# 平成22年度成果報告書

# 委託業務成果報告書

量子ビーム基盤技術開発プログラム 「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」

平成24年1月31日

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

高エネルギー加速器研究機構 量子ビーム次世代ビーム技術開発グループ編集

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による 委託業務として、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研 究機構が実施した平成22年度「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」の成果を取りまとめたものです。

*
217
~

1. 委託業務の目的	04
2. 平成22年度(報告年度)の実施内容	04
2.1.実施計画	04
2.2.実施内容(成果)	06
①-A. パルス超伝導空洞開発 KEK、早野グループプ	06
①-B. CW超伝導空洞開発 KEK、古屋グループ	16
②. 電子ビーム・レーザー衝突技術の開発(システム統合化)	
KEK、照沼グル―プ、	28
③. X線検出装置の実用化開発 KEK、幅グループパー	39
④. 小型高信頼性L-band高周波源開発 KEK、福田グループ	43
⑤. プロジェクトの総合的推進 KEK、浦川グループ	48
2.3.成果の外部への発表	50
2.4.活動 (運営委員会等の活動等)	68
2.5.実施体制	70

### 1. 委託業務の目的

超伝導高周波加速器技術とレーザーパルス蓄積技術の融合によって、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、マイク ロリソグラフィへの利用を画期的に飛躍させる軟X線から硬X線領域の 小型高輝度X線発生装置(10m×6m程度)を実現する。本装置実現のた めに、高品質大強度電子ビーム生成装置、大強度・高電界超伝導高周波加 速装置、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 ビーム軌道制御技術及び、レーザー光路精密調整といった技術の実用化を 図る。よって、超伝導高周波加速器技術を使った5 nm~0.025 nm 波長領 域の小型高輝度X線発生装置の開発とその実用化に必要な基幹技術の確 立を行うことを目的とする。

さらに大強度安定化に必要な次の技術開発を行う。500~750kV数十mAの高 電圧DC電子源開発、高性能光L-band RF Gun開発、小型高信頼性L-band高周 波源開発および3次元4枚ミラーリング光蓄積装置開発を行う。これにより, 生成するX線輝度を格段に高くすると同時に,レーザー光の偏光を高速で制 御することによってのみ可能な世界でも特筆すべき高速可変偏光小型軟X 線源を実現し,「軟X線領域における円二色性光源」として実用化を図る。

このため、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大 学法人東京大学、独立行政法人日本原子力研究開発機構、国立大学法人広島 大学、学校法人早稲田大学、東芝電子管デバイス株式会社及び株式会社日立 ハイテクノロジーズと共同で業務を行う。

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、超伝導加速空 洞開発および小型高輝度光子ビーム源装置に関するシステム統合化研究開 発を実施する。

### 2. 平成22年度(報告年度)の実施内容

### 2. 1. 実施計画

#### ①-A. パルス超伝導加速空洞技術の開発

パルス運転用超伝導加速空洞製作技術を高度化するために、表面処理条件 を工夫した超伝導空洞を試作して、その性能測定を系統的に行うことによっ て、高性能超伝導空洞製作が行える条件を調べる。製作コスト削減に向けた 空洞製作を行う。この空洞製作技術の系統的な開発研究を2010年まで行うこ とによって、パルス超伝導加速空洞の製品化の見通しを得るのが目的である が、2010年度は9cel1空洞の性能を確認して超伝導加速システムを完成させ、 その性能試験を電子ビーム加速によって行える環境を整備する。また、製作 コスト削減方法の検討資料を作成する。

#### ①-B. CW超伝導加速空洞技術の開発

CW超伝導加速空洞製作技術を高度化するために、CW運転に合わせた条件で 超伝導空洞を試作して、その性能測定を系統的に行うことによって、高性能 超伝導空洞製作が行える条件を調べる。この空洞製作技術の系統的な開発研究を2011年まで行うことによって、CW超伝導加速空洞の製品化の見通しを得るのが目的であるが、2010年度は超伝導空洞モジュールの試作に向けて具体的な検討を行う。

#### ②. 電子ビーム・レーザー衝突技術の開発(システム統合化)

高周波電子源を使って、今までの300nC/300nsec電子ビーム生成実績を向 上するために、新しい電子源を製作する。また、5MeV大強度電子ビームとレ ーザーパルスを高繰り返しで衝突させて、レーザー逆コンプトン散乱で軟X 線生成実験を行う。2010年度に3次元4枚ミラーリング光蓄積装置を製作 して、生成軟X線を使った実用試験を行う。電子ビーム・レーザー衝突実 験によって、本提案課題装置で将来必要となる安全システム・制御システム 等の技術蓄積を行う。

#### ③. X線検出装置の実用化開発

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。2010年度は、軟X線検出装置の性能を調べ て、実用に供する。

#### ④. 小型高信頼性L-band高周波源開発

安定な高周波源であるクライストロンを低電圧駆動・三極管化・マルチ ビームクライストロンの技術を使って小型化設計を試みする。また、エネ ルギー回収型コレクターでさらに省エネルギー化を計った装置設計を行 うを開発する。モジュレータ電源の小型化も行い、システムの小型化、省 エネルギー化を実現し、製品システム化がスムーズに行えるように高信頼 性化を目指す。2010年度に本試験装置を組み立て、必要な性能試験を行え るように準備する。そして2011年度に実用試験装置を製作する。

#### ⑤. プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、研究開 発運営委員会や技術検討会の開催等、参画各機関の連携・調整に当たる。

特に、プロジェクト全体の進捗状況を確認しつつ計画の合理化を検討し、 必要に応じて調査或いは外部有識者を招聘して意見を聞くなど、プロジェク トの推進に資する。

プロジェクトで得られた成果については、国内外において積極的に公表 し、併せて超伝導加速空洞やその周辺機器の最先端知見を得ることで、今後 の展開に資する。

高安定高電圧電源開発を株式会社日立ハイテクノロジーズが担当したの で、日本原子力研究開発機構と日立ハイテクノロジーズ間の研究開発調整を 高エネルギー加速器研究機構が行い、2011年度までに500kV数十mA以上の電 子ビーム生成実証試験を遂行できるように研究開発を纏める。また、広島大 学と研究協力機関大阪大学産業総合研究所が「高性能光L-band RF Gun開発」 を行う。これについてもL-band RF Gun性能実験設備を所有する高エネルギ ー加速器研究機構が研究開発の調整と纏めを行う。

### 2.2.実施内容(成果)

## ①-A. パルス超伝導加速空洞技術の開発 Development of superconducting cavity for pulsed operation

#### 概要

将来の小型高フラックス X 線源用要素技術開発のために、超低エミッタンス ビームの加速に必要なパルス運転型の超伝導加速空洞の研究開発を進めている。 本計画では、1.3GHz 9 セル超伝導空洞2台からなるクライオモジュールを、平 成23年度に完成させ高電界運転とビーム加速運転をする事を目指して開発する。 超伝導加速空洞はビームのウェーク場の影響を受けにくい大きなビームアパー チャーの空洞であり、なおかつ超伝導を利用し高電界を出すものである。大き なビームアパーチャーはビーム通過による高調波モードの減衰にも有利である。 実用化に必要な高電界化の開発研究のため、HOM ダンパー付9セル加速空洞の製 作と表面処理および縦型クライオスタットによる電界試験、クライオモジュー ルに空洞を装着しての高電界試験を行なっている。平成22年度の最も重要な 成果は、多連化した HOM ダンパー付9セル加速空洞を横型クライオスタットに 装着して高電界試験を行い、ローレンツ離調補正制御と加速フィールド安定化 のフィードバック制御を行って高精度な加速場性能を達成した事、および HOM ダンパー付9セル加速空洞が縦型クライオスタット高電界試験において 40MV/m 以上の非常に高い加速電場を達成した事である。これは加速場制御技術の完成 と空洞表面処理技術、空洞アセンブリー技術の大幅な改善効果があった事を示 している。次年以降の目標は、これら開発された技術を総合的に組み合わせ、 高精度なビーム加速を行って高フラックスX線生成を実証する予定である。

#### 1.9セル超伝導空洞の開発

ビーム加速に使用する超伝導加速空洞において高い加速勾配を得るために重要な事は、空洞セルに使用するニオブ材の純度やRF場がかかる空洞内面の平滑度と清浄度である。ニオブ板材のプレス成形や電子ビーム溶接という製造過程で内面の平滑度を保ち、傷や溶接スパッターボール、溶接ピットなどを生じさせない事が重要であり、製造後の表面処理において電界放出を誘導するような異物や微小粉塵の付着を無くする事が重要である。本開発では、9セル加速空洞を製作し、その機械強度測定や高周波特性測定を行ない、製作誤差の評価と内面平滑度の評価を行っている。さらに内面の電解研磨表面処理を行ない、その内面の欠陥や異物の検査を行なって表面処理の評価を行い、最終的に高電界試験により光学検査ではわからない微小な欠陥や異物評価を行う。今年度の研究では、徹底した電界研磨設備環境の清浄化を行い、電界研磨で空洞内部に残存析出する酸化ニオブ微小粒やイオウ微小粒の除去を行う処理方法を導入し、微小粉塵の混入を最少とする超純水高圧洗浄手順を採用、引き続くクリーンルーム内での空洞ベーキングにおいてもシール材表面のインジウム溶出が起きないように工程を改善した。その結果、9セル加速空洞の性能を4000/mの高電界

まで上げる事ができた。これは、ニオブ材料と使用している高周波の周波数お よび空洞形状で決まる限界値は 40MV/m 付近と推定されているが、その限界性能 まで到達している。図1に高フラックス X 線源試験に使用する予定の9セル加 速空洞の縦型高電界試験結果の1例を示す。 効率の良さを表す Q0 値の落ちが それほど大きくなく 40MV/m の加速勾配に達しており、空洞が高性能である事を 示している。



図1:9セル加速空洞 MHI-012の高電界試験結果(赤■は温度4.2K での結果、 青●(1回目)と赤●(2回目)は温度2K 近くでの2回の試験結果であり、赤 ●の方が最終的な空洞性能である。)

#### 2. 超伝導空洞の横置きクライオスタット試験

ビーム加速に必要な超伝導空洞のパルスRF運転においては、パルス幅1.5ms、 繰り返し5 Hzのパルス運転を安定に行う必要がある。ビーム加速は0.5ms後から 1.5msまでの間のフラットトップ部で行い、この時に加速電界を高精度に一定に 保持しなければならないが、パルス運転では電磁界応力による空洞変形でロー レンツ・デチューニングという時間とともに空洞共振周波数が大きく変化して いく離調が発生してRFパワーが空洞に入らなくなり、その結果、加速電界もパ ルスの終端まで低下し続ける。加速電界および空洞位相を一定に保持するため に、このローレンツ・デチューニングをピエゾチューナーにより補正し、さら に入射RF振幅と入射RF位相を制御するRFフィードバックをかけて、ビーム加速 ができる電場を供給できる事を実証しておく必要がある。

22年度では、ビーム加速のための準備試験として横置きクライオスタット に装着した8台の9セル超伝導空洞のパルスRF運転試験を行った。ここでは、 4種のピエゾチューナーが試験され、かつ各種の性能の空洞8台のばらつきの ある電界性能のバランスをとって1台のRF源から大電力を供給する試験も行な われた。チューナーには、スライドジャッキチューナー2種類、ブレードチュ ーナーおよびサクレー型チューナーが使われた。図2にその試験が行われた連 結型クライオスタットの写真を示す。RFパワーは地上部に設置された5MWクライ ストロンから導波管により供給される。写真は導波管を取り外したところであ る。内蔵している8台の超伝導空洞の加速勾配性能を図3にまとめて示してあ る。個々の空洞の電界試験の平均は30MV/mであったが、クライオスタットに装 着後の電界の平均は27MV/m、7空洞合成運転では26MV/mであり、横型に装着す るときに粉塵が混じり込んだためと考えられる13%ほどの性能低下が起きた。



図2: 横置きクライオスタットの全景写真。(魚眼レンズで撮影) 右側には DESY製空洞2台とFNAL製空洞2台とが内蔵されている。左奥側のクライオスタ ットにはKEK製空洞4台が内蔵されている。直径1mのクライオスタットが連結さ れ全長15mの長さの試験装置となっている。



図3:横置きクライオスタット試験に内蔵されている空洞の性能をまとめてある。青バーは縦型電界試験のときの加速勾配、赤バーは横置きクライオスタットに装着してから1台ずつ試験を行った時の加速勾配、水色バーは4台1組にしてRFパワーを入れたときの各空洞の到達加速勾配、緑バーは7台1組(1台はチューナー故障により合成運転からはずしてある)のときの各空洞の到達加速勾配。

ローレンツ・デチューニングの補正試験および高精度フィードバック応用試験 がこれら8台の超伝導空洞に対して行われた。KEK製造の空洞にはスライドジャ ッキチューナーが取り付けてあるが、その評価は38MV/mという高電界をかけて、 より厳しい条件で行われ、その結果を図4に示す。スライドジャッキチューナーは高電界でより安定に運転できるように設計されたもので、高電界で離調が少ないものであるが、それを裏付けるように(a)図ではピエゾによる補正をしない状態で200Hz程度の離調であり、他のチューナーが600Hz程度となるのと比べて小さく抑える事ができている。(b)図では、ピエゾを用いて補正をし、20Hz程度まで小さくできている事を示している。



図4:MHI-06空洞において、38MV/mという高電界でのローレンツ・デチューン の補正の例。(a)ではピエゾによる補正をしない場合の離調(上図の青線)と各 パワー(Pf, Pb, Pc)の変化の様子を示し、(b)ではピエゾによる補正をした場合の 離調(上図の青線)と各パワー(Pf, Pb, Pc)の変化の様子を示す。加速に使用す るパルス頂上部での離調が20Hz以下に補正されている事がわかる。 実際には、 この頂上部にはさらにフィードバックがかけられ、位相変化が0.1度以下まで抑 えられる。

高安定なビーム加速にはさらにデジタルフィードバック技術が必要であり、 その技術実証試験も行われた。各空洞からのピックアップ信号はベクトル合成 され、周波数変換されてより低い周波数に落とされてから高精度ADコンバータ ーによりデジタル化される。その検出デジタル信号は高速演算器FPGAによりフ ィードバック信号が計算されDAコンバーターによりクライストロン入力RF信号 に非常に短いループ時間でフィードバックされる。図5にベクトル合成信号に よる7空洞合成運転のときのRF振幅の変化を示す。各空洞の調整が綿密に行わ れ、合成時の各空洞のフラットトップでの曲りがすくなく抑えられている事が わかる。この時に、フラットトップのビーム加速に使用する加速場は振幅で 0.006%rms、位相は0.002度rmsと非常に安定化できている。また、7空洞の合成 運転時(平均25MV/m)の合成ベクトルフィードバック運転時の長時間安定度を図 6に示す。最上図はその平均加速勾配の変化が0.03%程度であった事を示してい る。中段はフラットトップ内の振幅のばらつきの変化(~10ppm程度)、下段は位 相のばらつきの変化(0.002度程度)を示している。不幸にして1台の機械式チ ューナーが故障したので、周波数を合わせる事ができず、8空洞合成運転はで きなかった。その原因究明は23年度に行う予定である。



図5:空洞7台1組の運転時の各空洞内の加速電場の変化の様子を示す。加速 電場制御はベクトル合成されたフィールドをフラットに保つように行われるが、 各空洞のQ値の設定のばらつきから図のように頂上部ではかならずしもフラッ トではないが、曲りは少ない。



図6:7空洞の合成運転時(平均25MV/m)の合成ベクトルの長時間安定度の試験 結果。最上図はその平均加速勾配の変化が0.03%程度であった事を示している。 中段はフラットトップ内の振幅のばらつきの変化(~10ppm程度)、下段は位相の ばらつきの変化(0.002度程度)を示している。

#### 3. 総括

平成22年度の最も重要な成果は、高フラックスX線源試験に使用する予定 の9セル空洞を製作し、縦型高電界試験において40MV/mの高電界で運転したこ とである。また、加速器運転時に必要となるローレンツ・デチューン補正の試 験とデジタルフィードバック技術の実証のために、各種のピエゾチューナーを 試験する横型クライオスタット高電界試験装置を組立て、デジタルフィードバ ック機器とともに高電界試験を行って、7空洞合成運転で26MV/m運転を実証し た。そのときにピエゾチューナーによるローレンツ・デチューン補正は設計ど おりの性能を発揮し、デジタルフィードバックシステムは、加速電場を振幅で 0.006%rms、位相は0.002度rmsと非常に安定化した。これらにより高フラック スX線源試験での高安定度ビーム加速に問題はない。平成23年度はそのビー ム加速を実証する。

#### 開発スタッフ

責任者 : 早野仁司(高エネルギー加速器研究機構)

担当者 : 野口修一、加古永治、佐伯学行、山本康史、渡邊謙、宍戸寿郎、佐藤昌史(以上 高エネルギー加速器研究機構)、KEK-STF Group(高エネルギー加速器研究機構)

#### 参考文献(2008年-2010年の開発)

[1] 加古永治、野口修一、早野仁司、宍戸寿郎、佐藤昌史、渡邊謙、山本康史、 「STFにおけるTESLA-1ike空洞のクライオモジュール試験」第5回日本加速器学 会年会プロシーディング、東広島(2008) p209-211.

[2]山本康史、加古永治、佐藤昌史、宍戸寿郎、野口修一、早野仁司、渡邊謙、「STFベースライン空洞におけるローレンツデチューニングの観測とモデル計算との比較」第5回日本加速器学会年会プロシーディング、東広島(2008) p215-218.

[3] 山本康史、加古永治、佐藤昌史、宍戸寿郎、野口修一、早野仁司、渡邊謙、

「KEK-STFにおける超伝導空洞性能試験(縦測定)設備の構築」第5回日本 加速器学会年会プロシーディング、東広島(2008) p888-891.

[4] 田島裕二郎、他:「L バンド超伝導空洞の内面検査システムの開発」、加速 器(41-49) Vol.5 No.1, 2008.

[5] 加古永治、佐藤昌史、宍戸寿郎、野口修一、羽鳥浩文、早野仁司、山本康 史、渡邊謙、「STFにおけるTESLA-1ike空洞のクライオモジュール試験」加速器 学会誌「加速器」Vol. 5, No. 2, (2008) p117-126.

[6] 渡邊謙、「超伝導9セル加速空洞の高次モードに関する研究」博士課程学位 論文、(2008) 総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科

[7] E. Kako, H. Hayano, S. Noguchi, N. Ohuchi, M. Sato, T. Shishido, K. Watanabe, Y. Yamamoto, "Cryomodule Tests of the STF Baseline 9-cell Cavities at KEK", Proc. of EPAC2008, Genoa, Italy (2008) p868-870.

[8] Y. Yamamoto, H. Hayano, E. Kako, S. Noguchi, M. Sato, T. Shishido, K. Umemori, K. Watanabe, H. Sakai, K. Shinoe, S. I. Moon, Q. J. Xu, "Cavity Diagnostic System for the Vertical Test of the STF Baseline 9-cell Cavity at KEK", Proc. of EPAC2008, Genoa, Italy (2008) p643-645.

[9] K. Sennyu, H. Hara, M. Matsuoka, T. Yanagisawa, "Status of the Superconducting Cavity Development for ILC at MHI", Proc. of EPAC2008, Genoa, Italy (2008) p463-465.

[10] K. Watanabe, S. Noguchi, E. Kako, T. Shishido, H. Hayano, "New HOM Coupler Design for ILC Superconducting Cavity", Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Research A 595 (2008) p299-31

[11] Y. Iwashita et al., Phys. Rev. ST Accel. Beams 11, 093501 (2008).

[12] 山本康史 他、「ILCに向けた高電界空洞性能試験のKEK-STF における最新結果」第6回日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009) [13] 菊地洋一郎 他、「空洞内面検査カメラの自動画像取得と欠陥検出」第 6回日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[14] 渡邊謙 他、「KEK-STFにおける超伝導加速空洞の空洞内面検査」第6回 日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[15] 宍戸寿郎 他、「ILC/STF用超伝導空洞の加速モード周波数変化」第6回 日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[16] 福田茂樹 他、「KEK超電導RF試験装置(STF)のRF源の開発」第6回日本 加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[17] 早野仁司 他、「Status of Superconducting RF Test Facility (STF)」 第6回日本加速器学会年会プロシーディング、東海 (2009)

[18] 佐藤昌史 他、「TTF-V入力結合器の大電力試験」第6回日本加速 器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[19] 頓宮拓 他、「超伝導加速管の縦測定における超多点温度マップ」第6 回日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[20] 明本光生 他、「KEK超伝導加速器試験施設(STF)に於ける10MWクライ ストロン用長パルスモジュレータの開発」第6回日本加速器学会年会プロシー ディング、東海(2009)

[21] 松本利広 他、「STF Phase-1におけるデジタル低電力高周波制御系」第 6回日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[22] 福田茂樹 他、「KEK超電導RF試験装置(STF)のRF源の開発」第6回日本 加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[23] 三浦孝子 他、「STFにおける低電力高周波源の安定性評価」第6回日本 加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[24] 吉田光宏 他、「STFにおける導波管コンポーネントによる超伝導空洞の Q調整」第6回日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[25] 竹中たてる 他、「導波管の電力分配システム(KEK STF)」第6回日本 加速器学会年会プロシーディング、東海(2009)

[26] S. Kazakov 他、「L-band waveguide elements for SRF application」 第6回日本加速器学会年会プロシーディング、東海(2009) [27] Y. Yamamoto, H. Hayano, E. Kako, T. Matsumoto, S. Michizono, T. Miura, S. Noguchi, M. Satoh, T. Shishido, K. Watanabe, "Experimental result of Lorentz detuning in STF phase-1 at KEK-STF", Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) TUPP0007.

[28] E. Kako, H. Hayano, S. Noguchi, M. Satoh, T. Shishido, K. Watanabe and Y. Yamamoto, "Cryomodule tests of the STF phase-1 at KEK", Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) TUPP0021.

[29] Y. Iwashita, H. Fujisawa, H. Tongu (Kyoto University), H. Hayano, K. Watanabe and Y. Yamamoto(KEK), "R&D of nondestructive inspection systems for SRF cavities", Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) TUPP0040.
[30] K. Watanabe, S. Noguchi, E. Kako, T. Shishido, Y. Yamamoto, K. Umemori, M. Sato, "SC cavity system for ERL injector at KEK", Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) TUPP0056.

[31] X. Zhao, R. L. Geng(JLAB), Y. Funahashi, H. Hayano, S. Kato, M. Nishiwaki, T. Saeki, M. Sawabe, K. Ueno, K. Watanabe(KEK), "Surface characterization of niobium samples electropolished together with real cavities", Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) TUPP0086.

[32] T. Saeki, Y. Funahashi, H. Hayano, S. Kato, M. Nishiwaki, M. Sawabe,
K. Ueno, K. Watanabe(KEK), C. Antonie, S. Berry, F. Eozenou, Y. Gasser,
B. Visentin(CEA-Saclay), P. V. Tyagi(GAUS), W. Clemens, R. L. Geng, R.
Manus(JLAB), "R&D for the post-EP process of superconducting RF cavity",
Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) THPP0085.

[33] E. Kako, S. Noguchi, M. Satoh, T. Shishido, K. Watanabe, Y. Yamamoto (KEK) , H. Jenhani(LAL-Orsay), T. X. Zhao(IHEP), "Advances and

performance of input couplers at KEK", Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) THOBAU02.

[34] K. Umemori, T. Furuya, E. Kako, S. Noguchi, H. Sakai, M. Satoh, T. Shishido, T. Takahashi, K. Watanabe, Y. Yamamoto (KEK) , K.

Shinoe(ISSP-Tokyo), M. Sawamura(JAEA), "Compact ERL Linac", Proc. of SRF2009, Berlin, Germany (2009) FROAAU04.

[35] K. Watanabe, Proc. 14th Int. Conf. on RF Superconductivity (SRF2009), Berlin, September 2009, TUOBAU01, p. 123

[36] 竹中たてる 他、「S1-Globalの導波管分配システム(KEK ILC)」第7回 日本加速器学会年会プロシーディング、姫路(2010)

[37] 明本光生 他、「ILC計画における分布型RF源用電源の開発」第7回 日本加速器学会年会プロシーディング、姫路(2010)

[38] 松本利広 他、「KEK 超伝導RF 試験施設(STF)でのS1 Global のための高周波源」第7回日本加速器学会年会プロシーディング、姫路(2010)

[39] 山本康史 他、「国際リニアコライダー計画のための超伝導加速空洞の STFにおける性能試験の最新結果」第7回日本加速器学会年会プロシーディング、 姫路(2010) [40] 加古永治 他、「S1-GlobalにおけるTESLA改良型超伝導空洞のクライオ モジュール試験」第7回日本加速器学会年会プロシーディング、姫路(2010) [41] 早野仁司 他、「STFの状況」第7回日本加速器学会年会プロシーディン

[41] 早野仁司 他、「SIFの状況」第7回日本加速器学会年会プロシーライン グ、姫路(2010)

[42] 佐藤昌史 他、「STF超伝導空洞用入力結合器の高周波窓の熱サイク ル試験」第7回日本加速器学会年会プロシーディング、姫路(2010)

[43] 頓宮拓 他、「京大における超伝導空胴の品質検査のための研究」第7 回日本加速器学会年会プロシーディング、姫路(2010)

[44] 加藤茂樹、他:「超伝導加速空洞の高電界化に向けた研究(その1)」、 加速器学会誌「加速器」 Vol.7 No.2, 2010.

[45] 加藤茂樹、他:「超伝導加速空洞の高電界化に向けた研究(その2)」、 加速器学会誌「加速器」 Vol.7 No.3, 2010.

[46] K. Watanabe et al., "Repair Techniques of Superconducting Cavity for Improvement Cavity Performance at KEK-STF", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[47] E. Kako et al., "Preparation Status of Cryomodule Tests of Tesla-like Cavities in S1-Global Project at KEK", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[48] M. Nishiwaki et al., "Surface Study on Niobium Stain after Electro-polishing for Super-conducting RF Cavity", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[49] M. Sawabe et al., "Long-period Monitoring of Electro-polishing Electrolyte in EP Facility at KEK", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[50] K. Watanabe et al., "Surface Inspection on MHI-01<sup>~</sup>09 Cavities", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[51] P. V. Tyagi et al., "Various Rinsing Effects to Mitigate Contaminates Brought by BCP on Niobium SRF Cavity Surface", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[52] H. Tongu et al., "Multipoint T-map System for Vertical Test of the Superconducting Accelerator Cavities", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[53] N. Ohuchi et al., "Construction of the S1-Global Cryomodules for ILC", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[54] Y. Yamamoto et al., "Summary of Vertical Tests for S1-Global Project in KEK-STF", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.
[55] Y. Yamamoto et al., "Summary of Results and Development of Online Monitor for T-mapping/X-ray-mapping in KEK-STF", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[56] H. Hayano et al., "Review of SRF Cavities for ILC, XFEL and ERL Applications", Proc. 1st Int. Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010.

[57] Y. Morozumi et al, Proc. 1st Intl Part. Acc. Conf. (IPAC2010), Kyoto, May 2010, WEPEC020.

[58] N. Ohuchi et al, "S1-GLOBAL Collaborative effort 8-Cavity-Cryomodule: 2 FNAL, 2 DESY and 4 KEK", Proc. of Intl Linear Acc. Conf. (LINAC10), Tsukuba, September 2010.

[59] E. Kako et al, "Cryomodule Tests of Tesla-like Cavities in S1-Global for ILC", Proc. of Intl Linear Acc. Conf. (LINAC10), Tsukuba, September 2010.

[60] Y. Yamamoto et al, "Recent Results of 1.3 GHz 9-cell Superconducting Cavities in KEK-STF", Proc. of Intl Linear Acc. Conf. (LINAC10), Tsukuba, September 2010.

[61] H. Tongu et al, "Updates on Sc Cavity Inspection", Proc. of Intl Linear Acc. Conf. (LINAC10), Tsukuba, September 2010.

### ①-B. CW超伝導加速空洞技術の開発

**Development of Superconducting Accelerating Cavity for CW Operation** 

#### 概要

本課題は小型 X 線発生装置の光源となる電子の加速に連続(CW)運転が可能な 超伝導空洞を適用することによって、X 線輝度を飛躍的に向上させようとするも のである。そこでは CW 運転が可能な空洞本体や高周波電力源、その電力を極低 温空洞へ伝送する入力結合器などが不可欠であり、それらの基本要素開発を続 けている。本年度はさらにそれらを集約するモジュール設計に着手した。

#### 1. はじめに

X線は医療、生命科学、材料科学など広い分野で利用されている。研究の進展 は発生する X線の輝度、時間構造、スペクトラムなどに制限されており、研究 の裾野を広げるためにも小型でかつ高輝度 X線発生が可能な装置開発が進めら れている。本研究課題はさらにその発展型として輝度を飛躍的に向上させるこ とができる CWモード(連続運転)を考え、そこで必要になる超伝導加速空洞を 開発している。昨年度までに達成したことは、CWビームシステムの概念設計、 CWビーム対応型高電界超伝導空洞の形状最適化とその評価試験および製作試験 用空洞の試作、ならびに主要部品である入力結合器の設計、大電力高周波源開 発、および高調波減衰器の設計とともにこれらを集約する CW空洞モジュールの 基本設計である。そこで本年度は最適形状を有する空洞の製造工程と工程管理 の手法確立ならびに機械的強度の検証を目的とした試作空洞の計測を通じて、 材料板厚や溶接条件などの製作上必要なパラメーターを取得すると同時に空洞 性能を確認し、それらを実機空洞の製作へ反映して2台の空洞を完成させ、ま た部品開発では入力結合器の性能試験、試作高調波減衰器の性能確認、さらに はクライオスタットの部分品の製作などを行った。

#### 2. CW 方式の基幹技術

高電界を用いると短い加速空洞で十分な加速電圧が得られるが、電力や冷却の制限からパルス運転になるため、平均電流値は小さく抑えられる。これに対してW運転ではピーク値は小さくても大きい平均電流値が得られるため、発生する放射光の輝度にも飛躍的な向上が期待できる。図1にそのシステム概要を示す。電子銃からのCWビームを3MV程度の入射空洞で加速した上で22MVの主空洞で加速する。そのビームを放射光光源として利用した後は、再び主空洞に減速位相で入射しビームの運動エネルギーを回収することで、廃棄するビーム電力を一桁小さくすることが出来る。これらを構成する要素として技術の基幹となるものはCW型の超伝導主加速空洞であり、さらに入射部には300kW級のCW型高周波電力源とその電力を伝える入力結合器および入射部加速空洞であ

る。本課題はこれらの要素技術の開発を行うものである。



図1:次世代小型高輝度光子ビーム源のCW 稼働概念図

#### 3. 空洞開発

### 3-1. 9連型主空洞の開発

CW型空洞として最適化された 1.3GHz ニオブ空洞形状を図2に示す。大電流ビ ームがもたらす有害高調波への対策として大口径ビームパイプに EFB と命名さ れた偏心型モード変換部を取付け、これまでにない 4 極モード対策を有する 9 連空洞になっている。この大口径ビームパイプの問題としてアイリス部での電 場の集中とそれに伴う電子放出の影響が挙げられるが、試作 9 連空洞に電解研 磨を主体とした表面処理を繰り返すことによって、加速電場を 28MV/m に改善す ることができ、形状には問題がないことが示された。

図3に示す試作空洞は、上記のように最適化された空洞形状を具現化するた めの空洞製造工程と工程管理の手法確立および機械的強度の検証を目的として 製作された。空洞セル間に補強リングを取り付けるとともに強度計算により求 めた最適板厚を採用することで、実用運転に必要な機械強度を確保している。 製作に当たって得られたトリム寸法や電子ビーム溶接条件などの製作上の技術 は2台の実機空洞製作へ反映された。この試作空洞は製造手法の検証のために 低温での性能計測が行われ、実用電圧(15MV/m)をはるかに凌ぐ28MV/mという 高い加速電圧を実現したが、過度のエージングにより電界放出電子が増加して 空洞性能に劣化が見られた(図4)。昇温することにより性能の一部は回復し たが、原因となった電子の放出源を消滅することはできなかった(図5)。現 在はこの成因を実測とシミュレーションとの両面から追求しているところであ る。機械的寸法や共振周波数など他の性能は目標を達しており、空洞製作の目 処は立ったと言える。



図2:CW駆動型9セル超伝導加速空洞形状



図3:製作手順や機械強度を検証するために製作された9連型超伝導空洞試作機



図 4 9 連試作空洞試作器の性能測定結果。28MV/m に達した加速電圧 (2<sup>nd</sup>-initial) がエージングの後 20MV/m へ劣化(2<sup>nd</sup>-final)。室温への昇温 後に24MV/m へ回復した(3<sup>rd</sup>)。



図5 9 連空洞の放射線分布。当初は何も見られず。エージング中の大きな放 電後に6番セルに多数のエミッターが出現した。エージングで消えたものもあ る(2<sup>nd</sup>)。室温へ昇温後、再冷却したらQ値は回復したが、エミッターの位置は 不変だった(3<sup>rd</sup>)。それでも実用電圧15MV/mまでなら電子放出は見られない。

#### 3-2. 入射空洞開発

ERL型加速器の入射部の空洞として、入射空洞に要求される加速電圧は低いが ビームへ伝送する高周波電力は大きいため、2本の入力結合器を装備する2セ ル型超伝導空洞が3台で構成される(図6)。これによって結合器1本当たり の負担を半減することが出来る。試作したこの形式の空洞についての空洞単体 での性能試験では、40MV/mという加速電場を得た。これは設計値の15MV/mを大 きく上回る値である。しかし高調波取り出し結合器を装着した場合には、コネ クター部の発熱が原因で4MV/m程度にしかならないことが判明した。図7に性 能測定の結果を示す。このため、図8に見られるような高調波取り出し部の改 造と冷却構造の改善が必要になった。これらはクライオスタット設計に反映さ れる。



図6:CW型入射器のための2セル超伝導空洞の構成



図7 2連空洞の単体性能試験結果。空洞本体の性能試験では40MV/m以上が達成されたが、高調波(HOM)取出しプローブを装着するとその発熱により、高い加速電場には到達できない。これまでの2連空洞(左)とHOM取り出しを強化した新しい2連空洞(右)。



図8 HOM での発熱を抑えるための結合器構造。コネクター部の磁場を下げて 発熱を小さくすると同時にコネクター自身の冷却を強化して 20MV/m 達成を目 指す。

#### 4. 周辺部品の開発

#### 4-1. 入力結合器開発

部品開発では、入力結合器の電力試験を行った。必要電力としては 20kW であ るが、ここでは室温から極低温へ CW で電力供給するため、電力投入に伴うジュ ール発熱の推定とその冷却方法の確立が開発の主題である。大気圧下の高周波 系と超高真空の空洞との間を仕切るための室温側と低温側の高周波セラミック 窓の設計はすでに東大・中村研において完了している。発熱対策として行った 窓周辺の寸法変更が原因で出現したセラミック部の1.3GHz 共振モードとその発 熱を避けるために、セラミック厚みを 6.2mm から 5.4mm へ薄くした改良窓を開 発してその共振周波数を 30MHz 上昇させている。室温部と極低温部をつなぐ高 周波伝送には、冷却に伴う熱収縮の吸収と熱侵入を抑える目的で内外導体にス テンレス製のベローズが用いられるが、高周波損失を小さくし且つ熱侵入を小 さくするために、ベローズには最適厚みの銅メッキを施してある。さらにその 取り付け位置は定在波を考慮して発熱が最小になるように選択された。これら を組み合わせた入力結合器の性能を確認するために、液体窒素による冷却を可 能にする真空容器を用意し、温度計測を行いながら高周波エージングおよび冷 却を行った。図9は組み立てた入力結合器と低温電力試験のための計測設備で ある。要求が最大 20kW に対し、25kW までの電力試験が行われ、20kW では 16 時 間の電力維持試験も行われた。内導体は窒素ガスで冷却されており、心配され たベローズの温度は120℃にとどまった。

入射空洞のための入力結合器についても試作機が完成し、その電力試験が行われた。300kW出力を持つクライストロンが用意され、2本の入力結合器を用いた 電力透過型の試験装置が完成し、エージングが行われた。図10はその試験設 備である。パルスを用いたエージングから始まり100kWの透過が確認されたが、 その後のCW電力では50kWで30分、100kWでは1分に制限された。原因は内導 体室温部に使われたベローズの発熱であり、目標の170kWを達成するためには、 改造が必要であることが判明した。



図9 9 連空洞用入力結合器の電力試験。Warm 窓と cold 窓を組み合わせた入 力結合器(左写真)が窒素冷却タンクを有する断熱容器に装着され、30kW-IOT からの高周波電力を印加してエージングされる。外導体は液体窒素で、内導体 は室温の窒素ガスを使って冷却される。仕様を上回る 25kW を確認するととも にベローズでの発熱を計測。20kW では 16 時間の電力維持試験が実施された。



図10 入射器用入力結合器のエージング装置。1.3GHz、300kW のクライスト ロンが開発され、2本の入力結合器が導波管に間に装着される。右図はエージ ング時の投入電力、真空度、および温度の時間経過を示している。

### 4-2. 高調波減衰器

9 連空洞両側にはフェライト吸収体を用いた高調波減衰器を用いる。今年度は 試作減衰器を用いて熱伝達率の計測を行った。フェライト吸収体では 150W 程度 の発熱が見込まれるため、その冷却には液体窒素を、また減衰器両隣に接続さ れる 2K の超伝導空洞への入熱を極力小さくするために 5K のサーマルアンカー とベローズを組み合わせた断熱構造を採用している。この構造の熱抵抗を断熱 容器の中で計測した(図11)。その結果は、RF シールド部のクシ歯構造の設 計に反映された。

#### 4-3. 周波数チューナー開発

周波数チューナーの試作機についても動作試験が行われ、現設計で十分な動 作性能が得られることが判明した。スライドジャッキを応用した粗調整では3mm の稼働範囲が確認され、そのときのヒステリシスが1ミクロン程度に抑えられ ていることが判明、今後はピエゾ素子を用いた微調機構の構造を検討すること になる(図12)。



て熱侵入を計測した。



図11 断熱容器にセットされた高調 図12 周波数チューナーの駆動試 波減衰器試作機。周囲を断熱材で囲っ 験。全体で 3mm の駆動幅に対して、ヒ ステリシスは1ミクロン程度に抑えら れている。

#### 5. モジュール設計

パルス駆動の超伝導空洞1台当たりの2KへのRF損失が1W程度であるのに比 して CW 型空洞は 40W になる。このため冷却能力の増強が必要であり、直径 300mm のヘリウムジャケットに収納された9 連空洞2 台が上述の各要素とともにチタ ン枠に固定されるクライオスタット構造の設計・製作を進めている(図13)。 本年度は空洞周辺とその保持部分の基本設計を完成し、冷却配管などを製作し た。また低温での特性試験を実施して低温でも磁気シールド効果が期待できる

材料を決定し、合わせて形状効果のシミュレーションなどの磁気シールドの設 計に有用なパラメーターなどを研究した。



図13 クライオスタット概要設計。2台の9連空洞が格納される。高調波減 衰器が各空洞の間に1台ずつ取り付けられる。入力結合器側が中央部側に来る ように組み込まれる。中央部には冷凍機への接続配管も集められる。アライメ ントとしては、空洞中心が±0.5mmを目指す。

#### 6. 300kW・CW 大電力マイクロ波源の完成と試験

図14は東カウンターホールの配置図である。開発された 300kW クライスト ロンは 30kW の IOT とともに、加速器の北面に置かれている。これを中心にした 大電力ステーションが整備されつつあり、本件の入力結合器エージングもこれ を使って行われている。



図14 東カウンターホールで整備が進む CW ビームシステムの試験設備。北面 に大電力高周波設備が構築されている。

#### 7. 次年度へ向けて

上記結果を踏まえて23年度では、

- (1) 9 連型空洞の単体性能試験(縦測定)とその後の冷却ジャケット溶接。
- (2) フェライト付きダンパーの 70K での低温試験。また周波数チューナーと ピエゾ素子について、極低温下での動作試験を実施する。
- (3) CW クライストロンを使って、入力結合器の高周波電力試験。
- (4) 9 連空洞用断熱真空槽の完成と全体のフィットチェック(仮組み立て試験)。

(5)2セル入射空洞用入力電力結合器の電力試験およびジャケット製作 を推進する。

#### 開発スタッフ

責任者 : 古屋貴章(高エネルギー加速器研究機構)

担当者 : 梅森健成、阪井寛志、坂中章悟、高橋毅(高エネルギー加 速器研究機構)、篠江憲治(東大物性研)、沢村勝(原科研)

#### 発表文献等

 Observation of Resonance Mode in Coaxial-type Input Coupler.
 Kensei Umemori, Takaaki Furuya, Hiroshi Sakai, Masaru Sawamura, Kenji Shinoe. Proc. of the IPAC10, Conf. Proc. C100523:WEPEC031, Kyoto, 2010.

Results of Vertical Tests for KEK-ERL 9-cell Superconducting Cavity.
 Kensei Umemori, Takaaki Furuya, Hiroshi Sakai, Takeshi Takahashi, Masaru
 Sawamura, Kenji Shinoe. Proc. of the IPAC10,

Conf. Proc. C100523:WEPEC030, Kyoto, 2010.

Power Coupler Development for ERL Main LINAC in Japan.
 Hiroshi Sakai, Takaaki Furuya, Shogo Sakanaka, Takeshi Takahashi, Kensei Umemori, Atsushi Ishii, Norio Nakamura, Kenji Shinoe, Masaru Sawamura.
 Proc. of the IPAC10, Conf. Proc. C100523:WEPEC029, Kyoto, 2010.

4) Cavity Diagnostics using Rotating Mapping System for 1.3GHz ERL
9-Cell Superconducting Cavity. Hiroshi Sakai, Takaaki Furuya, Shogo
Sakanaka, Takeshi Takahashi, Kensei Umemori, Masaru Sawamura, Kenji Shinoe.
Proc. of the IPAC10, Conf. Proc. C100523:WEPEC028, Kyoto, 2010.

5) Development of a Prototype Module for the ERL Superconducting Main Linac at KEK. Takaaki Furuya, et al.,

Proc. of the IPAC10, Conf. Proc. C100523:WEPEC015, Kyoto, 2010.

Development and Operational Status of PF-Ring and PF-AR.Tohru Honda, et al., Proc. of the IPAC10, Conf. Proc. C100523:WEPEA034, Kyoto, 2010.

7) Cooling Test of ERL HOM Absorber.

Masaru Sawamura, Takaaki Furuya, Hiroshi Sakai, Kensei Umemori, Kenji Shinoe. Proc. of the IPAC10, Conf.Proc.C100523:TUPE094, Kyoto, 2010.

Recent Progress in the Energy Recovery Linac Project in Japan.
 Shogo Sakanaka, et al., Proc. of the IPAC10, Conf. Proc. C100523:TUPE091,
 Kyoto, 2010.

9) Development of a Main Linac Module for Compact ERL Project

Kensei Umemori, Takaaki Furuya, Hiroshi Sakai, Takeshi Takahashi, Kenji Shinoe, Masaru Sawamura, Proc. of the LINAC10, Tsukuba, 2010.

10) The calculation of transverse kick by the input coupler of superconducting cavity for ERL main linac, Toshiya Muto, Kensei Umemori, Hiroshi Sakai, Masaru Sawamura, Kenji Shinoe, Takaaki Furuya 第7回日本加速器学会年会 2010/8/4-6 姫路市文化センター

11) Development of 20kW input power coupler for 1.3GH ERL main linac -High power test of the renewed ceramic window-

Kenji Shinoe, Hiroshi Sakai, Kensei Umemori, Masaru Sawamura, Norio Nakamura, Takaaki Furuya

第7回日本加速器学会年会 2010/8/4-6 姫路市文化センター

12) Development of Cavity Diagnostics System for ERL Superconducting Cavity, Hiroshi Sakai, Kensei Umemori, Takeshi Takahashi, Takaaki Furuya, Kenji Shinoe, Atsushi Ishii, Masaru Sawamura, Toshiya Muto

第7回日本加速器学会年会 2010/8/4-6 姫路市文化センター

13) ERL 主加速部クライオモジュールの開発

梅森健成、阪井寛志、沢村勝、篠江憲治、古屋貴章、Enrico Cenni

第24回放射光学会年会放射光科学合同シンポジウム 2011/1/7-10 つくば国際 会議場

14) Compact ERL Project and Its SRF Activities, Kensei Umemori on behalf of ERL Collaboration Team

The 15th Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation 2011/Mar/3-4 広島大学

15) Cooling test of HOM absorber model for cERL in Japan

M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai, K. Umemori, K. Shinoe

International Workshop on Higher-Order-Mode Damping Superconducting RF

Cavities, October 11-13, 2010, Cornell University

16) RF absorber studies for cERL in Japan, M. Sawamura, T. Furuya, H. Sakai,
K. Umemori, K. Shinoe, International Workshop on Higher-Order-Mode Damping
Superconducting RF Cavities, October 11-13, 2010, Cornell University
17) Operation Experience of HOM absorbers at KEKB, T. Furuya
International Workshop on Higher-Order-Mode Damping Superconducting RF
Cavities, October 11-13, 2010, Cornell University

# ②. 電子ビーム・レーザ衝突技術の開発(システム統合化) Development of Technique for Collision between Electron and Laser Beams and Project System Integration

#### 概要

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のために、レーザー 蓄積装置と常伝導の加速器を用いた X 線の生成試験および利用研究に向けた検 討を行っている。平成22年度はレーザー蓄積装置と高エネルギー加速器研究機 構・先端加速器試験棟内に設置したマルチバンチ電子ビーム生成加速器(LUCX) の改造を行い、レーザーコンプトン散乱 X 線生成の強度を 2x10<sup>5</sup> photons/sec か ら 10<sup>8</sup> photons/sec 以上に増強できるように準備した。蓄積レーザーパルスエネ ルギーを増強するために Burst Amplifucation 試験を行い、数倍程度まで強度 が上がることを確認した。電子ビームパルス内のバンチ数を 100 から 1000 以上 にするための高周波発生源の大電力高周波パルス幅の調整を進めている。

#### 1. はじめに

X 線は医療、生命科学、材料科学など広い分野で利用されている。特に高輝 度高品質な X 線は先端的な計測などに利用され多大な成果を上げている。しか しながらこのような高輝度な X 線は現状、大型放射光施設から得ており利用が 限られている。本プロジェクトではこのような高輝度 X 線ビームを小型な施設 によって生成することを目標とする。実機では超伝導加速空胴によって加速さ れた電子バンチを用いるがその前段階として常伝導加速器から得られるマルチ バンチ電子ビームとレーザー蓄積装置を用いることで原理実証試験を行い、今 後の本プロジェクトの指針とするべく研究を進めている。この実証試験におい て得られた知見は加速器やレーザー蓄積装置、トータルとしての X 線生成シス テム構成に至る全ての分野で指針となる重要なものである。

尚、小型超伝導加速器システムによる高輝度高品質な X 線生成実験装置の準備を 2010 年秋から開始したので、その状況報告も以下に示す。

#### 2. マルチパルス X 線生成実証試験

2008 年度、常伝導線形加速器とレーザー蓄積装置を用いた X 線生成実証試験 は高エネルギー加速器研究機構、先端加速器試験棟内に設置された小型加速器 (LUCX)で行われ、その成果は既に報告したので、その後の2年間の装置改造・ X線生成再現実験・X線強度増強計画の報告を行う。図1は装置改造後の構成 図、図2は衝突真空装置内の写真である。



図1:LUCX 加速器構成図

2 つの四極電磁石によって電子ビーム収 束される位置(逆コンプトン相互作用点) にレーザー蓄積装置が設置されており、そ の後電子ビームは 30 度偏向電磁石で CDR(Coherent Diffraction Radiation)実験 装置を通過後ビームダンプに捨てられる。 逆コンプトン散乱で生成された X線はBe 窓 を通して大気中に取り出され、ビーム加速 ライン後方に設置された MCP 検出器で測ら れる。X線測定に関する報告は本報告書の 「③.X線検出装置の実用化開発」の章に述

べられているので、ここでは X 線強度増 強計画について報告する。図 3 は加速器 Upgrade 後に再測定した 100 パルス X 線 信号である。S/N は 3 年前の実験に比べ て 3 倍改善された。

既に Burst Amp. によるレーザー増強 を試みたが、レーザー増幅媒質の性能が 不十分なため 2008 年の増幅率の 2 倍弱 で飽和現象が発生した。本件に関しては 新しい Burst Amp. 購入により現状の 4 倍以上にパルスレーザーエネルギーを

図2:衝突真空装置内



上げることは可能である。電子バンチ数を100から1000に増やす加速器運転調 整は、2011年11月までに完了できる。また、電子ビームのEmittanceを現状の 4分の1程度に小さく出来ることも新カソードに交換することによって可能であ ることが測定された。ミラーの反射率を 99.9%以上に上げ、レーザー最適化を行 えば、2011 年 11 月末までに「③.X線検出装置の実用化開発」の章で報告され た X線強度の 200 倍以上が実現する。生成 X線強度を上げながら色々なイメー ジング装置の試験も X線検出器開発として推進する。

図4の右図に新しい高周波源システムを示す。高周波のパルス幅を数µsec 以

上にするために RRCS のパルス圧縮器を 2011 年 9 月までに取 り除く。導波管と加速 管の RF Aging に予想 以上の時間を使って しまった。

2008 年度に得られ た X 線強度から 10<sup>8</sup> photons/sec 以上の

X線強度を得るには、 電子ビームサイズで 4倍、電子ビーム強度 で10倍、レーザー強 度で20倍にする必要 がある。X線強度が 三桁以上増えるよう に要素技術開発を取 り入れたX線生成運 転を積極的に進めて いる。

# 新高周波電子源 と定在波 booster 加 速管の製作

新高周波電子源空 洞と定在波 booster 加速管設計を行い、 空洞製作を開始した。 設計では無負荷 Q 値 を 20%程度上げかつ 0-mode とπ-modeの周



図 4 高周波電力系の改造、2010 年 10 月完成。左が 旧システム、右が改造後の RF システム。



図5 上図は新規に製作した3.5 cell RF gun の写真。 0-mode とπ-mode の mode separation は 12MHz 以上で ある。下図は現在製作中の定在波 booster 加速管の図 面とその4 cell 分の mode 調整測定スペクトラムで、 mode 分離に成功している。12 cell では 12 mode 生じ るので 0-mode とπ-mode の mode separation を 20MHz 以上に調整する。

波数差を 10MHz 以上 まで拡げることがで きている。図5上図は その測定結果である。 電子ビームの品質が 十分に良ければ、ビー ムダンプまでに発生 するビームロスを少 なくでき、放射線管理 申請変更により10µC、 20µsec 電子パルス幅、 10.0MeV ビーム生成加 速も認められるよう にできる可能性があ



図 6. 36cm の 3.5 cell RF gun と 90cm 12 cell booster で構成した小型 S-band 常伝導の電子ビーム加速性能 をシュミレーションして、50MeV 高輝度大強度電子ビ ーム運転が可能であることを確認した。

る 図5下図は現在製作中の12 cell S-band booster 加速管の図面とその4 cell 分の加工調整による mode 測定結果である。2011 年 12 月までに 3m 加速管を 1m 弱の booster 加速管に入れ替える予定である。これによって現状の小型加速器 のビーム負荷調整が容易になる。図6のような小型電子加速器構成で 50MeV 高 輝度大強度電子ビーム運転が可能になることを簡単な仮定に基づいたビームシ ュミレーションにより確かめた。

2011 年春までに行った新高周波電子源の性能測定結果は設計値と同等の性能 を示し、測定エミッタンスは旧高周波電子源の 1/2 以下にできた。高周波電子 源空洞内の最高加速電界は 120MV/m 以上で安定に運転できた。今後、電子源か らのビームエネルギーが 10MeV まで到達するように高周波源の Upgrade を行う。

#### 4. STF 量子ビーム実証実験計画

9 cell 超伝導加速空洞の試作と改良を繰り返して、大電流電子ビーム加速に 使える超伝導空洞製作技術がほぼ確立でき、高輝度X線生成実証試験の空洞製 作を終わらせる目処が得られたので、2010 年秋から本実証試験の加速器設計と 装置製作・設置に関する情報交換を STF 量子ビーム打合せ(隔週水曜日午前中) で行うことになった。ここでは今までに決定された設計やスケジュールについ て報告する。



図 7. STF トンネル内の L-band RF Gun, 2 台の超伝導 空洞および電子ビームラインを示す。上図はビームラ インの衝突オプティクス。



図8. 平面4鏡光共振器と電子ビームライン衝突部の 配置。電子ビームは偏向角20度の2台の偏向電磁石で レーザーとの正面衝突軌道を通過する。

図8は小型の偏向電磁石2台を使った正面衝突の装置配置を示す。10µmの電 子ビームとレーザーパルスビームが正確に衝突しなければならないので、図9 に示す石定盤にミラー調整駆動機構を固定して真空ベローズが許す範囲でミラ ー位置調整が行える平面4鏡光共振器を製作する。電磁石および衝突点のビー ムモニターは別の位置調整架台に固定する。本装置の初期アライメントは高精 度で行わなければならない。これらの電子加速器ビームラインおよびレーザー システムの設置および試運転は2011年12月末までに完了しなければならない。 昨年度(2009年)か ら開発している3次元 4鏡光共振器は図10に 示されているように 右偏光と左偏光共鳴 状の99.99%反射ミラー と1枚の99.9%レーザ ー入射平面ミラーに よって組み立てられ た。この装置は正面衝 突用に設計していな いので、4 鏡光共振器

の安定性を研 究するために 2011 年秋に 1.3GeV リング 加速器にイン ストルして、 高線生成実験に 開

発する共鳴状態を 維持する技術を STF 量子ビーム試験に 応用する予定であ る。衝突点でのレー ザーサイズ 13μm で レーザー蓄積増幅 率は 1900 倍に設計 されている。

光共振器に入力 する為の mode lock laser も市販のもの を使用しないで開



図 9. 石定盤に載った光共振器、偏向電磁石と衝突 点ビームモニターの概念図。



図 10. 3 次元 4 鏡光共振器、左右円偏光共鳴分離が可能で 衝突点レーザーサイズを小さくできる。



発することになった。開発する最大の理由は、市販のレーザー装置で 100W 級の ものを購入する場合、一億円以上の価格であり、最新のファイバーレーザー増 幅技術で 100W 級の mode lock laser 発生装置を自作した場合に必要とする経費 が 2000 万円以内になることと、若手研究者の教育・先端装置製作訓練テーマと して最新レーザー装置製作は非常に有意義であることによっている。製作する 概念設計を 0xford 大学の専門家と議論して、図 11 に示したように数十 mW のフ ァイバーレーザー発振器、100 倍のファイバー増幅器、100 倍の Burst Amp. およ び 10000 倍の 4 枚鏡光共振器で構成することになった。現在、数百 mW, mode lock laser 発振器の製作試験を進めている。2011 年 12 月末までに本システム試験を 完了する予定である。

#### 5. 総括

2008 年度のX線生成実験では、マルチバンチ加速に対して以下のような重要 な知見が得られていた。

2008 年度の実験では、ビームサイズ、パルス長がそれぞれ 30µm、10ps のレ ーザーパルスと 60µm、20ps の電子ビームとの衝突を行い、衝突タイミングを 1ps の精度で、また衝突位置を数µm の精度で合わせることで X 線の生成に成功し、 基本的な衝突技術は確立されている。衝突タイミングはビームとの同期信号の 位相を調整することで合わせている。また、レーザーパルスの位置をムーバー 架台で動かすことによって電子ビームに合わせている。衝突点でビームプロフ ァイルの互いの位置をラフに合わせた後、X 線信号が最大になるよう微調整する。 位置合わせ精度はミクロン以下であるので、電子ビームサイズが 10µm になって も問題ない。

今後、今までの2枚ミラー共振器から4枚ミラー共振器に変えてLUCXでのX 線生成実験を行い、この共振器での衝突技術の蓄積を行う。また、パルスレー ザーによる3D-4ミラー共振器の実用化と周回発振型レーザー蓄積法の実用化を 強力に進める。LUCXにおいて、レーザーパルス蓄積装置に蓄積したレーザーパ ルスと3000バンチ以上のマルチバンチ電子ビームとの衝突によるX線生成実験 を行う。この高精度衝突技術の開発と蓄積は非常に重要である。さらに、光高 周波電子源ビーム生成のシミュレーションにより大強度電子ビーム生成が 20µsecパルス運転で可能であることを示したので、超伝導加速空洞製作技術が 確立する前に、10MeV-10µC電子ビームによる高輝度軟X線生成実証実験を進め る。これにより、電子ビームとレーザーパルス衝突に関する技術を本番の実証 実験前に確立することを目指す。同時に、高輝度軟X線の円二色性利用実証試 験も行うことになる。

#### 6. 参考文献

[1]. 栗木 雅夫 M. Kuriki (Hiroshima U. /KEK), H. Iijima (Hiroshima U.),
H. Hayano, Y. Honda, H. Sugiyama, J. Urakawa (KEK), G. Isoyama, S. Kashiwagi, R. Kato (Osaka U.), E. Katin, E. Khazanov, V. Lozhkarev,
G. Luchinin, A. Poteomkin (IAP/RAS), G. Shirkov, G. Trubnikov (JINR),

"KEK-STF における ILC 形式ビーム生成のための高平均出力レーザーの開発",第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, THPS015, 2010

[2]. 柏木 茂,加藤 龍好,杉本 尚哉,磯山 悟朗(大阪大学産業科学研究 所),杉山 陽栄,早野 仁司,浦川 順治(高エネルギー加速器研究機構加 速器研究施設),高富 俊和(高エネルギー加速器研究機構共通基盤研究施 設),栗木 雅夫(広島大学先端物質科学研究科), "Lバンドフォトカソ ード RF 電子銃の開発(III)",第7回加速器学会、姫路市文化センター、 8/4-6, THPS018, 2010

 [3].本田洋介,清水洋孝(高エネルギー加速器研究機構),赤木智哉 (広島大学),浦川順治,大森恒彦(高エネルギー加速器研究機構), "発振型光蓄積装置の開発",第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, THPS102,2010

[4]. Bonis J., Chiche R., Cizeron R. (LAL, France), Cohen M. (CELIA, France), Colin J., Cormier E., Cornebise P., Jehanno D., Labaye F., Lacroix M., Peinaud Y., Soskov V., Variola A., Zomer F. (LAL, France), 赤木, 三好, 永田, 高橋 (広島大学), 坂上 (早稲田大学), 荒木 栄, 舟橋, 本田 洋介, 大森 恒彦, 清水, 照沼 信浩, 浦川 順治 (高エネル ギー加速器研究機構), "偏極ガンマ線/陽電子生成のための 3d-4 mirror レーザー蓄積装置", 第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, THPS104, 2010

[5]. 坂上 和之, 青木 達朗(早稲田大学理工学研究所), 浦川 順治(高 エネルギー加速器研究機構), 柏木 茂(東北大学電子光理学研究センター), 黒田 隆之助(産業技術総合研究所), 篠原 邦夫, 鈴木 達也(早稲田大学 理工学研究所), 照沼 信浩, 早野 仁司(高エネルギー加速器研究機構), 別當 良介, 保坂 勇志, 横山 悠久, 鷲尾 方一(早稲田大学理工学研究所), "早稲田大学フォトカソード RF 電子銃における応用研究の現状と今後の 展望", 第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, THPS105, 2010 [6]. 楊 金峰, 近藤 孝文, 菅 晃一, 成瀬 延康, 室岡 義栄, 吉田 陽一, 谷村 克己(阪大産研), 浦川 順治(高エネルギー加速器研究機構)," フ ェムト秒時間分解・MeV 電子顕微鏡", 第7回加速器学会、姫路市文化セ ンター、8/4-6, THSH09, 2010

[7]. 福田 将史, 荒木 栄, Aryshev Alexander, 本田 洋介, 照沼 信浩, 浦川 順治(高エネルギー加速器研究機構), Deshpande Abhay(総合研究 大学院大学), 坂上 和之, 鷲尾 方一(早稲田大学理工学研究所), 笹尾 登(岡山大学極限量子研究コア), "KEK 小型電子加速器(LUCX)の現状報告 (4)", 第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, WEPS002, 2010

[8]. 高橋 義知(総合研究大学院大学), 杉山 陽栄, 早野 仁司, 浦川 順 治(高エネルギー加速器研究機構), 柏木 茂(東北大学電子光理学研究セ ンター), 磯山 悟朗, 加藤 龍好, 杉本 尚哉(大阪大学 産業科学研究所), 栗木 雅夫(広島大学 先端物質科学研究科), "KEK-STF における L-band Photocathode RF 電子銃", 第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, WEPS052, 2010

[9]. 青木 達朗(早稲田大学理工学研究所), Abhay Deshpande, 浦川 順 治,工藤 昇(高エネルギー加速器研究機構),坂上和之,鈴木 達也(早 稲田大学理工学研究所),高富 俊和,照沼 信浩,福田 将史(高エネルギ ー加速器研究機構),鷲尾方一(早稲田大学理工学研究所),3.5 cell S-band フォトカソード RF 電子銃開発, 第7回加速器学会、姫路市文化センター、 8/4-6, WEPS065, 2010

[10]. 横山 悠久, 青木 達朗(早稲田大学理工学研究所), 浦川 順治(高 エネルギー加速器研究機構), 柏木茂(東北大学電子光理学研究センター), 黒田 隆之助(産業技術総合研究所), 坂上 和之, 鈴木 達也(早稲田大学 理工学研究所), 照沼信浩, 早野 仁司(高エネルギー加速器研究機構), 鷲 尾 方一(早稲田大学理工学研究所), 早稲田大学における Cs-Te フォトカ ソード RF 電子銃を用いた マルチバンチ電子ビーム生成システムの開発, 第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, WEPS092, 2010

[11]. 清水 洋孝, 荒木 栄, 本田 洋介(高エネルギー加速器研究機構), 坂上 和之(早稲田大学), 照沼 信浩, 浦川 順治(高エネルギー加速器研 究機構), KEK-ATF Damping Ring Laser Wire 用 Green Laser の高強度化, 第7回加速器学会、姫路市文化センター、8/4-6, WEPS094, 2010
[12]. 三好修平、赤木智哉、荒木栄、浦川順治、大森恒彦、奥木敏行、栗木雅 夫、坂上和之、清水洋孝、高橋徹、照沼信浩、永田修司、広瀬立成、舟橋義聖、 本田洋介、鷲尾方一、 KEK-ATF における ILC 偏極陽電子源の為のレーザー蓄積 共振器を用いたガンマ線生成実験 日本物理学会 2010 年秋季大会、九州工業大 学、 2010 年 9 月

[13].赤木智哉、荒木栄、浦川順治、大森恒彦、奥木敏行、栗木雅夫、坂上和之、清水洋孝、高橋徹、照沼信浩、永田修司、中村俊介、広瀬立成、舟橋義聖、本田洋介、三好修平、鷲尾方一、 高輝度偏極光源の為の4枚鏡光蓄積共振器の開発 日本物理学会2010年秋季大会、九州工業大学、 2010年9月

[14].楊金峰,菅晃一,成瀬延康,室岡義栄,吉田陽一,谷村克己(阪大産研),浦川順治(高エネルギー加速器研究機構),"1kHzのフォトカソード RF電子銃の開発",日本原子力学会2010年秋の大会、北海道大学、2010年9月

[15]. 福田将史, 荒木栄, 浦川順治, 坂上和之, 笹尾登, 高野幹男、照沼信浩,本田洋介, 鷲尾方一, 「KEK 小型電子加速器におけるレーザー蓄積装置を用いた小型 X 線源(LUCX)の開発(9)」日日本物理学会第66回年次大会、新潟大学、2011年3月(大震災で中止、Web 掲載のみ)

[16]. 坂上和之, 荒木栄, 浦川順治, 笹尾登, 照沼信浩, 福田将史, 本田洋介, 鷲尾方一, 「KEK 小型電子加速器におけるレーザー蓄積装置を用いた小型 X 線源 (LUCX)の開発(10)」日本物理学会第66回年次大会、新潟大学、 2011年3月 伏 震災で中止、Web 掲載のみ)

[17]. 青木 達朗(早稲田大学理工学研究所), Abhay Deshpande, 浦川 順 治,工藤 昇(高エネルギー加速器研究機構),坂上和之,鈴木 達也(早 稲田大学理工学研究所),高富 俊和,照沼 信浩,福田 将史(高エネルギ ー加速器研究機構),鷲尾方一(早稲田大学理工学研究所)、3.5 cell S-band フォトカソード RF 電子銃の開発, 日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大 学、 2011 年 3 月(大震災で中止、Web 掲載のみ)

[18]. 横山 悠久, 青木 達朗(早稲田大学理工学研究所), 浦川 順治(高エネ ルギー加速器研究機構), 柏木茂(東北大学電子光理学研究センター), 黒田 隆 之助(産業技術総合研究所), 坂上 和之, 鈴木 達也(早稲田大学理工学研究 所), 照沼信浩, 早野 仁司(高エネルギー加速器研究機構),山本隆之、 鷲尾 方一(早稲田大学理工学研究所)、フォトカソード RF 電子銃を用いた マルチ バンチ電子ビーム加速に関する研究,日本物理学会第66回年次大会、新潟大学、 2011年3月(大震災で中止、Web掲載のみ)

[19]. 三好修平、赤木智哉、荒木栄、浦川順治、大森恒彦、奥木敏行、栗木雅 夫、坂上和之、清水洋孝、高橋徹、照沼信浩、舟橋義聖、本田洋介、鷲尾方一、 KEK-ATFにおける ILC 偏極陽電子源の為のレーザー蓄積共振器を用いたガンマ線 生成実験、日本物理学会第66回年次大会、新潟大学、2011年3月(大震災で 中止、Web 掲載のみ)

[20]. 赤木智哉、荒木栄、浦川順治、大森恒彦、奥木敏行、片岡裕美、栗木雅 夫、近匡、坂上和之、清水洋孝、城田知沙世、高橋徹、田中龍太、照沼信浩、 舟橋義聖、本田洋介、三好修平、吉玉仁、鷲尾方一、レーザーコンプトン散乱 を用いた高輝度偏極光源の為の4枚鏡光蓄積共振器の開発、日本物理学会第66 回年次大会、新潟大学、 2011年3月(大震災で中止、Web掲載のみ) [21]. 吉玉仁、赤木智哉、荒木栄、浦川順治、大森恒彦、奥木敏行、栗木雅夫、 清水洋孝、城田知沙世、高橋徹、田中龍太、照沼信浩、舟橋義聖、本田洋介、 三好修平、三次元4枚鏡共振器における新型フィードバック方法の研究、日本 物理学会第66回年次大会、新潟大学、 2011年3月(大震災で中止、Web掲載の み)

# ③. X線検出装置の実用化開発

**Development of X-ray detectors** 

### 概要

量子ビームプロジェクトにより発生する X 線のモニターばかりでなく今後の X 線検出の分野でのブレイクスルーとなる高性能 X 線検出器の開発を 目指す。2010 年度は、昨年度の予備的評価で有望であった SOI シリコンピ クセル検出器についてさらに検討を深めた。

高精細 X 線イメージング応用への可能性を探るべく、前年度に引き続き SOI

技術に基づくシリコンピクセル検出器の 可能性の評価・検証に取り組んだ。今年 度は、大面積・高精細・積分型 SOI ピク セルセンサー(INTPIX4)の動作・評価試 験および、新しい読み出し機能を搭載し た中面積・積分型 SOI ピクセルセンサー・

(INTPIX3e および INTPIX3f)の開発を行った。INTPIX4の仕様を表1に示す。これまでの積分型 SOI ピクセルセンサーはピクセルサイズが 20 µm であったが、SOI プロセスの改良により、ピクセル内で大きな面積を占めていたキャパシタを縮小することが可能になり、したがってピクセルサイズ縮小が容易になった。INTPIX4においてはピクセルサイズ 17 µm を達成、 ピクセルサイズ 14 µm の積分型センサー

チップ面積	15.5 mm x 10.3 mm
ピクセルサイズ	17 x 17 μm
ピクセル数	832 x 512 (約 43 万画素)
有効面積	14.1 mm x 8.7 mm
アナログ出力数	1または13

表1 INTPIX4 の仕様



図 1. INTPIX4・サブボード写真



図 2. 積分型ピクセルセンサーで得られた煮干しの X 線像(画像 3 枚を横に並べ て合成)

を製作中、さらに 10 μm の高精細ピクセルセンサーの開発も検討している。 INTPIX4 は専用のサブボード(図 1)に実装され、汎用の読み出しボードと組 み合わせてデータ収集システムを構築した。開発システムの正しい動作が確認

できたので、リガクの X 線発生装置(タ ーゲット Mo)を用いて、イメージング試 行実験を行った。発生装置から出力され る一番強い特性 X 線エネルギーは 17.5 keV である。また、照射サンプルとして 煮干しを用いた。その結果、図 2 に示す ように、鮮明な X 線像を得ることができ た。SOI イメージセンサーが高精細イメ ージングに有用であることをはじめて実 証したと言える。現在は、SN 比を高める ために、ノイズに寄与するリーク電流の 低減と、SOI ウエハーとして FZ 高抵抗基 板を用いることで検出効率を高めること を重要課題として、ピクセルセンサー性 能改善に取り組んでいる。

現在の X 線信号読み出しについては、 一定時間電荷積分を行った後、全ピクセ



図 3. INTPIX3e で取得した X 線テ ストチャート像

ルの読み出しを一つのアナログ出力を用いて行う方法を取っている。信号のリ セットおよび電荷蓄積は、全ピクセルに対して一斉に行われる。アナログ出力 を行っている時間は不感時間となり、従って、ピクセル数が増えればより不感 時間が増える。不感時間を減らすために、ローリングシャッターモード(RSM)を 搭載する積分型センサーの開発に着手した。RSMでは、一定ブロック毎に独立し てリセットおよび電荷蓄積を行うことができるので、不感時間を減少させ効率 の良い電荷収集を行うことが可能となる。2010年度の試作では一次試作として、 ピクセルサイズ 16 μm の中面積積分型センサー(INTPIX3e)を製作し、動作試験 を行った。有効面積は約3 x 3 mm である。図3に示すように、X線テストチャ ート画像が高解像度で得られ、20 lp/mm スリットが分離できていることから、 所望の解像度特性が得られていることを確認した。その後、2次試作として RSM を搭載した積分型センサー(INTPIX3f)を製作し、RSM 用読み出しシステムを開発 している。

次年度は、大面積および中面積 X 線イメージセンサーを駆使して X 線応用に 向けた検討を行い、さらに量子ビームプロジェクト X 線発生装置実証機からの X 線検出を試み、最終年度に完成する X 線発生装置での評価・応用試験にスムー ズに移行できるよう、開発研究を続けていく予定である。

### 開発スタッフ

責任者 : 幅純二(高エネルギー加速器研究機構)

担当者 : 宇野彰二、新井康夫、内田智久、三好敏喜、村上武、池本由希子(以 上 高エネルギー加速器研究機構)

### 参考文献

### 2010 年度中の発表および掲載

- 応用物理学会、放射線分科会会誌「放射線」、"SOI 技術による X 線ピク セル検出器の開発"、新井康夫、三好敏喜、一宮亮、小貫良行、Vol. 36, No. 4, Nov. 2010, pp. 179-188
- 2. 日本物理学会誌、2010 Vol. 65, No. 9, 実験技術,「SOI 技術を用いた放 射線イメージセンサーの開発」新井康夫、三好敏喜、一宮亮、小貫良行
- "Development of SOI Pixel Process Technology", Y. Arai, et al., 7<sup>th</sup> International "Hiroshima" Symposium on Development and Applications of Semiconductor Tracking Devices, International Conference Center Hiroshima, Japan, Aug. 29-Sep. 1, 2009, Nucl. Instr. And Meth. A623 (2010) 186-188 doi:10.1016/j.nima.2010.04.081.
- "Performance study of SOI monolithic pixel detectors for X-ray application", T. Miyoshi et al., Nucl. Instr. And Meth. A (2010), doi:10.1016/j.nima.2010.04.117.
- "Development of SOI Pixel Detectors", T. Miyoshi, VIPS2010-Workshop on Vertically Integrated Pixel Sensors, 2010, April 22-24, Collegio Riboldi Auditorium, Chiesa Dei Santi Giacomo e Filippo Via Luigi Porta, 10, I-27100, Pavia, Italy.
- "Development of INTPIX and CNTPIX Silicon-On-Insulator Monolithic Pixel Devices", K. Hara, Y. Arai, et al., 19th International Workshop on Vertex Detectors - VERTEX 2010, Loch Lomond, Scotland, UK, June 06-11 2010
- 7. "Vertical integration of radiation sensors and readout electronics",
  Y. Arai, MELECON 2010, 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, Digital Object Identifier:
  10. 1109/MELCON. 2010. 5475897, 2010, Page (s):1062-1067
- "Integrated radiation image sensors with SOI technology", Y. Arai et al., 2010 IEEE International SOI Conference (SOI), Digital Object Identifier: 10.1109/SOI.2010.5641403,2010, Page(s):1-5.
- 9. 2010年8月5日、理研シンポジウム「先進ものづくり技術によるアナライ

ザーキーコンポーネント開発基盤の構築状況」、招待講演"SOI 技術を用いた放射線ピクセル検出器の開発"

- "Progress of SOI Pixel Detectors and 3D Integration", Y. Arai et al., Pixel 2010 - International Workshop on Semiconductor Pixel Detectors for Particles and Imaging, 6-10 September 2010 Grindelwald, Switzerland.
- 2010年9月13日、日本物理学会、13pSM-11、SOI 技術を用いた読み出し一 体型ピクセル検出器(積分型)の開発、KEK 総研大 武田彩希、KEK 新井康夫、 他 SOIPIX グループ
- 2010年9月14日、日本物理学会、14aSK-2、SOI 検出器における X 線損傷 TID 効果の軽減に関する研究、東北大 小野善将、KEK 新井康夫他 SOIPIX グループ
- "Recent Progress in Development of SOI Pixel Detectors", T. Miyoshi on behalf of the SOIPIX Collaboration, IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and 17<sup>th</sup> Room Temperature Semiconductor Detector Workshop, October 30, 2010 - November 6, 2010 - Knoxville, Tennessee.
- 2011年3月25-28日、日本物理学会、25aGN-5、SOI ピクセル検出器用チップ読み出しボード SEABAS2の開発、KEK 田内一弥、新井康夫、他 SOIPIX グループ
- 2011年3月25-28日、日本物理学会、26aTN-9、SOIイメージセンサーのX 線応用、KEK 三好敏喜、他 SOIPIX グループ
- 16. 2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会、27pGN-10、SOI 検出器におけるセン サー層の電荷収集、東北大 小野善将、KEK 新井康夫、他 SOIPIX グループ
- 17. 2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会、27pGN-12、SOI シリコン検出器の高 比抵抗 FZ 基板の特性について、一宮亮、新井康夫、他 SOIPIX グループ
- 2011 年 3 月 25-28 日、日本物理学会、27pGN-13、SOI 技術を用いた読み出し一体型ピクセル検出器(積分型)の開発 II、KEK 総研大、武田彩希、KEK 新井康夫、他 SOIPIX グループ

# ④. 小型高信頼性 L-band 高周波源開発

## **Development of Compact Distributed RF Source**

### 概要

将来の小型高フラックス X 線源用要素技術開発のために、超低エミッタンス ビームの加速に必要なパルス運転型の超伝導加速空洞の研究開発を進めている。 この計画における小型1.3GHz高周波源の開発が昨年に引き続き行われた。従 来一般的な手法である大きな RF 源から大電力高周波を供給するというやり方と は一線を画した、小さい電力の高周波源を分布させながら効率の良いシステム を開発するというものである。すなわち電源(これは直流電源とパルスモジュ レータを含む)は共通として、高周波源であるクライストロンを空洞 1 台また は2台に1台ずつ配して、結果として小型化分布型高周波システムを構築しよ うとするもので超伝導加速器では特に有効である。昨年報告したとおり、基本 的な構成要素である、モジュレーションアノード電極付きクライストロン、そ のモジュレーションアノードと呼ばれる3極管構造のグリッドのような電極へ パルス変調をかける、モジューレーションアノードパルス電源、電力を供給す る直流高圧電源からなるがそれら1式の製造が2年目で完成しその評価試験を 平成22年度に実施することが出来た。発生した電力を空洞まで分配するシステ ムは1本のクライストロンから2空洞へ大電力高周波を供給するものであるが、 高性能の電力分配器を介し、各空洞からの反射が別の空洞へ行って干渉するこ とが無ければ非常にシンプルで小型化された電力分配系が実現される。これは 理論上可能であるが、実際にはそれを現実の運転により実証する必要があり、 この試験も平成22年度に行い、成功裏に評価試験を終了できた。これらに関し てこの成果報告書において報告する。このシステムは小型高フラックス X 線源 用加速器のみならず、従来大きい高周波源を用いて設計されてきた国際リニア コライダーの高周波源への応用でも可能であり、具体的な応用に関して注目さ れ始めた。

### 1. モジュレーションアノード付きクライストロンの性能

表1にモジュレーションアノード付きクライストロンの仕様を示した。平成 21年度にクライストロン本体を真空管化したが、引続き平成22年度には電圧と 高周波のエージングを行ない高エネルギー加速器研究機構へ納入された。製作 したプロトタイプのクライストロンはその後、評価試験を行なった結果満足す べき結果を得た。電気的特性の一部とその時の装置の写真を図1と図2に示す。 印加直流電圧 67.1kVの時に出力が806.7kWで効率が60.1%であり、表1の仕 様値を超える結果を得た。

## 2. 直流電源、及びモジュレーションアノード用モジュレータの開発

概略で述べたモジュ レーションアノード付 きクライストロンへ電 力を供給する直流電源 とモジュレーションア ノード変調器は平成 21 年度から2年にわたり製 作した。パルス電圧印加 時に生ずるパルス垂下 特性を補償するバウン サー回路等は省略した。 複数負荷時に一方が故 障した際、各負荷を切り 離す高圧リレーなどは 要素試験をすべく購入 し評価は平成 23 年度に 行う。第一章で述べた評 価試験時に直流電源及 びモジュレーションア ノード用モジュレータ の試験も同時に行なっ た。その後、総合運転と 国際リニアコライダへ の応用を兼ねて、超伝導 RF 試験装置への電力供 給を行った。この結果は

表1 モジュレーションアノード付きクライストロン の仕様、及び電源の仕様

Klystron	
Frequency	1.3 GHz
Peak Power	750 kW
Average Power Output	7.50 kW
RF pulse width	2 ms
Repitition Rate	5 Hz
Efficiency	60 %
Saturated Gain	
Cathode voltage	62.7 kV
Cathode current	18.8 A
Perveance(Beam@62.5kV)	1.2 µPerv
(Gun@53kV)	1.53 µPerv
Life Time	110,000 hours
# in 3 cryomodule	6.5
Focusing	Permanent magnet focusing
Type of Klystron	Modulated Anode Type
DC Power supply per 6 cryomodules	
# of klystron (6 cryomodule)	13
Max Voltage	71.5 kV
Peak Pulse Current	244 A
Average Current	2.47 A
Output Power	177 kW
Pulse width	2.2 ms
Repitition Rate	5 Hz
Voltage Sag	<1 %
Bouncer Circuit	
Capacitor	26 µF
Capacitance	<b>260</b> μF
Inductance	4.9 mH
M. Anode Modulator	
Annual Maltana	E0 11/
Anode Voltage	53 KV

次章で述べるように高周波的にも満足する結果が得られ、総合運転としては成 功裏に評価試験が遂行できたと評価出来る。平成23年度は残された要素も組み 入れ、超低エミッタンスビームの加速に必要なパルス運転型の超伝導加速空洞 の総合試験に供する予定である。図2に使用した回路構成図と







図1 左図(1) モジュレーションアノード付きクライストロンの出力 高周波の入出力特性、右図(2)試験中のモジュレーションアノード付きク ライストロン

電圧波形を示す。

## 3. 低電力高周波系のフィードバックをかけた電力分配系の総合評価

電力分配系の概略は概要の所で示した。これに関する目的は2分配電力供給 系で定在波型空洞からの反射波がある時にその干渉が無く、きちんと想定の高 周波を空洞に送れるか、低電力の高周波系フィードバックをかけて、所定の振 幅と位相の安定性が得られるかという課題を確かめることである。平成21年度 製作の高い方向性を持つマジックティー型電力分配器を用いて2分配電力供給 系を構築し超伝導 RF 試験装置で総合評価を行なった。



図3(1)に電力分配系のレイアウトを示した。低電力高周波系のフィードバックをかけた高周波波形を図3(2)に示した。この図からわかるように空洞

からの反射があっても高い方向性を有するマジックティーと導波管間の位相長 調整をした結果、きちんとした波形で運転できることが実証できた。通常は定 在波空洞では反射波の処理のためにサーキュレータを使用するのが普通である が、今回の試験でサーキュレータ無しのコンパクトな高周波システムの構築が 可能になったといえる。



図3 左図(1) 電力分配系のレイアウト、右図(2)試験時の高周波波形

### 開発スタッフ

責任者 : 福田茂樹(高エネルギー加速器研究機構)

担当者 : 道園真一郎、明本光生、中島啓光、吉田光宏、松下英樹(以上 高 エネルギー加速器研究機構)

### 参考文献

### 2010年度中の発表および掲載

 S. Fukuda, "Proposal of RF New Scheme in ILC-Distributed RF System (DRFS), Proceeding of Particle Accelerator Society Meeting of Japan, JAEA, Tokai, Japan, August, p. 779, 2009.

(2) S. Fukuda, "DRFS in SB2009", AAP Review, Oxford, January, 2010.

(3) S. Fukuda, "DRFS Equioment", LCWS2010, Beijing, March, 2010.

(4) S. Fukuda, "DRFS Development in HLRF", LCWS2010, Beijing, March, 2010.

(5) S. Fukuda, "S1 Global RF Preparation", LCWS2010, Beijing, March, 2010.

(6) M. Akemoto, "Power Supply for DRFS", LCWS2010, Beijing, March, 2010.
(7) S. Michizono, "DRFS LLRF System Configuration", LCWS2010, Beijing, March, 2010.

(8) S. Michizono, "S1 Global Study Plan", LCWS2010, Beijing, March, 2010.

# ⑤. プロジェクトの総合的推進

高周波電子源を使って、今までの300nC/300nsec電子ビーム生成実績を向上す るために、新しい電子源(1.5 cell RF Gun, 3.5 cell RF Gun)を製作した。ま た、5MeV or 10MeV大強度電子ビームとレーザーパルスを高繰り返しで衝突させ て、レーザー逆コンプトン散乱で軟X線生成実験を行えるように装置を改造した。 2009年度に3次元4枚ミラーリング光蓄積装置を試作して、新光蓄積装置で2010 年度に生成軟X線を使った実用試験を行えるように、実験装置の改造を進めて きたが、大強度電子ビーム生成の安定化やレーザーパルス蓄積装置の高精度制 御技術の実用化が遅れ2011年度後半まで実証試験を待つことになった。そこで 2011年度末まで電子ビーム・レーザー衝突実験によって、本提案課題装置で将 来必要となる安全システム・制御システム等の技術蓄積を継続する。

さらに硬X線生成を現状のLUCXで高輝度化できるように0.9m長のS-band booster 加速管(12 cell booster)製作を開始した。この加速管は定在波空洞で 長パルスビーム加速が容易に行えるように今使用している3m長の進行波加速管 と2011年末までに交換する。その後、8000 bunches/pulseとレーザーパルスと の衝突による高輝度X線生成を常伝導小型線形加速器で実現する。

本基盤技術開発研究では、実証試験超伝導加速装置を2011年秋までに完成さ せて、2012年夏までの高輝度X線生成実験によって性能を実証する予定であっ たが、2011年3月の大震災による被害と復旧で半年程度遅れることに成る。2012 年3月の電子ビーム運転開始を目指して、高輝度X線生成装置の建設を進めて いる。遅くとも2012年秋までには高輝度X線生成実証試験を行い、実用的な小 型高輝度X線源の設計を具体化する。必要とする基盤要素技術開発の進捗状況 を確認しながら、実証試験装置の詳細設計および装置製作を進めている。本プ ロジェクト関係者のコミュニケーションと要素技術に関する技術検討会は非常 に重要である。以下に示す報告会、多くの技術検討会および先端技術に関する 公開を積極的に推進している。

外部有識者を含む先端加速器推進室報告会や学会で本計画について報告した。 技術検討会等の開催は参画各機関を含めて 73 回行い、新たに STF 量子ビーム打 合せが始まった。プロジェクトで得られた成果を発信するための Web ページを 公開している。プロジェクト Web ページ: http://kocbeam.kek.jp/index.html。 高輝度光子ビーム源開発室ニュースを四半期毎に配布している。

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、研究開発運 営委員会や技術検討会の開催等、参画各機関の連携・調整に当たている。特に、 プロジェクト全体の進捗状況を確認しつつ計画の合理化を検討し、必要に応じ て調査或いは外部有識者を招聘して意見を聞くなど、プロジェクトの推進に努 力している。

2009年度から「高電圧DC電子源開発」の拡充計画として高安定高電圧電源開発を株式会社日立ハイテクノロジーズが担当しているので、日本原子力研究開

発機構と日立ハイテクノロジーズ間の研究開発調整を高エネルギー加速器研究 機構が行い、2011年度までに500~750kV数十mA以上の電子ビーム生成実証試験 を遂行できるように研究開発を調整する。また、広島大学と研究協力機関大阪 大学産業総合研究所が「高性能光L-band RF Gun開発」を進めている。これにつ いてもL-band RF Gun性能実験設備を所有する高エネルギー加速器研究機構が研 究開発の調整と統合を行っている。さらに、2009年度から新しく福田グループ が小型高周波源開発を行うことになった。2011年度末からの統合実証実験に向 けて順調に基盤技術開発が進んでいる。

プロジェクトで得られた成果については、国内外において積極的に公表し、 併せて超伝導加速空洞やその周辺機器の最先端知見を得ることで、今後の展開 に資するよう調整している。

# 2.3.成果の外部への発表

# 1. 口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、 口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所(学 会等名)	発表した時期	国内・ 外の別
Development of SOI Pixel Detectors(口頭)	T. Miyoshi	Pavia, Italy (VIPS2010)	2010, April 22-24	国外
A COMPACT SOFT X-RAY SOURCE BASED ON THOMSON SCATTERING OF COHERENT DIFFRACTION RADIATION (ポ スター)	A. Aryshevそ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
GAMMA-RAY SOURCE FOR NUCLEAR RESONANCE FLUORESCENCE BASED ON COMPTON STORAGE RING (ポ スター)	E. Bulyak その 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
MULTI-BUNCH ELECTRON BEAM GENERATION BASED ON CS-TE PHOTOCATHODE RF-GUN AT WASEDA UNIVERSITY (ポス ター)	Y. Yokoyama そ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
PHOTOCATHODE FEMTOSECOND ELECTRON BEAM APPLICATIONS:FEMTOSECOND PULSE RADIOLYSIS AND FEMTOSECOND ELECTRON DIFFRACTION (ポスター)	J. Yang その他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
EXPERIMENTAL RESULTS OF RF GUN AND GENERATION OF MULTI BUNCH BEAM (ポスタ ー)	Abhay Deshpande そ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Development of a Photo cathode RF Gun for the L-band Linac at ISIR (ポ	S. Kashiwagi その他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内

スター)				
STATUS AND FUTURE PLAN OF THE ACCELERATOR FOR LASER UNDULATOR COMPACT X-RAY SOURCE (LUCX) (ポスタ ー)	M. Fukuda その 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
BEAM DYNAMICS IN COMPTON STORAGE RINGS WITH LASER COOLING (ポスター)	E. Bulyakその 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
UPGRADE OF CARTRIDGE-TYPE EXCHANGEABLE Na <sub>2</sub> KSb CATHODE RF GUN (ポスター)	Y. Nakazono そ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
DEVELOPMENT OF A HIGH AVERAGE POWER LASER GENERATING ELECTRON BEAM IN ILC FORMAT FOR KEK-STF (ポスター)	M. Kurikiその 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
High-Voltage Test of a 500-kV Photo-Cathode DC Gun for the ERL Light Sources in Japan (ポス ター)	R. Nagai その 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
A STUDY OF LIFETIME OF NEA-GaAs PHOTOCATHODE AT VARIOUS TEMPERATURES (ポスター)	H. Iijimaその 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
DEVELOPMENT OF A PHOTOCATHODE RF GUN FOR THE L-BAND LINAC AT ISIR, OSAKA UNIVERSITY (ポスター)	S.Kashiwagi その他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
DEVELOPMENT OF A PHOTOCATHODE TEST BENCH USING A CRYO-PUMP AND A	D. Kubo その他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内

NEG PUMP(ポスター)				
Surface Inspection on MHI-01 <sup>~</sup> 09 Cavities (ポ スター)	K. Watanabe et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Cooling Test of ERL HOM Absorber (ポスター)	M. Sawamuraそ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Results of Vertical Tests for KEK-ERL 9-cell Superconducting Cavity (ポスター)	K. Umemoriそ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Cavity Diagnostics using Rotating Mapping System for 1.3GHz ERL 9-Cell Superconducting Cavity (ポスター)	H. Sakai その 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Observation of Resonance Mode in Coaxial-type Input Coupler (ポスター)	K. Umemoriそ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Power Coupler Development for ERL Main LINAC in Japan (ポスタ ー)	H. Sakai その 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010年5月23 日~28日	国内
Development of a prototype module for the ERL super conducting main linac at KEK (ポス ター)	T. Furuya その 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Repair Techniques of Superconducting Cavity for Improvement Cavity Performance at KEK-STF (ポスター)	K. Watanabe et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内

Preparation Status of Cryomodule Tests of Tesla-like Cavities in S1-Global Project at KEK (ポスター)	E. Kako et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Surface Study on Niobium Stain after Electro-polishing for Super-conducting RF Cavity (ポスター)	M. Nishiwaki et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Long-period Monitoring of Electro-polishing Electrolyte in EP Facility at KEK (ポスタ ー)	M. Sawabe et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Various Rinsing Effects to Mitigate Contaminates Brought by BCP on Niobium SRF Cavity Surface (ポスタ ー)	P. V. Tyagi et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Multipoint T-map System for Vertical Test of the Superconducting Accelerator Cavities (ポ スター)	H. Tongu et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Construction of the S1-Global Cryomodules for ILC (口頭)	N. Ohuchi et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Summary of Vertical Tests for S1-Global Project in KEK-STF (ポ スター)	Y. Yamamoto et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Summary of Results and Development of Online Monitor for	Y. Yamamoto et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内

T-mapping/X-ray-mappin g in KEK-STF (ポスター)				
Review of SRF Cavities for ILC, XFEL and ERL Applications (口頭)	H. Hayano et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Recent Progress in the Energy Recovery Linac Project in Japan (ポス ター)	Shogo Sakanaka, et al.	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
REALISTIC EVALUATION OF LOCAL FIELD ENHANCEMENT BASED ON PRECISION PROFILOMETRY OF SURFACE DEFECTS (ポスター)	Y. Morozumi	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Design of high brightness light source based on laser-Compton undulator for EUV lithograpy mask inspection (ポスター)	Kazuyuki Sakaue その他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Multi-bunch electron beam generation based on Cs-Te photocathode rf-gun at Waseda university (ポスター)	Yukihisa Yokoyama その 他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Pulse radiolysis with supercontinuum probe generated by PCF (ポス ター)	Yuji Hosaka そ の他	京都国際会議場 (IPAC10)	2010 年 5 月 23 日~28 日	国内
Quantum Beam Technology Program(口頭)	Junji Urakawa	高エネルギー加速 器研究機構 (PosiPol2010)	2010年5月31 日~6月2日	国内
Development of three dimensional 4-mirror ring cavities for	T. Akagi et al.	高エネルギー加速 器研究機構 (PosiPol2010)	2010年5月31 日~6月2日	国内

intense photon generation (口頭)				
Status of the experiment with the 2-mirror cavity at KEK-ATF (口頭)	S. Miyoshi et al.	高エネルギー加速 器研究機構 (PosiPol2010)	2010年5月31 日~6月2日	国内
Status of 4-mirror cavity for ATF (口頭)	F. Zommer et al.	高エネルギー加速 器研究機構 (PosiPo12010)	2010年5月31 日~6月2日	国内
Development of INTPIX and CNTPIX Silicon-On-Insulator Monolithic Pixel Devices (口頭)	K. Hara et al.	Scotland, UK (VERTEX 2010)	2010年6月6日 ~11日	国外
Applications of a high finesse Fabry Perot Cavity for the ILC (口 頭)	高橋徹	Annecy-Le-Vieux, France (TYL'10)	2010 年 6 月 15 日から 17 日	国外
SOI 技術を用いた放射線 ピクセル検出器の開発 (招待講演)	新井康夫	理研シンポジウム 「先進ものづくり 技術によるアナラ イザーキーコンポ ーネント開発基盤 の構築状況」	2010年8月5日	国内
DEVELOPMENT OF A HIGH AVERAGE POWER LASER GENERATING ELECTRON BEAM IN ILC FORMAT FOR KEK-STF (ポスター)	M.Kuriki et al.	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
クライオポンプと NEG ポ ンプを利用した光陰極試 験装置開発(ポスター)	久保大輔その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
高温下における NEA-GaAs 表面劣化の研究(ポスタ ー)	飯島北斗その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内

Electromagnetic heat design of S-band Linac (ポスター)	中園祥央その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
発振型光蓄積装置の開発 (ポスター)	本田洋介その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
L バンドフォトカソード RF 電子銃の開発 (III) (ポ スター)	柏木茂その他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
KEK 小型電子加速器 (LUCX)の現状報告(4)(ポ スター)	福田将史その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
KEK-STF における L-band Photocathode RF 電子銃 (ポスター)	高橋義知その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
3.5 cell S-band フォト カソード RF 電子銃開発 (口頭)	青木達朗その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
次世代放射光源用光陰極 DC 電子銃の開発(ポスタ ー)	永井良治その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
ERL 放射光源 500-kV 光陰 極電子銃開発の現状(ポ スター)	西森信行その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
次世代光源用 500-kV 光陰 極 DC 電子銃の高電圧印加 試験(ポスター)	永井良治その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
ERL 主加速器用超伝導加 速空胴での空洞診断装置 の開発(ポスター)	阪井寛志その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
ERL 主ライナックのため のカプラー開発— 改良 セラミック窓のハイパワ ー試験— (ポスター)	篠江憲治その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
ERL 超伝導主加速空洞の 入力カプラーによる横方	武藤俊哉その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速	2010年8月4日 ~6日	国内

向キックの計算(ポスタ		器学会年会)		
-)				
S1-Global の導波管分配	竹中たてスそ	姫路市文化センタ	2010年8月4日	
システム(KEK ILC) (ポ	の他	一(第7回日本加速	~6 日 ~6 日	国内
スター)		器学会年会)		
ILC計画における分布型	明本光生その	姫路市文化センタ	2010年8月4日	
RF源用電源の開発(ポス	他	一(第7回日本加速	~6日	国内
ター)		器学会年会)		
KEK 超伝導 RF 試験施設		姫路市文化センタ		
(STF) での S1 Global の	松本利広その	一(第7回日本加速	2010年8月4日	国内
ための高周波源)(ポス	他	器学会年会)	$\sim 6$ 日	
ター)				
国際リニアコライダー計		姫路市文化センタ		
画のための超伝導加速空	山本康史その	一(第7回日本加速	2010年8月4日	国内
洞のSTFにおける性能試	他	器学会年会)	$\sim 6$ 日	
験の最新結果(ポスター)				
S1-Global における TESLA		姫路市文化センタ		
改良型超伝導空洞のクラ	加古永治その	一(第7回日本加速	2010年8月4日	国内
イオモジュール試験(ポ	他	器学会年会)	$\sim 6$ 日	
スター)				
	早野仁司その	姫路市文化センタ	2010年8月4日	
STF の状況(ポスター)	他	一(第7回日本加速	~6 日	国内
		器字会年会)		
STF超伝導空洞用人力	佐藤昌史その	姫路市文化センタ	2010年8月4日	ㅋㅗ
結合器の高周波窓の熱サ	他	ー(第7回日本加速	~6 日	国内
イクル試験(ホスター)		新学会年会) (医脾力力(1)、 下		
京大における超伝導空胴		姫路市文化センタ	2010年8月4日	
の品質検査のための研究	順宮拓その他	一(第7回日本加速	~6 日	国内
		器字会年会)		
早稲田大字における				
しS=Te フォトカソード RF	横山悠久その	姫路巾又化センタ	2010年8月4日	同上
電子銃を用いたマルナバ	他		$\sim$ 6 日	国内
ンナ電子ビーム生成シス		岙字会牛会)		
アムの開発(ボスター)				

Development of 20kW input power coupler for 1.3GH ERL main linac — High power test of the renewed ceramic window (ポスター)	Kenji Shinoe et al.	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
早稲田大学フォトカソー ド RF 電子銃における応用 研究の現状と今後の展望 (ポスター)	坂上和之その 他	姫路市文化センタ ー(第7回日本加速 器学会年会)	2010年8月4日 ~6日	国内
Progress of SOI Pixel Detectors and 3D Integration (口頭)	Y. Arai et al.	Grindelwald, Switzerland (Pixel 2010)	2010年9月6日 ~10日	国外
Cs-Te photo-cathode RF electron gun for applied researches at Waseda University (口頭)	Kazuyuki Sakaue	10 <sup>th</sup> European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology	Sep 2010	国外
KEK-ATF における ILC 偏極 陽電子源の為のレーザー 蓄積共振器を用いたガン マ線生成実験(ロ頭)	三好修平その 他	九州工業大学戸畑 キャンパス(日本 物理学)	2010 年 9 月 11 日~14 日	国内
高輝度偏極光源の為の4 枚鏡光蓄積共振器の開発 (ロ頭)	赤木智哉その 他	九州工業大学戸畑 キャンパス(日本 物理学)	2010年9月11 日~14日	国内
SOI 技術を用いた読み出 し一体型ピクセル検出器 (積分型)の開発((ロ頭)	武田彩希その 他	九州工業大学戸畑 キャンパス(日本 物理学)	2010 年 9 月 11 日~14 日	国内
SOI検出器におけるX線損 傷 TID 効果の軽減に関す る研究(口頭)	小野善将その 他	九州工業大学戸畑 キャンパス(日本 物理学)	2010 年 9 月 11 日~14 日	国内
次世代光量子源用 500kVDC 電子銃のビーム 引き出し試験(口頭)	永井良治その 他	北海道大学(日本 原子力学会)	2010年9月15 日~17日	国内

Development of a 500-kV Photo-Cathode DC Gun for ERL Light Sources (ポス ター)	N.Nishimori et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内
GENERATION OF LONG BUNCH TRAIN USING RF GUN (ポ スター)	Abhay Deshpandea et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内
PHOTOCATHODE FEMTOSECOND ELECTRON LINAC AND ITS APPLICATIONS (ポスター)	J. Yang et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内
DEVELOPMENT OF AN L-BAND RF GUN FOR HIGH-DUTY-CYCLE OPERATION (ポスター)	R. Kato et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内
Development of a main linac module for compact ERL project (ポスター)	K. Umemori et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内
S1-GLOBAL Collaborative effort 8-Cavity-Cryomodule: 2 FNAL, 2 DESY and 4 KEK (ポスター)	N. Ohuchi et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内
Cryomodule Tests of Tesla-like Cavities in S1-Global for ILC (ポス ター)	E. Kako et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内
Recent Results of 1.3 GHz 9-cell Superconducting Cavities in KEK-STF (口 頭)	Y. Yamamoto et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010 年 9 月 12 日~17 日	国内
Updates on Sc Cavity Inspection (ポスター)	H. Tongu et al.	つくば市 (LINAC2010)	2010年9月12 日~17日	国内

Development of a 500-kV Photo-Cathode DC Gun for ERLs(口頭)	N. Nishimori Bonn University et al. (PESP2010)		2010 年 9 月 21 日~24 日	国外
High brightness electron gun test facility at KEK(口頭)	M. Yamamoto et al.	Bonn University (PESP2010)	2010 年 9 月 21 日~24 日	国外
L-band Photocathode RF Gun at KEK-STF(口頭)	H. Sugiyama et al.	Bonn University (PESP2010)	2010年9月21 日~24日	国外
Cooling test of HOM absorber model for cERL in Japan(口頭)	Cornell University (International M. Sawamura Workshop on et al. Higher-Order-Mod e Damping in Superconducting RF Cavities)		2010 年 10 月 11 日~13 日	国外
RF absorber studies for cERL in Japan(口頭)	M. Sawamura et al.	Cornell University (International Workshop on Higher-Order-Mod e Damping in Superconducting RF Cavities)	2010年10月11 日~13日	国外
Operation Experience of HOM absorbers at KEKB(口 頭)	T. Furuya	Cornell University (International Workshop on Higher-Order-Mod e Damping in Superconducting RF Cavities)	2010年10月11 日~13日	国外
Status of the optical cavity R&D at ATF(口頭)	高橋徹	International Conference Centre Geneva, Switzerland	2010 年 10 月 18 日~22 日	国外

		International		
Japanese cavity:	1. ++ L- ++	Conference Centre	2010年10月18	
results, status and	大衆怛彦	Geneva,	日~22 日	国外
tuture(口頭)		Switzerland		
Where we are with lasers		International		
performance for	T	Conference Centre	2010年10月18	
polarized e+ sources?	Junji Urakawa	Geneva,	日~22 日	国外
(口頭)		Switzerland		
		Knoxville,		
		Tennessee		
	T. Miyoshi on	(Medical Imaging		
Recent Progress in	behalf of the	Conference and		
Development of SOI Pixel	SOIPIX	$17^{\mathrm{th}}$ Room	2010年10月30	国外
Detectors(口頭)	Collaboratio	Temperature	日~日月6日	
	n	Semiconductor		
		Detector		
		Workshop)		
光共振器を用いた小型高		仁科加速器センタ		
輝度レーザーコンプトン	坂上和之	ー(ビーム物理研	2010年11月11	国内
散乱X線源開発(口頭)		究会 2010)	H∼12 H	
早稲田大学におけるRF電	松士寺山ろの	仁科加速器センタ	9010 年 11 日 11	
子銃を用いたマルチバン	新不達也ての (m)	ー(ビーム物理研	2010年11月11	国内
チ電子ビーム生成(口頭)	1112	究会 2010)	$\square \sim 12 \square$	
S-band Linacを用いたTHz	能士野山るの	仁科加速器センタ	9010 年 11 日 11	
波発生とイメージング応	熊木准丈ての	ー(ビーム物理研	2010年11月11	国内
用(口頭)	1112	究会 2010)	□~12 □	
		China-Korea-Japa		
Status of development of		n Joint Workshop		
a 500kV photocathode	N. Nishimori	on electron/	D 0010	戸友
electron gun for ERL	et al.	photon sources	Dec. 2010.	国クト
light sources (口頭)		and applications,		
		Shanghai, China,		
		第24回放射光学会		
ERL 主加速部クライオモ	梅森健成その	年会放射光科学合	2011/1/7 10	国中
ジュールの開発(口頭)	他	同シンポジウム	2011/1/7-10	国山
		つくば国際会議場		

JAEAにおける500kV光陰 極電子銃開発(ロ頭)	西森信行その 他	第8回高輝度高周 波電子銃研究会	2011. 1	国内
早稲田大学フォトカソー ドRF電子銃におけるマル チバンチ電子ビーム生成 (ロ頭)	坂上和之	第7回高輝度高周 波電子銃研究会	2011. 1	国内
Electromagnetic heat design of S-band Linac(口頭)	中園祥央その 他	、高輝度高周波電 子銃研究会 2011	2011. 1	国内
フォトカソード高周波電 子銃における可視光駆動 と熱問題(ロ頭)	中園祥央その 他	福井大学(日本原 子力学会 2011 春の 年会)	2011年3月	国内
次世代ERL光源のための 500kV光陰極電子銃開発 の現状(口頭)	西森信行その 他	福井大学(日本原 子力学会 2011 年春 の大会)	2011年3月	国内
次世代ERL光源のための 500kV光陰極電子銃開発 (Web公開)	西森信行	新潟大学(第66回 日本物理学会年 会)	2011 年 3 月 25-28 日	国内
KEK-ATFにおけるILC偏極 陽電子源の為のレーザー 蓄積空洞を用いた高輝度 ガンマ線生成実験(Web公 開)	三好修平その 他	新潟大学(第 66 回 日本物理学会年 会)	2011 年 3 月 25-28 日	国内
レーザーコンプトン散乱 を用いた高輝度偏極光源 の為の4枚鏡光蓄積共振 器の開発(Web公開)	赤木智哉その 他	新潟大学(第66回 日本物理学会年 会)	2011 年 3 月 25-28 日	国内
3次元4枚共振器における 新型フィードバック方式 の研究(Web公開)	吉玉均その他	新潟大学(第66回 日本物理学会年 会)	2011 年 3 月 25-28 日	国内
SOIピクセル検出器用チ ップ読み出しボード SEABAS2の開発(Web公開)	田内一弥その 他	新潟大学(第66回 日本物理学会年 会)	2011 年 3 月 25-28 日	国内
SOIイメージセンサーのX 線応用(Web公開)	三好敏喜その 他	新潟大学(第66回 日本物理学会年	2011 年 3 月 25-28 日	国内

		会)		
S0I検出器におけるセン	「四苦心ファ	新潟大学(第66回		
サー層の電荷収集(Web公	小野善将その	日本物理学会年	2011年3月	国内
開)	他	会)	25-28 日	
SOIシリコン検出器の高		新潟大学(第66回	0011 左 0 日	
比抵抗FZ基板の特性につ	一宮亮その他	日本物理学会年	2011年3月	国内
いて(Web公開)		会)	25-28 日	
SOI技術を用いた読み出		————————————————————————————————————		
し一体型ピクセル検出器	武田彩希その	利偽人子(第00回	2011年3月	国内
(積分型)の開発II(Web公	他	口 平 初 垤 子 云 平	25-28 日	国内
開)		<b>五</b> )		
KEK小型電子加速器にお		新潟大学(第66回		
けるレーザー蓄積装置を	坂上和之その	日本物理学会在	2011年3月	国内
用いた小型X線源(LUCX)	他	白本初建于云干 (二)	25-28 日	E r i
の開発(10) (Web公開)		5/		
3.5cell S-band フォトカ	害木法組みの	新潟大学(第66回	2011 年 3 日	
ソードRF電子銃開発(Web	前不達切での	日本物理学会年	25-28日	国内
公開)		会)	20 20 1	
フォトカソードRF電子銃				
とスーパーコンティニュ		新潟大学(第66回		
ウム光を用いたパルスラ	小方宏一その	日本物理学会在	2011年3月	国内
ジオリシスのシステム構	他		25-28 日	
築についての研究(Web公				
開)				
フォトカソードRF電子銃		新潟大学(第66回		
を用いたマルチバンチ電	横山悠久その	日本物理学会年	2011年3月	国内
子ビーム加速に関する研	他	全)	25-28 日	
究(Web公開)				
Status of Hiroshima-KEK				
Compton Experiment at	高橋徹	ALCPG11	2011年3月	国外
ATF(口頭)				
Compact FRL Project and	Kensei	The 15th		
Its SRF Activitios	Umemori on	Hiroshima	2011/Mar/3-4	国内
前)	behalf of ERL	International	2011/ Mai / 0 4	E I I
<i>*</i> 穴/	Collaboratio	Symposium on		

	n Team	Synchrotron		
		Radiation		
	Eugene			
ASYMMETRIC LASER	Bulyak, Junji			
RADIANT COOLING IN	Urakawa,	New York (PAC2011)	2011. 3. 28	国外
STORAGE RINGS (口頭)	Frank			
	Zimmermann			
FEMOTSCOND RF GUN BASED				
MEV ELECTRON	J. Yang et al.	New York (PAC2011)	2011. 3. 28	国外
DIFFRACTION(口頭)				

# 2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏 名	発表した場所(学 会誌・雑誌等名)	発表した時 期	国内・ 外の別
超伝導加速空洞の高電界化に向 けた研究(その1)	加藤茂樹、 他	加速器学会誌「加 速器」 Vol.7 No.2	2010年4月 掲載	国内
超伝導加速空洞の高電界化に向 けた研究(その2)	加藤茂樹、 他	加速器学会誌「加 速器」 Vol.7 No.3	2010年7月 掲載	国内
Performance study of SOI monolithic pixel detectors for X-ray application	T. Miyoshi et al.	Nucl. Instr. And Meth. A (2010),	2010年4月 掲載	国外
Development of SOI Pixel Process Technology	Y. Arai, et al.	Instr. And Meth. A623 (2010) 186-188	2010年4月 掲載	国外
Present status and first results of the final focus beam line at the KEK Accelerator Test Facility	P. Bambade et al.	PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 13, 042801 (2010) 042801-10	2010年4月 掲載	国外
Compton ring for nuclear waste management	Eugene Bulyak et al.	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 621 (2010)	2010年6月 掲載	国外

		105-110		
Micron-scale laser-wire scanner for the KEK Accelerator Test Facility extraction line	Stewart T. Boogert et	SPECIAL TOPICS – ACCELERATORS AND BEAMS 13, 122801	2010年7月 掲載	国外
	<b>u</b> 1.	(2010) 122801-16		
次世代放射光源用光陰極直流電 子銃	永井良治, 羽島良一, 西森信行	「光アライアン ス」Vol. 22, No. 1, 38-43	(2010)	国内
High-voltage testing of a 500-kV dc photocathode electron gun	R. Nagai et al.	Review of Scientific Instruments, 81, 033304	(2010)	国外
Luminosity optimization schemes in Compton experiments based on Fabry-Perot optical resonators	Alessandr o Variola et al.	PHYSICAL REVIEW SPECIAL TOPICS - ACCELERATORS AND BEAMS 14, 031001 (2011) 031001-11	2011年3月 掲載	国外
SOI 技術を用いた放射線イメージ センサーの開発	新井康夫、 三好敏喜、 一宮亮、小 貫良行	日本物理学会誌、 Vol. 65, No. 9, 実験技術	2010年9月 掲載	国外
SOI 技術による X 線ピクセル検出 器の開発	新井康夫、 三好敏喜、 一宮亮、小 貫良行	応用物理学会、放 射線分科会会誌 「放射線」 Vol.36, No.4, pp. 179-188	2010 年 11 月掲載	国内
Upgrade of the accelerator for the laser undulator compact X-ray source (LUCX)	Masafumi Fukuda et al.	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 637 (2011) S67-S71	2011年1月 掲載	国外

Development of a compact X-ray		Nuclear		
source based on Compton		Instruments and		
scattering using a 1.3 GHz	Junji	Methods in	2011年1月	
superconducting RF	Urakawa	Physics Research	揭載	国外
accelerating linac and a new		A 637 (2011)		
laser storage cavity		S47-S50		
Development of a laser pulse storage technique in an optical super-cavity for a compact X-ray source based on laser-Compton scattering Vertical integration of	Kazuyuki Sakaue et al.	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 637 (2011) S107-S111 15th IEEE Mediterranean Electrotechnica	2011年1月 掲載	国外
radiation sensors and readout electronics	Y. Arai	1 Conference: MELCON. 2010. 547 5897, 2010, 1062-1067	2010 年 12 月掲載	国外
Integrated radiation image sensors with SOI technology	Y. Arai et al.	IEEE International SOI Conference (SOI): 10.1109/SOI.201 0.5641403,2010, Page(s):1-5.	2010 年 12 月掲載	国外
Femtosecond pulse radiolysis and femtosecond electron diffraction	Jinfeng Yang et al.	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 637 (2011) S24-S29	2011年1月 掲載	国外

S-band linac-basedX-raysourcewith $\pi/2$ -mode electronlinac	Abhay Deshpande et al.	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 637 (2011) S62-S66	2011年1月 掲載	国外
Laser Driver for a photocathode of an electron linear accelerator	A. K. Potemkin et al.	Quantum Electronics 40(12) 1123-1130 (2010)	2011年3月 掲載	国外

# Acknowledgments

This report is supported by Quantum Beam Technology Program of the Ministry of Education, Science, Sports, Culture and Technology of Japan (MEXT).

# 2. 4.活動(運営委員会等の活動等)

## 研究会

2010/11/12-13:第四回フォトカソード研究会(広島大学先端物質科学研究科)

2011/1/11-12:第8回高輝度・高周波電子銃研究会(広島大学、東広島キャンパス)

# STF 量子ビーム打合せ

2010. 11. 17	KEK	1号館談話室
2010. 12. 01	KEK	1号館談話室
2010. 12. 15	KEK	1号館談話室
2011.01.05	KEK	1号館談話室
2011.01.26	KEK	1号館談話室
2011. 02. 16	KEK	1号館談話室
2011. 03. 02	KEK	1号館談話室

### X線検出器打合せ

2010.12.02 第四回量子ビーム PJ・X 線検出器検討会 KEK2 号館会議室中

## 定例レーザー蓄積技術打ち合わせ

2010. 04. 27	量子ビームレーザー打ち合わせ	早稲田大学 55 号館 2F
2010. 06. 11	量子ビームレーザー打ち合わせ	広島大学
2010. 09. 01	量子ビームレーザー打ち合わせ	KEK 研究本館会議室 2
2010. 09. 15	量子ビームレーザー打ち合わせ	KEK1 号館談話室 2
2010. 12. 17	量子ビームレーザー打ち合わせ	KEK1 号館談話室 2
2011. 02. 22	量子ビームレーザー打ち合わせ	広島大学

## 定例LUCX Meeting

2010.04.01	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010.04.08	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 04. 15	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 04. 22	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010.05.06	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 05. 13	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 05. 20	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ

2010.06.03	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010.06.10	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010.06.17	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010.06.24	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010.07.08	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 07. 15	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 07. 29	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 08. 12	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 08. 26	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 09. 02	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 09. 09	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 09. 16	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010.09.30	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 10. 07	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 10. 14	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 10. 28	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 11. 11	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 11. 18	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 11. 25	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 12. 02	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 12. 09	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2010. 12. 16	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.01.06	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.01.27	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.02.03	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.02.10	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.02.17	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.02.24	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.03.03	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ
2011.03.10	小型X線源実験打ち合わせ	(LUCX meeting)	KEK-LC コンテナ

## 定例電子銃打ち合わせ

- 1. 2010/4/12: 第22回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)
- 2. 2010/5/17: 第23回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)
- 3. 2010/6/17: 第24回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)
- 4. 2010/7/22: 第25回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)

- 5. 2010/8/4:第26回高輝度電子源開発グループ会合(日本加速器学会インフ オーマルミーティングとして開催)
- 6. 2010/9/6: 第27回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)
- 7. 2010/10/18: 第28回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)
- 8. 2010/11/29:第29回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)
- 9. 2011/1/13: 第30回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続)
- 10.2011/2/18:第31回高輝度電子源開発グループ会合(ビデオ接続) 11.

#### 定例 L-band RF 電子銃開発グループ会合

- 1.2010/4/1 : 第 19 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイ ンターネット接続)
- 2. 2010/5/14:第 20 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 3.2010/6/15:第 21 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 4. 2010/7/20:第 22 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 5. 2010/8/25:第 23 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 6. 2010/9/28:第 24 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 7.2010/10/26:第 25 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 8.2010/12/8:第 26 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 9.2011/1/11:第 27 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)
- 10. 2011/2/23:第 28 回L-band Rf電子銃開発グループ会合(ビデオおよびイン ターネット接続)

## 2.5.実施体制

別表1の通り。

### 別表1 平成22年度に於ける実施体制

業務項目	担当機関等	研究担当者	
①-A パルス超伝導加速空洞技術の	加速器研究施設	○早野 仁司	
開発	同上	加古 永治	
	同上	佐伯 学行	
	同上	両角 裕一	
	同上	斉藤 健治	
	同上	設楽 哲夫	
	同上	峠 暢一	
	同上	横谷 馨	
	同上	大内 徳人	
	同上	山本 康史	
	同上	佐藤 政則	
	同上	佐藤 昌史	
	同上	宍戸 寿郎	
	同上	仲井 浩孝	
	同上	山口 誠哉	
	同上	古田 史生	
	同上	渡邉 謙	
	超電導低温工学センター	山本 明	
	同上	土屋 清澄	
	同上	寺島昭男	
	機械工学センター	上野 健治	
①-B CW 超伝導加速空洞技術の開発	加速器研究施設	〇古屋 貴章	
	同上	加古 永治	
	同上	佐伯 学行	
	同上	両角 裕一	
	同上	斉藤 健治	
	同上	設楽 哲夫	
	同上	峠 暢一	
	同上	横谷馨	
	同上	大内 徳人	
	同上	山本 康史	

	同上	佐藤 政則
	同上	佐藤 昌史
	同上	宍戸 寿郎
	同上	仲井 浩孝
	同上	山口 誠哉
	同上	佐藤 康太郎
	同上	宮島 司
	同上	古田 史生
	同上	渡邉 謙
	超電導低温工学センター	山本 明
	同上	土屋 清澄
	同上	寺島昭男
	機械工学センター	上野健治
	物質構造科学研究所	河田 洋
② 電子ビーム・レーザー衝突技術の	加速器研究施設	○照沼 信浩
開発(システム統合化)	同上	本田 洋介
	同上	内藤 孝
	同上	黒田 茂
	同上	久保 浄
	同上	奥木 敏行
	同上	A. Aryshev
	同上	Abhay Deshpande
	同上	清水 洋孝
	同上	福田 将史
③ X線検出装置の実用化開発	素粒子原子核研究所	○幅 淳二
	同上	宇野 彰二
	同上	大森 恒彦
④ 小型高信頼性 L-band 高周波源開	加速器研究施設	○福田 茂樹
発	同上	道園 真一郎
	同上	吉田 光弘
	同上	古川 和朗
	同上	矢野 喜治
	同上	松本 利広
	同上	三浦 孝子
----------------	----------	---------
	同上	高富一俊和
	同上	榎本 收志
	同上	明本 光生
	同上	諏訪田 剛
	同上	杉村 高志
	機械工学センター	紙谷 琢哉
⑤ プロジェクトの総合的推進	加速器研究施設	◎○浦川 順治
	同上	荒木 栄

注1. ◎:業務主任者、○:実施責任者 (業務計画書のII.2章の2.業務項目別実施区分の業 務項目と担当責任者に対応)

注2. 本業務に携わっている方(参加者リストに記載されている方)を、全て記入。