

ERL計画推進室から 超伝導加速器利用推進チームへ

河田洋

- ERL総括委員会
- KEK-PIP
- ERL技術の産業応用へ向けて
- 超伝導加速器利用推進チーム

ERL総括委員会(1)

<http://www.kek.jp/ja/About/OrganizationOverview/Assessment/ResearchAccount/2016/10/12/ERL2016.pdf>

- ERL計画を総括するために開催された委員会(2016年7月～9月)
- 報告書は9月7日に作成され、現在上記のURLに掲載されている。

- **委員**

雨宮慶幸 (東京大学大学院・新領域創成科学研究科教授)
小杉信博* (自然科学研究機構・分子科学研究所教授、UVSOR施設長)
壽榮松宏仁 (東京大学名誉教授、元理化学研究所・播磨研究所長)
上垣外修一 (理化学研究所・仁科加速器研究センター・加速器基盤研究部長)
瀧川 仁 (東京大学物性研究所長)
中野貴志 (大阪大学核物理研究センター長)
委員長は小杉信博先生

- **総括項目**

- 1) ERL光源をPFの将来計画に決めた経緯と理由が妥当だったか。
- 2) ERL光源をPFの将来計画として実現するための実証機の位置付けが妥当だったか。
- 3) ERL光源をPFの将来計画としないことに至った経緯と理由が妥当だったか。

3項目それぞれについて、機構内部(PF、物構研、機構全体)での議論・見直しが適切だったか、利用研究者との関係が適切に行われたか、日本放射光学会との関係が適切だったか、世界的動向と把握が適切だったか、などの側面を考慮しながら総括

ERL総括委員会(2)

-まとめからの抜粋-

「5GeVのERL光源計画に関する2005年度の科学技術・学術審議会の研究計画・評価分科会での審議の結果では、

- ①建設コストが800億円クラスとなり、費用対効果の観点から綿密な調査検討が必要、
- ②Spring-8が本格利用期に入り、XFELも整備されようとしている段階で研究ニーズの十分な把握・分析が必要、
- ③技術的に多くの課題を解決する必要がある、まだ詳細な事前評価ができる段階にない、

などの指摘を受けた。上述の見直しを適切に行うためにも、物質構造科学研究所は2005年度の時点での①～③の指摘に対して直ちに対応すべきであったが、以下のような経緯を辿ることで対応が不十分になってしまった。」

ERL総括委員会(3)

-まとめからの抜粋-

大型計画に必要とされる以下のFeasibility①～⑤の検証がERL計画を進める過程において極めて不十分であったと言わざるを得ない。

① **Political Feasibility (Leadership) (政治的可能性)**: 計画全体に責任と権限をもつリーダーが不在であった。フロンサイエンスに責任を持つ物質構造科学研究所と並列にERL計画推進室を置くという構造もその一因である。その結果、各種Feasibilityに対する見極めを最終的に誰が責任を持って行うかが曖昧となり、ERL光源をPFの将来計画としないとの判断に至ったタイミングが遅きに失した主要因になったと考える。

② **Financial Feasibility (予算的实施可能性)**: 建設コストおよび運転コストの見積もり、その予算をどのように何時までに獲得するかに関する具体策が曖昧であり、その結果、予算的实施可能性に関する検証姿勢が曖昧であった。

③ **Technical Feasibility (技術的实施可能性)**: 電子銃の寿命・超伝導空洞の性能・所期の蓄積電流の達成・エネルギー回収率・電子エネルギーのスケーリング (MeV→GeV) の難度等を含む技術的实施可能性に関して、実証機による実証は不可欠なステップであるものの、現実的な放射光源用加速器としての時間軸を入れた技術的可能性に対する検証姿勢が曖昧であった。

ERL総括委員会(4)

-まとめからの抜粋-

今後に向けては、以上のいろいろな反省点(①～③、㉠～㉣)を改善するための方策を早急に検討していただきたい。」

と結ばれている。最後に、加速器科学の成果に関しては

なお、ERL実証機を使った開発研究は結果的にPF・PF-ARの次期計画(フotonサイエンス)には結びつかなかったが、加速器科学の基幹技術開発及び将来につながる応用面で成果を挙げた点は評価できる。

の一文が加えられている

KEK-PIPの中におけるERL計画の位置付け

- KEKロードマップからERLの次期光源の位置付けが削除
- KEK Project Implementation Plan (KEK-PIP)

<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20160802141100/>

その中に、ERLに関しては、以下の記述

3-2. Other research projects carried out using general funds of KEK

The following projects have up to now been conducted mainly using general funds of KEK. They will be continued on the condition that greater efforts are made to obtain external funding.

- Simulation studies with the existing supercomputer (only up to summer of 2017)
- [Industrial application of ERL technology](#)
- Participation in CERN LHC/ATLAS
- Research carried out in the Detector Technology Project
- Research in the Japan-US cooperation program
- Projects under the Toshiko Yuasa Laboratory (TYL)
- Small-scale research projects conducted in KEK institutes

産業化に向けた経緯

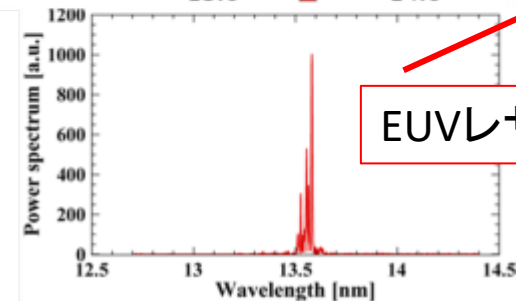
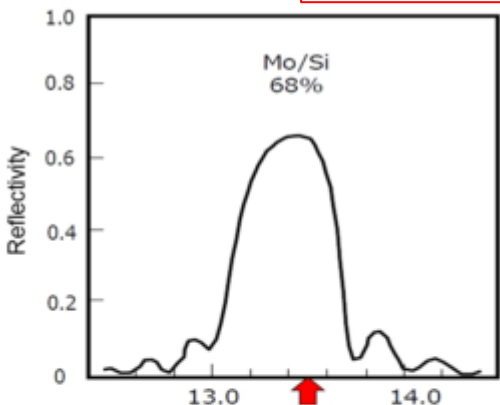
－ EUV-FEL光源産業化研究会の発足と活動状況 －

- 2012秋 EUV Source WorkshopにてEUV光源としてのFELに言及 (ASML)
- 2014.2 SPIE Advanced LithographyにてASMLグループが発表 (13.5nm, 6.7nm)
- 2014.4頃～ EUV-FEL光源の可能性検討をKEK／東芝で開始。
ギガフォトン／早大はFEL光の利用技術について検討開始
- 2014年 ASMLがKEK訪問 (技術検討の協力依頼)
- 2015.6 EUV-FEL光源実現に向け産学の結集を図るため研究会を企画。
- 2015.8 EUV-FEL光源産業化研究会を発足 (企業6社、コンソ1社、大学等6機関)
- 光源開発 (ERLをベースとした超高出力EUV-FEL光源)
 - 利用技術開発 (超高尖頭値FEL光へのレジスト、マスク材料対応)
- 2016.1 研究開発プロジェクト立案のため光源分科会を設置
- 2016.4～ 産業化に向けた競争的資金獲得を目指して、国、JSTへのアプローチを開始
- 2016.6 TIA連携プログラム調査研究 (かけはし) の資金を得て半導体業界への浸透活動を強化
- ～現在 参加機関: 企業 10、コンソーシア 1、大学・研究機関 7
(内、光源分科会: 企業8、大学・研究機関7)

1. EUVリソグラフィ用大強度光源

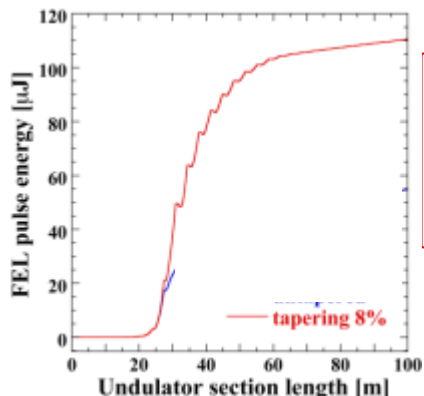
ERL-FELによるEUV大強度光源概要

多層膜ミラーの反射率
(すべてのレーザー波長を反射)



EUVレーザーの波長分布

アンジュレーターの進行
方向におけるパルス当
たりのレーザーパワー



超高出力EUV光



加速器のパラメータ

項目	EUV-FEL設計値
入射部エネルギー	10.5 MeV
ビームエネルギー	800 MeV
バンチ電荷	60 pC
パルス数/秒	162.5 M
平均電流	10 mA
電子ビームの輝度	0.6 mm mrad
加速勾配	12.5 MV/m
EUVの波長	13.5 nm
EUVの強度	>10 kW

1. EUVリソグラフィ用大強度光源

代表的な現在稼働・建設・計画中FELの中での位置付け

	LCLS	SACLA	FLASH	Euro-XFEL	LCLSII	EUV-FEL
常・超伝導	常伝導ライナック		超伝導ライナック			
運転形態	パルス運転		ロングパルス運転		CW運転	
建設国	米国	日本	ドイツ	ドイツ	米国	
エネルギー回収	無	無	無	無	無	有
パルス数/秒	120	30~60	<5000	<27000	1M	162.5M
加速エネルギー (MeV)	14300	6000~ 8000	1250	17500	4000	800 0.01@入射部
最短レーザー波 長(nm)	0.15	0.08	4.2-52	0.05	~0.3	13.5
レーザーパワー/ パルス(mJ)	~1	~1	<0.5	~1	~1	~0.1
レーザーパワー/ 秒(W)	~0.1	~0.1	<0.6	~30	~1000	>10000
ビームダンプ パワー(W)	~1.5k	~0.5k	~6k	~0.5M	~1M	~0.1M
稼働開始/建設 中/計画中	開始 2009	開始 2011	開始 2004	建設中 2017予定	建設中 2020予定	計画中

EUV-FEL光源産業化研究会

代表：  東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO 石原 直

 東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

 松田 巖

 宇都宮大学 UTSUNOMIYA UNIVERSITY

東口 武史

 兵庫県立大学 NewSUBARU

木下 博雄

企業群

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

 三菱重工メカトロシステムズ株式会社

 日立金属株式会社
Materials Magic

 GIGAPHOTON

 EIDEC

TOYAMA


TOSHIBA 東芝電子管デバイス株式会社
Leading Innovation >>>


 **NTT AT**


 **MITSUBISHI ELECTRIC**
Changes for the Better

 大陽日酸
The Gas Professionals

HITACHI

 量子科学技術研究開発機構
羽島 良一

 高エネルギー加速器研究機構
河田 洋他

 産業技術総合研究所
清 紀弘

 **ISIR**

大阪大学
古澤 孝弘

 早稲田大学
鷲尾 方一

コンパクトERLの開発が導くイノベーション

項目	現在の達成値	開発目標値	開発効果
入射部エネルギー	2.9 MeV	6 MeV	空間電荷効果・減少
ビームエネルギー	20 MeV	50 MeV	エネルギー増強
バンチ電荷	5 pC	60 pC	電流増強
パルス数/秒	162.5 M	162.5 M	
平均電流	1 mA	10 mA	電流増強
電子ビームの輝度	~1 mm mrad	<1 mm mrad	大電流・高輝度の実現
加速勾配	8.2 MV/m	>12.5 MV/m	産業化へ前進



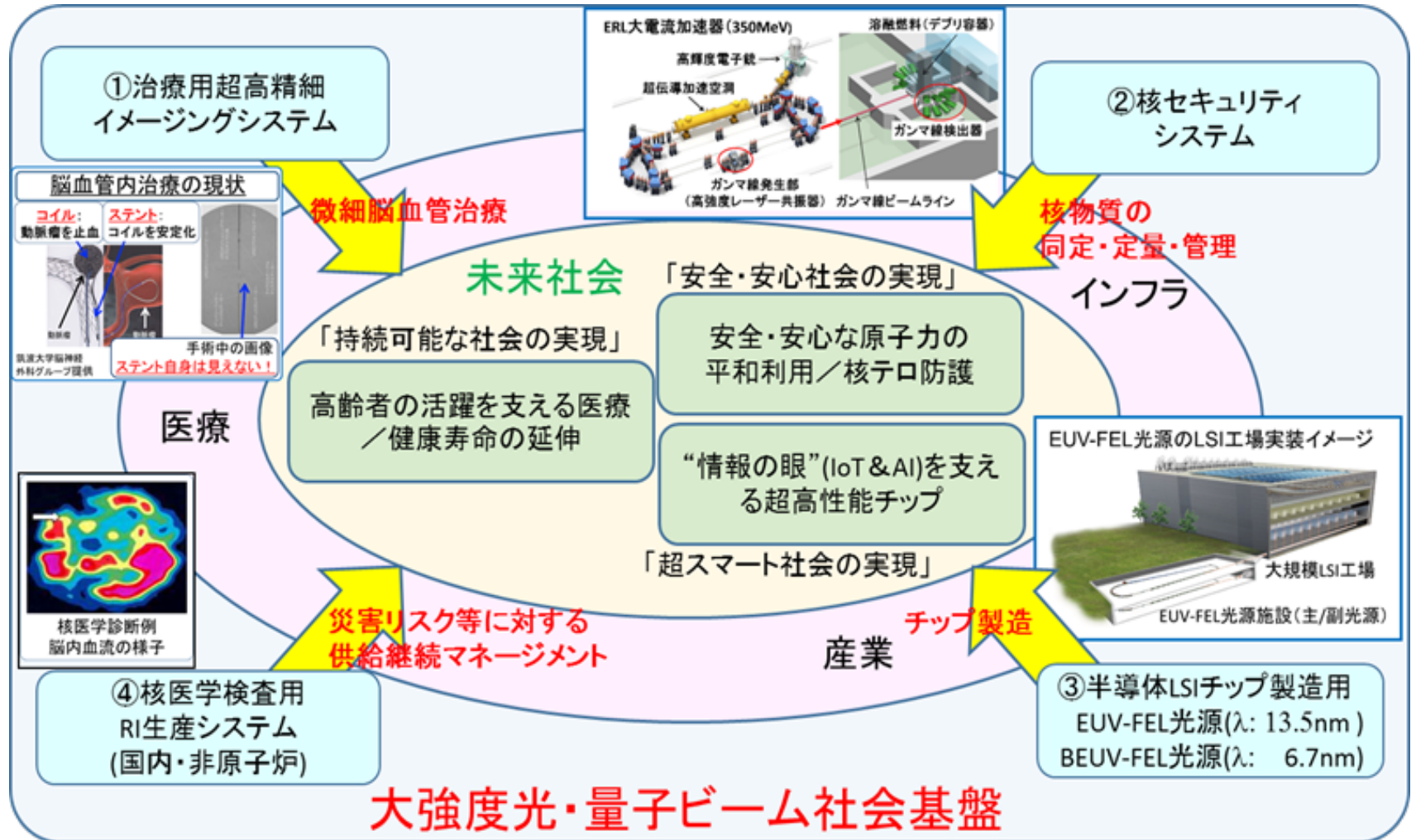
エネルギー増強 ⇒ 空間電荷効果・減少 ⇒ 大電流・高輝度の実現 ⇒ 電流増強

- ① EUVリソグラフィ用大強度光源
- ② 医療用超高精細X線撮像装置
- ③ 核セキュリティ関連システム
- ④ 核医学検査用RI製造施設

大電流先端加速器が拓く新しいイノベーション

日本の未来社会における開発の位置付け

-大強度光・量子ビーム社会基盤-



ERL計画推進室から 超伝導加速器利用推進チームへ

- 2017年からERL計画推進室をKEK内組織から廃止。
- ERL技術の出口戦略を策定し、その研究開発を担うためには、これまでERLについて研究開発を推進していたチームが引き続き協力できる体制が必要。
- 先端加速器推進部に部内措置として、超伝導加速器利用推進チームを設ける。
- cERLに関するこれまでの研究開発の成果をまとめる作業のために、2018年3月31日まで、ERL計画推進委員会を存続させる。