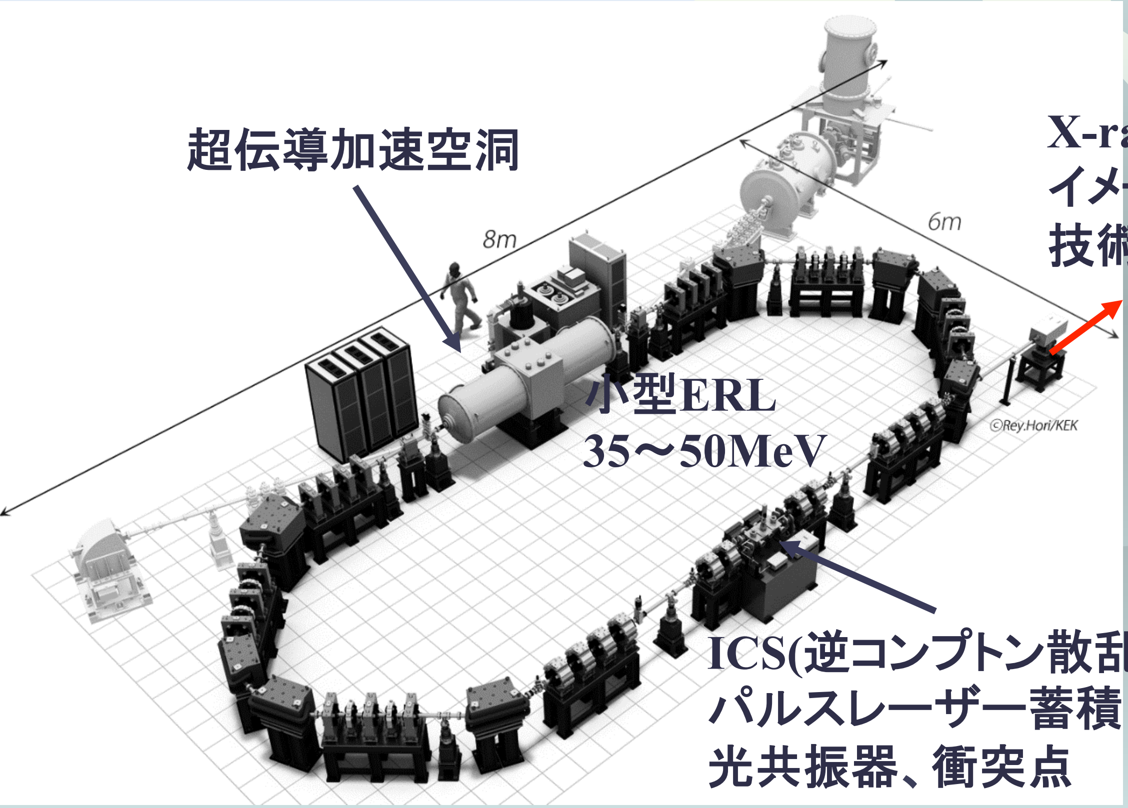
小型加速器による小型高輝度X線源とイメージング基盤技術開発

高エネルギー加速器研究機構、浦川順治

全体計画と研究開発目的

小型高輝度X線源(Peak Brightness 10^{19})
数keVから100keV X線領域エネルギー可変光源

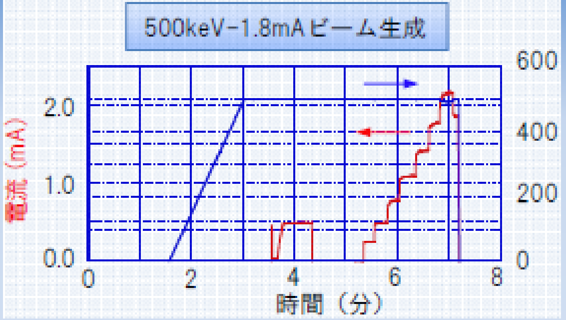


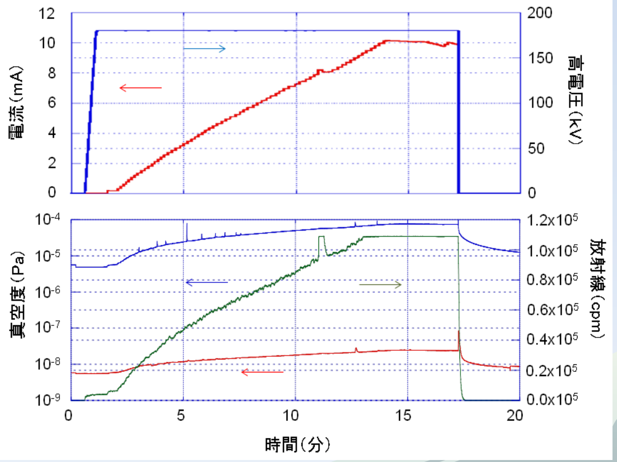
X-ray利用:
イメージング
技術開発等

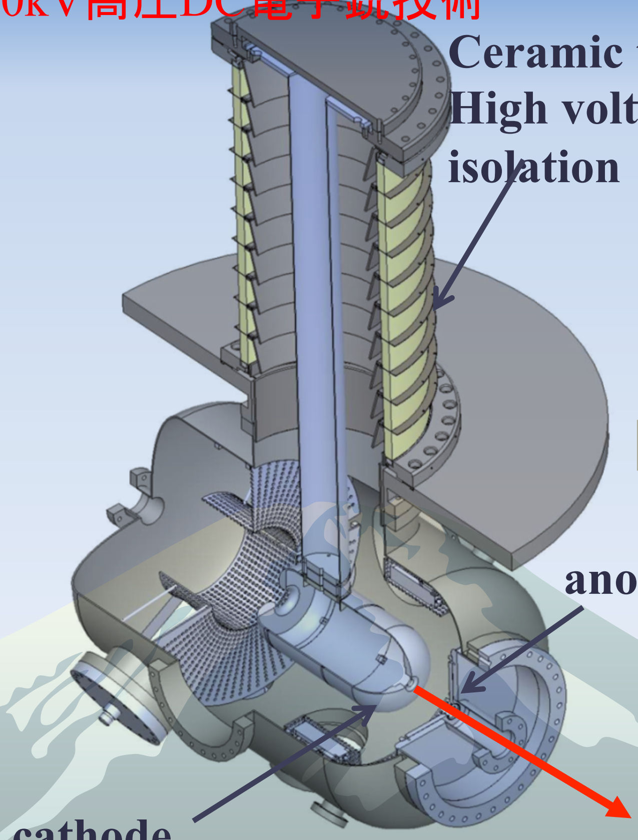
基盤技術開発

マルチアルカリカソード、
クライオ光陰極高周波
電子銃、
ERL技術
(1MW電子ビーム・
エネルギー回収)、
大強度レーザー蓄積
(1MWレーザー蓄積)、
10μmビーム衝突技術、
X線イメージング法、
4K 325MHz spoke超伝導
空洞開発、

500kV高圧DC電子銃技術







500kV-DC Gun

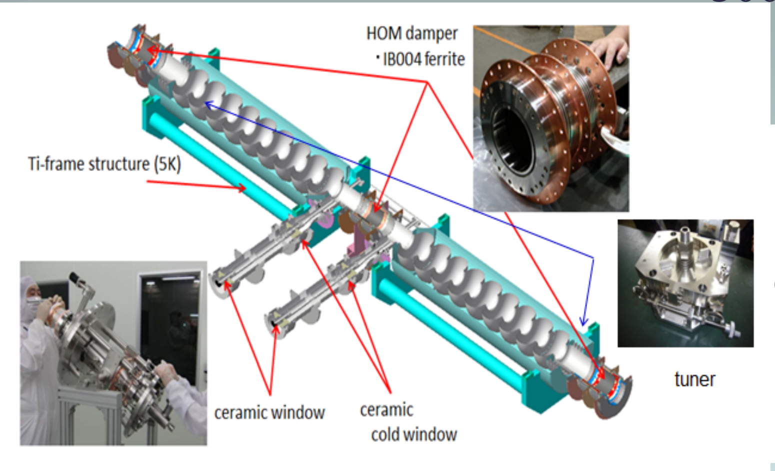
Negative Electron Affinity (NEA)-GaAs フォトカソード開発から マルチアルカリカソード開発へ

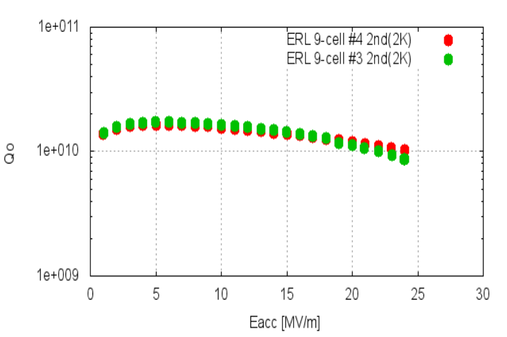
DC電子銃開発から RF電子銃開発 (20KクライオRF Gun)へ

理由：

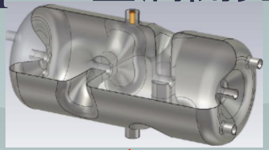
長寿命化、小型化へ

高輝度X線生成利用研究開発実験は、既存電子源・2K-CW超伝導空洞技術で行える。



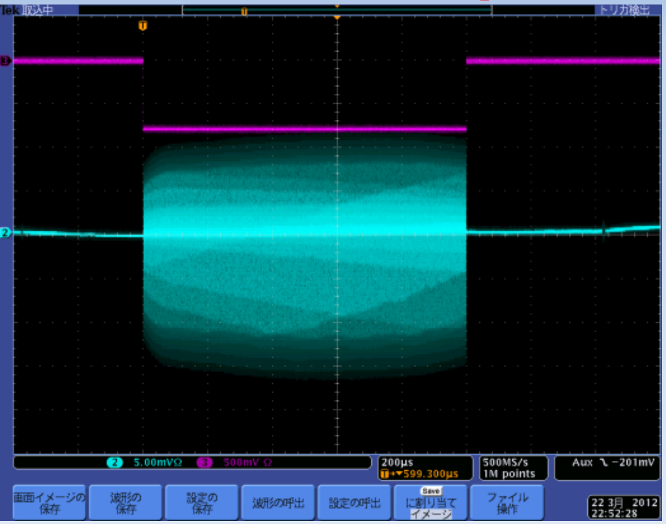


4K 325MHz超伝導 Spoke空洞開発へ

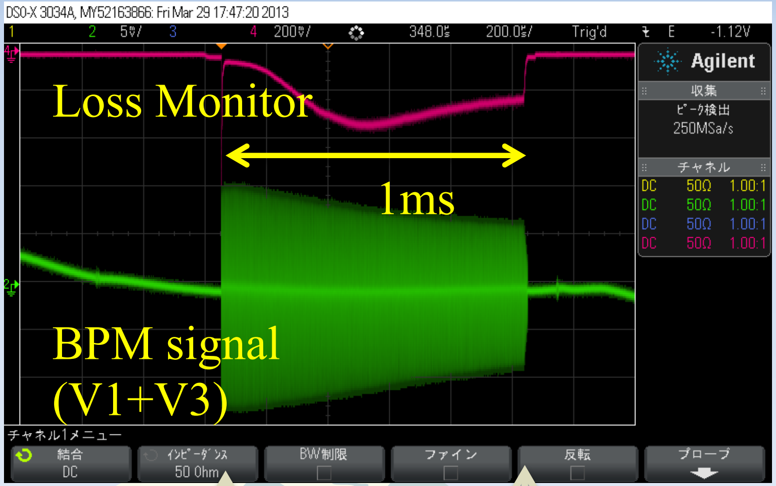


ERL の構成では、小型の半導体アンプで運転可能

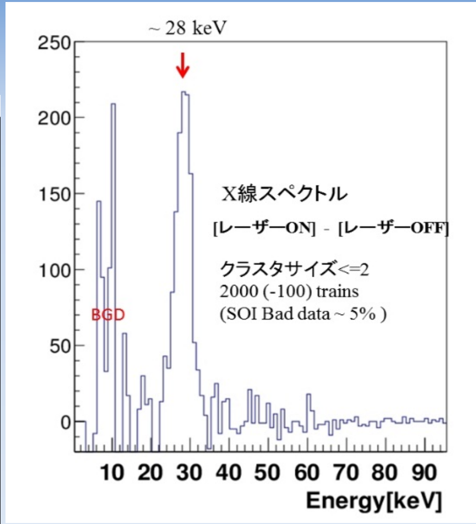
RF電子銃からの1ms フラットビーム取出し
(RF feedback ON) 03.22.2012　50pC/bunch



1ms beam acceleration in STF accelerator
40MeV, 1ms, 7.5mA Beam Operation

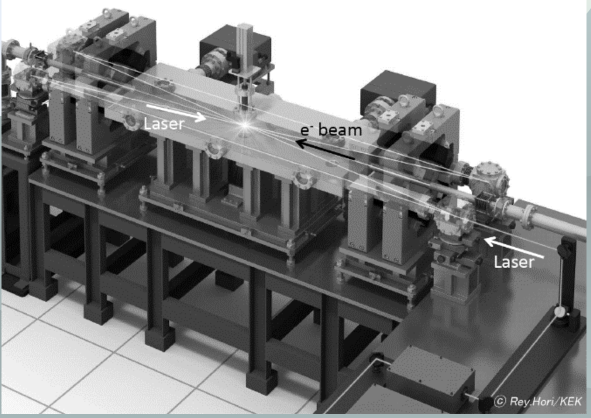


9mA(peak current)　6mA(peak current)

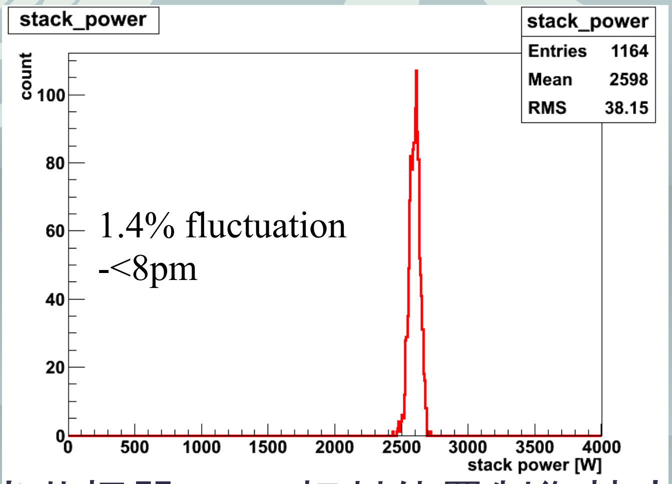


28keV X線検出に成功

2K超伝導線形加速器(STF)で162.5k電子バンチ生成・加速実験に成功！

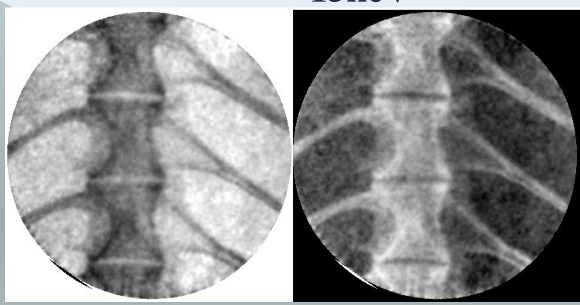


2D-4ミラー光共振器でレーザーパルス100kW蓄積中、1MW蓄積は2014年度末に達成可。375MHz電子バンチ・レーザーパルス衝突技術実証済み。



光共振器ミラー相対位置制御精度8pm以下を達成！生成X線の高速偏極制御確認(>10kHz)。
Laser IP size 13μm達成。

~15keV

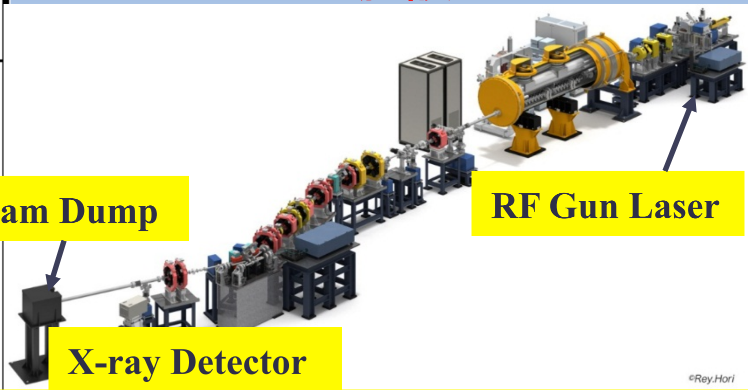


X線吸収イメージング測定からX線位相イメージング測定(Talbot干渉計)へ
2014年度中に1秒以内で吸収イメージング測定が常伝導小型加速器(LUCX)で可能になる。

6．研究開発推進に必要な施設及び設備備品・機器

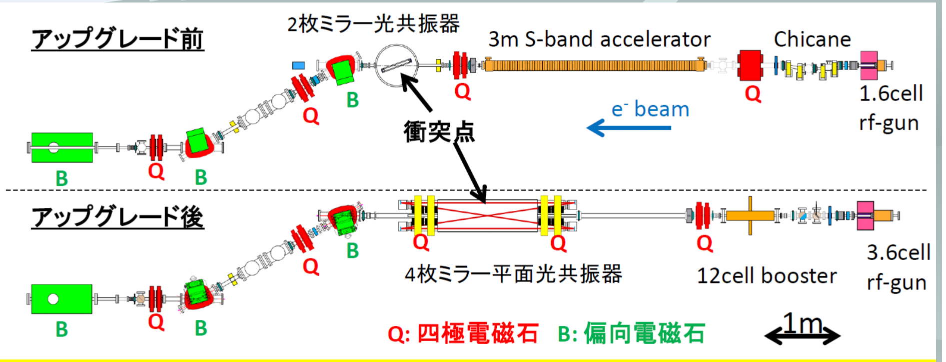
保有・購入・賃貸の区分	品名	仕様	用途	金額（千円）	購入・賃貸の場合の調達時期	賃貸する機関（当事者）
〔小型加速器X線生成実験〕保有(LUCX)・	LUCX	40MeV, 12.5Hz Max. beam power: 320W	X線光源、THz光源開発、利用実験用	800,000	2013-2019	KEK
〔高輝度X線生成実験〕将来保有(cERL、将来計画のR&Dの為建設中)・	cERL	35MeV, 10mA Max. beam power: 350kW	ERL技術開発用、X線およびTHz利用実験	3,800,000	2015-2019	KEK
〔パルス高輝度X線生成実験〕将来保有(STF、将来計画のR&Dの為改造中)	STF	300MeV, 10mA 5Hz-1ms beam Max. beam power: 15kW	ILC技術開発用、X線およびガンマ線利用実験	6,800,000	2016-2019	KEK

STF施設



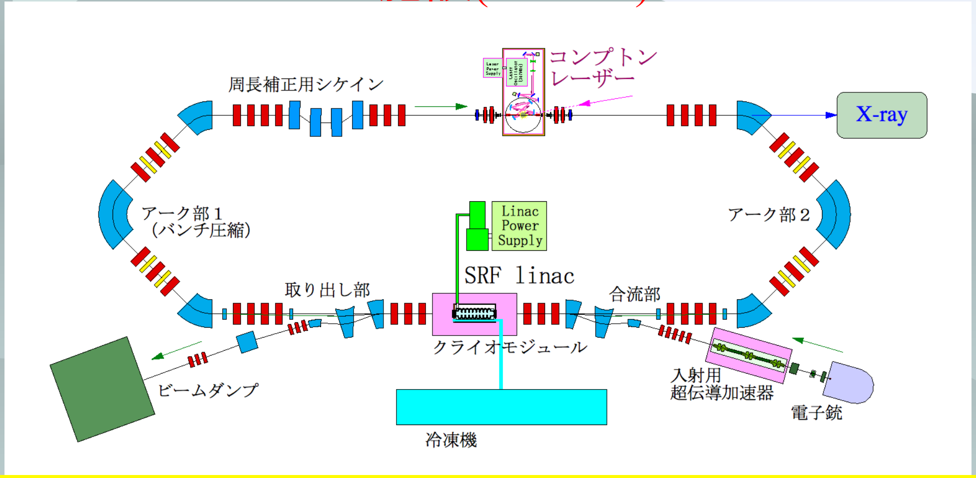
60MeVから300MeVへビームエネルギー増強の為改造中。
2016年度から運転再開、高エネルギーX線生成・利用研究開発に使用できる(2016-2019)。

LUCX施設(40MeV)



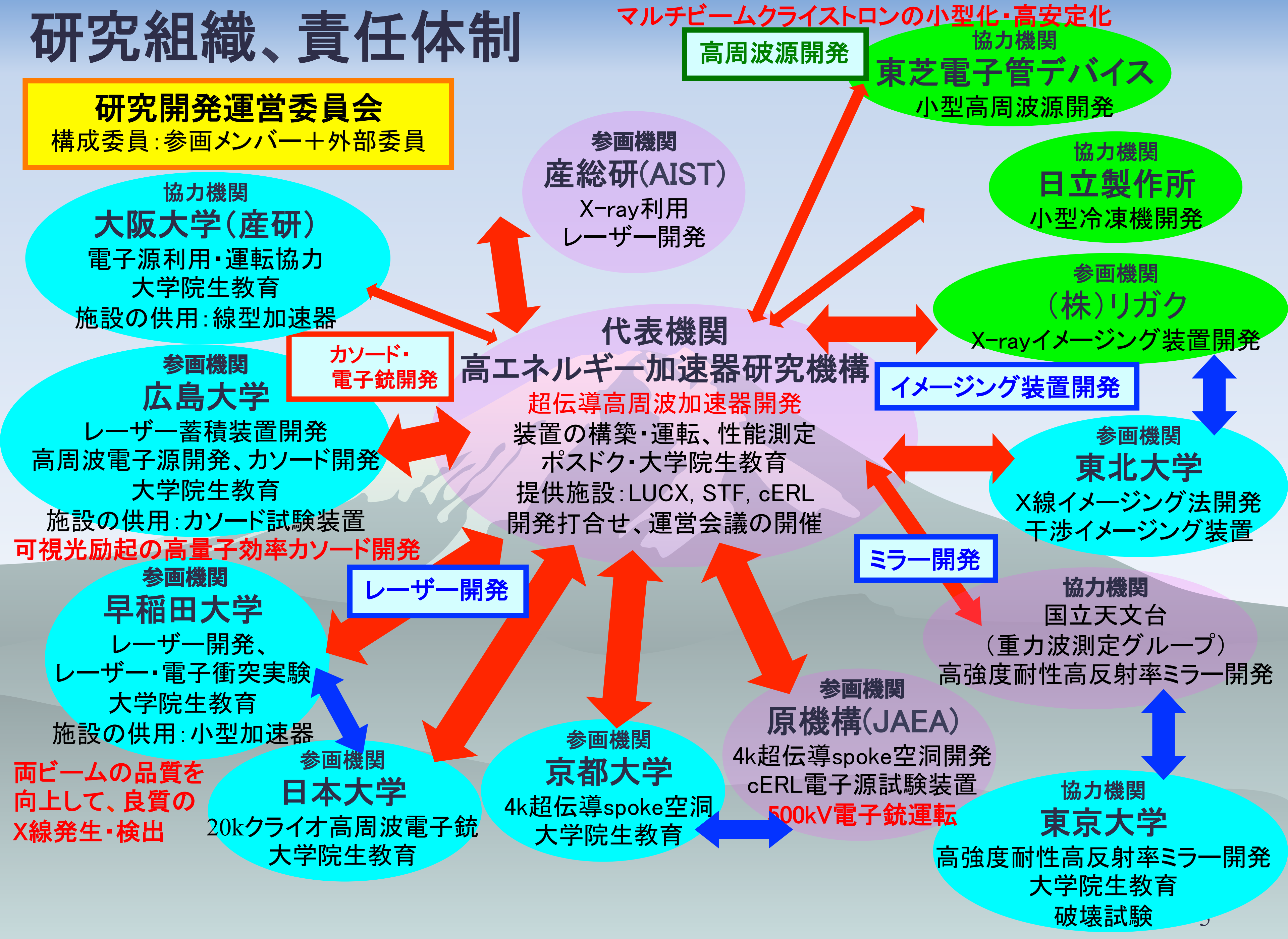
改造終了、1MWパルスレーザー蓄積技術、357MHz～10μm衝突技術、X線イメージング技術等の開発(2013-2019)。

cERL施設(35MeV)



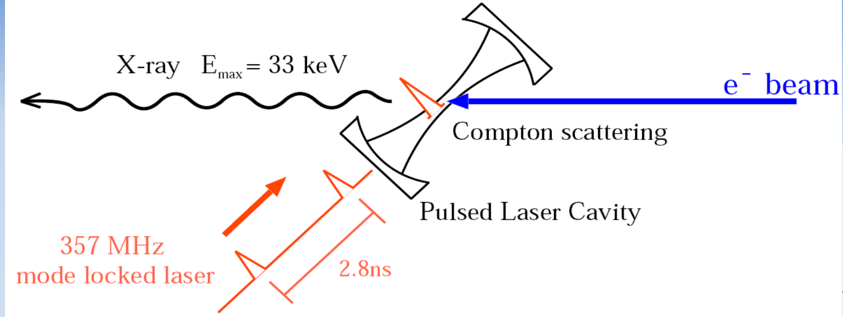
2015年度までに～10mA ERL運転達成。その後逆コンプトンX線生成・利用研究開始(2015-2019)。

研究組織、責任体制



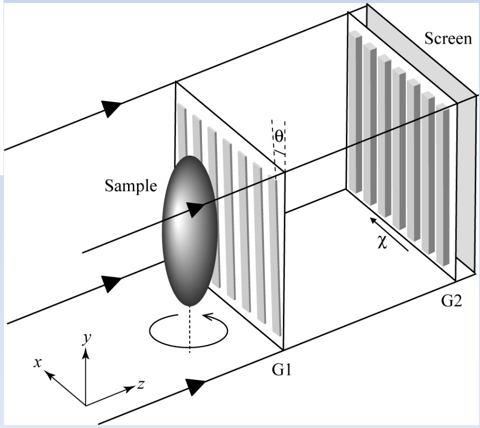
研究開発運営委員会
構成委員：参画メンバー＋外部委員
マルチビームクライストロンの小型化・高安定化
高周波源開発
協力機関
東芝電子管デバイス
小型高周波源開発
参画機関
産総研(AIST)
X-ray利用
レーザー開発
協力機関
日立製作所
小型冷凍機開発
参画機関
（株）リガク
X-rayイメージング装置開発
協力機関
大阪大学（産研）
電子源利用・運転協力
大学院生教育
施設の供用：線型加速器
カソード・
電子銃開発
代表機関
高エネルギー加速器研究機構
超伝導高周波加速器開発
装置の構築・運転、性能測定
ポスドク・大学院生教育
提供施設：LUCX, STF, cERL
開発打合せ、運営会議の開催
イメージング装置開発
参画機関
広島大学
レーザー蓄積装置開発
高周波電子源開発、カソード開発
大学院生教育
施設の供用：カソード試験装置
可視光励起の高量子効率カソード開発
参画機関
東北大学
X線イメージング法開発
干渉イメージング装置
ミラー開発
レーザー開発
参画機関
早稲田大学
レーザー開発、
レーザー・電子衝突実験
大学院生教育
施設の供用：小型加速器
協力機関
国立天文台
（重力波測定グループ）
高強度耐性高反射率ミラー開発
参画機関
原機構(JAEA)
4k超伝導spoke空洞開発
cERL電子源試験装置
500kV電子銃運転
両ビームの品質を
向上して、良質の
X線発生・検出
参画機関
日本大学
20kクライオ高周波電子銃
大学院生教育
参画機関
京都大学
4k超伝導spoke空洞
大学院生教育
協力機関
東京大学
高強度耐性高反射率ミラー開発
大学院生教育
破壊試験

逆コンプトン散乱光源は
大型放射光の光と比べて、
・パルス性(短時間での撮像)
・拡がりが大きいことからの
大面積の撮像。
・偏光X線生成と偏光特性
高速切り替え利用。

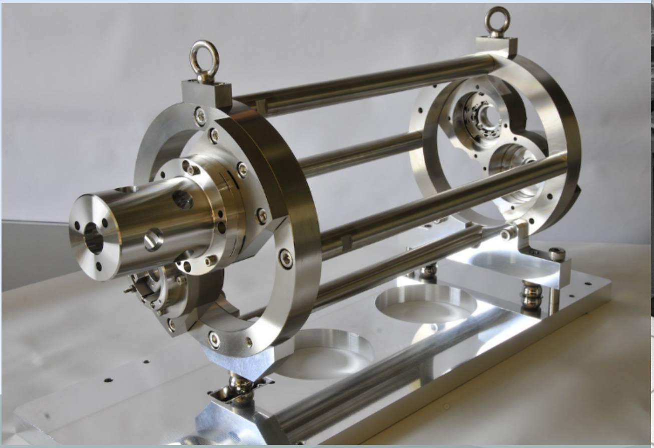


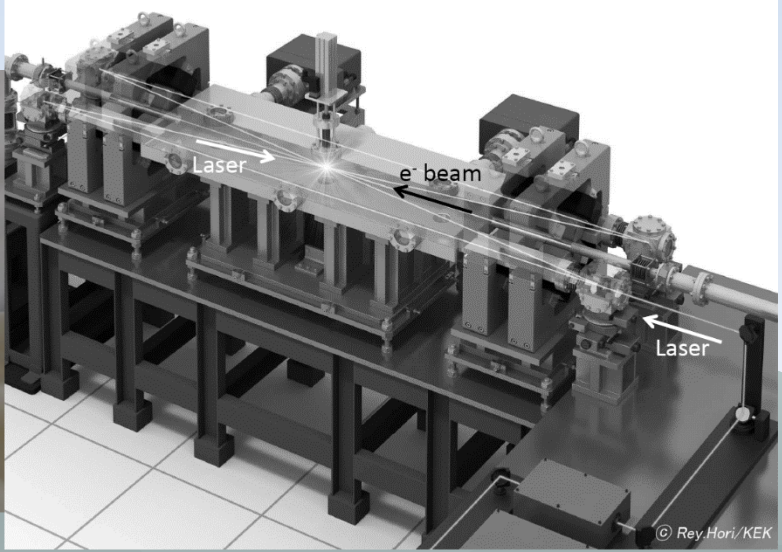
2D 4枚ミラーリング光共振器

X-ray Talbot干渉計

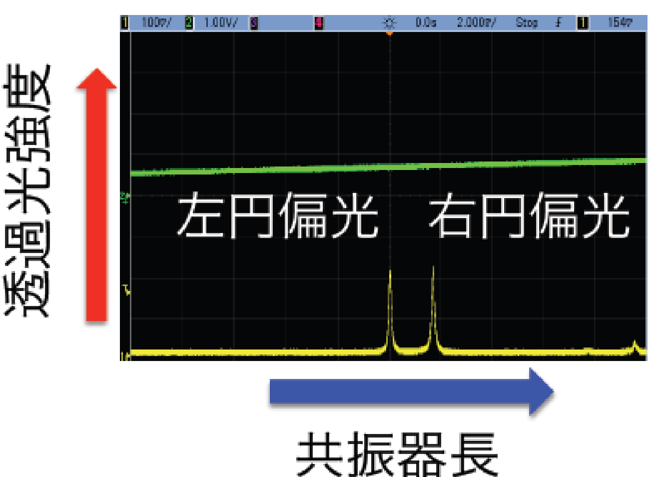


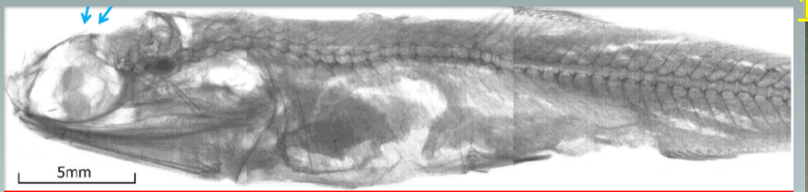
3D 4枚ミラーリング光共振器

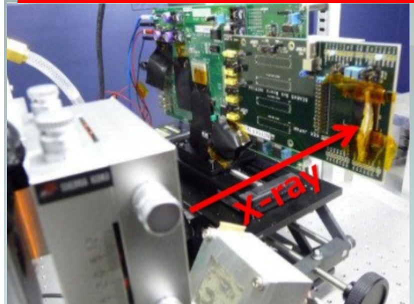




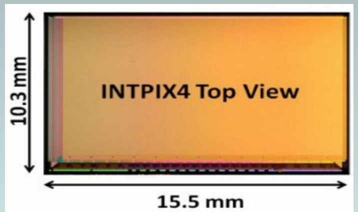
円偏光共鳴状態制御

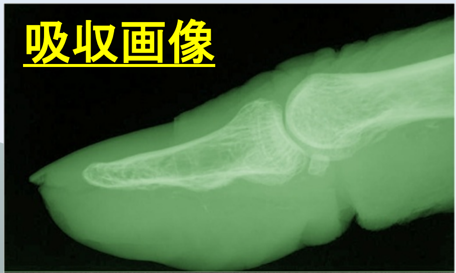


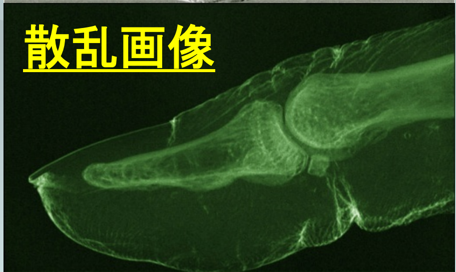




X-ray Imaging by SOI Pixel Detector







ユーザーニーズ： ライフイノベーションを実現する利用

◎たんぱく質構造解析、創薬（（株）リガクの将来光源装置）

◎高速X線偏光スイッチングの利用

光学異性体識別：睡眠・鎮静剤サリドマイド等の副作用を与える鏡像異性体成分を選択的に解離する技術開発が可能になる。

◎血管疾患の初期診断（糖尿病性慢性合併症）

微小血管病変　⇒　尿病性網膜症、糖尿病性腎症、大血管病変　⇒　心筋梗塞、脳梗塞

日本の糖尿病患者は 740万人おり、予備群も含めると2,200万人以上である。

既存の診断手法（血糖値検査）では予備群に対する診断が不十分、本研究にて開発する小型高輝度ICS-X線源と吸収端撮像法によって、これまで撮影が困難であった毛細血管の収縮異常を 、リアルタイムで可視化することができる。

予備群を対象とした画期的な初期診断が期待できる。

ユーザー: 国立循環器病センター、東海大学医学部、岩手医科大学などの医療機関・病院

エンドユーザー：　国民（20%以上が対象）

◎骨疾患の初期診断

骨粗鬆症、関節リウマチ　など、**日本の骨粗しょう症患者は、1,300万人以上である。**

既存の診断手法（DXA法、MD法、超音波法）、しかし、骨粗しょう症の骨鬆（す）は非常に微細（数μm）なため、既存の手法では可視化できなかった。本研究にて開発する小型高輝度ICS-X線源とタルボ干渉法を組み合わせることによって、これまで撮影することが困難であった骨粗鬆症の微細構造を、高解像度で短時間に可視化することができる。

画期的な初期診断・治療法の開発が期待できる。

ユーザー: 茨城県立医療大学、埼玉医科大学どの医療機関・病院

エンドユーザー：　国民（10%以上が対象）

◎準単色X線（50keV～150keV）によるがん治療

ユーザーニーズ： グリーンイノベーションを生み出す利用

◎ナノ構造解析（日立製作所、（株）リガクの将来光源装置）

◎高速ポンプ・プローブ実験（物質構造ダイナミックス解明）

◎高速X線偏光スイッチングの利用

光学異性体識別：磁気異方性の解明、界面におけるスピンダイナミクスの観察等。

◎ハイブリッドKエッジ濃度計

Kエッジ吸収法とX線蛍光散乱を組み合わせて、溶液中の物質濃度を高精度で測定する装置。本研究にて開発する小型高輝度ICS-X線源によって、ウラン・プルトニウム硝酸溶液の分析可能になる。

核燃料再処理工場の計量管理に応用可能。

◎アクチノイドなど重元素物質の化学結合および構造特性の解明

→ 究極の化学反応制御法の確立

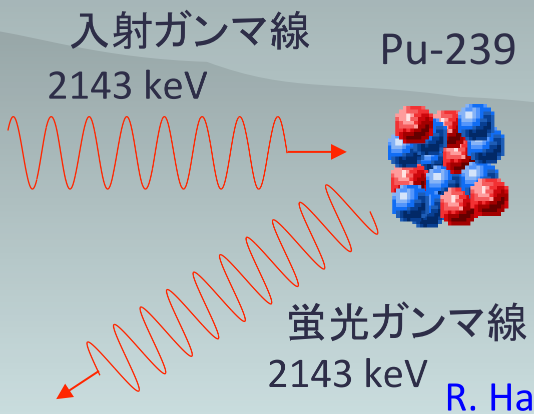
「現状」大型放射光ビームラインの一部で核燃料取扱（KEK-PF, BL-27）

または、模擬物質（ランタノイド）を使った実験 (SPring-8, BL11XU)。

本研究にて開発する小型高輝度ICS-X線源を「将来」核燃料取扱施設に設置！

非密封RIの取り扱いに高い自由度（多様な核種の利用）

◎核セキュリティ（核不拡散・核セキュリティ技術開発（0.5MeV～10MeV））



同位体に固有の原子核共鳴蛍光散乱

（Nuclear Resonance Fluorescence）

エネルギー可変、単色ガンマ線ビーム → 原子核反応を選択的に実行

R. Hajima, T. Hayakawa, N. Kikuzawa, E. Minehara, J. Nucl. Sci. Tech. 45, 441

以下、質問に対する参考資料

「質問内容」:
・ユーザーニーズがどれだけあるのか、魅力的な光源になりうるかなど、波及効果を説明すること。
・イメージングまでの最終的な目標を実現させるための技術開発の課題と解決方法を説明すること。

http://kocbeam.kek.jp/

全体研究開発打合せ:毎月
各グループ打合せは隔週または毎週行う。
全ての資料はWebに載せる。