

## APPLICATIONS OF HOKKAIDO UNIVERSITY 45MEV ELECTRON LINAC IN A NEUTRON SCIENCE FIELD

Yoshiaki Kiyanagi<sup>1</sup>, Michihiro Furusaka, Takashi Kamiyama  
Graduate School of Engineering, Hokkaido University  
Kita-13, Nishi-8, Kita-ku, Sapporo, 060-8628

### Abstract

The electron linac at Hokkaido University is effectively used for neutron applications, pulse radiolysis, electron irradiation and so on. The neutron applications occupies about 60% of the machine time. Here, we introduce the present status of the electron linac, and some of the neutron applications. A neutron focusing device using a pulsed magnetic field is interesting device to focus the pulsed neutron beam over relatively large wavelength range. A mini-focusing small angle neutron scattering (mfSANS) is a unique spectrometer recently developed. Neutron radiography using a pulsed neutron is a new field of the radiography, and can give information on the material texture. Neutron resonance inspection also offers unique technique to non-destructively observe the diffusion of nucleus.

## 北大45MeV電子加速器における中性子科学応用

### 1. はじめに

北大の45MeV電子加速器は、電子線利用のみならず、中性子発生、エックス線発生などに使われ、その応用研究などに広く使用されている。この施設の正式名称は瞬間強力パルス状放射線発生装置である。ビームポートが3箇所あり、ライト、センター、レフトとなっていて、ライトのビームラインに冷中性子源が常置されている。また、熱中性子を用いた実験はセンタービームラインで行うことができる。レフトビームラインは高速中性子に関する実験に利用されている。中性子以外にも電子線やX線を利用した実験もセンタービームラインで行われている。

特に、中性子利用は、全マシンタイムの約60%を占め、北大のみならず、外部の利用にも供されている。加速器は既に30年を越えているが、比較的順調に稼動している。

中性子関係の実験は、中性子源開発、デバイス開発、中性子利用研究などが北大独自に、また、共同研究等として行われています。小型加速中性子源は、利用が容易である、機器の放射化の問題がないなどの利点があるため、大型施設とは違った有効な使い方が可能である。

中性子源強度は発生中性子が $2 \times 10^{12}$  n/s程度で、飛行距離5m位置での強度は冷中性子領域で、おおよそ $10^4$  n/s/cm<sup>2</sup>のオーダーとなっている。

実験課題としては、大きく分けると1) 中性子源開発とその特性測定、2) 中性子デバイスおよび装置開発、3) 中性子利用実験となる。

中性子検出器開発、高エネルギーX線に伴う中性子の遮蔽に関する基礎実験なども含め、企業や

JAEA、KEK、理研などの研究機関との共同実験も実施されている。ここでは、その一部について報告する。

### 2. 北大45MeV電子加速器の現状

北大の加速器は1974年に完成し、その後30年以上経過しているが、大きなトラブルもなく、現在でも順調に稼動している。しかし、経年劣化と見られるトラブルが散見されるようになってきている。使用時間は、昭和52年からの数年が最も多かったが、その後、多少の凸凹はあるものの、ビームタイムは1,000時間程度で推移している。稼動日数は約150日程度である。図1に19年度の利用テーマの割合を示す。最も多いのは

中性子利用で59%、次がパルスラジオリシスで21%、ビーム診断・OTR実験が12%と続く。実験内容は時代とともに変化している

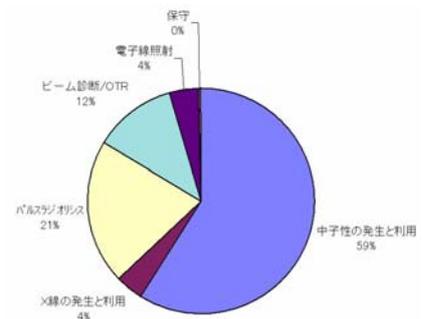


図1 平成19年度の利用テーマ

が、主たる実験が中性子利用とパルスラジオリシスというのは変わっていない。外部利用者としてはKEK、JAEA、理研などの研究所だけでなく、民間企業の利用も増えてきている。

J-PARCは非常に大きな施設であり、小回りのきく実験施設ではない。北大では色々な実験が、ある

<sup>1</sup> E-mail: [kiyanagi@qe.eng.hokudai.ac.jp](mailto:kiyanagi@qe.eng.hokudai.ac.jp)

意味 on demand できるので、大型施設を支える種々の基盤技術の開発や新しいアイデアの実験を先駆的に行う上でも有用と考えている。

### 3. 中性子科学への応用

#### 3.1 最近の中性子関係の実験テーマ

中性子科学では、先に述べた3つの分野において研究が進められている。中性子源開発では、これまでJ-PARC中性子源開発のための実験とシミュレーション計算が精力的に行われてきたが、それが終了したので、今後中性子科学の発展に重要な役割を果たすと考えられる、小型中性子源の開発に重点が移っている。それぞれの分野において19年度に具体的に行われた研究は次のようになっている。

##### (1) 中性子源開発とその特性測定と中性子源開発

- ① 固体メタングループド減速材の特性測定
- ② 単結晶透過法による減速材パルス特性測定法の開発
- ③ J-PARC核データビームライン設計用模擬実験

など。これらは主として、北大のメンバーが実施している。

##### (2) 中性子デバイスおよび装置開発

- ① 磁場を組み合わせた中性子集束実験
- ② フェルミチョッパー用スリット材の透過特性
- ③ Long PSD の特性評価
- ④ フォーカシングミラーの特性評価
- ⑤ mfSANSに関する実験

など。①はJAEAとの、②はKEKとの共同実験、③は東芝が④、⑤は北大が主として実施したものである。

##### (3) 中性子利用実験

- ① カラー-IIを用いた中性子イメージング実験
- ② 中性子飛行時間法を用いたラジオグラフィ法の開発
- ③ 共鳴吸収を利用したイメージング

など。①は東芝との共同、②、③は北大が主体で実施している。

これらの中から、いくつかを以下に紹介する。

#### 3.2 パルス電磁石による白色パルス中性子の集光

パルス中性子では、中性子波長と飛行時間が比例するため、それに合わせて六極磁場の強さを時間の2乗に逆比例して制御すると、広い中性子波長範囲で、同じ焦点位置に中性子ビームを集束できることを実証しようとするものである。図2に実験体系を示す。また、図3にJAEAが製作した六極磁場中性子集束装置の写真を示す。この装置によって、約7.3-11.6オングストローム (Å) の中性子が集束でき

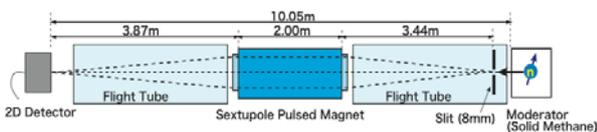


図2 パルス六極磁場による集束実験体系

ていることが分かった。図4に集束によって半径方向でどれくらい強度の増加があったかを、8.5Å中性子に対して示したものである。中心部で大きな強度増が認められる。

#### 3.3 mfSANSの実験

小角散乱は小さな角度に散乱された中性子の分布から、粒径などの比較的大きな構造を調べようとするものである。これまでは、中性子ビームをピンホールで細くすることによって、小さな角で散乱された中性子を観測していた。それを、図5に示すように、中性子ビームを一旦集束させることによって、小さな角度での散乱を観測できるようにする考え方である。この方法によって、これ

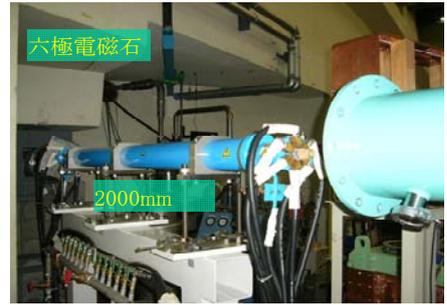


図3 六極磁場磁気集束装置

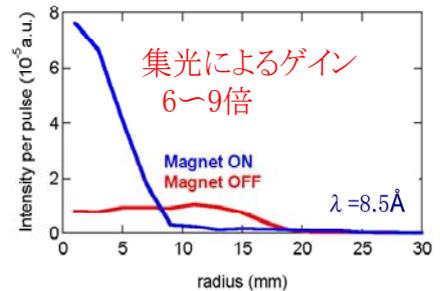


図4 半径方向の強度分布

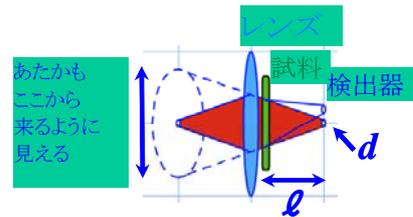


図5 mfSANSの原理

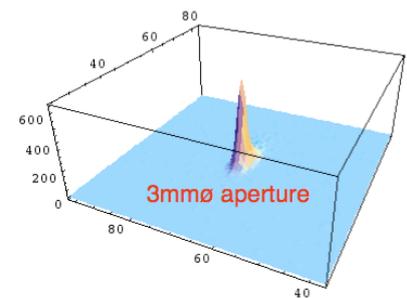


図6 中性子ミラーによるビーム集束

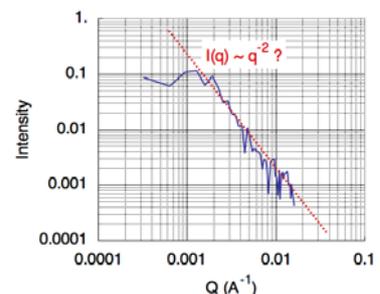


図7 mfSANSを用いた予備実験の結果

まで何十mもあった装置が、同じ強度、分解能で数分の一の大きさの装置にすることができる。図6に中性子ビームの集束の様子と図7にこの装置で得られた、小角散乱の結果の例を示す。

### 3.4 中性子飛行時間法を用いたラジオグラフィ法の開発

この研究の一つとして、中性子透過分光法を利用した溶接部の結晶構造観測を行った。低エネルギー中性子領域では、

中性子波長 = 2 × 格子面間隔、  
となるところで中性子断面積の大きな変化が起きる（ブラッグエッジ）。その断面積の形状は、物質の中の結晶構造、組織構造の影響を受ける。それを利用して、溶接部の中性子断面積がどうなっているかを調べてみた。測定には2.2mm角のピクセルが8x8でX-Yに並んだピクセルタイプの検出器を用いて、一度に位置依存の断面積データを取得した。図8に鉄とステンレス（SS）を溶接した試料の写真を示す。図9に鉄、溶接部、SSの断面積の形状を示す。鉄では3-4Åに丸い感じのピークができており、溶接部では鋭いピークが表われ、SSでは頂点部分が平らになったピークとなっている。



図8 鉄-ステンレス溶接片の写真

この結果によって、場所依存でどの材料があるかをはっきりと示すことが可能であることがわかる。溶接部の形は、結晶子が等方的分布していることを示していると考えられる。鉄やSSでは分布に偏りがあることが推測される。これまでの中性子ラジオグラフィとは違った多くの情報を含んだデータがパルス中性子を使うことによって得られることが分かっている。

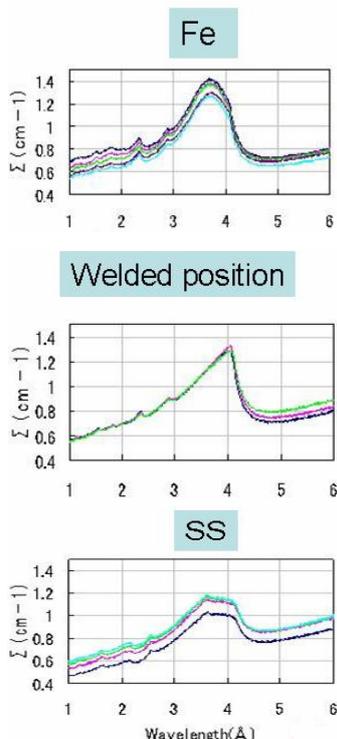


図9 溶接部位による中性子断面積の変化

### 3.5 共鳴吸収を利用したイメージング 前節の例はエネ

ルギーの低いところであったが、エネルギーの高いところでは共鳴吸収があり、特定のエネルギーの中性子が吸収されるという現象が起きる。それを利用すると元素分析が可能となる。その応用として、元素の拡散過程を実時間で追跡することを行ってみた。模擬実験として寒天を中央部に置き、両端に硝酸銀水溶液と純粋をおき、その間の拡散を測定した。図10に銀の共鳴吸収エネルギー付近の中性子透過の様子を示す。5.2eVに共鳴吸収による強度の落ち込み

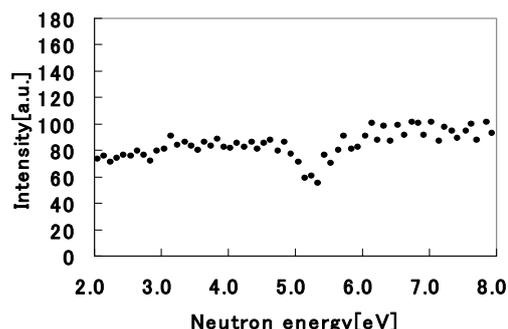


図10 硝酸銀の銀の共鳴による透過強度減少

が観測されている。この部分の強度から、銀の拡散の様子を実時間で測定した。その結果の一部を図11に示す。左側の硝酸銀溶液側から拡散して銀が拡散して行っている様子が2次元で測定できている。まだ課題はあるが、拡散を非破壊・実時間で測定ができることが確認できた。

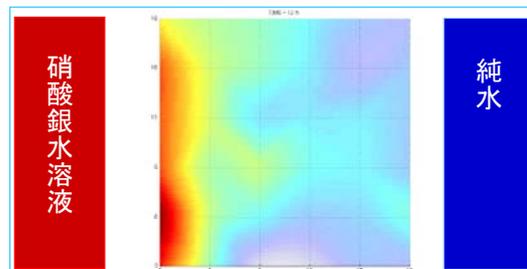


図11 硝酸銀中の銀の拡散の2次元分布

## 4. まとめ

北大45MeV電子加速器は、比較的順調に稼動している。中性子利用がマシンタイムの半分以上を占め、常設の冷中性子源や移動式の熱中性子源が要求に応じて利用されている。J-PARCのような大型の中性子施設が利用に供されるが、小型施設の手軽さを利点として、中性子科学の発展に寄与する開発研究を進めて行きたい。