平成20年度 次世代ビーム技術開発課題 採択課題

超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発

広島大学
大強度・高品位電子源の開発

・大強度電子ビーム160倍
300nC/pulse
→ 48,000nC/pulse
・直流高電圧方式の採用による連続(CW)運転

東京大学 / JAEA / KEK
超伝導加速空洞の開発

・省エネルギー 1/70万
発熱：25MW
→ 35W
・大電流ビーム加速 20%増
25MV/m
→ 30MV/m

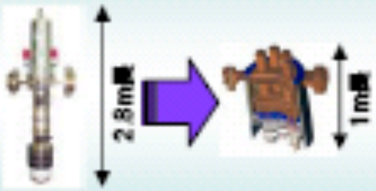
広島大学
レーザー蓄積装置の開発

・蓄積エネルギー 100倍
0.5mJ/pulse
→ 50mJ/pulse
・ビームサイズ 1/4
30μm → 8μm

日立ハイテクノロジーズ
高安定電源供給

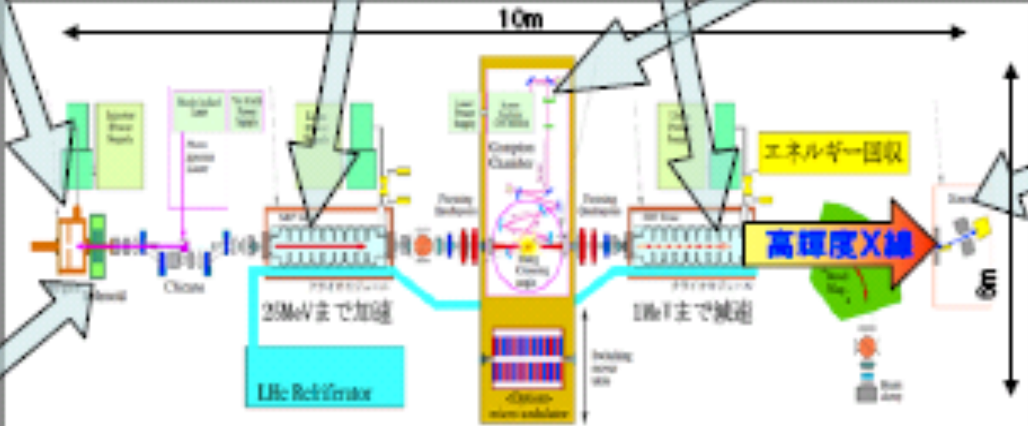
高安定電源供給

東芝電子管デバイス
高周波電源の開発



・高周波電源の小型化

KEKにてシステム構築・運転、性能測定を実施



次世代小型高輝度光子ビーム源を実現

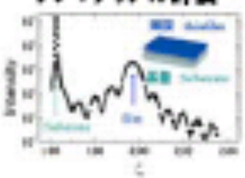
早稲田大学
高性能検出器の開発

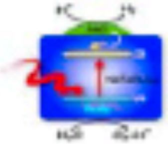
・高分解能X線検出器 1/2
角度分解能：
1度→0.5度
・エネルギー分布・角度分布を同時測定

目標性能	○高フラックス・高輝度	○小型化
	既存小型X線源の1000倍 第二世代放射光源の輝度と同等	直径50m程度の蓄積リング → 10m x 6m

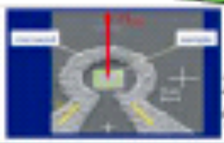
中・小規模放射光施設での測定が実験室レベルで可能に！

ナノマテリアル評価



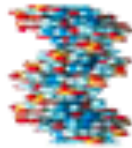


燃料電池開発



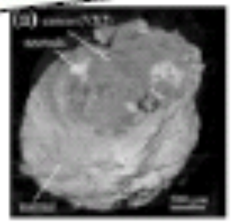
次世代型磁気ディスク開発

再生医療用ポリマー開発



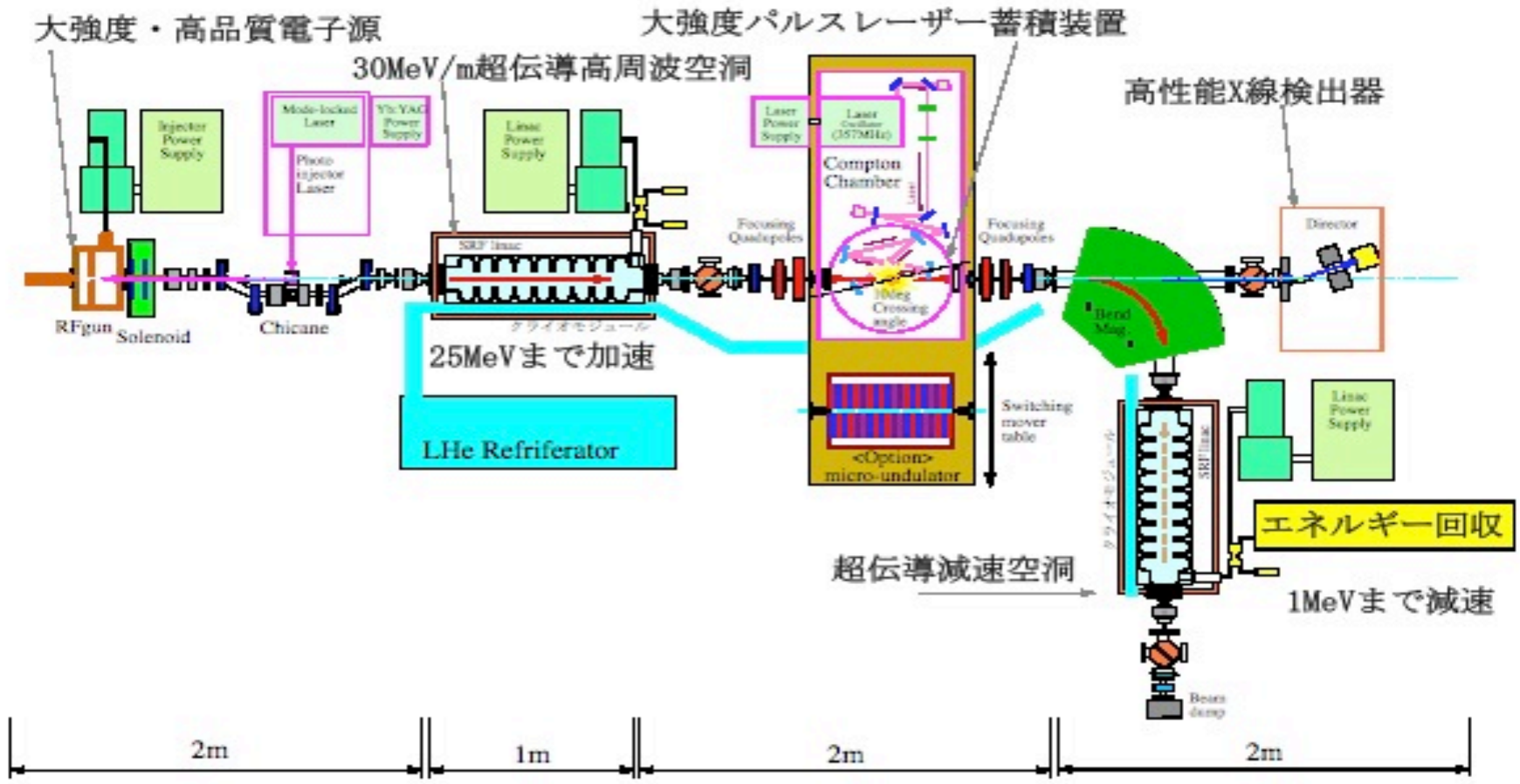
遺伝子構造と機能解明

高精細X線イメージング



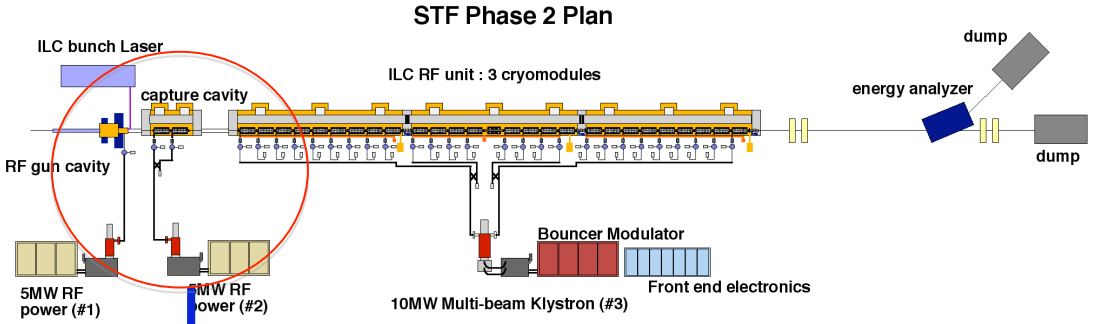
光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発
量子ビーム基盤技術開発プログラム
次世代ビーム技術開発課題

超伝導加速による次世代小型高輝度光子ビーム源の開発



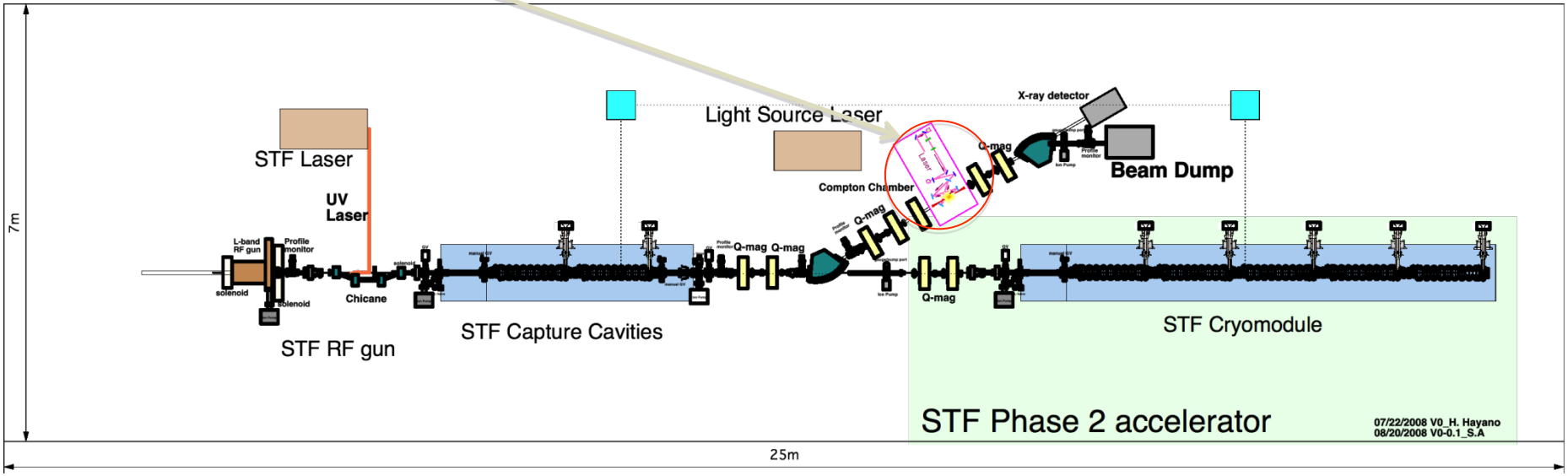
X-ray generation experiment
(compact light source accelerator)

実証実験計画
2011.4から装置設置
2011.10から実験開始
2012.7まで実証実験
2012.8から装置撤去
2013.3まで要素技術の再確認と報告書作成



Quantum Beam Accelerator
X-ray generation experiment in 2012

Compact Light Source accelerator in STF Phase 2



開発項目：

1. RF Gun, DC Gun, 光カソード、
2. パルスレーザー蓄積装置、
3. パルス超伝導空洞、CW超伝導空洞、
4. X線検出装置、
5. システム統合化

担当：

1. 光カソード	東大、原機構、広大
2. RF Gun	広大、阪大、京大、早稲田、KEK
3. DC Gun	原機構、日立ハイテク、KEK
4. パルスレーザー蓄積装置	広大、早稲田、京大、KEK
5. パルス超伝導空洞	KEK、東大、京大
6. CW超伝導空洞	KEK、東大
7. X線検出装置	早稲田、KEK
8. システム統合化	KEK、東大、原機構、広大、早稲田、京大、日立ハイテク、東芝電子管

次世代量子ビームプロジェクト推進室

研究開発運営委員会

KEK
管理部

電子源開発
羽島班
(福田将史)

超伝導空洞
開発
古屋・早野班

レーザー蓄積
装置開発
高橋班
(本田洋介)

(間接経費)
事務官
1名

X線検出
装置開発
幅班

システム
統合化
照沼班

専属専門
若手研究員
3名

主要なX線生成実験、要素技術開発実験および検討、報告書計画

2008.9　小型高輝度X線源開発プロジェクト研究活動開始。

2009.3　KEK開発拠点整備および要素技術開発実験開始。

2009.9　小型常伝導加速器による大強度逆コンプトン散乱実験開始。

2010.3　50mJ/pulse レーザーパルス蓄積光空洞実証実験開始。

2010.9　常伝導加速器による大強度X線生成実験開始。

2011.3　光高周波電子源とレーザー装置による大強度X線生成の限界について、報告書をまとめる。

2011.9　パルス超伝導空洞による大強度X線生成実験開始。

2012.3　DC高圧電子源、CW超伝導加速器の利用可能性を検討。

2012.9　大強度X線生成実験終了。

2013.3　成果報告書提出。

要素技術開発 Milestone

常伝導光高周波電子源：規格化エミッタンス0.3mmmrad、
生成平均電流10mA-50mA

高圧DC電子源：規格化エミッタンス0.1mmmrad、生成電流100mA

パルス超伝導加速空洞：25MV/mから35MV/mでの
安定ビーム加速運転

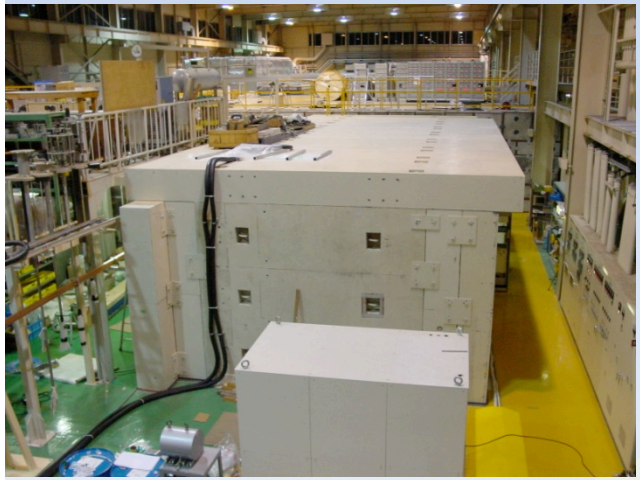
CW超伝導加速空洞：15MV/mから20MV/mでの安定ビーム加速運転

パルスレーザー蓄積光空洞：10psecパルスレーザー50mJ蓄積、
衝突点レーザーサイズ10μm以下達成

25MeV e-beam逆コンプトン散乱生成光子数：10^{11} photons/sec以上

X線検出器：空間時間高分解X線エネルギースペクトラム測定

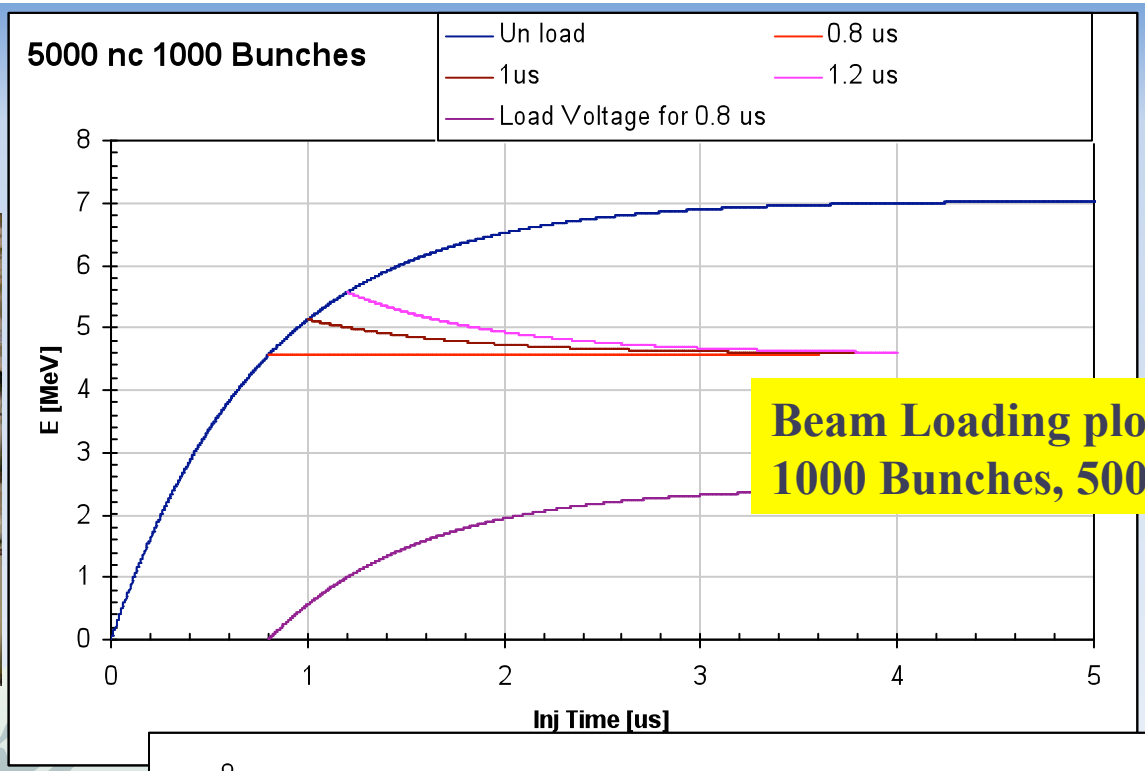
S-band Linac with photo-cathode RF gun



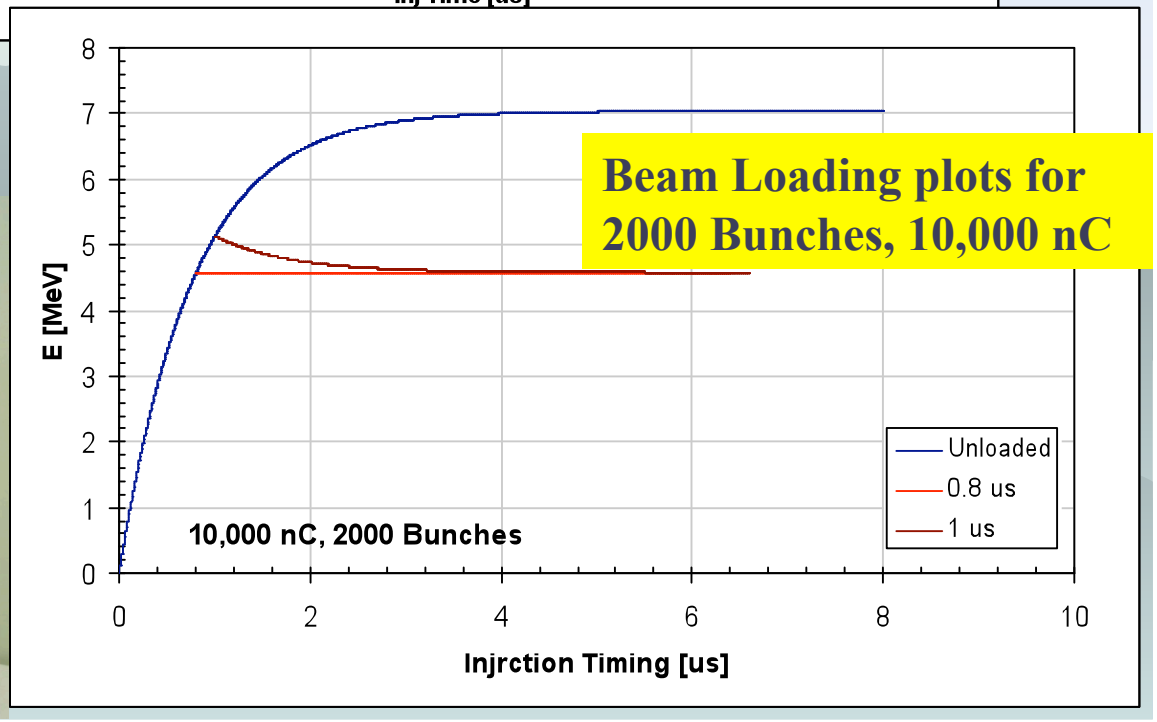
先端加速器研究施設
H20-H24
量子ビーム開発拠点

JFY2004
300nC achieved

Schedule
JFY2009
1000nC-5000nC
JFY2010
Soft X-ray Gen.



Beam Loading plots for 1000 Bunches, 5000 nC



Beam Loading plots for 2000 Bunches, 10,000 nC

東大上坂研の開発スケジュール

H20年度： Na_2KSbカソード試験
原科研にてマルチアルカリカソード開発システム起動

H21年度： マルチアルカリカソード開発
（Na_2KSb:Cs (S-20), KCsSb, $Na_2KSb_xTe_{1-x}$）

H22年度： 製作したNa_2KSb:Cs を
KEK photocathode RF gunにて試運転

H23年度： 大電流（mC~Cレベル)引き出し試験による大強度試験
長寿命試験（3ヶ月以上　5%のQE目標）

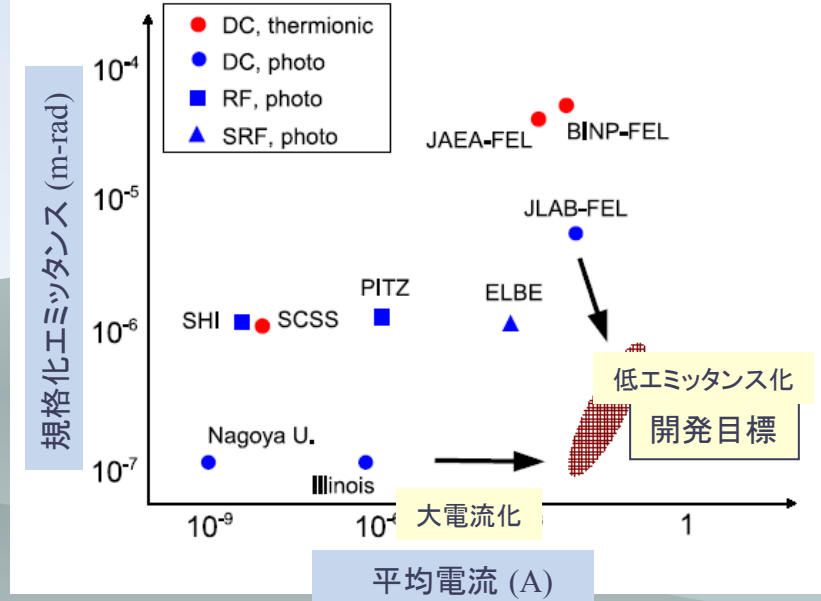
H24年度： 長寿命試験（3ヶ月以上　5%のQE目標）

**実績のあるPhoto-cathode Cs_2Teで電子生成を行う。
新しいPhoto-cathode開発が東大の研究課題。可視光でも
電子生成が可能。**

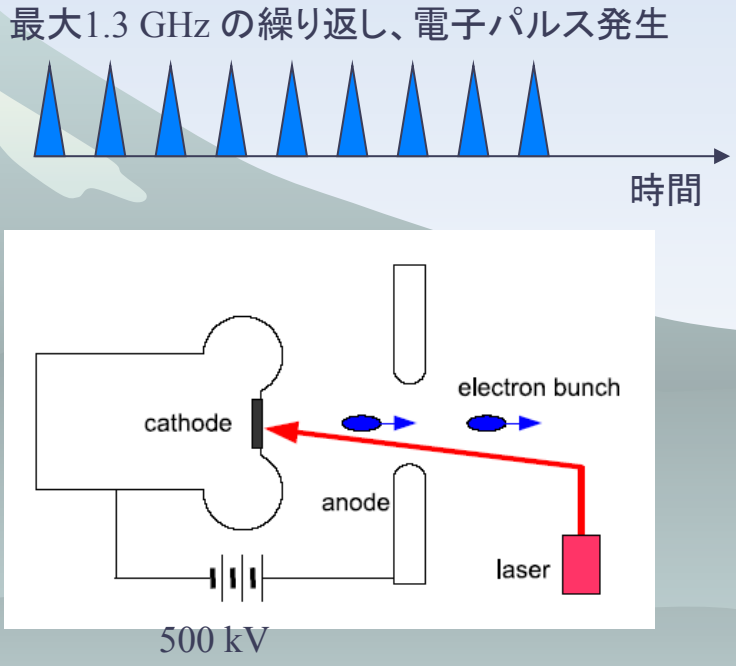
原機構の研究開発目標

次世代小型高輝度光子ビーム源のための電子源として、以下の技術を確立する

- 連続運転（CW）が可能なDC電子銃
- 低エミッタンスと大電流を両立する光陰極とDC加速技術
- 実用機の運転条件を満たす、量子効率と寿命の実現



これまでに開発された電子源と本研究の目標



ERL用電子源開発

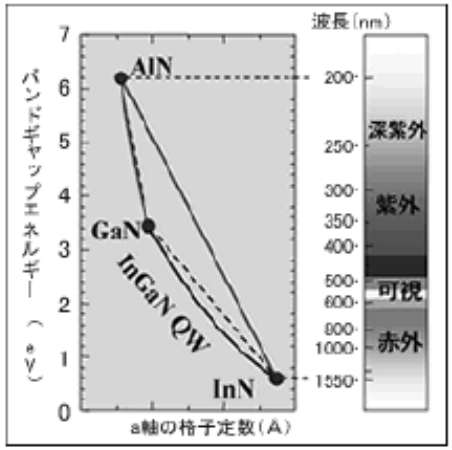
広島大学栗木研　：　研究開発課題

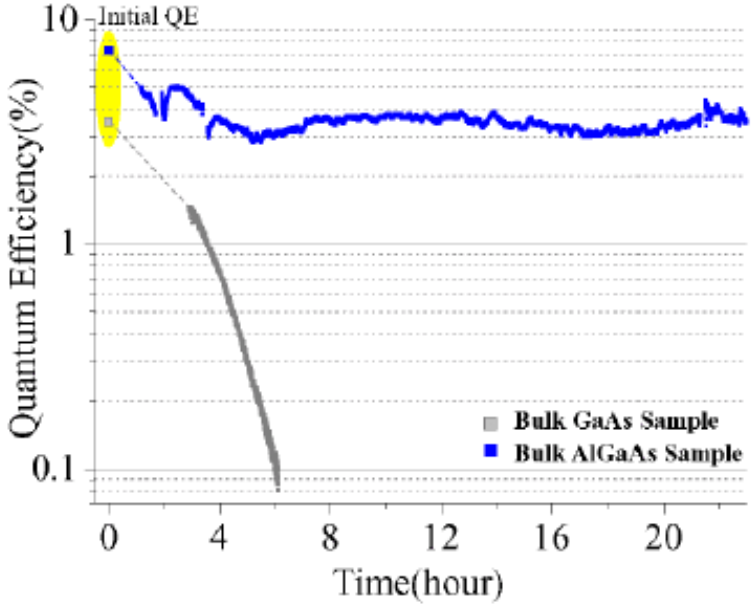
AlGaAs/InGaN 高性能カソード

★ $Al_xGa_{1-x}As$, $In_xGa_{1-x}N$（混晶）によるEgの調整、最適化

★ $Al_xGa_{1-x}As$: GaAsに比べて高寿命、Csの被覆が衰えてもNEAを維持

★ $In_xGa_{1-x}N$：500nm帯で高QE、NEA化の可能性





KEK-1「パルス超伝導加速空洞技術の開発」

今後５年間のスケジュール

1年目(2008)：　空洞電界性能を阻害している原因の追及

2年目(2009)：　空洞電界性能を阻害している原因の追及
阻害原因の除去、および回避技術の開発

3年目(2010)：　高電界性能を達成する技術の確立
それらの達成技術により高性能超伝導空洞を製作。

4年目(2011)：　高性能超伝導空洞の性能試験、
その後クライオモジュールに組込み（於STF設備）。

阻害原因追及

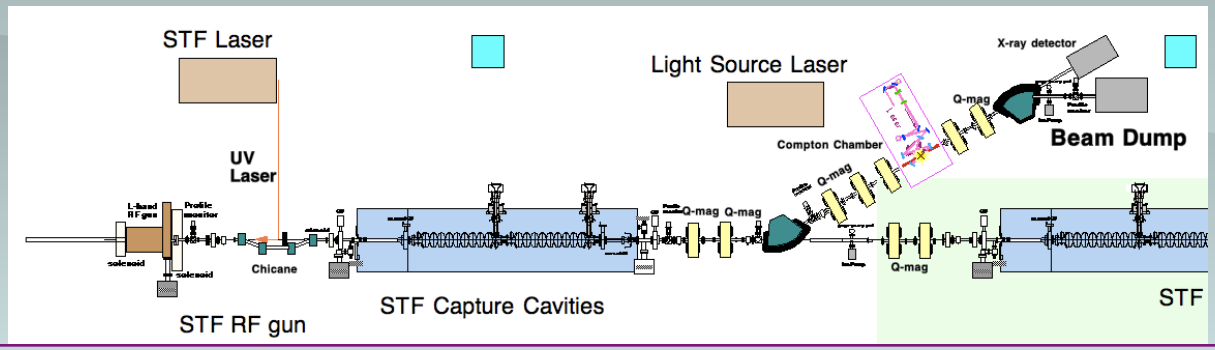
回避技術開発

空洞製作

空洞試験

空洞運転

**5年目(2012)：　パルス超伝導空洞の高電界運転と
高輝度光子ビーム源へ組込み運転実証（於STF設備）。**

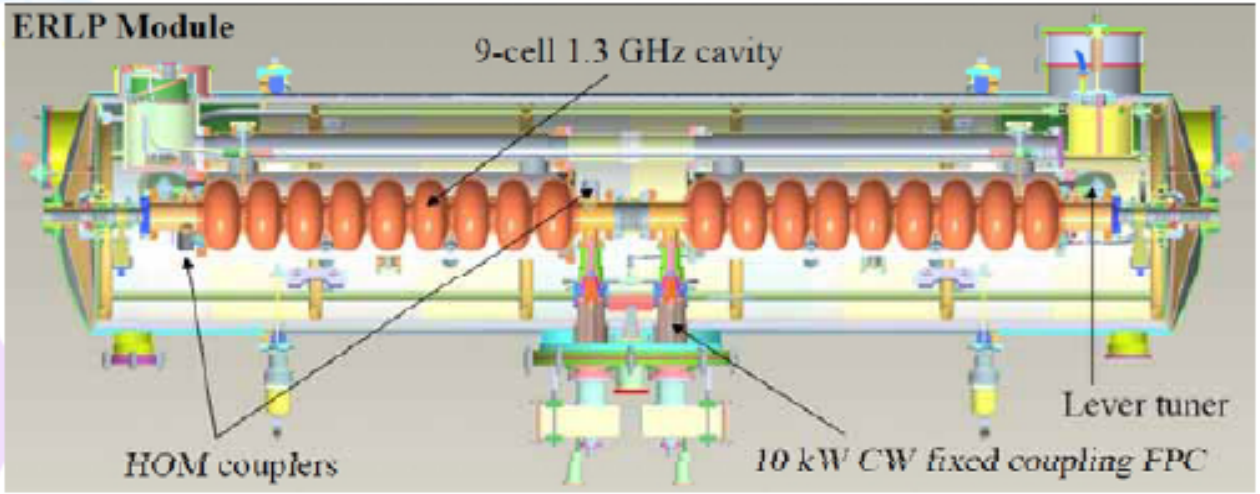


KEK-2「CW超伝導加速空洞技術の開発」

CW超伝導空洞の開発研究

	2008	2009	2010	2011	2012
1，300kWクライストロン設置	⟷			出力試験 ⟷	
2，3MV入射部用Nb空洞のみの試作	⟷	⟷	⟷		
3，9連型空洞2台入りモジュール試作		⟷	⟷	⟷	性能試験 ⟷

量子ビーム向けCW型超伝導加速空洞モジュール



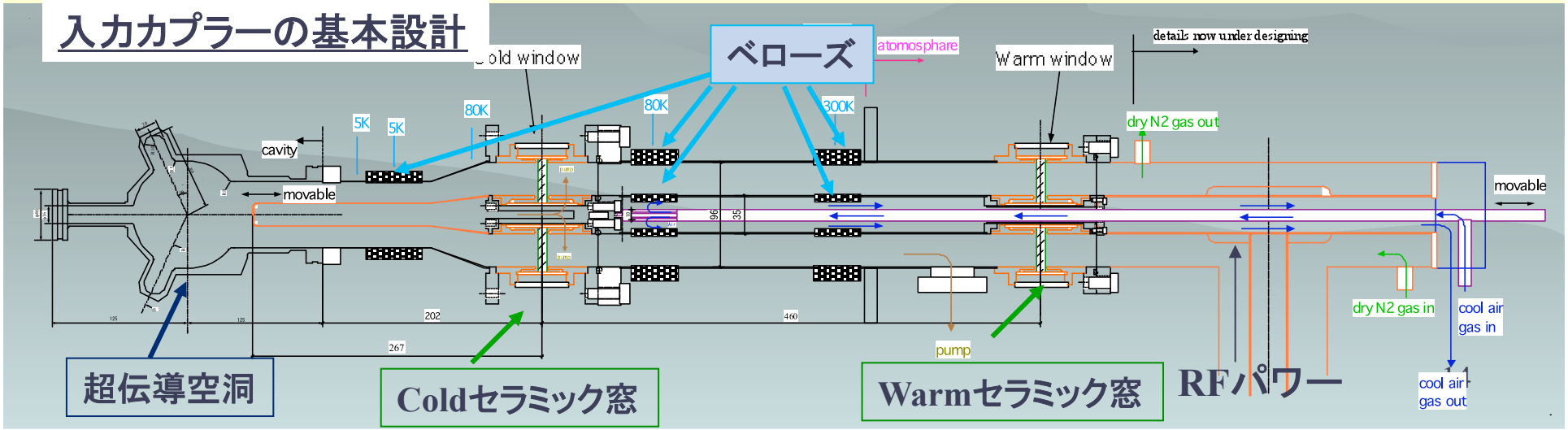
i) 9連空洞 2台
ii) HOM damper
iii) Coupler
iv) 周波数tuner

東大中村研：入力カプラーの設計の現状、ERL用を開発

- 基本設計は1.3GHz仕様のKEK STF-BL couplerから開始。特にピークパワーの高いパワー投入の実績と、粉塵混入を避けるため、同様にDiskセラミック窓２枚方式は採用。但し、CW運転に対応するように下記に示す発熱などに考慮した設計に修正。

インピーダンス60Ω、内導体強制空冷、
ロスの少ないセラミック材質の使用(HA997)、
空洞への熱侵入回避の温度定点の最適化、
ベローズによるカップリング可変機構、、、

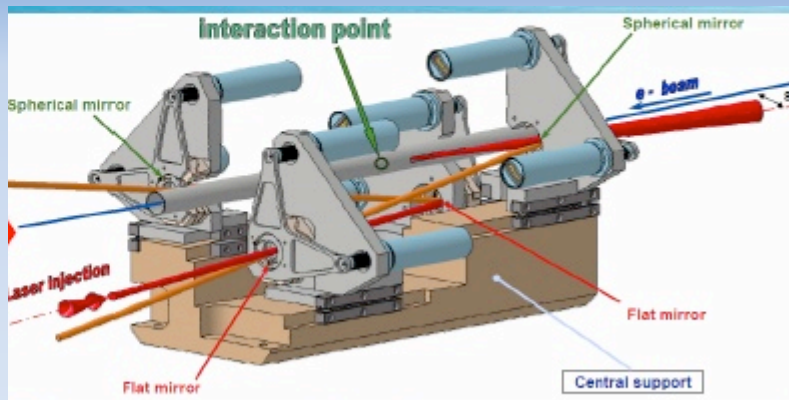
セラミック窓などのコンポーネントの性能評価が重要



広島大学高橋研：研究開発課題

レーザー蓄積装置開発

目標
レーザー蓄積共振器による，
高輝度光子生成のためのレーザー強度達成。



50 mJ / pulse, waist = 8 μm

レーザー蓄積	0.5 mJ/pulse, Waist: 30 μm	50 mJ/pulse, Waist: 8 μm	4枚ミラーリング光共振器

指針

既存技術の直接の発展

中フィネス＋バーストアンプ
（4枚鏡版のLUCX＝SLUCX）

高フィネスを目指したフィードバック技術開発

統合化を目指す

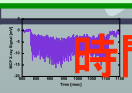
4枚鏡共振器の開発に集中

PDH法，デジタルフィードバック。

早稲田大学鷲尾研：軟X線から硬X線検出器開発

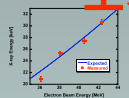
レーザーコンプトンX線検出器開発計画

項目	1年度目	2年度目	3年度目	4年度目	5年度目
全体	装置設計･基幹要素技術開発			提案開発装置製作 ビーム統合試験	
早大	X線検出 装置の設計	X線検出器の 試験装置開発		総合試験装置への技術導入 X線発生総合実験に参加	



時間分解

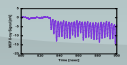
エネルギー分解



これまでの開発

○時間分解検出

2.8nsecをPulse to Pulseで計測



〇エネルギー分解検出

平均エネルギーの測定試験

KEK　X線検出装置の実用化開発（幅班）

5 nm～0.025 nm 波長領域の絶対強度測定、エネルギー分布測定、空間分布測定、時間構造測定。

今年度の目標

軟X線から硬X線検出装置の評価を行い、本課題装置に利用する場合の問題点を抽出する。X線検出装置を試作して、X線測定実験を行い、どのような測定上の問題があるかを整理する。

これまでの取り組み一例

X-ray Generation Experiment

（坂上・早稲田）

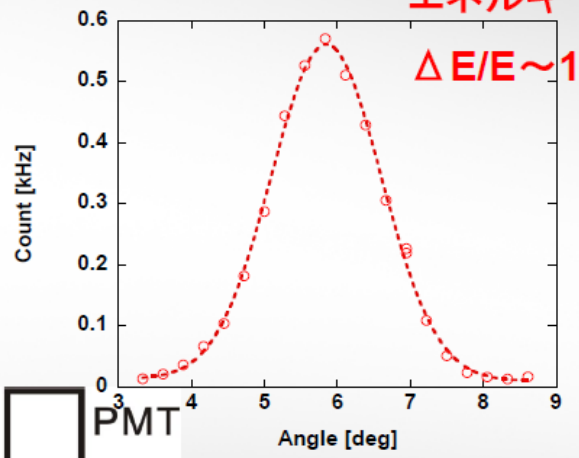
X-ray Detection System at LUCX

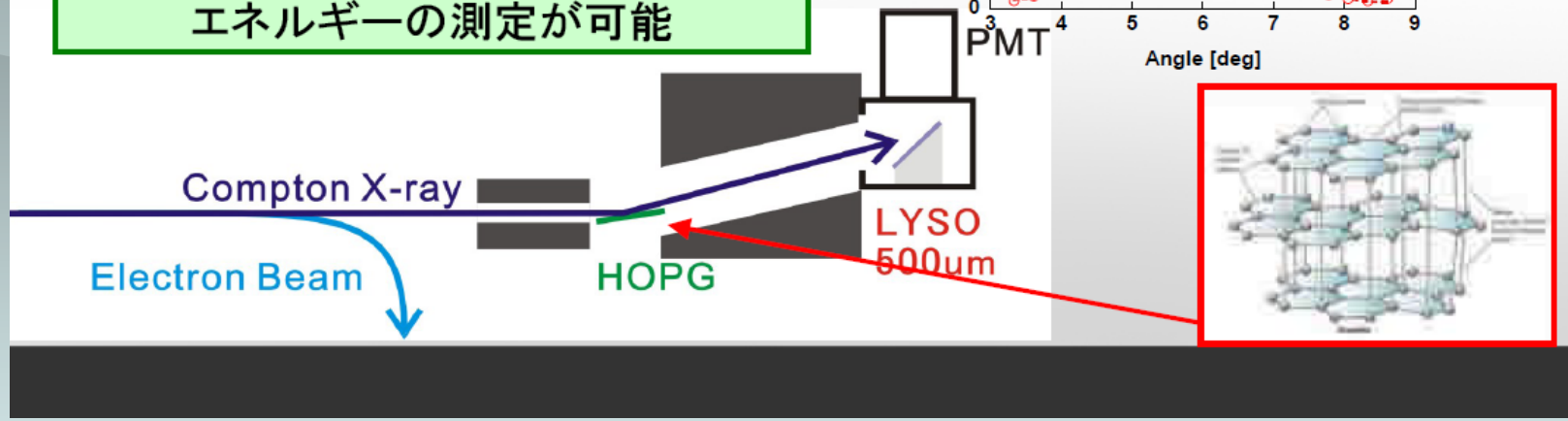
HOPG (Mosaic Crystal) を用いてX線とBGを分離して検出する。

加速器バックグラウンド
・高エネルギー
・エネルギー広がり大
⇒Bragg結晶を用いて
信号とバックグラウンドを分離

さらに、Bragg Angleより
エネルギーの測定が可能

エネルギー分解能
ΔE/E～17%

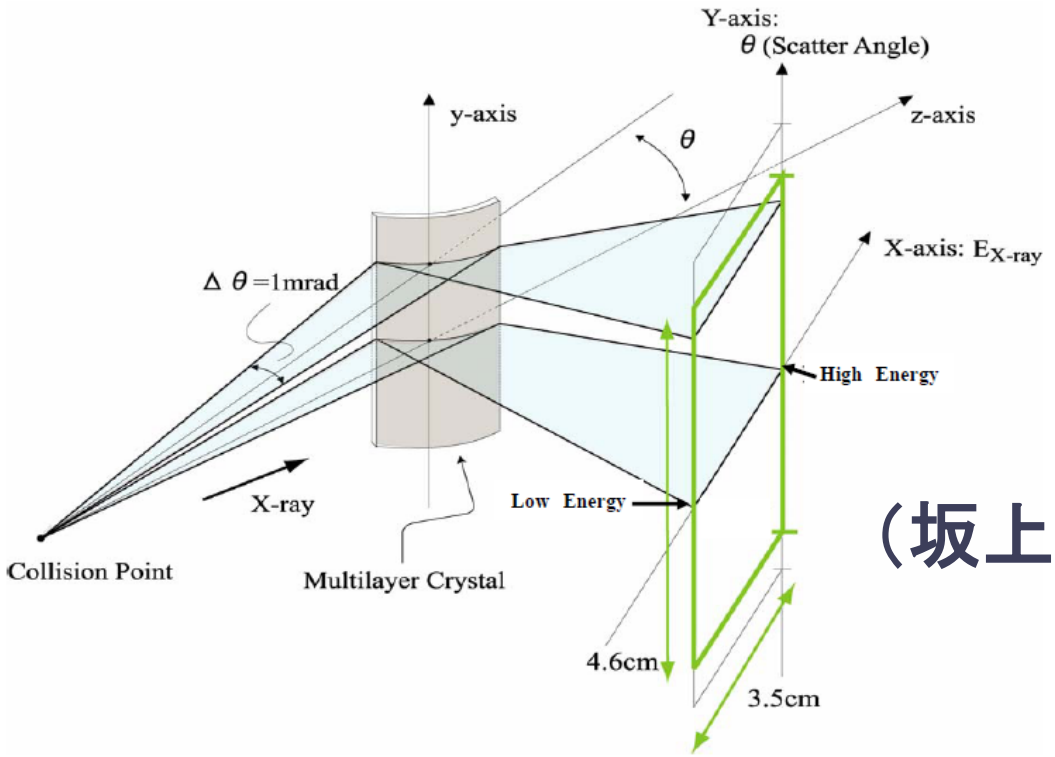




今後の方向性の一例

2次元X線スペクトロメータ

円筒面多層膜ミラーと二次元位置検出器を組み合わせたX線スペクトロメータで、逆コンプトンX線のエネルギー・散乱角度分布を同時測定

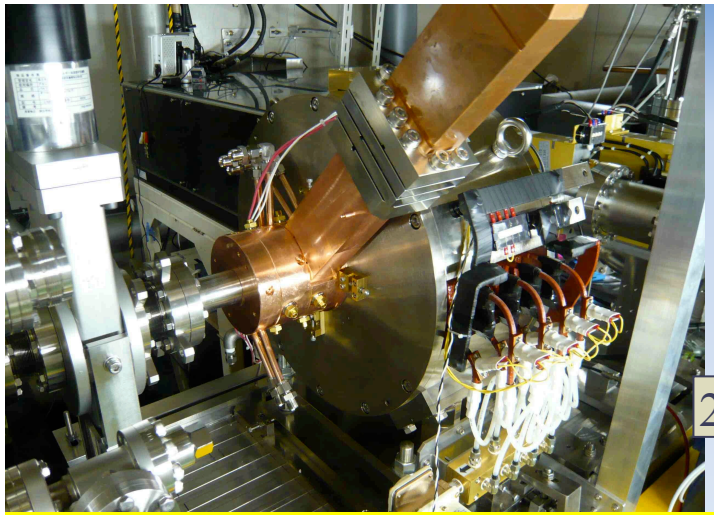


（坂上・早稲田）

重要なのは、2次元のイメージング装置（パルス／画像）

Road Map

Prototype:2009
Real type:2011



50μC/pulse生成:2010、加速:2011

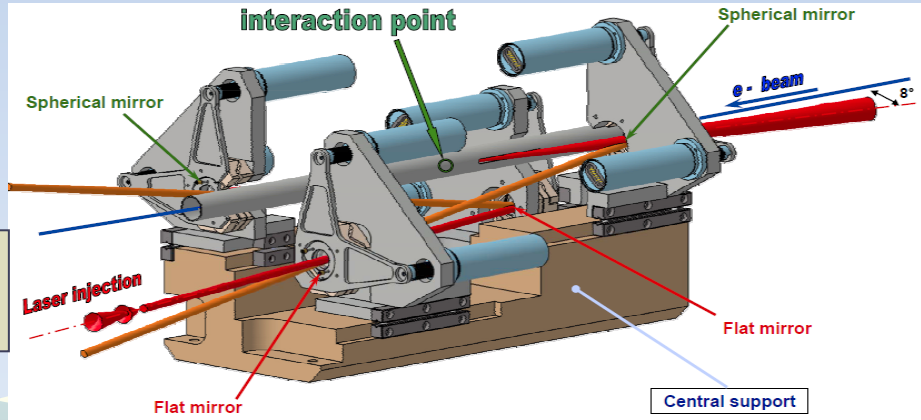
500kV, DC 100mA生成:2012

2009

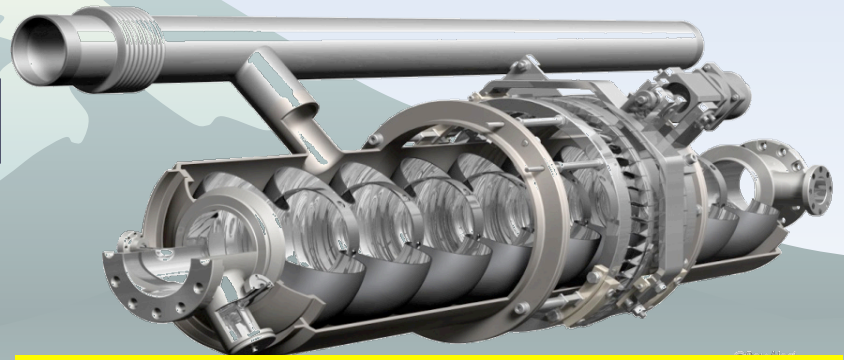
2009, 2011

2011

2012



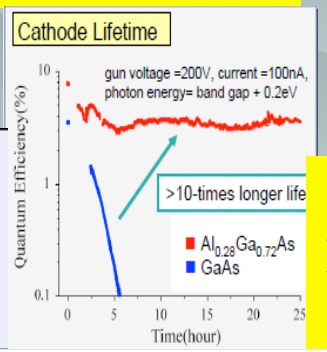
50 mJ / pulse, waist = 8 μm



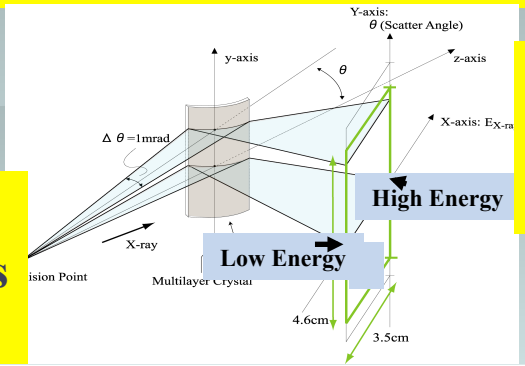
超伝導高周波加速空洞技術確立:2011

新カソード開発

AlGaAs shows longer life than GaAs
electron affinity
GaAs = 4.1 eV
$Al_{0.28}Ga_{0.72}As$ = 3.8 eV



Compact High Brightness X-ray Source



新X線2次元スペクトロメータ開発