**High power test at STF tunnel**

# ビーム位置測定・軌道安定化

- **cERL実績**：コミッショニング初日からビーム位置検出し、調整に役立った
- CW運転時の平均軌道の精密測定・kHzオーダーでの軌道フィードバックは近年の蓄積リングで既に実証済み。ERLでは検波周波数が1.3GHzになる：多少の開発は必要だが技術的困難は無い。
- cERL周回部建設後、加速ビームと減速ビームの両方が通る場所の診断系を開発・実証してゆく。

# ロスモニタ、高速インターロック

- 数μsオーダーでの高速インターロック系はJ-Parc/KEKBで独自開発・運用実績のあるハードウェアを採用。cERLでも既にインターロックに使用中
- **cERL実績**：コミッショニング時の1μsマクロパルス（電荷5pC）のロスをCsIシンチレータ付きのPhoto Diodeで測定しながらビームをダンプまで導いた。
- 10μ～1m秒オーダーでの計数回路を開発中。cERLにおいて実際のビームロスを使った検証をすすめ、3GeVERLのインターロックを構築。

ロス検出部



インターロック処理部



1. Laser停止
2. RF停止
3. 電子銃HV制御

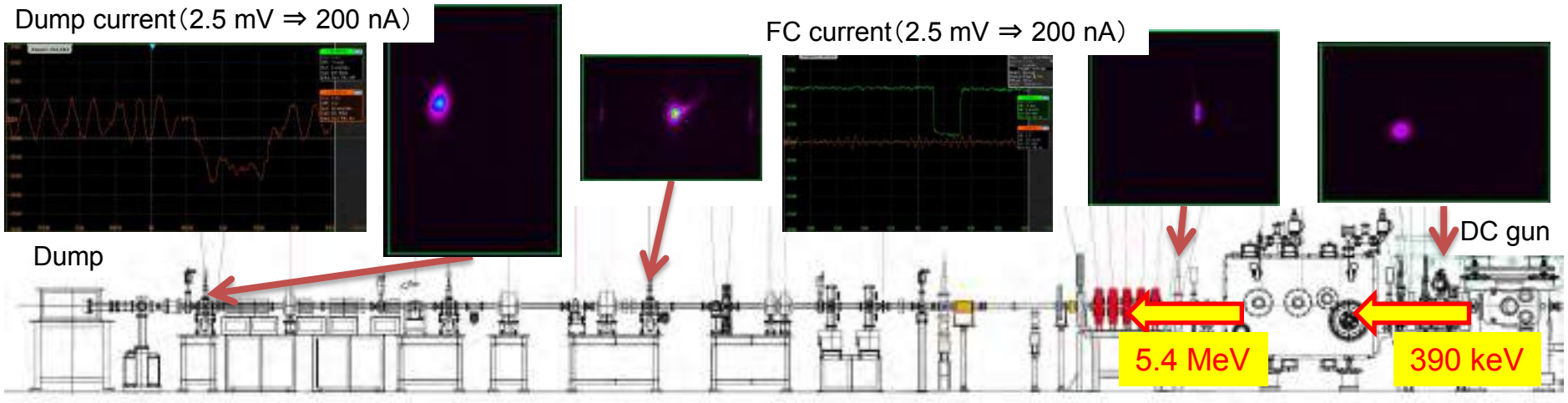
Y. Honda, H. Sagehashi

cERLでの開発により、3GeV-ERLの安定化・ビームロス対策開発が十分実現可能

# ビームハローの測定（cERLでの現状と今後）

- ビームハローの主な原因
  - 電子銃・超伝導空洞からの暗電流
  - ビーム輸送中でのハローの形成（空間電荷効果、コヒーレント輻射、非線形磁場による効果等）

- cERL入射器でのビームハロー試験の現状
  - 現在のビーム運転パラメタ(電子銃390 kV, 加速後のエネルギー 5.4 MeV)では、電子銃、入射器超伝導空洞での明らかなハロー生成は観測されていない




- cERL入射器でのビームハロー試験の今後の予定
  - コリメータを用いてハローを抑制する試験（横方向でのハローの測定）
  - 偏向電磁石下流でのエネルギー変動の測定（進行方向でのハローの測定）
  - 大電荷での試験（空間電荷効果によるハロー生成の調査）

# 3GeV-ERLに向けたR&D項目

1. 電子銃の開発研究

　　我々が開発した多段セラミックと世界（コーネル）の急速な開発状況を加味して、技術的な目処は立っている。

2. 超伝導加速器空洞の開発研究

　　2014 - 2016に4連クライオモジュール試作で3GeV-ERL用超伝導空洞の最終確認を図る。

　　大量生産基地構築はSTFで検討開始。

3. ビームダイナミックスに関する研究

　　cERLの運転でフィードバック、高速ロスモニター、ビームハロー等々の問題解決をテスト。

# • 学術会議マスタープランへの放射光学会の提案書

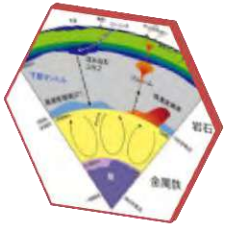
１）3GeVクラスの第3世代放射光源を第１優先で実現。

２）その次の段階でX線回折限界放射光源である、ERLもしくはSpring-8IIの実現を目指す。

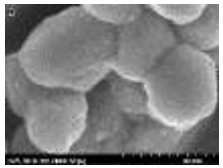
# 放射光が挑む科学・技術のブレークスルー

## ナノ領域をフェムト秒の動画で見る物質・生命現象

**物質/生命における創発機能の解明**

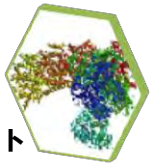


### 地球・惑星の理解
- 地殻形成、地震・火山活動の解明と予測
- 新地球・惑星物質の探索

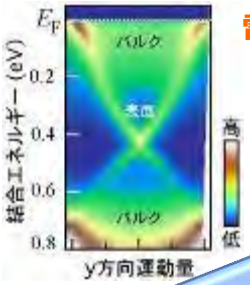


### メゾスコピック不均一系
- 非結晶粒子の構造研究
- 非周期構造の空間・時間分解イメージング

### タンパク質集団の理解
- 超分子複合体の機能メカニズム解明
- 生体分子のダイナミックス
- 合理的創薬：創薬ターゲット蛋白質の構造解析
- 生命現象の分子レベルでの理解
- 癌抑制蛋白質の機能解明







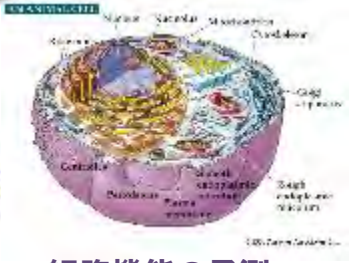

### 電子の集団の理解・制御
- 電子自由度ダイナミクス
- 強相関電子系における新量子物質相の発見
- 次世代メモリー
- 量子計算機

回折限界光源計画（ERL, SPring8-II, or others）
計画 建設 供用開始

高輝度3GeV放射光計画
計画 建設 供用開始

2010 2020 2030



### 細胞機能の予測
- 細胞機能と階層性の総合的理解
- 生体内分子イメージング
- 天然変性蛋白質の理解：真核生物の機能解明



### 機能性物質の探索：熱電・電池・磁石材料
- 新規太陽電池材料の内部構造と物性探索
- 磁性材料開発

### 触媒作用の理解
- 光触媒反応における電子ダイナミックス
- 人工光合成
- 不均固体触媒のその場観測



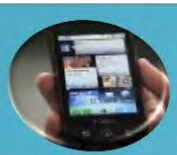
### 地球・宇宙
- 「はやぶさ」分析
- 地球内部構造
- 隕石
- 地震・火山活動



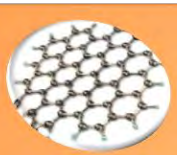
### 環境・エネルギー
- 地球温暖化
- 排ガス触媒開発
- 人工光合成
- 汚染物質分析



### バイオメディカル
- 創薬
- 再生医療
- 癌組織イメージング
- 放射線治療



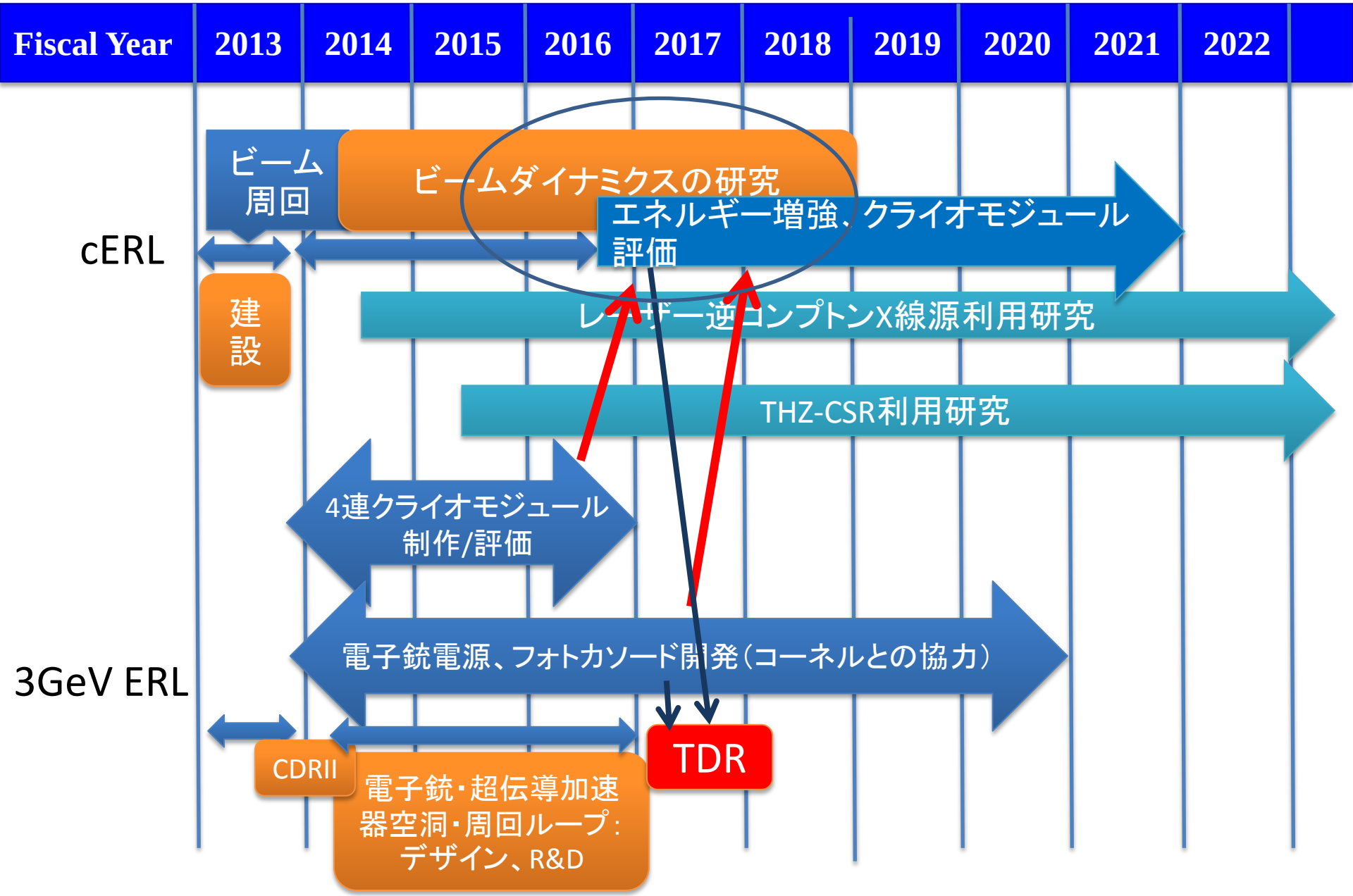
### 先端デバイス
- 半導体
- 不揮発メモリー
- 燃料電池
- スピントロニクス



### 材料開発
- 超伝導材料
- 鉄鋼・金属材料
- ナノマテリアル
- ソフトマター

**放射光科学が牽引する物質科学・生命科学**

# ERL計画（cERLと3GeV-ERL)の年次計画



# まとめ

１）ERLの各加速器要素技術を確認し、cERLの建設を進めてきた。昨年度末までに入射部及び主加速部超伝導空洞のパワーテスト、電子銃の高圧印加による電子ビーム作成を達成し、cERLの入射部の電子ビームコミッショニングを４月から開始。

２）回折限界放射光源としての立場から3GeV-ERLへ向けた開発研究をcERLで展開し、急速に発展している諸外国の開発状況を共有する事によって、2017年度には詳細設計を可能となる技術レベルにまで到達することを目標。

３）cERLは来年度には電流増強を行い、加速器要素技術（特にビームダイナミクスの開発）の構築を図るが、一方でレーザー逆コンプトン散乱X線源やTHz-CSRを用いた応用研究も、2014-2015年度から開始する予定。

# BACK UP

# 3GeV-ERL construction schedule plan

