小型加速器駆動中性子解析施設 AISTANS の開発

木野 幸一*1,2

Development of the Compact Accelerator-Driven Neutron Analytical Facility "AISTANS"

Koichi KINO^{*1, 2}

Abstract

We have developed a compact accelerator-driven neutron facility "AISTANS" at AIST Tsukuba in Japan. This facility is composed of an electron linear accelerator, neutron production source, and neutron beam line. The whole system is optimized for Bragg edge transmission imaging. In this paper, the advantages of neutron spectroscopy, in particular Bragg edge transmission imaging, the basis of the neutron production at AISTANS, and preliminary data are presented.

1. はじめに

おそらく多くの加速器研究者にとって、加速器 と関連する物質科学研究のための量子プローブで 思いつくのは、まず放射光(赤外線からX線領域 にわたる光子) であろう. 国内をみても SPring-8, Photon Factory, UVSOR, AichiSR, SAGA Light Source など多数の放射光を利用できる施設があり、東 北(仙台)に次世代放射光施設の建設も進められ ている.一方で、本稿で紹介する量子プローブで ある中性子については、現在国内で運転されてい る物質科学研究のものとして思い浮かべられる のは、J-PARC物質・生命科学実験施設ぐらいか もしれない.しかしながら、実は小型加速器を 用いた中性子施設が日本には多数稼働している。 具体的には、北大の HUNS、理研の RANS、名大 の NUANS, 京大の KUANS と KURNS-LINAC など が挙げられる¹⁾.これは、中性子が有用な量子プ ローブの一つであり,発展しつつある小型加速器 の応用分野の一つであることを示している. この 状況の中で、新たに産業技術総合研究所つくば センターに開発・構築された小型中性子解析施 設 "AISTANS (Analytical facility for Industrial Science and Technology using Accelerator-based Neutron

Source)"²⁻⁴⁾について、そこで活用する中性子の特性の解説も交えながら紹介したい。AISTANSは小型でありながら、中性子の活用方法を特化し、さらに加速器から中性子計測に至るまでそれに最適化することで、大型施設に迫る能力を持つ.これを実現するために、高度なエンジニアリングを施している.さらに、小型ゆえのユーザーによる使いやすさ、マシンタイムの自由度の高さとそれによる産業利用への高い利便性がある.これらの点にも是非注目して頂きたい.

中性子の特徴および AISTANS での活用 方法

中性子は X 線と同じように波の性質ももって いる. λ=h/p で求められるド・ブロイ波長をもっ た物質波である.物質と干渉現象を起こすため, X 線と同様に物質科学の研究プローブに用いるこ とができる.例えば,10 meV の運動エネルギー の中性子の波長は0.29 nm であり結晶の格子定数 近辺の波長であるため,回折現象を利用した結晶 構造解析を行うことができる.室温の減速材で減 速された中性子のエネルギーは特性エネルギーが 25 meV のマクスウェル分布をしている.このた め,中性子回折に用いられる中性子は,熱中性子

*1 產業技術総合研究所 AIST, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

(Koichi Kino E-mail: koichi.kino@aist.go.jp)

^{*2} 新構造材料技術研究組合 ISMA, Innovative Structural Materials Association



と呼ばれる. 一方 X 線では. 例えば同じ 0.29 nm の波長のエネルギーは4.3 keV であり、中性子に 比べはるかに高い. 中性子は主に原子中の原子核 と強い相互作用をする。さらに中性子は磁気モー メントをもっているため. 原子核や電子のスピン と電磁相互作用もする.いずれにしろ中性子は電 気的に中性であるため、物質に対する透過能力が 高い。これに対しX線は原子中の電子と電磁相 互作用をするため、このようなエネルギー領域で は物質透過能力はかなり低い。上記の相互作用の 違いから、結晶回折測定を目的とした中性子とX 線では、図1のように鉄鋼における透過率に開き がある.この図は、鉄鋼の厚さに対する熱中性 子, 70 keVのX線 (SPring-8 BL22XU相当),およ び8.05 keVのX線(ラボX線装置のCuKa線に相 当)の透過率の計算値を示している. 8.05 keV の X線では、数umまでしか侵入できないため、分 析はごく表面近傍に限られる.X線も70 keVまで エネルギーが高くなると、1mm 程度まで50%透 過することができる。一方熱中性子では、5mm 程度まで50%が透過することができる。中性子 で特筆すべきは、熱中性子は、J-PARCのような 大型施設だけでなく小型施設でも利用できる点で あり、結晶回折測定においてラボ X 線と SPring-8 のような大型X線施設で物質透過率に大きな開 きがあるのとは、異なっている、これは、後述の ように中性子源では大型,小型ともに熱中性子 ビームを生成できるためである。

また、中性子がX線と違い質量をもった粒子 であるため、飛行時間法により個々の中性子の速 さから波長を求めることができる。例えば、エネ ルギー10 meV(波長0.29 nm)の中性子が距離8 m



図2 中性子波長分解型透過イメージング.

を飛行する場合には、5.9 ms を要する、この速さ は、室温の空気中の音速の4倍程度であり、結構 遅いと感じられるのではないだろうか. 中性子飛 行時間法を利用するためには、一般にはエネル ギーが減速材温度に対応するマクスウェル分布を もつ成分とそれより高いエネルギーの減速成分を 併せ持つ中性子が、一定周期でパルス状に放出さ れる中性子源が用いられる. このような中性子 をパルス中性子と呼ぶ。I-PARC に代表される世 界の最新の大型中性子源は、パルス中性子をビー ムとして供給している. 中性子回折実験を行う 場合. 原子炉から得られる定常中性子では単色 化が必要であるが、パルス中性子では飛行時間法 (TOF) からエネルギーの測定ができ、そのまま 中性子回折の分析が可能である、さらに、広い波 長領域の中性子を利用できることから、格子面間 隔の広い範囲にわたるデータを一度に得ることが できる.

このように熱中性子は物質透過力に優れており, パルス中性子を用いると個々の中性子の波長が分 かるという特徴は,波長分解型透過イメージング で特に威力を発揮する.この手法の模式図を図2 に示す.パルス中性子源からは,周期的に中性子 が発せられ(例えば J-PARC では25 Hz),十~百 m 程度の距離を中性子が飛行したのち,試料に照 射される.このとき,試料が結晶性をもってい れば,ブラッグの式λ=2dsinθに従って回折現象 が起きる.回折測定においては,試料の周囲に中 性子検出器を並べ,回折した中性子を検出し,ブ ラッグの式に従った格子面間隔 d のスペクトル上 にピークを観測する.一方,試料を透過した中 性子の波長スペクトルには、この回折現象が欠損 として生じる. 欠損は結晶における各反射におい $\tau_{\lambda=0} - 2d$ までの連続したものとして観測され. 回折におけるデバイリングを360度積分したもの になっている.このようなことから、結晶解析に おける回折法と透過法は、フィルムのポジとネガ のような関係と言えよう、ここで、中性子検出器 が2次元の位置敏感型であれば、一度に試料の場 所ごと(中性子の透過方向に垂直な面)の結晶情 報を得ることができる、この手法はブラッグエッ ジイメージングと呼ばれ、2000年代初頭の英国 ISIS での鉄鋼の結晶歪みイメージング研究報告か ら始まり世界で盛んに研究開発され、I-PARC物 質・生命科学実験施設においてもイメージングに 特化したビームライン "螺鈿" 5) で大いに活用さ れている

AISTANS は、このブラッグエッジイメージン グを小型中性子施設において積極的に活用しよう というコンセプトで開発された. AISTANS を立 ち上げた目的は、自動車等の輸送機器の軽量化に 資するため、その構造材料の非破壊分析で貢献す ることである。構造材料そのものの開発も進んで いるほか、近年ではマルチマテリアル化の方向で も研究・実用化が進んでいる。例えば従来の鉄 鋼に加えて、アルミニウム合金、マグネシウム合 金. CFRP などが組み合わされるが、その異種材 料の接合方法に新たな開発が必要である. AIST-ANS の開発チームでは、ブラッグエッジイメー ジングがその非破壊イメージング手法として最適 なものの一つであると考えており、小型中性子源 の機動性の高さと組み合わせることで、目的を達 しようとしている. もちろん, 小型中性子源であ るがゆえに、毎秒あたりの中性子発生量は大型 中性子源に比べて圧倒的に低い。例えば1 MW 運 転時の J-PARC と比べれば、10 kW 運転時の AIST-ANSの中性子発生量は、1/10000程度である。一 方ブラッグエッジイメージングでは、検出できる 中性子ビームの試料位置でのフラックスは、2次 元中性子検出器の中性子最大計数率により制限さ れている. AISTANSでは、この中性子検出器の 計数率限度を使い切るだけの中性子フラックスが 出せるように設計してあり、小型でありながらブ ラッグエッジイメージングに最適化されている.



図3 AISTANS での中性子生成概念図.

3. AISTANS の構成

3.1 中性子発生原理

原子核に束縛されている中性子を取り出すため には、核分裂反応や核融合反応や自発核分裂の利 用を除けば、なんらかの方法でエネルギーを与え てやらねばならない. 必要となるエネルギーは. 核種や取り出し方により異なる. AISTANS では. 重い原子核の一つであるタンタルにガンマ線を 吸収させて中性子を取り出す手法 (光核反応)を とっている。概念図を図3に示す。ガンマ線のエ ネルギーはタンタル原子核を構成する核子で共有 され、その後核子は蒸発するかのごとく原子核か ら飛び出してくるが(蒸発中性子),その運動エ ネルギーは1 MeV 程度である。重核の場合。陽子 の作るクーロン障壁が高くなるため、電荷のない 中性子のみが核外に逃れることができ、中性子生 成標的として効率が良い。また、重核は電磁シャ ワーにて電子線からガンマ線を作る能力が高いた め、ガンマ線生成標的を兼ねることができる、さ らに、重核の中でタンタルを選択している理由 は、融点が高く、かつ冷却のための水との反応性 が低いからである.

安定な中重核から中性子1個を取り出すために は、8 MeV 程度のエネルギーが必要であり、この ために加速器により加速された電子や陽子を中性 子生成標的に照射するのが一般的である。AIST-ANSでは、最大40 MeV のエネルギーに加速した 電子ビームをタンタル標的に照射している。原 子核には双極子巨大共鳴と呼ばれる核子の集団 運動励起状態が存在し、ガンマ線との反応断面積 も大きいため、一般にガンマ線による中性子発 生に用いられる。重核ではその励起エネルギー

は10 MeV 程度であるが、電磁シャワーによるガ ンマ線生成の効率も考慮すると、電子ビームは 30 MeV を超えるあたりで電子ビームパワーあた りの中性子生成効率が良くなる。一方、陽子ビー ムを用いる J-PARC や RANS では、異なる反応を 利用している. J-PARC では、3 GeV のエネルギー の陽子ビームを水銀標的に照射して、核破砕反 応を通して中性子を生成している⁶⁾. 電子や陽子 ビームパワーあたりの中性子発生効率は、AIST-ANSの方式に比べておよそ100倍高いが、高エネ ルギーの陽子ビームが必要なため大型施設にな る. RANSでは、7 MeV の陽子ビームをベリリウ ム標的に照射し[®]Be (p,n) 反応を利用して中性子 を発生させている⁷⁾.⁹Beは、2つの⁴Heを1つの 中性子が弱く結合させている構造をしているため (*b.n*)反応による中性子の閾値は2.057 MeV と低 く、低エネルギーの陽子でも中性子を取り出すこ とができる.コンパクトな陽子加速器にて HUNS (電子ビームパワー約1kW)と同程度の単位時間 当たりの中性子を発生させることができるが、一 般に電子加速器の場合に比べてマクロバンチ幅の 広い陽子ビームとなってしまうため.同じ中性子 強度の下でのパルス中性子の TOF 分解能の点で は、電子加速器が有利である、上のように3つの 中性子発生方法を紹介したが、どれも発生する中 性子のエネルギーは MeV オーダーである. この エネルギーではド・ブロイ波長が大変短いため, 物質科学研究には用いることができず、減速材と 呼ばれるものにより、多数回の散乱によって熱中 性子にまで減速する必要がある.減速材について は、AISTANSの詳細の中で解説する。

3.2 全体概要

AISTANS の全体構成を図4 に示す.主に,電 子線形加速器,中性子生成源,中性子ビームライ ンから成る.全長約10 m の電子加速器にて生成 された電子ビームは,隣の実験室にある中性子生 成源に導かれる.4m×4m,高さ3.5 m の中性子 生成源の中心部にあるタンタル標的に電子ビーム が照射される.発生した蒸発中性子は,標的上部 にある低温の固体メタン減速材にて熱(冷)中性子 にまで減速され,パルス中性子ビームとして取り 出される.中性子ビームは,中性子ビームライン の中のスーパーミラーガイド管や真空ダクトを通 して、中性子飛行距離約8 m の試料に照射され.



図4 AISTANS の全体構成図²⁾.



図5 電子線形加速器の写真⁴⁾.



図6 電子線形加速器の構成.

透過した中性子を2次元中性子検出器にて計測 し、ブラッグエッジイメージングを行う。

3.3 電子線形加速器

図5に写真を、図6に構成図を、表1に電子 ビームパラメータを示す.全長は約10mであり、 主に3MeV入射器と3本の加速空洞および3台の クライストロンで構成される.入射器は、熱カ ソードに続き、プリバンチャー、バンチャー、お よび前段加速空洞の構成となっている.ピーク電 流250mA以上で3MeVの電子ビームを発生させ ることができる.これにつづき、3本の長さ2.9m のS-バンド進行波タイプの加速空洞が並んでい る.電子銃と3本の加速空洞には、最大7MWの RFパワーを出力するクライストロンから RF が

表1 電子線形加速器のビームパラメータ.

エネルギー	40 MeV (最大)
ピーク電流	250 mA
パルス幅	10 µs (最大)
繰り返し	100 Hz (最大)
パワー	10 kW (最大)

供給される.この加速器システムにより.表1の パラメータは、ブラッグエッジイメージングに最 適化されている. 実用的な計測時間になる中性子 フラックスが得られるよう、中性子生成効率の点 で電子エネルギーが、中性子パルス1つあたりの 中性子強度の点でピーク電流とパルス幅が最大に なるように決めている. パルス幅は広い方が中性 子量は増加するが. TOF 計測による中性子波長 分解能を低下させないよう、減速材の特性とも整 合させて決めている.最大繰り返しは、中性子飛 行距離8mで金属材料のブラッグエッジが十分に TOF 計測できる値としている。以上の要求によ りビームパワーは最大10kWと国内の電子加速器 駆動中性子源としては最大であり、電子ビームに よるビーム取り出し窓や中性子生成標的への熱負 荷の問題を解決してこのようなハイパワーの達成 を目指す点で挑戦的である.

各所には収束およびステアリング電磁石やスク リーンモニタが配置されている。また、各加速空 洞の前後にはCT型のビーム電流モニタがある. これらの加速器システムは、EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System) により全て 制御と監視がされている。制御卓は加速器から 100 m 離れた非放射線管理区域に設けられている が、EPICSを採用していることにより、中性子 ビームライン付近に設置された端末からも同様に 制御と監視が可能である。生成された電子ビーム は、直線で中性子発生部の中性子生成ターゲット に導かれる。直線状に配置することで、電子ビー ム輸送の効率化を図っている. このターゲットで 発生した中性子線やガンマ線の一部は加速器方向 に流入し、加速器の放射化を招くことが懸念され る。このため、加速器と中性子発生部の間のビー ムダクト周囲に遮蔽を設置して、流入を極力防い でいる

3.4 中性子生成源と中性子ビームライン

図7 に中性子生成源と中性子ビームラインの写



図7 中性子生成源と中性子ビームラインの写真⁴⁾.

表2 中性子の主要パラメータ.

減速材 飛行距離	非結合型固体メタン 6.5~8.5 m
ビームサイズ	$100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$, $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$
フラックス (8 m)	4.5×10^4 1/cm ² /s (最大)

真を.**表2**に主要パラメータを示す.奥側に中性 子生成源があり、手前に中性子ビームラインがあ る、電子ビームを用いた中性子源では、ガンマ線 と中性子線が発生するが、十分な放射線遮蔽を施 すことによって、写真手前側の中性子ビームライ ンハッチ外側では、中性子計測中であっても放射 線作業従事者は滞在することができる. 中性子 生成源には、ビームシャッターが組み込まれてい る. このシャッターは中性子ビーム取り出し用開 口部を設けた重量2.5tの上下に駆動する放射線 遮蔽であり、シャッターを閉じて放射線を遮断す ることにより、加速器および中性子生成源を稼働 させた状態でも実験者が中性子ビームラインハッ チに立ち入ることができる. なお、後述の結合 型減速材からの中性子ビームを用いる将来の第2 ビームライン用のビームシャッターも含まれてお り、中性子ビームラインを増設するだけで、容易 に中性子利用を2倍に拡張できる. ビームシャッ ターは、PPS (Personnel Protection System)を通し て中性子ビームラインハッチ入口扉と連動してお り、実験者の被ばくに対する安全が確保されて いる、この PPS システムのロジックは I-PARC 物 質・生命科学実験施設の中性子ビームラインと類 似しており、J-PARC 実験者にも容易に使用でき る. このように実験者はこの扉1枚を挟んでハッ チ内に容易に立ち入ることができるため、実験効



図8 中性子生成源の断面図.

率が大変高い。また、ハッチの上面と側面には搬 入パネルが設けられており、大型試料も持ち込む ことができる.

図8に中性子生成源の断面を示す。中心に中性 子生成標的がある.この上下に固体メタン減速材 がある.上は既設の中性子ビームライン用,下は 将来拡張用である. 固体メタンは冷中性子減速材 として最も効率が良い. 減速の基本は水素との弾 性散乱であるため、水素数密度が高い物質が望ま しい。例えば、液体水素、氷、固体メタンではそ れぞれ, 4.2, 6.7, 7.8 (10²²/cm³) であり、固体メタ ンが優れている。他にもポリエチレンやアンモニ アといった物質も水素数密度が高いが、減速材と しての能力はそれだけでは決まらない. 固体メタ ンは約1 meV の低い回転モードをもつため、中性 子との熱交換によって効率的に減速できる.以上 の点で固体メタンは最も優れた減速材である.な お、J-PARCではメタンよりも放射線損傷に強い 液体水素を減速材に用いている.

中性子生成標的にて発生した中性子は効率よく 減速材に導かれることが肝要であるが、中性子生 成標的からは中性子が等方的に放出され、かつ電 場や磁場などを用いて制御することは困難であ るため。(1)中性子生成標的と減速材を近づける こと、(2)これらの周囲に中性子反射体を設置す ることで減速材以外の方向に出た中性子を減速 させつつ減速材に向かわせること、が行われる. AISTANS では(1)の設計を行うとともに, (2)の ために周囲にグラファイトを配置している。グラ ファイトは軽元素なため弾性散乱による減速能力 があり、中性子の吸収も小さく、取扱も容易であ るため採用された、中性子とほぼ同じ質量である 水素原子(陽子)は最も弾性散乱により中性子を

減速させやすいが、逆に減速能力が高すぎて後述 の非結合型減速材には向いていない。上側の固体 メタン減速材は、中性子パルスビームの時間分解 能を重視した非結合型を採用している。非結合型 とは、減速材の周囲を中性子ビーム取り出し口を 除きカドミウム等の低エネルギー中性子を吸収す る物質(例えばカドミウムの場合,同位体¹¹³Cdが 約0.3 eV 以下で強く中性子を吸収する) で囲うこ とにより.反射体で減速しすぎて時間分解能を低 下させる低エネルギー中性子が減速材に入るのを 阻止する機能をもつ. また減速材は厚いと中性子 ビームの強度が高くなるものの、時間分解能が低 下する. AISTANS では、ブラッグエッジイメー ジングに要する時間分解能と実用的な実験時間 との兼ね合いから、モンテカルロシミュレーショ ンにより厚さを3 cm にしている。時間分解能は、 中性子波長0.4 nm で約60 µs (FWHM) をシミュ レーションにより得ており,飛行距離8mにおい て波長分解能は、J-PARC 物質・生命科学実験施 設 "螺鈿" や "NOBORU" ビームラインに迫る約 0.7% である. 一方, 下側の固体メタン減速材は, 強度重視の結合型を採用している。

波長分解能を 要しないラジオグラフィーや、低波長分解能でも 分析可能な中性子小角散乱計測に向いている.

グラファイト反射体の外側は、鉛、ホウ酸レジ ン、コンクリートでできた放射線遮蔽がある、鉛 は原子番号が大きいためガンマ線の遮蔽能力に優 れる。ホウ酸レジンは、レジン中の水素原子によ り中性子がよく減速され、ホウ素の同位体¹⁰B に より遅い中性子がよく吸収されるため、中性子線 の遮蔽能力に優れる。ただし。¹⁰Bで中性子が吸 収される時に94%の確率でガンマ線が放出され るので、再度鉛で囲っている、これらの外側は、 中性子とガンマ線両方の遮蔽能力をもつコンク リートで覆われている.このように複数の遮蔽材 を適所に用いることにより小型中性子施設を実現 している.

中性子ビームラインは、中性子飛行距離6.5~ 8.5 m で中性子が利用できるように設計されてい る。この飛行距離まで中性子を効率よく導くた めに、全長約5m、内寸130mm×130mmのスー パーミラーガイド管が設置されている。このスー パーミラーガイド管は、ニッケルとチタンの薄膜 をガラス基板上に交互に多数層スパッタリングで 成膜したもので、ブラッグ反射を利用して中性子 ミラーとして機能する.これにより、最大電子 ビームパワー10 kW が実現した時、飛行距離8 m の位置で、フラックス4.5×10⁴(1/cm²/s)の100 mm ×100 mm のビームが得られるとシミュレーショ ンにより予測している.また、このガイド管は中 性子ビーム上流から3 つのパートに分かれている が、下流側2パートは真空ダクトと電動で交換で きる仕組みになっている.これにより、フラック スは下がるものの最大300 mm×300 mm の大面積 ビームが8 m 位置で利用できる.この機能は、例 えば大面積のラジオグラフィー用検出器を用いて 一度に大型試料を計測するのに威力を発揮するも のと期待される.

中性子ビームラインハッチ内は,幅4m,高さ 2m,奥行き5mあり,様々なサイズの試料や計 測機器を利用することができる.ブラッグエッジ に用いる計測機器として,GEM (Gaseous Electron Multiplier)を利用した2次元中性子検出器を用意 してある.有感面積は100 mm×100 mm,空間分 解能は0.8 mm,中性子検出効率は波長0.4 nm中 性子で最大20% である.

4. 中性子ビームの計測例

現在,電子ビームは約1kWで運転されている. 電子ビームのピーク電流は約100 mA, パルス幅 は4 µs, 繰り返し50 Hz である. 図9 に中性子飛 行距離8mにて、³He比例計数管を用いて得た中 性子波長スペクトルを示す. 2つのスペクトルは それぞれ. (a) スーパーミラーガイド管が全て挿 入されている場合と(b)最上流のビームシャッター 内のスーパーミラーガイド管のみ使用している場 合である. 波長0.3~0.4 nm 付近をピークとした 中性子が得られていることがわかる.特筆すべき は、スーパーミラーガイド管を最大限活用した場 合には、0.4 nm 付近で5 倍以上の中性子強度向上 が得られている点である. スーパーミラーガイド 管の中性子反射の臨界角は中性子波長に比例する ので、長波長ほど輸送効率が高くなる。なお、ス ペクトル上の0.41 nm にディップが見えているが. これは中性子ビームライン上にあるアルミニウム (固体メタン容器, スーパーミラーガイド管の真 空窓など) によるブラッグエッジである. このよ うに、中性子スペクトル上にはブラッグエッジに



図9 中性子波長スペクトル. (a)スーパーミラーガイド管が 全て挿入されている場合(b)最上流のビームシャッター 内のスーパーミラーガイド管のみ使用している場合.



図10 フェライト鉄鋼材 (厚さ10 mm) 試料の透過率スペク トル.

よる構造が存在する.しかし,ブラッグエッジイ メージングのような透過測定をする場合には,一 般に透過率スペクトルを導出するのに,試料あり のスペクトルを試料なしのスペクトルで割る操作 をするため,打ち消し合うことから問題にならない.

図10は、体心立方格子の結晶構造をもつフェ ライト鉄鋼材(厚さ10 mm)試料の透過率スペク トルを計測した例である。110反射の強いブラッ グエッジ,これに次いで200反射や211反射のブ ラッグエッジが明瞭に見えている。最も格子面間 隔 d の大きな反射はこの試料の場合110反射が生 じる0.202 nm であり、2dに相当する0.405 nm よ り長波長域では回折現象は生じないため、ブラッ グエッジはない.波長が長くなるにつれて透過率 が減少しているが、これは鉄原子核による中性子 の吸収によるものである。このように、中性子透 過率スペクトルには,結晶に応じたブラッグエッジが現れるため,結晶相,結晶歪み,結晶配向などをイメージングできる.

現在,このようなブラッグエッジが測定できる 状態にまで,AISTANSの加速器,中性子生成源, 中性子ビームラインが完成している.今後,電子 ビームのパワー増強,2次元中性子検出器の調整 などを進めることで,ブラッグエッジイメージン グを推進する予定である.

5. ま と め

本学会誌に寄稿する機会をいただき,完成し たばかりの小型中性子解析施設 AISTANS を紹 介した.中性子とブラッグエッジイメージング, AISTANS の原理と特徴に重点を置いた.加速器 の研究者に,より一層 AISTANS および小型加速 器駆動中性子源に興味を持って頂ければ幸いであ る.

謝 辞

AISTANSの開発は、20名を超える産総研/ISMA の研究員が開発研究に取り組み、東京工業大学、 高エネルギー加速器研究機構,北海道大学,理化 学研究所にも協力いただき行われた.この成果は, 経済産業省事業「輸送機器の抜本的な軽量化に資 する新構造材料等の技術開発事業」ならびに,国 立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発 機構 (NEDO)の委託事業「革新的新構造材料等研 究開発」の結果により得られたものである.

参考文献

- 1) http://www.jcans.net/index-j.html
- K. Kino, T. Fujiwara, M. Furusaka, N. Hayashizaki, R. Kuroda, K. Michishio, T. Muroga, H. Ogawa, B. E. O'Rourke, N. Oshima, D. Satoh, N. Sei, T. Shishido, R. Suzuki, M. Tanaka, H. Toyokawa and A. Watazu: Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **927**, 407 (2019).
- 3) B. E. O'Rourke, T. Fujiwara, K. Furukawa, M. Furusaka, N. Hayashizaki, H. Kato, K. Kino, R. Kuroda, K. Michishio, T. Muroga, K. Nigorikawa, T. Obina, H. Ogawa, N. Oshima, D. Satoh, N. Sei, T. Shishido, R. Suzuki, M. Tanaka, Y. Tomota, H. Toyokawa and A. Watazu: Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B 464, 41 (2020).
- 4) プレスリリース, 2020 年1月22日, https://www.nedo. go.jp/news/press/AA5_101275.html
- 5) https://mlfinfo.jp/ja/bl22/
- 6) https://mlfinfo.jp/ja/facility/sources.html
- 7) http://rans.riken.jp/