

第二回新規量子ビーム全体会議 東北大、百生研究室にて

「光・量子融合連携研究開発プログラム」の英語名称は
Photon and Quantum Basic Research Coordinated Development Program

小型高輝度X線源イメージング基盤技術開発

Fundamental Technology Development for High Brightness X-ray Source and the
Imaging by Compact Accelerator

浦川順治 KEK
2013.8.19

委託業務の目的

ポストゲノム時代の生命科学研究、ナノ構造解析、創薬、医療診断・治療への利用を画期的に飛躍させる数keVから100keVのX線領域の小型高輝度X線発生装置の基盤技術開発を行う。小型の高輝度X線源は企業・病院・大学等での創薬および医療診断・治療に革新的な高効率化を提供する。装置の主な目標性能として、Peak Brightness : 10^{19} (photons/sec/mm²/mrad²/0.1%BW)、装置フットプリント : 6m × 8m、消費電力 : 100kW程度を想定している。ICS (逆コンプトン散乱) によるX線生成では、レーザーパルスと電子ビームの衝突を高繰返しミクロンサイズ精度で行うことによって高輝度X線生成が実現する。ブレークスルーは再利用のコンセプトによりレーザーパルス蓄積1MWと電子ビームパワー1MWの安定高繰返し衝突を100kW程度の電力で実現することである。超伝導加速器技術を使ったエネルギー回収型線形加速器とレーザーパルス蓄積衝突技術を融合することでPeak Brightness 10^{19} (photons/sec/mm²/mrad²/0.1%BW)を実現できる見通しを得た。

ICS X線の特徴である準単色コーンビームの画期的な利用展開に繋がる小型高輝度X線源に必要な基盤技術開発を、行い実用化を図る。本委託研究にて実施する技術開発項目はマルチアルカリカソード、クライオ光陰極高周波電子銃、エネルギー回収型超伝導高周波加速器、高品質短パルス大強度レーザー蓄積装置、ミクロン精度での電子ビーム軌道制御、レーザー光路精密調整及びX線イメージング法である。

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構(KEK)では、超伝導線形加速器、小型高輝度光子ビーム源装置および先端X線イメージング法に関するシステム統合化研究開発を実施する。

代表機関(大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構)は、参画機関(国立大学法人広島大学、独立行政法人日本原子力研究開発機構、学校法人日本大学、株式会社リガク、学校法人早稲田大学、独立行政法人産業総合研究所、国立大学法人京都大学、国立大学法人東北大学)と密接に連携協力することによって、本委託事業で実施する基盤技術開発およびシステム統合化研究開発を推進する。

当該年度における成果の目標及び業務の方法

① X線生成性能向上のための技術開発および各要素技術の開発支援

既存のレーザー蓄積共振器を含む小型常伝導線形加速器(LUCX)のX線生成性能を上げ、X線検出器開発やX線イメージング手法開発の為の実験を行う。現状10keVから20keV X線領域で毎秒 10^6 光子数生成程度であるが、平成25年度中にX線発生光子数を 10^8 程度まで上げる。その為に電子ビームパルス幅を拡げ1000 bunches/pulse 加速運転を可能にする。また、レーザー蓄積パワーがICS時100kWから300kWまで増強すると同時に、衝突点での両ビームを $30\mu\text{m}$ (sigma)以下にする。**学校法人日本大学**が開発するクライオ高周波電子銃の設計・プロトタイプ製作に協力する。また、**学校法人早稲田大学**がファイバーレーザー増幅技術を使った50Wレベルの357MHzモードロックレーザー発生装置製作を開始するので、レーザー発振器やクリーンルームを提供して協力する。そして、ファイバーレーザー増幅技術を使った**50Wの357MHzモードロックレーザー発生装置製作**及びその装置と新光共振器を使った**300kW蓄積実験**を行い、蓄積安定度等のデータを取得する。

国立大学法人広島大学と協力してレーザーパルス蓄積共振器のフィードバック性能を上げる実験を行い、**増大率5000倍以上を目指す**。また、 10^7 から 10^8 photons/secのX線フラックスを使ったイメージング取得実験により、X線検出器およびX線イメージング法の最適化の知見を得る。その結果を分析することによって、X線検出器開発やX線イメージング手法開発の為の最適なX線測定系の詳細設計を進める。

② 超伝導高周波加速空洞運転技術の確立

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構では超伝導加速器の運転性能を上げる為に、加速勾配の限界の原因を各種の表面処理法の適用・空洞内面検査などにより追及する。**パルス30 MV/m**超伝導高周波加速空洞運転技術および**連続波15MV/m**超伝導高周波加速空洞運転技術を確立する。

③ 光高周波電子銃用新マルチアルカリ光カソードおよびレーザー蓄積装置のフィードバック技術開発
(再委託先：国立大学法人広島大学)

従来のCs₂Teカソードから可視光励起できる物性的に有望であるマルチアルカリの高量子効率カソードについて、数%の量子効率や数ヶ月以上への寿命の改善に必要な条件を系統的に調べる。マルチアルカリカソード成膜試験装置により、蒸着条件の最適化を行い、平行して加速器への実装に必要な成膜装置の設計を開始し、一部の試作を開始する。

また、**国立大学法人広島大学**は大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構で進めているICS実験のレーザー蓄積装置の共鳴維持フィードバック技術開発を行い、光子ビーム生成実験に参加する。開発したレーザー蓄積装置に高反射率鏡導入し高強度蓄積の実証実験、デジタル制御装置のシステム設計、平行して超高レーザー蓄積のための音響光学変調器や電気光学変調器による高速制御方式、空間位相変調器による高効率レーザー入射の検討を行う。

④ スポーク型超伝導空洞の開発 (再委託先：独立行政法人日本原子力研究開発機構)

参画機関である国立大学法人京都大学と協力して4Kで高電界加速運転可能な325MHz新超伝導空洞開発を行い、プロトタイプが完成する平成29年度に大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構の超伝導試験加速器(STF)に設置試験できるように開発を進める。

計算機シミュレーションにより、スポーク空洞本体、および、高次モード(HOM)カップラーの最適設計を得る。ニオブ材料を調達し、スポーク空洞の製作に必要な加工性を確認する。既存施設において、325MHz空洞の性能測定が行えるよう、必要な装置を整備する。既存の分子線エピタキシー成膜装置(MBE)にて高量子効率カソードの成膜に必要な環境を構築する。

⑤ 小型高輝度X線源を用いたX線イメージング装置の基盤技術開発（再委託先：株式会社リガク）

小型常伝導加速器(LUCX)の性能を上げ、参画機関である国立大学法人東北大学及び独立行政法人産業技術総合研究所と協力してSOI検出器等を使ったX線位相イメージング取得を行う為の準備を進める。小型高輝度X線発生装置の開発目標仕様に合わせ、X線位相イメージング装置用検出器の評価選定基礎実験を実施する。小型高輝度X線発生装置を用いるX線位相イメージング装置システムに必要なX線検出器の選定、評価を行う。SOI、CCD、CMOS器、Hybrid-pixel semiconductor検出器等、現在開発中および使用可能な検出器の中から小型高輝度X線発生装置の発生するX線スペクトラムに適した検出器を選定し評価実験を行う。

⑥ クライオ光陰極高周波電子銃開発（再委託先：学校法人日本大学）

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構と協力して、20K運転用光高周波電子源の設計・製作を進め、20K空洞に必要なクライオスタットの設計・製作を行う。

2.6セルから成るC-バンド（5712MHz）のnモード高周波電子銃空洞について、熱損失と加速ビーム性能を最適化する形状の検討を行う。このために、SUPERFISH等利用できるシミュレーションソフトで空洞内電磁場計算を行い、これに基づきビーム加速シミュレーションを行い、さらにその結果を空洞形状の最適化にフィードバックする。最適化された空洞形状により、20Kにおける高周波特性を実際に測定するため、低電力試験用空洞の設計を行う。空洞は、冷却した際の目標周波数とのずれ及び設計値の修正量を効率的且つ定量的に求める必要から、常温において若干周波数の異なる3種類を設計する。製作は大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構が担当する。製作した空洞の低電力特性を、冷却温度20Kで測定し、高電力試験用の空洞寸法を決定する。大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構に既存の試験用クライオスタットが、C-バンド2.6セルの空洞を設置可能であるため、これを活用する。冷却試験及び空洞の低電力試験では大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構の設備を利用して行う。この間に、平成26年度以降に行う高電力試験に用いるクライオスタットの検討も並行して進める。

⑦ 大強度高繰返しレーザー開発（再委託先：学校法人早稲田大学）

50から200W高繰返しモードロックレーザー開発を目標にして、高出力レーザー装置開発を進め、その性能試験を大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構の光共振器を使った高輝度光子ビーム発生測定により行う。

⑧ 小型加速器を用いた逆コンプトン散乱光源による最適なイメージング手法の開発（再委託先：独立行政法人産業技術総合研究所）

独立行政法人産業技術総合研究所は所有してる小型加速器を使ったX線検出およびイメージング法に関する相補的な研究開発を大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構と協力して推進する。独立行政法人産業技術総合研究所Sバンド小型リニアック施設において、最大42MeVの電子ビームと衝突用レーザーシステムを整備し、逆コンプトン散乱X線生成を実施する。逆コンプトン散乱X線を用いたイメージング手法として、密着法・インライン位相コントラスト法・集光撮像法を調査すると同時に検出器のサーベイ研究を行う。

⑨ スポーク型超伝導空洞開発に於ける設計及び非破壊検査（再委託先：国立大学法人京都大学）

参画機関である独立行政法人日本原子力研究開発機構と協力して4Kで高電界加速運転可能な325MHz新超伝導空洞開発を行い、プロトタイプが完成する平成29年度に大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構の超伝導試験加速器(STF)に設置試験できるように開発を進める。独立行政法人日本原子力研究開発機構で行うスポーク空洞本体、および、高次モード(HOM)カップラーの設計最適化の過程において、計算機シミュレーションによるマルチパクタリング解析を行う。マルチパクタリングが運転の障害となる可能性のある事が判明した場合、設計へ反映させる。複雑な構造を持ったスポーク空洞における非破壊検査の手法について設計検討を行う。超伝導高周波国際会議2013に参加し、超伝導空洞高分解能内視鏡やTmap,Xmap等、非破壊検査に関する発表を行い、同時に、超伝導加速器の世界動向について調査を行う。

⑩ 小型高輝度X線発生装置を用いたX線位相イメージング法の開発（再委託先：国立大学法人東北大学）
小型常伝導加速器(LUCX)の性能を上げ参画機関である株式会社リガク及び独立行政法人産業技術総合研究所と協力してSOI検出器等を使ったX線位相イメージング取得を行う為の準備を進める。

X線位相イメージングを実施するには、Talbot干渉計あるいはTalbot-Lau干渉計をX線源の空間的干渉性に
応じて構築する必要がある。まず、X線源の空間的干渉性を設計値およびできれば実験によって調べ、
それに基づいた数ミクロンの構造識別が行える干渉計設計を行う。その際に光学素子として使用する
X線透過格子の設計もこれまでに開発したシミュレータを駆使して行う。X線格子の一部は振幅格子であり、
その周期はX線の空間的可干渉距離と同等以下である必要がある。これは高アスペクト比のストライプ構造
を要求する。格子の評価方法としては、実験室X線源を用いた撮影実験による評価を実施する。

⑪ プロジェクトの総合的推進

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構は本研究課題全体を円滑に運営していくため、
本事業のPO及びPDとの連絡を密にとりつつ、各参画機関の連携・調整を行うとともに、課題間の連携強化、
研究者間の交流促進を図る。各参画機関の連携・調整にあたっては、本課題全体打合せを2ヶ月に1度、
各機関持ち回りで行う。また、プロジェクトで得られた成果については、積極的に公表し、今後の展開に資する。

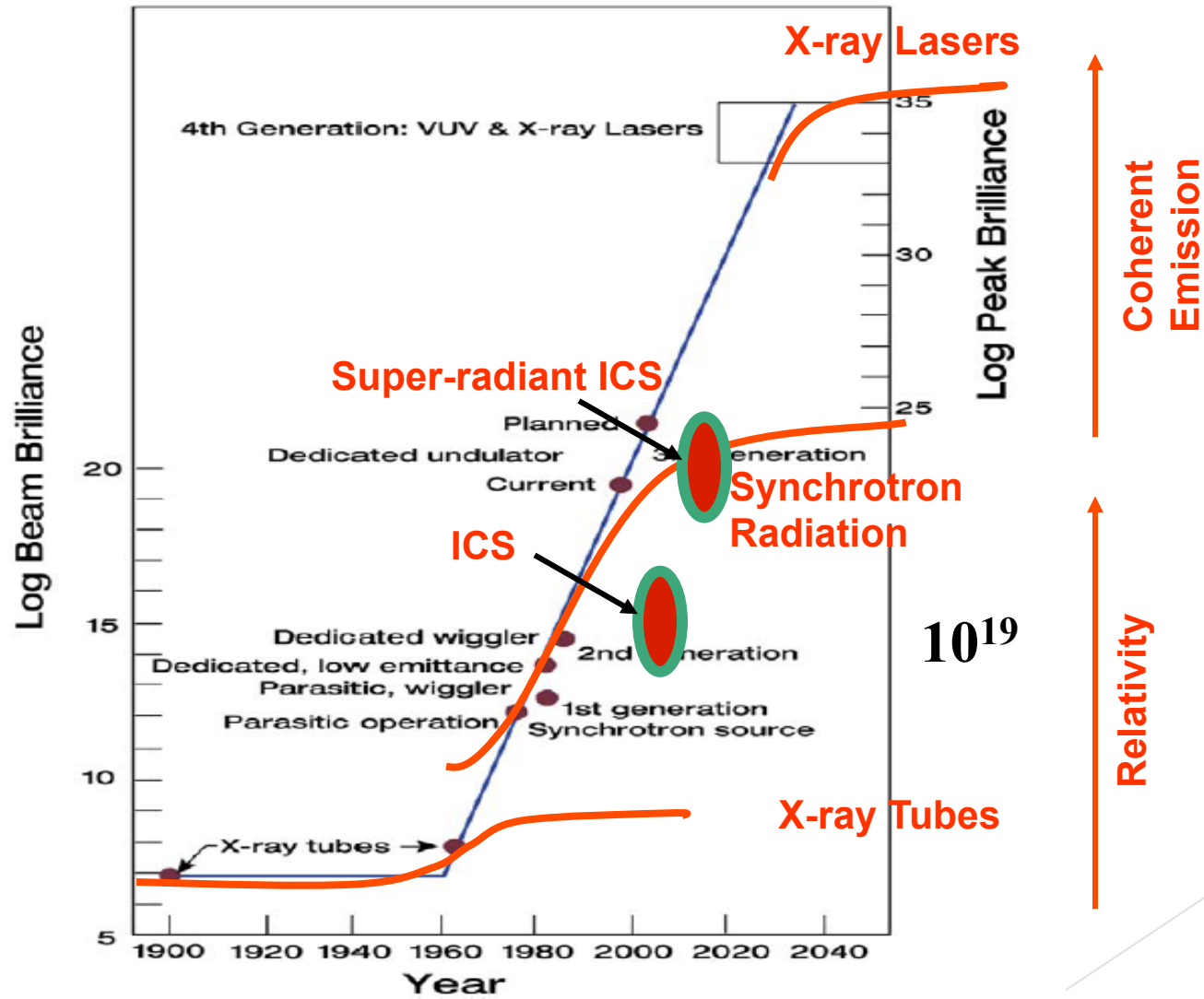
光・量子融合連携研究開発プログラムPD・PO

PD 家 泰弘 東京大学 東京大学物性研究所教授

PO 井上 信 京都大学 名誉教授

PO 森井 幸生 茨城県科学技術振興財団 茨城県BL産業利用コーディネーター

Generations of Hard X-ray Sources



KEK 坂本様 ← 研究開発基盤課 量研室 渡辺（4390）

計画書の内容について、最終確認させてください。

1) 「SRF2013に参加し」とありますが、SRF2013とは何でしょうか？（何の会議の略称でしょうか？）

2) 東北大学⑩の研究内容で、

「格子の評価方法としては、実験室X線源を用いた撮影実験による評価に加え、必要に応じてシンクロトロン放射光を用いた実験を実施する。」

とありますが、

「必要に応じて」という文言は好ましくないとのこと。（「必要がなければやらない」というあいまいな意味の文言は好ましくない）

なので、例えば、

「格子の評価方法としては、実験室X線源等を用いた撮影実験による評価を実施する。」

でもよろしいでしょうか？

契約書なので、やるかどうかわからない事は記載しない方が良いと思います。

契約書に書いたらやる、書かなかった場合はやってもかまわないため。

以上、早急に回答お願いします。

（時間がありませんので、回答が遅い場合は、こちらで判断する場合がありますが、ご了承ください。）