

# CURRENT STATUS OF THE HOKKAIDO UNIVERSITY ELECTRON LINAC FACILITY

Koichi Kino <sup>#,A)</sup>, Michihiro Furusaka<sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Pulsed Electron Linac Experimental Facility,

Graduate School of Engineering, Hokkaido University

Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, 060-8628

## Abstract

We have a 45MeV electron linac at the Graduate School of Engineering, Hokkaido University. This accelerator has been operating since 1974 and providing pulsed electron beams for about 1000 hours every year by a careful maintenance. The repetition and width of the beam can be selected from a single pulse to 200 PPS and from 10 ns to 3  $\mu$ s, respectively, depending on demands of experiments. The maximum beam power is about 1 kW, in which the electron energy is about 33 MeV and the average current is 30  $\mu$ A. The electron beam is utilized for many experiments. The main usages are the production of neutrons, electron beam irradiation, and beam measurement. The neutron source in this facility has been contributing to developments of moderators in the world. Neutron beams are used for developing new measurement techniques. The neutron transmission method with the neutron wavelength enables us to obtain crystallographic information of samples in two-dimensional space. We are also developing novel small-angle scattering instruments. There are other activities using electron beams; we are studying short-time chemical reactions at an excited state using the pulse radiolysis technique coupled with a successive pulsed-laser irradiation; we are developing a very fast electron-beam profile measurement system that uses an optical transition radiation (OTR) screen combined with a fast-shuttering imaging device.

## 北海道大学電子加速器施設現状報告

### 1. 施設の概要

本施設は、45MeV 電子線形加速器により得られる電子ビームを利用して研究を行う施設であり、北海道大学大学院工学研究院の共同研究施設として運営されている。正式名称は、瞬間強力パルス状放射線発生装置研究室である。電子ビームは時間幅が可変で、これを生かした様々な研究に使用されている。3章と4章にて、研究の一部を紹介する。

加速器と実験室の概略を図1に示す。加速器(写真を図2に示す)は、3つの加速管から成るSバンド電子線形加速器であり、最高45MeVの電子ビームを供給する。最大の平均電流は、140 $\mu$ Aである。パルスの繰り返しは単パルス~200PPSで、その時間幅は10nsec~3 $\mu$ secの範囲に設定できる。

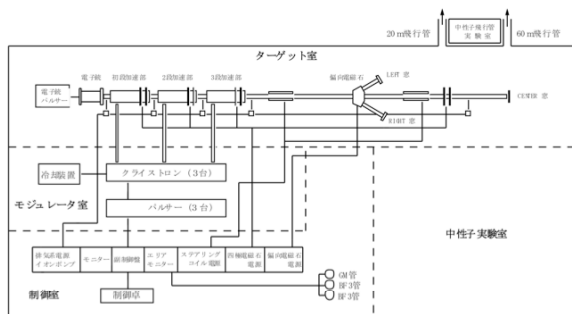


図1：加速器と実験室の概略図。

加速器のビーム下流には、電子線を照射するためのターゲット室がある。写真を図3に示す。ここでは、偏向電磁石により、RIGHT、CENTR、LEFTと

呼ばれる3つのビームラインにビームが振り分けられる。

RIGHTは、冷中性子の発生に用いられる。電子ビームは鉛標的に照射され、光核反応により中性子が発生する。この中性子は、MeVオーダーのエネルギーを持っているが、鉛標的のすぐ上に設置されている固体メタン(温度17K)によってmeVオーダーにまで減速される。この冷中性子は、ターゲット室とコンクリート壁で隔てられた中性子実験室に導かれて、中性子を利用した実験に利用されている。



図2：45MeV電子線形加速器。

CENTERは主に、電子ビームを研究試料に照射して行う研究や、ビームプロファイル測定研究や、熱中中性子を使った研究や、教育目的等で使用されている。LEFTは、鉛標的への電子ビーム照射により発生する高速中性子を使った、原子炉物理の実験等

<sup>#</sup> k-kino@eng.hokudai.ac.jp

に使用される。高速中性子のエネルギーを飛行時間で測定するための飛行管室がターゲット室の隣に設けられている。

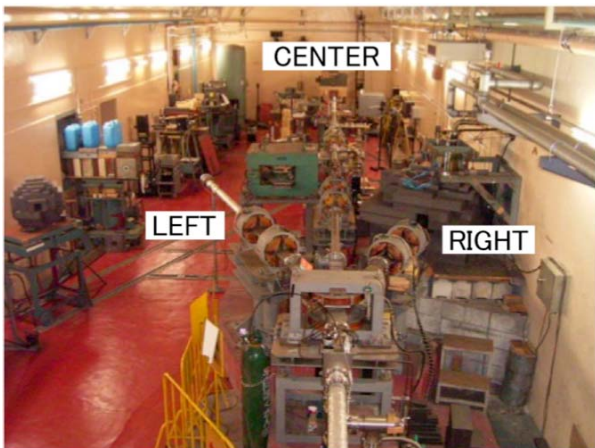


図3：ターゲット室。

## 2. 加速器の現状

加速器は 1973 年にコミッショニングを始め、1974 年に完成して以来、運転を続けている。よって 40 年近くになり、様々な部品の老朽化のために小さな故障はあるものの、保守作業のおかげで加速器本体は完成時とほとんどそのままの状態に稼働している。運転開始以来の年間運転時間の推移を図 4 に示す。年間約 1000 時間の電子ビーム供給を続けていられていることが分かる。ただし、高額な部品を保護するため、パルスの繰り返し最大値を 200PPS から 50PPS に制限している。中性子源に使用するには強度が必要であるが、通常約 33MeV、30 $\mu$ A(50PPS)にて、1kW の電子ビームが使用されている。

図 5 は、研究テーマ別の利用割合を示している。中性子の発生と利用が特に多い。これは、ユーザーが多いことと長時間の測定が多いことが理由と考えられる。次いで、パルスラジオリシスが多い。これと電子線照射と同じく、電子線を試料に照射するものであり、ビーム診断 OTR は、ビームそのものの測定手法開発研究である。

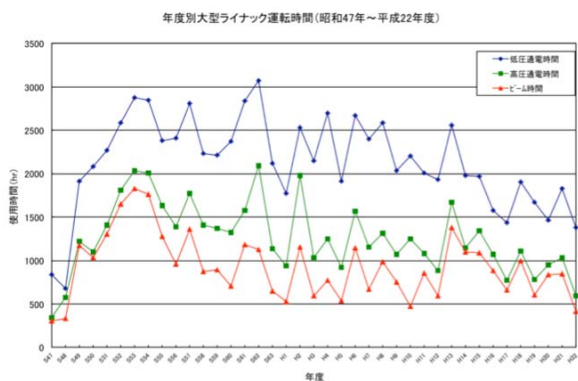


図 4：年間の加速器運転時間のグラフ。

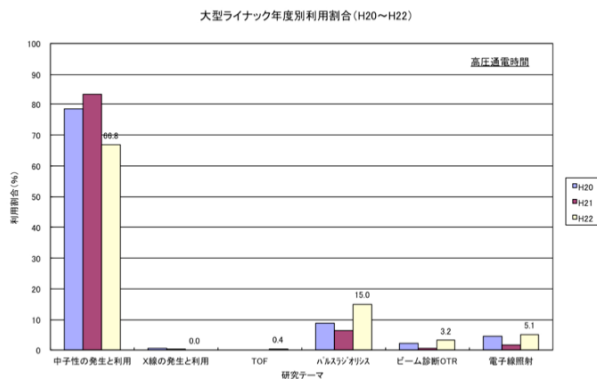


図 5：研究テーマ別の利用割合。

## 3. 中性子源としての利用

### 3.1 小型加速器中性子源としての役割

本施設は、加速器パルス中性子源の研究開発の場として、大きな役割を果たしてきた。図 6 に、その進展と本施設の関係性をまとめている。最初の加速器パルス中性子ビームは、東北大学にて生まれた。これは 1967 年に完成した電子線形加速器を用いている。1973 年には本施設でも電子線形加速器が完成し、固体メタン冷中性子源の開発を行ってきた。その後、より強力なパルス中性子ビームを生成できる、陽子加速器による核破砕 (スポレーション) 反応を使用した、高エネルギー加速器研究機構のパルス中性子源施設 KENS や米国アルゴンヌ国立研究所の IPNS といった大型の中性子源共同利用施設が建設されてゆく。これらにおいて、本北大施設の固体メタン中性子源開発が貢献している。その後も本北大施設では結合型中性子減速材という新しい概念の中性子源、液体水素中性子源、特にパラ水素を用いることで高性能化されるというような様々な新しい中性子減速材の研究開発を行い、ISIS や SNS、J-PARC といった大型施設の、さらに強力な核破砕中性子源に寄与してきた。このような貢献を果たしてきた要因のひとつとして、本施設は小型加速器であるため、加速器の運転条件や実験装置の変更が容易にできることが挙げられる。

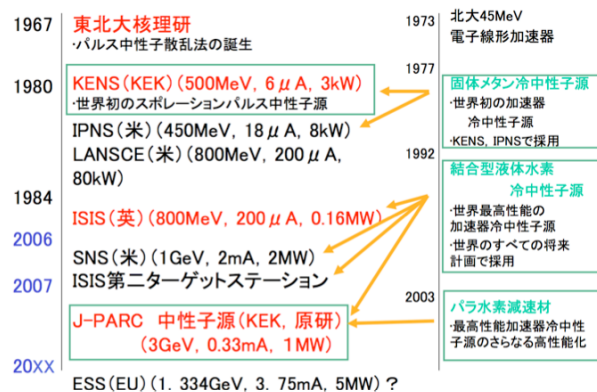


図 6：加速器パルス中性子源の進展と北大 45MeV 電子線形加速器。

この、小回りが効くという本施設の利点は、中性子を使用した研究にも多いに役立っている。複数の研究者が同時に中性子ビームを使用する大型施設では、頻繁に加速器の運転条件を変更することはできない。また、中性子実験装置を変更することは、強力な中性子ビームのための遮蔽が大型になってしまうことから、容易ではない。一方、本施設では、中性子利用者の希望する実験に合わせて加速器の運転を変えることや、実験装置を変更することが容易である。このことは、研究装置開発や萌芽的研究や教育に有効である。このような理由から特に、小型加速器中性子源には、今後の発展が望まれるであろう。

### 3.2 パルス中性子透過法の研究開発

試料の中性子透過像を2次元検出器にてイメージングする研究を行っている。パルス中性子ビームを用いる事により、中性子波長依存のイメージングをしている点が特徴である(図7)。多結晶の試料を用いると、中性子は結晶によって、ブラッグの法則を満たす波長と結晶格子面入射角度のときに、回折される。これにより、試料の透過率やそれを断面積に変換した値と入射中性子波長との相関には、構造が現れる。図8は鉄試料を測定したときの、中性子波長と全断面積の相関である。図中の各データは、同じ鉄試料において異なる条件や状態での測定結果であり、それぞれ異なっていることがわかる。これらから、材料組織の情報を引き出すことに成功している。例えば、緑と青のデータは、鉄試料(母材)の向きを変えて測定したものである。母材は圧延加工されているため、結晶の向きが特定方向に偏っている。これが、測定データに違いを与えている。また、赤と橙のデータは、溶接部分のデータである。他のデータに比べて、断面積が大きくなっている事が見て取れる。これは、溶接箇所では、結晶組織のサイズが小さくなったためと考えられる。以上のように、材料組織の違いを、一度にその空間分布データとして得られる画期的な手法開発を行っている。

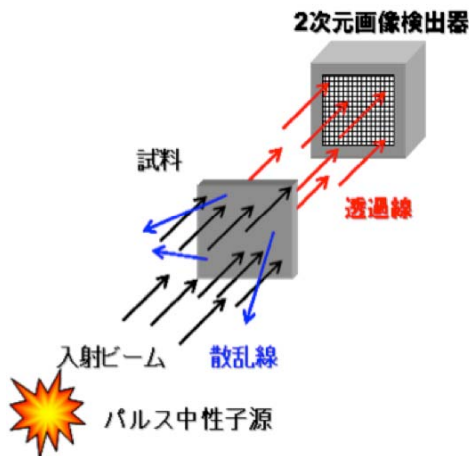


図7：パルス中性子ビーム透過法の概念図。

また、熱外中性子においては、共鳴吸収という現象が見られる。これは中性子が原子核に捕獲される反応であり、中重核では eV オーダーに共鳴状態が

存在する。共鳴状態による中性子吸収の強さやそのエネルギー幅を測定することで、試料中の特定の元素の含有量や温度を2次元分布でイメージングすることができる。さらに、CT 操作を行うことにより、3次元でのイメージングにも成功している。

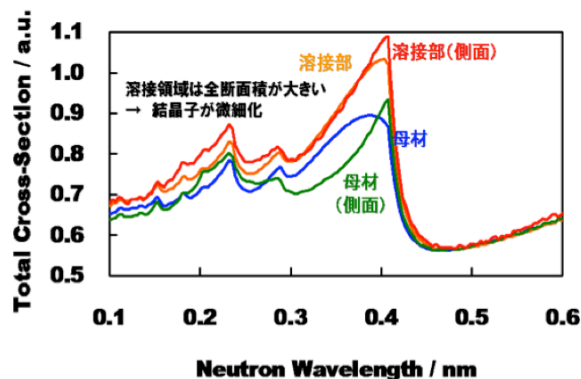


図8：パルス中性子ビーム透過法で得られた鉄試料の全断面積。

### 3.2 中性子小角散乱法の研究開発

ピンホールを使用した一般的な小角散乱装置は全長が 10~30m になる。一方、本施設では中性子を集光させることで、小角散乱測定を 1/10 程度の全長の装置で可能にする研究が幾つか進められている。そのうちのひとつが、ガラス基板の上にスーパーミラーを成膜したものを楕円に湾曲させることにより中性子を収束させるためのデバイス (KB ミラー) である。図9にこれを設置した様子を載せる。鉛直方向 (VM) と水平方向 (HM) に2つの湾曲ミラーを設置することで、中性子を集光させている。これにより、中性子ビームが約 2.5mm 角に集光できていることが確認された。実際に鉄の微粉末を測定試料としてセットした結果、小角散乱事象が得られていることが分かっている。



図9：KB ミラーを設置した様子。

## 4. 電子ビームの利用

### 4.1 放射線化学反応および短寿命化学種の光化学反応の研究

パルス状の電子ビームを試料に照射し、短寿命化学種の生成・減衰過程を時間経過と共に追跡するために、「パルスラジオリシス法」が用いられる。この手法により、放射線が引き起こす超高速放射線化



学現象を、光の放出や吸収という形で観測することが可能となる。このパルスラジオリシス法とレーザー照射を組み合わせた電子線・レーザー逐次多重照射法の原理を図10に示す。本手法を用いて、短寿命化学種の励起状態における反応ダイナミクスの解明や新規反応の探索を行っている。最近では、水溶液中の芳香族分子の電子線照射によって生成したそのOHラジカル付加体が、レーザー照射により励起され付加体の光吸収が急激に減少（光ブリーチ）する様子を実際に観測・解析を行った。また、16 nm以下の半導体加工プロセスで用いられる次世代リソグラフィである極端紫外光（EUV）露光源用のレジスト材料の反応機構を明らかにするなどの産業応用に向けた研究も行っている。

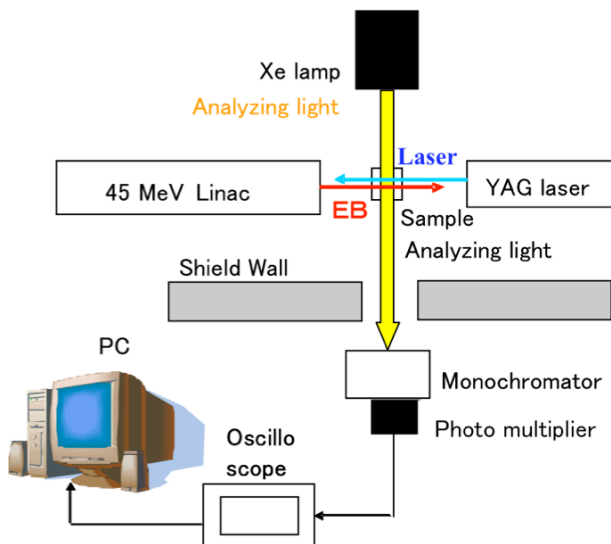


図10：パルスラジオリシス・レーザーフラッシュフォトリス法。

#### 4.2 ビームプロファイル計測技術の研究

加速器のマイクロパルス毎のビームプロファイルを測定するために、ナノ秒オーダーの時間分解能でそれを画像化出来る装置の開発を行っている。これは図11に示すように、画像増幅素子に分割された透明電極を付加し、それぞれを別々に高速パルスでシャッターリングすることにより、加速ビームのマイクロパルス・プロファイルを観測できるようにしようというものである。非常に反応時間の速い遷移放射光（OTR）を出すスクリーンと、この高速撮像手法を組み合わせることでマイクロパルスの観測を行うことができる。スクリーンに関しては、通常のものでは指向性が高くなりすぎ、ビームプロファイルの観測が困難になっている。このため、OTRスクリーンの表面粗さを粗くすることによりOTR発光角度分布を大きくする開発を行っている。これにより、カメラ側の設置自由度が大きく増している。

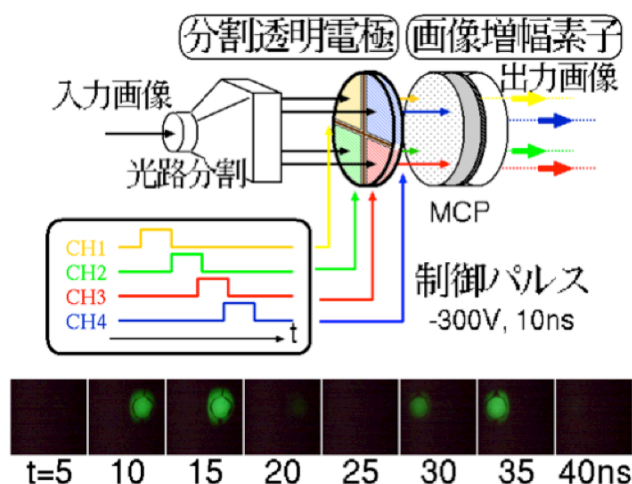


図11：分割透明電極を、時間差を持った駆動パルスで駆動することで実現した高速シャッターリング回路（上）と、20nsec 間隔でシャッターリングして撮った画像（下）。

### 5. まとめ

北海道大学電子加速器施設は45MeV電子線形加速器を有し、安定したパルス電子ビームを供給している。この電子ビームを使って、中性子を発生させて透過実験や小角散乱実験をしたり、パルスラジオリシス実験を行ったり、ビームプロファイル計測研究等、多数の研究が進められている。今後、小型加速器としての強みを生かした発展が期待される。