

2. 量子ビーム科学研究施設の現状

2-1 強力極超短時間パルス放射線発生装置(Lバンドライナック)

2-1-1 Lバンドライナックの運転状況

図1は、平成26年度におけるLバンドライナックの運転日数を、月別、モード別に表したものである。今年度のLバンドライナック共同利用では23の量子ビーム科学研究施設 共同利用研究課題と10の物質・デバイス領域共同利用拠点 施設・設備利用課題が採択された。

前期は保守作業の19シフトを含む120シフトが

配分され、後期は保守作業の18シフトを含む119シフトが配分された。2月27日現在の、保守運転を含む運転日数は228日、運転時間実績は3,045時間である。ライナックの不調により利用が中止となったマシンタイムは10日であったが、それ以外に利用開始時間に遅れが生じたマシンタイムが数日あった。3月末までの推定の通算運転日数は247日、通算運転時間は約3,200時間以上と予想される。

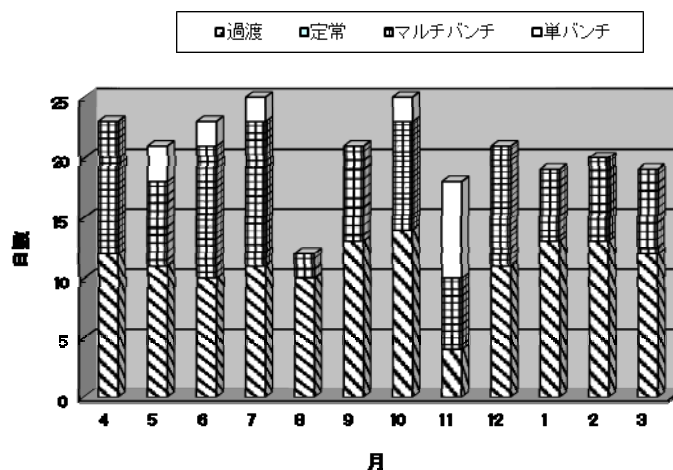


図1 平成26年度Lバンドライナック月別運転日数。3月は予定日数。

2-1-2 保守および故障の状況

クライストロン関係

今年度最大の故障は11月の後半に起きたクライストロンからの冷却水漏れであった(図2)。漏れた冷却水がパルスランスタンクの絶縁油に混入し、小さな水泡となってタンク内の高電圧部品に多数付着していたため、大掛かりな復旧作業となった。クライストロンとフォーカスコイルを撤去した後、タンク上蓋に吊下げられたパルスランス等の機器を油中から引上げた。引上げ途中で絶縁油を吹き付けながら水泡を洗い流したが、細部に入り込んだ水泡は洗い流せないため、可能な限り分解して拭き取り作業を行った。それと並行して取り外したクライストロンの水漏れ箇所の特定を行った。漏れ箇所はクライストロン本体の入力空洞の両端をつなぐ冷却水パイプの溶接部に空いたピンホールであった(図3)。このパイプを取り外して、補修した。しかし、再度クライストロンを取り付けて試験したところ、RF出力が1/4程度しか出なかったため、予

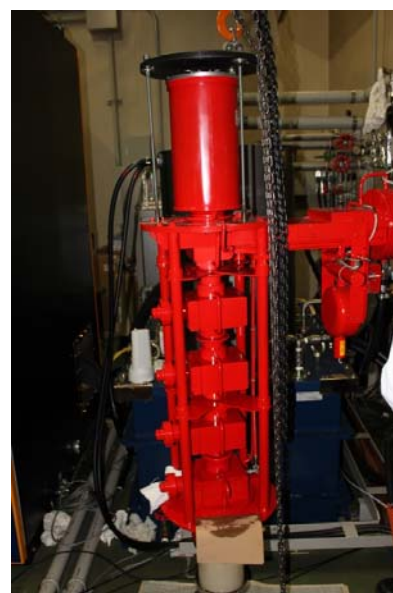


図2 作業のために引き上げられたクライストロン。正面下側の茶色の吸引紙が漏れた冷却水で濡れているのが見える。



図3 漏水個所の拡大。パイプの溶接部に開いたピンホールから入力空洞側面に向けて冷却水が噴出している。

備品に交換した。(後日ネットワークアナライザで入力空洞の周波数特性を確認したところ、他の空洞とは特性が大きくずれていることが判明した。) 翌日の過渡モードでの運転では特に問題が生じなかったが、翌々日のマルチバンチモードの運転では安定性に問題があることが分かった。現在、利用運転を継続しながらエージングを進めている。クライストロン交換直後は突発的に変動が始まると、しばらくそれが続くような状態であったが、現在は徐々に安定しつつある。

このクライストロンエージングの際、半導体スイッチ 1 号機、半導体スイッチ 2 号機、サイラトロンと切り替えて運転を行ったが、その際半導体スイッチ 2 号機が一定の電圧を超えると温度アラームが誤動作する症状が起きた。ノイズ対策としてサーモスイッチの配線をシールド線に変更したが症状に変化は見られなかった。また半導体スイッチ 1 号機で運転していた際に、スナバ用ダイオードがショートした。1 号機はダイオードを交換し現在利用運転に使用している。半導体スイッチはこのような小さな故障が時々発生しているが、1 時間程度で代替機への交換が可能であるため、利用時間を大きく損なうような問題には至っていない。

電子銃関係

前回(平成 25 年 8 月)の電子銃カソードの交換から 1 年 4 ヶ月ほど経過した平成 26 年 12 月にカソード交換を行った。顕著なグリッドエミッション増加の兆候は見えていないが、次に交換可能な時期が夏季停止期間となるため早めの交換となった。

ところが交換から 1 か月ほど経って、カソードのヒーター電流を通常使用値の半分程度に上げたとき、カソードーアノード間に定格高電圧を印加できなくなった。電子銃の高電圧を保持したまま、ヒーター電流を上げていくと途中から電圧値が降下し始めるとともに真空度が悪化してくるのである。ヒーター電流を固定したまま印加電圧を上げていった場合も同様である。試しにビーム輸送系のコイルの電流値を変化させてみると、真空が悪化するイオンポンプの位置が変わることから、グリッドパルサーが動作していない状態で電子が引き出されていることが推測された。熱変形によりカソードーグリッド間が接触し、グリッドエミッションが出ている可能性が考えられたので、再びカソード交換を行った。

しかし、真空立ち上げ後、再び高電圧を印加していくと同じ現象が現れた。真空度が悪化し始める高電圧値は高い側にシフトしていたが、本質的な変化は見られなかった。これにより、カソード個体の問題ではなく、電子銃システムの他の箇所に問題のあることが推測された。試しにヒーター電流を定格値に、印加電圧を 50 kV に上げてしばらく様子を見ることにした。最初、真空度は通常よりも一桁程度悪化した状態だった。しかし、30 分程度経過したあたりから真空度が改善し始め、そこから 10 分程度で通常の真空度に戻っていた。それ以降は通常通りのオペレーションが可能となった。この現象はその後、2~3 週間毎に現れ、1 時間程度で終息している。

冷却水装置関係

昨年度末に見つかった主加速管の精密温調系配管の水漏れ補修を年度当初に行った。この水漏れは主加速管の冷却水流量を調整するために加速管の上流側に設けられたボールバルブにピンホールが

空いたことに起因している。このボールバルブは 2 年前に新品に交換されたものであった。そのため、当初はこのバルブが不良品であった可能性が考えられた。しかし取り外したバルブの内面を観察すると、水を仕切るボール状弁体の端部が前回交換時と同様に破損しており、その対面の壁側が彫り込まれたように深くえぐれて、これが表面に達していた。主加速管では弁体を 45 度程度回転させて流量を絞り込んでいるが、このとき弁体の端部と壁面にかなりの圧力がかかっていると考えられる。今回は強度を考えてステンレス製のボールバルブに交換したが、再び同じ問題が起きる可能性がある。主加速管のように水圧、流量ともに負荷の大きな冷却水装置では、流量調整用には別の形状のバルブを採用したほうが良いと考えられる。この作業に合わせて、昨年末の作業で交換できなかったフロースイッチと古いバルブの交換も行った。

これ以外には、8 月の保守日にクライストロン室に設置されている冷却装置の熱交換器交換工事を、9 月の保守日に CT3 系のフィルターの変更を行った。

その他の機器トラブル

その他の機器では、11 月に発生装置室のエアコンのファンベルトが切れたため、交換を行った。ベルトが切れてから交換するまでの数日間、エアコン無しでの運転となったが、単バンチモードの運転でビームが不安定になる現象が起きている。マスターオシレータの周波数を微調整することで回復するが、時間が経つとまた状態が変化して、ビーム強度が落ちている。エアコン修理後はこの現象が見られなくなったため、発生装置室内の温度変化の影響が考えられる。

また年明けには、RF 系の低電力移相器が故障した。パルスモータへの入力パルスを受け付けず、現在位置表示がおかしくなる等の症状であった。入力パルスの問題は制御回路上の IC のいくつかが壊れていたことによるもので、これは 2 年前とまったく同じ症状である。現在位置表示については多回転絶対値エンコーダのバックアップバッテリーの消耗が原因であったが、このエンコーダ後継機種がないことから修理が進んでいない。現在エンコーダの他メーカーへの交換や、移相器そのものの置き換えを検討している。

2-1-3 ライナックの性能向上と開発研究

サブハーモニックバンチャー用高周波源の半導体化

サブハーモニックバンチャーシステムを安定化するために、平成 22 年度から平成 24 年度にかけて 3 台の半導体パルス増幅器が導入された。本来であれば昨年度から 3 台すべてが半導体増幅器で置き換えられる予定であったが、導入当初から続く様々な不具合により、これが遅れていた。

特に昨年度は 216 MHz 高周波パルス増幅器の増幅部に使用されているすべての FET ユニットで、実装されたチャージバンク用の電解コンデンサの防爆弁が開弁していることが確認された。工場での試験では原因が究明できなかったため、納入済みの 108MHz 高周波パルス増幅器の各 FET ユニットに温度センサーを取り付けて、運転時の温度変化をモニターしながら運用を継続した。今年度になって、ライナックのシャットダウン後に電源ブレーカーを落とし忘れた時、FET ユニットの温度が 50 度まで上昇し、その後 40~50 度の間で変動しているのが観測された。通常シャットダウン後は冷却水装置が停止するため、冷却水の流量不足アラームで FET アンプへの電源供給は停止するはずであったが、実際にはこの保護機能は生かされておらず、FET 側の温度保護回路(50 度で供給停止、40 度で解除)で電源が停止されていた。故障した 216MHz 増幅器では冷却水流量不足アラームが停止されていた上に、この温度

保護回路が実装されていなかった。故障後に引き取られていた216MHz増幅器はFET基板を再製作したうえで、2月末に納入された。また、これを機会に3台すべてに冷却水流量不足アラームを追加し、その他の保護ロジックの動作条件と安全措置の見直しを行った。

晴れて3台のサブハーモニック用高周波半導体パルス増幅器が揃ったことで、今後単バンチモード、マルチバンチモードの高安定なビーム利用が期待される。

2-2 150 MeV Sバンド電子ライナック

150 MeV Sバンドライナックは3台のクライストロンを使っており、このうちの1台をRF電子銃ライナックと電源を共有してきた。RF電子銃ライナックの移設に伴い、電源もクライストロン、モジュレータが1台分減少したため、配線の変更や冷却水の浄化、装置の立ち上げを行った。立ち上げの過程でRFアンプが故障していることがわかり、現在この対応を行っているところである。

2-3 フォトカソードRF電子銃Sバンドライナック

2-3-1 運転状況

我々は、レーザーフォトカソード高周波(RF)電子銃を活用し、RF電子銃から直接的にフェムト秒電子ビームの発生またはRF電子銃と線形加速器・磁気パルス圧縮装置から構成されたRF電子銃ライナックを用いてフェムト秒・アト秒短パルス電子ビームの発生を行い、パルスラジオリシス法と時間分解電子顕微鏡法を通じて、フェムト秒・アト秒時間領域での量子ビーム誘起物理・化学反応現象や構造変化ダイナミクスの研究を推進している。今までは、このRF電子銃ライナックを量子ビーム科学研究施設のライナック棟地下2階の第1照射室に設置し、150MeVのSバンド電子ライナックを切り替えなら運転し、ビーム利用を行っていた。運転および利用する際、最大の問題点として、150MeVのSバンド電子ライナックを起動する前に、放射線による損傷を避けるためにRF電子銃ライナック用のピコ秒・フェムト秒レーザーを第1照射室から出す必要があり、切り替えに時間と運用費用がかかってしまう。ビーム利用に支障が生じる。

高品質・短パルス電子ビームの発生や利用の拡大を目指して、2014年1月に現在のRF電子銃ライナックと時間分解電子顕微鏡をシャットダウンし、独立した実験室に移設すると共にアップグレードを行った。さらに、測定時間を短縮し、測定精度を高めるために、高繰返しの常伝導フォトカソードRF電子銃の開発をスタートした。以下に、RF電子銃ライナックの移設、アップグレード、高繰返しRF電子銃の設計・製作について報告する。

2-3-2 阪大産研RF電子銃加速器

阪大産研量子ビーム科学研究施設では、2003年に建設されたSバンドフォトカソードRF電子銃ライナックのほかに、ごく最近完成したRF電子銃を用いた時間分解電子顕微鏡実証機と現在開発中の高繰返常伝導RF電子銃テストベンチと合計3台のRF電子銃加速器装置がある。各装置は、企業の市販品ではなく、関連研究者の経験と知恵・努力を結集して独自に開発を続け、完成させたものである。2014年3月に、ビーム利用の拡大を目指して、全ての装置を独立した実験室(旧ベータトロン室)に移設し、アップグレードを行った。図1に移設後の加速器のレイアウトと写真を示す。以下、各装置の特徴と性能について紹介する。

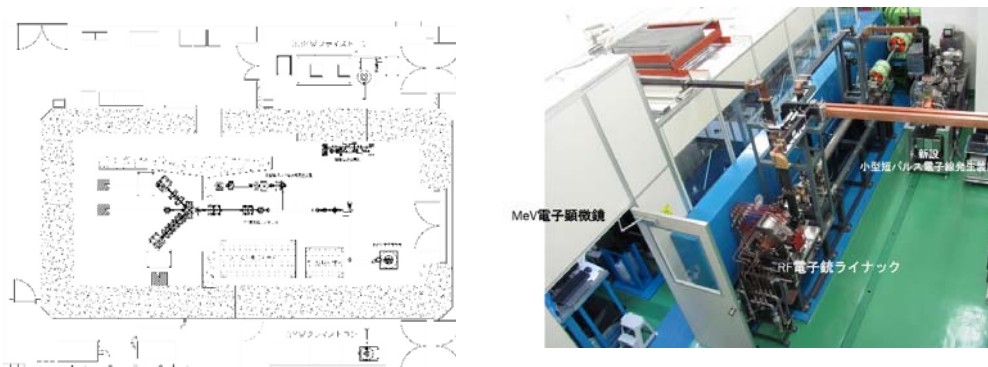


Figure 1: Layout and photo of S-band RF gun based accelerator facilities at ISIR, Osaka University.

2-3-3 SバンドフォトカソードRF電子銃ライナック

本ライナックは、フェムト秒短パルス電子ビームの発生と量子ビーム誘起超高速反応現象の解明のために、2003年に建設された加速器[6]であり、SバンドフォトカソードRF電子銃、加速管と磁気パルス圧縮装置から構成されている。RF電子銃はBNLのGUN-IVのタイプであり、カソードには無酸素銅を用いている。電子ビームの発生には、全固体Nd:YLFピコ秒レーザーの4倍波を使用した。RF電子銃から発生したピコ秒電子線パルスは、下流に取付けられた加速管により最大エネルギー32MeVまで加速され、加速位相の調整によりパルス圧縮の最適なエネルギー・位相空間分布を作り出す。輸送中の空間電荷効果によるエミッタンス増大は、RF電子銃の出口に取付けられたソレノイド電磁石により補正される。磁気パルス圧縮装置は、45°の偏向電磁石2台と四極電磁石4台から構成される。本磁気パルス圧縮器における R_{56} の値は、エネルギーが32MeVの電子ビームに対して62.6mmであった。磁気パルス圧縮における2次と3次効果の係数(T_{566} と U_{5666})は四極電磁石の磁場強度に依存する。フェムト秒電子線パルスを得るためには、磁場の非線形効果の影響、パルス圧縮中エミッタンスによるパルス幅の増大が低減する必要がある。そこで、我々は、まず加速管における非線形エネルギー変調を活用し、磁気パルス圧縮の2次効果の影響を最小限に抑えた。次に、四極電磁石の磁場強度を精密に制御し、磁気パルス圧縮の対称面(mid-plane)に電子が垂直に入射するようなエンベロープマッチング条件を探し出し、パルス圧縮中エミッタンスによるパルス幅の増大を低減した。その結果、2006年に最短98フェムト秒の電子線パルスの発生に成功した[7,8]。そのときのパルス電荷量は0.2nCであった。発生したフェムト秒電子線パルスを用いて、2009年に世界最高記録の240フェムト秒時間分解能を持つパルスラジオリシスの開発に成功した[2,3]。これにより、フェムト秒時間領域での放射線化学初期過程・反応プロセスの研究が初めて可能となった。その後、更に短い電子線パルスの発生を目指して、以下の3つの改良を行った。

- i. まず、六極電磁石を製作し、2次効果が補正できる磁気パルス圧縮器を開発した。
- ii. 次に、圧縮後のパルス幅は、縦方向エミッタンス(Longitudinal emittance)に依存している。我々は、RF電子銃を直接的にフェムト秒Ti:Sapphireレーザーの3倍波(266nm)を駆動させ、縦方向エミッタンスが低いフェムト秒短パルス電子ビームを発生し、加速管によりエネルギー変調の後、磁気パルス圧縮器でフェムト秒電子線パルスの生成を試みた。圧縮前の電子線パルス幅が短くなると、パルス圧縮に必要なエネルギー分散幅が狭くなるため、磁気パルス圧縮における2次や3次などの高次効果によるパルス幅の増大(エネルギー分散幅の2乗と3乗に比例する)が低減でき、より短パルス電子ビームの発生が可能となった。
- iii. 最後に、極短パルス電子ビームを得るためには、 T_{566} と U_{5666} 以外の高次効果を低減する必要がある。特に T_{511} ~ T_{565} の効果である。これらの効果は、電子ビームのサイズや発散角、すなわち横方向エミッタンス(Transverse emittance)に大きく依存する。詳細については、参考文献8を参考にさせていただきたい。そこで、我々はカソードに照射するレーザーのスポット径を小さくして初期の熱エミッタンスを低減させた。

これにより、横方向に0.1mm-mradの極低エミッタンス電子ビームの発生に成功し、改良した磁気パルス圧縮器を用いて最短8.9フェムト秒の短パルス電子ビームの発生に成功した。この時のパルス電荷量は2.1pCであった。パルス幅の測定には、新たに開発したTHz光干渉法(Terahertz autocorrelation method)を用いた。

上記で述べたように、我々が開発したフォトカソードRF電子銃ライナックは、低エミッタンスかつ短パルスの電子ビームが発生可能のため、パルスラジオリシスなどの応用分野において、世界最高性能を有している。これからのビーム利用拡大を目指して、2014年1月に独立した実験室に移設し、アップグレードを行った。図2に、新しいフォトカソードRF電子銃ライナックの構成図を示す。本ライナックに、新たにシングルショットパルスラジオリシス測定用のAchromaticビームラインを建設し、3つのビーム利用ポートを整った。また、加速管の下流に加速空洞を設置するスペースを設け、将来には電子線パルスエネルギー変調を高精度で行い、アト秒電子線パルスの発生を目指す。

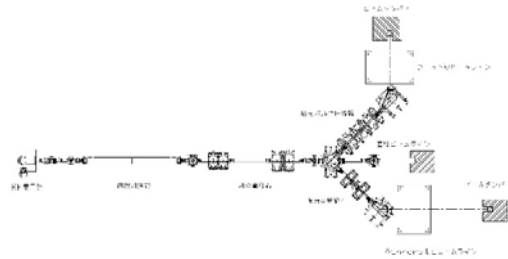


Figure 2: New femtosecond electron linear accelerator using RF gun.

2-3-4 RF 電子銃を用いた時間分解 MeV 電子顕微鏡

物質の構造に対する直接的な知見を獲得する代表的な手法は、言うまでもなく電子顕微鏡である。電子顕微鏡は、原子レベルでの構造決定を可能にし、沢山の重要な発見を成し遂げ、科学の新しい領域を切り拓いてきた。これに時間分解機能を付加した時間分解電子顕微鏡は、高速で進行するナノスケールでの構造変化を時間分解で直接的に追跡できることから、広い学問分野で大きな注目を集めている。高時間分解能を有する電子顕微鏡を実現するためには、高品質かつ短パルスの電子ビームが不可欠である。そこで、我々はフォトカソード RF 電子銃技術とフェムト秒電子線パルス発生の実験を活かして、未だ世界的に実現されていない、フェムト秒時間分解能を有する MeV 透過型電子顕微鏡の建設に装置開発目標を置いた[10,11]。本研究では、時間的には 100fs、空間的には 10nm とする時空間分解能を両立させた小型超高压電子顕微鏡を開発することが、最大の達成目標である。

図 3 に、我々が開発したフェムト秒時間分解 MeV 電子顕微鏡実証機の写真を示す。本電子顕微鏡には、フォトカソード RF 電子銃を用いることは、最大の特徴である。初めての加速器技術と電子顕微鏡技術の融合と言える。RF 電子銃の特徴として、第一は、空間電荷効果の低減である。加速空洞内に DC 電子銃より 10 倍高い加速電場 (100MV/m) を有するため、カソードから発生した光電子が広がらないうちに空洞内の高電場で瞬時に相対論的運動エネルギーまで加速される。こうして、空間電荷効果によるエミッタンスの増大が抑えられ、パルス当たりの電荷量が高く、発散角が小さい電子ビームを発生することが実現できる。第二は、短パルス電子ビームの発生である。RF 電子銃から発生する電子ビームの時間構造はレーザーの時間構造を反映するため、短パルスレーザーを利用すれば簡単に短パルスの電子ビームを得ることができるという利点がある。そこで、我々は、RF 電子銃をフェムト秒レーザーで駆動させ、規格化エミッタンスが 0.1mm-mrad、エネルギー分散が 10^{-4} 、パルス幅が 100fs のフェムト秒短パルス電子ビームを発生し、時間分解電子顕微鏡の電子源を実現させる。最近、我々の RF 電子銃の研究では、カソードに照射するレーザーのパルス幅、スポットサイズを制御し、加速空洞内の電場と位相などのパラメーターを最適化することにより、パルス当たりの電荷量が 0.1pC に抑えれば、上記で述べたような高品質フェムト秒電子ビームが発生可能であることがわかった[12]。本電子顕微鏡には、RF 電子銃から発生したフェムト秒短パルス電子ビームは、コンデンサ絞りによるコリメートされた後、コンデンサレンズによって厳密に制御されて試料に小さい収束角で入射する。結像部には、対物レンズ、中間レンズと投影レンズの 3 つの強磁場磁気レンズを用いた。球面収差、色収差と非点収差を最小化するために、磁極やヨークの形状を最適化しており、電子レンズ系として十分な特性が実現されている。対物磁気レンズでは、上極と下極に非対称の構造を採用し、最大起磁力が 44,000A・

ターンである。磁極は飽和磁束密度が高いパーメンジュール軟磁性材料を使用しており、最大磁場強度 2.4T の発生が可能である。これにより、本電子顕微鏡のイメージ像拡大倍率は 5,000～75,000 倍となり、本開発目標である 10nm 分解能を十分に達成する見込みである。

超高速のイメージ測定には、検出器そのものの時間分解能に依存しないが、電子波の高感度検出は極めて重要である。特に、非可逆過程への測定を実現するためには、single shot でのイメージを測定する必要がある。そこで、我々が MeV 電子線回折測定[5]に成功したパルスあたり少数の電子数でも測定可能な TI をドーブした CsI の柱状結晶化素子と浜松フォトニクス社製の Fiber Optic Plate を採用した。時間分解 MeV 電子回折の測定では、検出系全体の検出感度として、 3×10^3 counts/ electron を達成している[13,14]。最近、高感度カメラ (EM-CCD) に置き換えることによって、検出感度を 10 倍以上に増強し、電子数 5×10^4 のパルスを用いて単結晶金における MeV 電子回折の single-shot 測定に成功した。

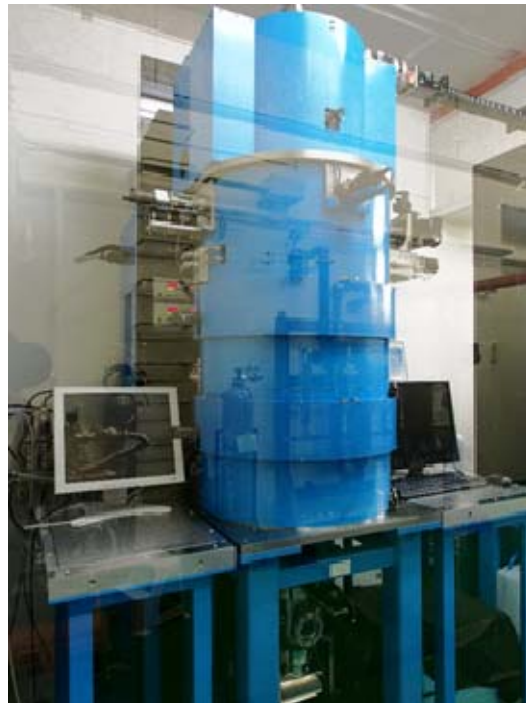


Figure 3: Photo of time-resolved relativistic-energy electron microscopy using RF gun

2-3-5 小型短パルス電子線発生装置

上記で述べたように、パルスラジオリシスの時間分解能をアト秒に、時間分解電子顕微鏡の空間分解能をサブナノメートルに向上させるには、更なる低エミッタンス・短パルス電子ビームが不可欠である。このような電子ビームを得るために、パルス当たりの電荷量 (0.1pC/pulse 以下) を低減しなければならない。一方、測定には、高精度かつ短時間の観測が望まれ、短時間で沢山の電子数が要求される。これらの問題を解決するために、電子線パルスの繰返しを上げなければならない。すなわち、高繰返しの電子源が必要となる。そこで、我々は、高エネルギー加速研究機構との共同研究で、高繰返しの常伝導 RF 電子銃の開発に試みた。常伝導 RF 電子銃を選んだもう最大の理由は、装置の小型化である。

図 4 に、我々が開発した高繰返しの常伝導 RF 電子銃の図を示す。熱除去のほかに、エミッタンスやエネルギー分散の低減を目指して、以下の 6 つの改良を行った。

- i. まず、大きな改良点として、ハーフセルとフルセルの間の Iris 寸法と形状を変更し、 π モードと 0 モードの共振周波数差を従来の RF 電子銃の 3.5MHz から 15.2MHz までに広げた。新

しい RF 電子銃では、Iris 直径を 14.5mm、Iris 厚さは 18.0mm であり、形状は従来の丸型から楕円形状に変更した。これにより、(1) カソードでの 0 モードの電場強度と Iris 表面電場強度を低減することができた。(2) 空洞温度変化による field balance などの影響 (温度の敏感さ) が受けにくく、低繰返しから高繰返しでの安定な運転につながる。(3) tuning や tolerance の敏感さが緩和された。(4) RF 加速位相によるエミッタンスの変化が小さくなり、また、(5) パルス内のエネルギー分散の低減も期待できる。

- ii. 次に、加速空洞の形状は従来の四角形状から丸い形状に変更した。これにより、加速空洞内の電場の非線形成分を低減することができ、最も対称性が良い理想に近い RF 加速電場が実現できる。また、Q 値やシャントインピーダンスの向上にもつながった。
- iii. ハーフセルとフルセルにセル壁面を变形させる新型チューナーを取り付けた。これにより、フルセルとハーフセルの RF カップリングの調整を容易にして、加速電場分布のバランスがより高精度で得られるようにした。
- iv. ハーフセルとカソードプレートを金ロウ付けする構造を採用した。従来の RF 電子銃では、カソードプレートをハーフセルにヘリコフレックスで取り付けたため、カソードプレートとハーフセルの間に隙間ができ、放電や暗電流発生の原因となった。金ロウ付けにより、この隙間がなくなり、RF 電子銃からの暗電流が大幅に低減できる。
- v. カソードプレートにカソードプラグの挿入機構を設け、フォトカソードの交換が可能になった。これにより、透過型カソードなどの新しいフォトカソードの研究開発にもつながる。
- vi. 最後に、Iris の冷却水路形状は従来の四角形状から五角形状に変更した。シミュレーションでは、ハーフセル半径方向に熱発生量が集中しているため、ハーフセルとカソードプレートの連結部に新たに 1 系統の冷却水路を追加した。また、フルセルに取り付けられた導波管にも冷却水路を設けた。これにより、RF 共振による発生した熱を効率的に除去することができ、1kHz の高繰返し RF 電子銃の実現が期待できる。

図 5 に、新たに建設した RF 電子銃テストベンチ (小型短パルス電子線発生装置) の構成図を示す。RF 電子銃テストベンチには、RF 電子銃の後ろにソレノイド電磁石、コンデンサレンズ、試料挿入機構、さまざまなビームモニターが設けられ、ビームダイナミクスの研究が可能となり、フェムト秒短パルス電子ビームを利用した時間分解電子回折やその他のポンププローブなどの応用実験も可能である。

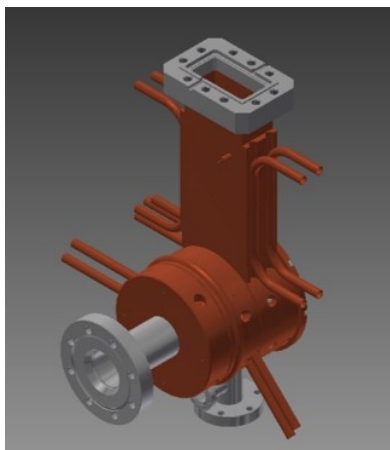


Figure 4: New high-repetition-rate RF gun.



Figure 5: RF gun test facility for short-pulse and low-emittance

2-3-6 まとめ

以上、阪大産研 S バンドフォトカソード RF 電子銃ライナックの移設とアップグレード、ごく最近完成した RF 電子銃を用いた時間分解電子顕微鏡装置、現在開発中の高繰返常伝導 RF 電子銃とテストベンチ装置について紹介した。阪大産研フォトカソード RF 電子銃ライナックは、極短パルス電子ビーム発生において強力な加速器となっている。この加速器を用いた高速パルスラジオリシスは、今まで未踏領域での量子ビーム誘起の物理・化学初期反応過程が測定でき、新物質の創製と新機能の開拓、ライフイノベーションの発展に極めて大きな貢献をもたらすであろう。また、フェムト秒時間分解電子顕微鏡は、フェムト秒領域の時間分解能と原子レベルの空間分解能を併せ持つ新しい測定ツールである。実現すれば、今後の超高速構造科学研究を質的に格段に深化させるであろう。現在開発中である高繰返し RF 電子銃は、時間分解電子顕微鏡の実用化に不可欠な電子源である。実現すれば、この RF 電子銃を用いた新しい電子顕微鏡は、電子顕微鏡の性能だけを考えても、小型かつ安価で、一般的な研究施設や研究室でも導入可能である。更に、フェムト秒の高時間分解能が付加されることを考えれば、次世代の電子顕微鏡の誕生と言っても言い過ぎではない、世界中の物質構造科学研究者が待望してやまない「夢の装置」である。

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究（A）、26249146）「アト秒パルスラジオリシスの構築」、（基盤研究（A）、26246026）「フェムト秒時間分解電子顕微鏡に関する研究」によって遂行可能となった。また、フォトカソード RF 電子銃ライナックの移設において、大阪大学産業科学研究所の谷村克己教授から多大な支援をいただいた。装置移設においては大阪大学産業科学研究所附属量子ビーム科学研究施設の教員と技術職員の方々にも最大限の協力をいただいた。小型短パルス電子線発生装置の建設は高エネルギー加速器研究機構（KEK）との共同研究である。関連する方々に深く感謝したい。

2-4 コバルト 60 照射設備

2-4-1 概要

コバルト 60 ガンマ線密封 RI 線源 3 本を保有し、各線源での γ 線照射の利用が可能となっている。

2-4-2 利用状況

平成 25 年度のコバルト 60 照射施設の利用課題数は 18 件であった。利用状況を表 1 にまとめた。利用件数および総利用時間が大幅に増加し、学内利用の部局数も増加した。引き続きコバルト 60 線源が広く利用されている。

表 1 平成 25 年度コバルト 60 照射施設利用状況

(平成 25 年度 12 月 31 日現在)

部局	利用件数	総利用時間(hrs)
産業科学研究所	11	58
理学研究科	5	30
レーザーエネルギー学研究センター	0	0
工学研究科	36	2964
RI センター	8	5
基礎工学研究科	1	4
拠点利用	0	0
合計	61	3061

2-4-3 装置の維持管理

コバルト照射施設運転制御システムの総合点検および保守整備をおこなった(2月)。

2-5 平成26年度 共同利用採択テーマ一覧

2-5-1 共同利用テーマ一覧

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
26-A-C1	新しい手法によるコヒーレント放射光発生の研究	産研	磯山悟朗	Lバンド
26-A-C2	マイクロ秒ミリ秒パルスラジオリシス法における放射線化学の研究	産研	小林一雄	Lバンド
26-A-C3	ナノ秒領域での量子ビーム誘起化学反応基礎過程	産研	楊 金峰	Lバンド
26-A-C4	高輝度電子ビームの発生と特性測定	産研	川瀬啓悟	Lバンド
26-A-C5	テラヘルツ自由電子レーザー開発と特性測定	産研	加藤龍好	Lバンド
26-A-C6	Lバンド電子ライナックにおけるTHz-FEL 光特性評価および利用発展の研究	産研	入澤明典	Lバンド
26-A-C7	レジスト高分子の反応基礎課程の研究	産研	吉田陽一	Lバンド コバルト
26-A-C8	放射線照射による遺伝子損傷の分子機構	産研	小林一雄	Lバンド コバルト
26-A-C9	EB/EUV 用 レジスト高感度化のための高速時間反応研究	産研	吉田陽一	Lバンド コバルト
26-A-C10	ラジカルイオンの反応性	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
26-A-C11	放射線化学反応活性種	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
26-A-C12	ラジカルイオン光励起状態	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
26-A-C13	放射線化学反応中間体	産研	藤乗幸子	Lバンド コバルト
26-A-C14	水溶液の放射線誘起スパー反応研究	産研	室屋裕佐	Lバンド コバルト RF 電子銃
26-A-C15	時間分解電子顕微鏡に関する研究	産研	楊 金峰	RF 電子銃
26-A-C16	フォトカソード RF 電子銃における低エミッタンス電子ビーム発生に関する研究	産研	楊 金峰	RF 電子銃
26-A-C17	フォトカソードRF電子銃ライナックによるフェムト秒・アト秒電子パルスの発生	産研	楊 金峰	RF 電子銃
26-A-C18	フェムト秒アト秒パルスラジオリシスの研究	産研	楊 金峰	RF 電子銃
26-A-C19	Sバンドライナックを用いた陽電子ビーム生成の検討	産研	菅田義英	施設利用
26-A-C20	陽電子消滅法を用いた高分子電解質膜の研究	産研	菅田義英	コバルト 施設利用

26-A-D1	サブピコ秒パルスラジオリシスによるナノ空間反応初期過程の研究	産研/北大	古澤/岡本	Lバンド
26-A-D2	テラヘルツ領域における癌凍結組織の透過スペクトル計測の試み	産研/福井大	磯山/三好	Lバンド
26-A-D3	パルスラジオリシス法による軟 X 線顕微鏡用レジストの高感度化研究	産研/早稲田大	吉田/鷺尾	Lバンド
26-A-D4	L バンド電子ライナックによる偏光高強度 THz 光を用いた固体電子状態の研究	産研/摂南大	入澤/東谷	Lバンド
26-A-D5	ナノエレクトロニクス用高分子材料の反応素過程	産研/北大	山本/岡本	Lバンド コバルト
26-A-D6	超分子の放射線化学	産研/産総研 他	藤塚/大内 他	Lバンド コバルト
26-A-D7	低線量放射線による生体影響に関する研究	産研/福井大	誉田/松尾	コバルト 施設利用
26-A-D8	高強度テラヘルツ光照射による分子配向制御の研究	産研/理化学研 研究所	磯山/保科	Lバンド
26-B-C1	電子線パルスおよび ^{60}Co 線源を用いた、レーザー核融合 γ 線スペクトロメーター校正実験、並びに γ 線遮蔽中性子計測器の開発	レーザー研	有川安信	Lバンド コバルト
26-B-C2	ガンマ線照射における核融合炉材料のダメージの評価	レーザー研	山ノ井航平	コバルト
26-B-C3	電離放射線の生体影響の解析	RI センター	清水喜久雄	コバルト
26-B-C4	電子スピン共鳴 (ESR) 法による γ 線照射効果の研究	理学研究科	谷 篤史	コバルト
26-B-C5	放射線を利用したソフトマテリアルの機能化	工学研究科	西嶋茂宏	コバルト 施設利用
26-B-C6	石英の OSL 特性についての研究	理学研究科	山中千博	コバルト
26-B-C7	放射線反応場を利用したナノ粒子材料の合成	工学研究科	清野智史	コバルト

2-5-2 拠点共同利用・共同研究採択テーマ一覧

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
26-J-1	高強度赤外光照射による新規物質創成と新規物性発現	大阪大学	永井正也	Lバンド
26-J-2	極微細加工材料の放射線誘起反応の解明	北海道大学	岡本一将	Lバンド
26-J-3	イオン液体中での電子およびホールのダイナミクス	金沢大学	高橋憲司	Lバンド
26-J-4	テラヘルツカメラを用いた ISIR THz-FEL の特性評価	日本電気株式会社	小田直樹	Lバンド

26-J-5	レドックス機能を付与したリポソーム内での反応活性種のダイナミクス	神戸大学	鐺木基成	Lバンド
26-J-6	大強度 THz FEL を用いた円偏光赤外分光法による固体電子状態の研究 (Ⅲ)	摂南大学	東谷篤志	Lバンド
26-J-7	パルスラジオリシス法を用いた非均質反応場での過渡現象に関する研究	日本原子力研究開発機構	永石隆二	Lバンド RF 電子銃
26-J-8	高精度放射線治療のためのナノ・マイクロ線量計開発	広島国際大学	林慎一郎	Lバンド RF 電子銃
26-J-9	高分子系飛跡検出器内の放射線損傷形成構造	神戸大学	山内知也	Lバンド コバルト
26-J-10	ラジカルイオンの結合解離過程の研究	群馬大学	山路 稔	Lバンド コバルト

2-5-3 企業共同利用・共同研究採択テーマ一覧

26-SJ-1	加速器を用いた材料改質と新規機能性材料創製に関する研究	産研/ダイキン	吉田/足立	施設利用
26-SJ-2	新型テラヘルツカメラの性能評価	産研/NEC	磯山/上田	Lバンド