



# 四季

【20年・春】 Vol.46

中性子産業利用推進協議会 季報  
Industrial Users Society for Neutron Application

2020年3月25日発行

## CONTENTS

P1 巻頭言 P2 今後の「四季」の編集方針 P2 J-PARC MLFの2020Aにおける課題採択結果 P3 J-PARCセンター情報  
P4 研究トピックス P6 活動報告 P8 お知らせ

## マテリアル革新力の強化に向けて

日本製鉄株式会社 本間 穂高

第6期科学技術基本計画の策定に向けて、私たちが身を置く「マテリアル」の分野においても、官学産での議論が始まっています。

改めて、「マテリアル」とは何でしょう。日本語に訳せば物質あるいは材料です。物質を仮に「そこにある物」とシンプルに解題すれば、材料はまさに「使われてこそ材料」です。私たち産業界の役目は、使って下さるお客様に材料をお届けし、もしこれを受け取って頂けなかった場合にはその理由をしっかりと分析し、科学技術の課題にブレークダウンして皆様にお返りする事と考えています。そもそもお客様は材料を「何に」使うのでしょうか。さらには「なぜ」、「誰が」、場合によっては「いつ」使うのでしょうか。そして大切なことは「どの様に」使って頂くのか、しっかりと考えて次の提案を磨き上げなければいけません。我が国にとって「マテリアルは強み」としばしば言及されますが、その源泉は上述の様なお客様との絶え間ない対話を通じて鍛えられたものと言えましょう。すなわちマテリアルとは、物質であり、材料であり、そして使って頂く方へのソリューションなのです。

足元、科学技術のグローバルな発展に伴って我が国が大幅に立ち遅れている分野があると言われてます。IT、バイオなどでしょうか。これらの弱みにマテリアルの力を掛け合わせて強みに変えるという発想があると聞きますが、この様な1+1の議論で結果は2を超える事はありません。そもそも使って頂くという発想に立ち返れば、少子高齢化、環境対応など我が国は「弱み」へのニーズに溢れており、これらの分野に

具体的なソリューション課題を提示する立場にあります。つまりニーズオリエンテッドの科学技術にとっては絶好の舞台なのです。弱みを強みに変えるために必要なのは、課題の本質を様々な局面から見つめ直し、それをソリューションという形でインテグレートする事だと思えます。

さて、学术界はこのソリューションのインテグレートにどう取り組んだらよいのでしょうか。我が国の中性子研究は、長らく世界の最先端を走ってきたと自負されています。筆者が所属する鉄鋼材料分野でも、重点領域として長年取り組まれ、数多くの研究成果が生み出されてきました。それは大変に素晴らしいことではあるのですが、とはいえ中性子研究だけから生まれ、お客様に使う頂けるマテリアルがある筈がありません。理論物理、反応化学、機械制御+ヒューマンインターフェースによる作りこみ技術など、様々な最先端科学技術がチームワークを働かせるために、相互理解をしっかりと深めながら役割分担を果たしていかなければならないのです。

筆者は現在、SPRING-8利用者協同体(SPRUC)で産業分野担当の副会長を拝命しております。ここでは直近開催されたワークショップでの議論を受け、J-PARC、富岳らとの連携を基に新たな学術領域創出を議論するサイエンスプロモーションボードが発足しました。我が国の弱みを強みと捉え直すために、世界最先端同志の連携を強め、新たな科学技術の課題に正面から取り組んでいく事を、是非とも読者の皆様にお願いたく存じます。

## 日本中性子科学会と中性子産業利用推進協議会との連携

日本中性子科学会会長 加倉井 和久

約10年間にわたる関係者のご尽力により、いよいよ来年2月のJRR-3再稼働の目処が立ってきました。IMWのフル稼働が目前に迫ってきたJ-PARC MLFと最近発展の著しい中小加速器型中性子源施設との同時稼働でやっと私が夢見た「中性子利用理想郷」の実現に向けてハードウェアの面で飛躍的に大きく一歩前進することが期待できます。よってJRR-3とその装置群の再稼働は中性子コミュニティとして全面的にバックアップする最重要課題の一つであると考えております。

またこれらのハードウェアの有機的な連携及び中性子利用のあり方と将来について、長期的なビジョンとその推進方策を中性子コミュニティとして広く議論して、実践していくことが必要であります。そのために中性子科学会ではここ数年をかけて、中堅・若手の会員が真剣に議論を重ねてきた結果、来年度から「中性子科学推進委員会」を常設委員会として立ち上げ、中性子コミュニティの利用者、関連施設及びコミュ

ニティー外の意見を取り入れた検討をお願いすることになりました。中性子産業利用推進協議会からもこの委員会に参加していただいておりますので、特に産業利用の観点から忌憚のないご意見をよろしくお願いいたします。

また前回の協議会総会でも発言させていただきましたが、協議会編集委員会から提案された季報「四季」と学会誌「波紋」の論文掲載の連携に関しても是非前向きにご検討くださるよう、よろしくお願いいたします。「波紋」は中性子科学会の学生会員にも読まれますので、産業利用の観点から執筆された論文は中性子産業利用人材育成にも繋がると思われます。またこれに伴う産業利用推進協議会会員への「波紋」配布は科学会と推進協議会の情報交換及び共有に大きく貢献することが期待できます。

これらの取り組みから日本中性子科学会と中性子産業利用推進協議会との連携が深まり、より理想的な中性子利用促進につながればと考えておりますので、どうぞご協力をよろしくお願いいたします。

## 今後の「四季」の編集方針

季報「四季」編集長 杉山 純

中性子産業利用推進協議会の季報「四季」は創刊号からVol.45までが印刷され、読者の皆様のお手元に届けられてきました。中性子産業利用推進協議会は、季報「四季」を本号(Vol.46)以降は紙に印刷することを止め、電子データの形で皆様にお届けすることを決定いたしました。今までも増して充実した内容になるよう、編集委員一同努めてまいります。

次のVol.47からは、産業界から2名の方に編集委員会に参加していただき、以下の編集方針で進めて参ります。研究トピックスを4ページ程度の記事とし、各号1件程度掲載します。研究トピックスの課題は、産業界から加わる編集委員を通じて産業界の要望を汲み上げ、それを考慮して編集委員会で決定し、最適な方に執筆を依頼します。こうすることで、読者の皆様の要求を満たす質の高い記事を掲載することを狙います。どうか有効にご活用ください。

## J-PARC MLFの2020Aにおける課題採択結果

J-PARC MLFは2020年度上期(2020A)77日間の運転を予定しています。MLF中性子装置全体では延べ1,493日間運転されますが、KEKのS型課題やJAEAのプロジェクト、および装置グループの利用などを除き、CROSSの新利用者支援事業(NUP)や調整枠など

を含めて一般利用に供されるのは869日であり、比率としては58.2%です。

一般利用課題(短期)公募においては、中性子課題の成果公開と成果専有、NUPを合わせて260件の申請があり、成果専有3件を含む145件が採択されました。

採択率は56%です。産業界からは成果公開課題23件の申請があり11件が採択されました。採択率は48%です。

図1に2020A採択成果公開課題142件の申請元別分類を示します。最も多いのは大学で50%、企業は8%です。海外の大学・研究機関は28%を占めています。

図2には利用装置の分類を示します。BL15小角散

乱装置「大観」が10%で最も多く、次いで、BL16ソフト界面解析装置「SOFIA」が9%、BL19工学材料回折装置「匠」とBL21高強度全散乱装置「NOVA」がいずれも8%、BL014次元空間中性子探査装置「四季」、BL11超高压中性子回折装置「PLANET」とBL17偏極中性子反射率計「写楽」がいずれも7%と比較的多くなっています。

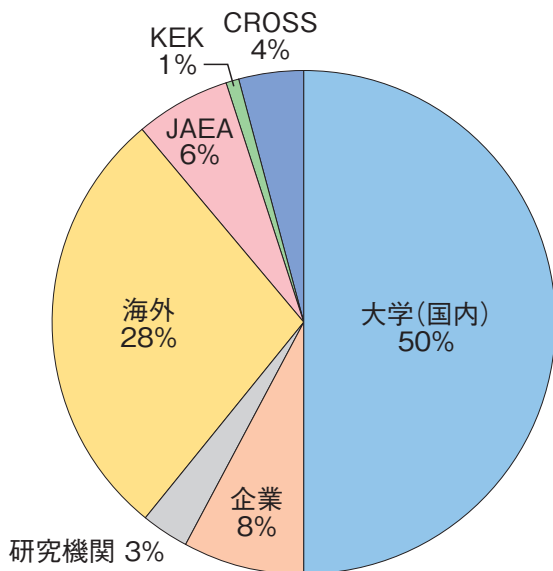


図1 2020A採択成果公開課題142件の申請元分類

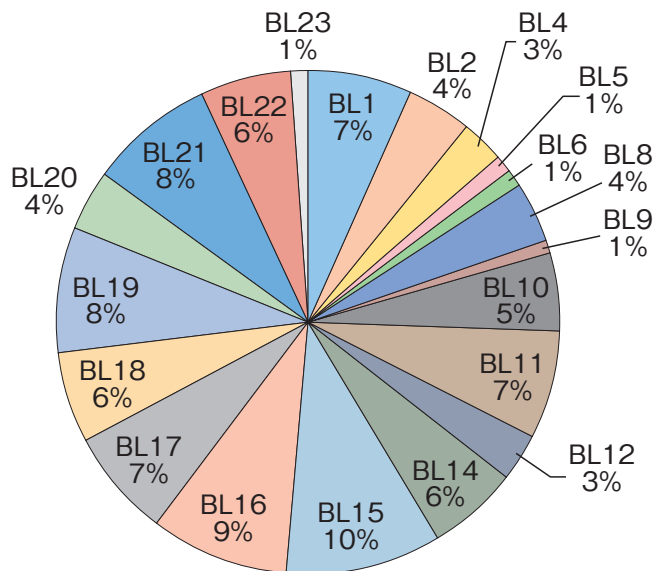


図2 2020A採択成果公開課題142件の利用装置分類

## J-PARCセンター情報

### J-PARC MLF 運転スケジュール

J-PARC MLF は5月1日まで利用運転となります。(5月1日 7:00停止)

連休の後、5月11日17:30から6月末まで利用運転となります。この間、6月25日の朝(または6月26日の朝)から6月27日の朝までの利用運転期間におい

て、ビーム強度を1MWとした利用運転を行うことを予定しています。1日間または2日間継続するかどうかは未定です。なお、本年秋以後には700kWの利用運転を計画しています。



## 半導体デバイスに対する宇宙線ミュオン起因ソフトウェアの研究

九州大学 渡辺 幸信

今日の高度情報スマート社会は、情報通信技術を用いて生み出される多くの高性能・多機能なコンピュータや電子機器によって支えられており、これらの機器に誤動作が生じると甚大な被害が引き起こされるリスクが懸念されます。そのため、機器の性能向上に加えて、安心・安全の観点から信頼性の確保が重要となります。近年注目されている電子機器の誤動作原因の一つにソフトウェアと呼ばれる現象があります。ソフトウェアとは電子機器に搭載されている半導体デバイスが放射線(宇宙線)に曝された際に生じる一過性の誤動作のことです。ソフトウェアが厄介なのは、誤動作が一時的なもので、再起動やデータの書き直しによって正常な状態へ戻る点です。原因となる宇宙線は絶えず地上に降り注いでおり、その主要な成分(荷電粒子の約75%)はミュオンです。

半導体デバイスの微細化・低消費電力化が進むにつれ、半導体デバイスの放射線耐性は低下しており、従来から懸念されて対策が進んでいる宇宙線中性子ばかりでなく、宇宙線ミュオンによるソフトウェア発生の可能性も指摘され始めています。2010年代前半に正ミュオン照射試験の報告が数例ありますが、負ミュオン照射試験の報告は皆無でした。負ミュオンの場合、原子核捕獲反応による二次イオン生成により、ソフトウェアの影響が正ミュオンに比べ大きくなるのがシミュレーション研究で予想されており、その実験的検証が強く望まれていました。

そこで、九大、阪大、JAEA、KEK、J-PARCセンターからなる研究チームを立ち上げ、J-PARC MLF内のミュオン実験施設 MUSEにて、正および負ミュオンビームを用いた半導体デバイスの照射試験を行いました[1,2]。本試験では、65nm設計ルール of 12Mbit SRAMに低エネルギーミュオン(運動量34~44MeV/c)を照射し、入射運動量やデバイス動作電圧を変えて、メモリセルのビット反転発生確率を測定

しました。その結果(図1a参照)、ミュオンがデバイスの有感領域内に停止する入射運動量領域(38MeV/c付近)で、負ミュオンの方が正ミュオンに比べてビット反転発生率が高くなることを実験的に初めて観測しました。粒子・重イオン輸送計算コードPHITSを用いたシミュレーション結果との比較から、両者の差は、負ミュオン原子核捕獲反応で発生する二次陽子・ヘリウム、及び反跳核イオンによる局所的な電荷付与が、ミュオン自身の直接電離による電荷付与に比べて十分大きいことに起因していること(図1b参照)を明らかにしました。

宇宙線による半導体デバイスの誤動作は確率的に稀にしか起こらない現象ですが、IoTの普及とともに膨大な数の半導体デバイスの使用が見込まれるため、発生数の増加が予想されます。当研究チームは、宇宙線ミュオン起因ソフトウェア発生機構の詳細をさらに解明し、エラー率推定のための基盤技術(国内ミュオン施設MUSEとMuSICを活用した照射試験技術と先端シミュレーション技術)の開発研究を展開しています。

### 参考文献

- [1] W. Liao, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 65 (2018) 1734.
- [2] S. Manabe, et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 65 (2018) 1742.

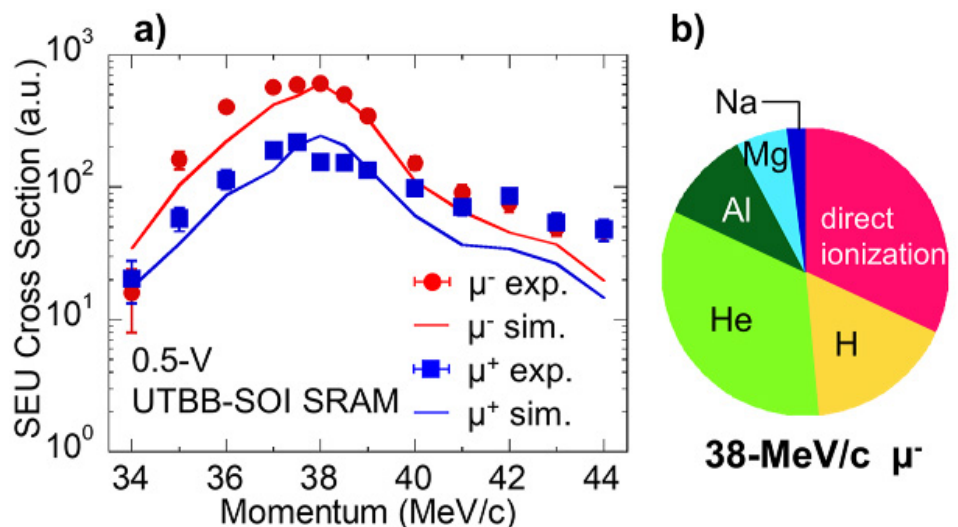


図1 65-nm UTBB-SOI 構造 SRAMに対するビット反転確率(SEU断面積)の測定結果とPHITSシミュレーション結果

## 生命現象の本質を探る量子構造生物学の挑戦

### —地球の窒素循環を担う酵素の反応機構を全原子構造決定により解明—

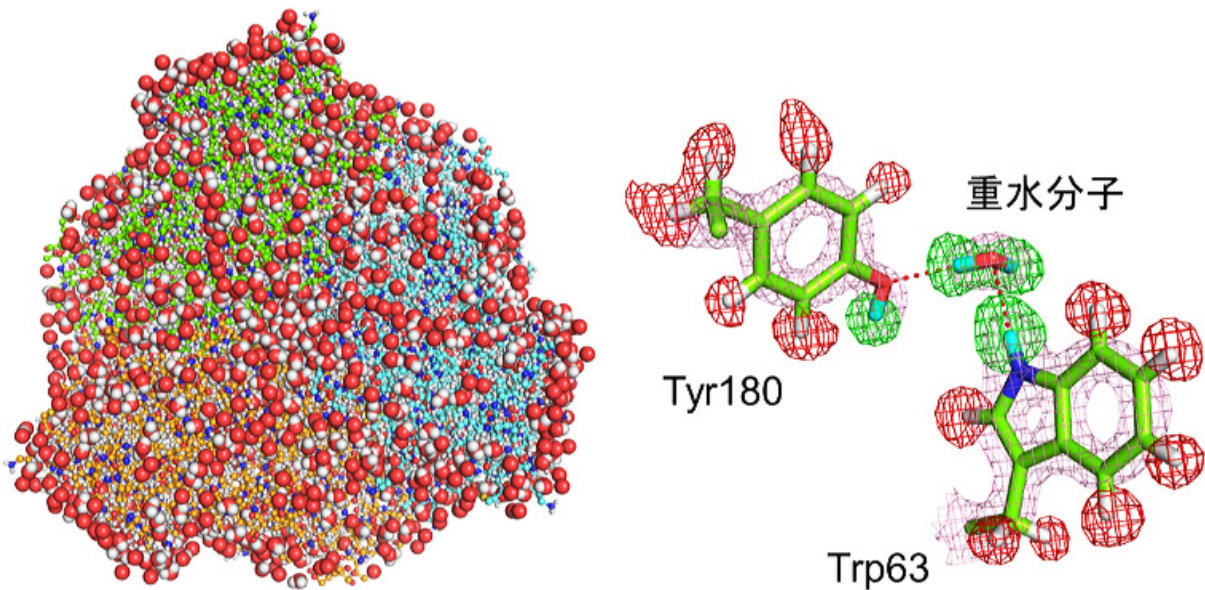
J-PARC NEWS 第178号 2020年2月28日発行より転載

近年の人類の活動によって窒素化合物の過剰流入による環境汚染が問題となっています。本研究の対象は、土壌中や水中の窒素化合物が微生物の働きによって窒素ガスにまで段階的に再変換され、大気中へと戻される「脱窒」において、亜硝酸イオン( $\text{NO}_2^-$ )を一酸化窒素ガス( $\text{NO}$ )に変換する銅含有亜硝酸還元酵素(CuNIR)です。生体で起こる化学反応を促進させる物質である「酵素」と呼ばれるタンパク質の働きを理解するためには、その分子の立体構造を原子・電子レベルで正確に決定し、その構造に基づいて、どの部分がどのように動くのか、他の分子にどの部分が作用するのか、どこを電子が流れていくのか、といったことを実験的に計測したり、理論計算で予測したりすることが必要です。そこで、量子科学技術研究開発機構の玉

田氏は、J-PARCに建設された茨城県の中性子実験装置iBIXを用いてCuNIRの高精度中性子結晶構造解析を行い、CuNIRによる化学反応の理解に欠かせない水素原子を正確に観測することで、反応機構の詳細に迫る知見を得ました。観測結果はミクロの現象を記述する量子力学を用いた理論による予想を支持したものです。中性子構造解析による水素原子の直接観測が、生命現象の本質を量子のレベルから理解しようとする「量子構造生物学」という新しい領域を切り拓くものです。本成果は水素イオンや電子の移動といった、CuNIR中で進行する化学反応の各段階を適切に制御する技術の基盤を与えるものであり、今後、産業応用にもつながると考えられます。

詳しくはこちら

<http://www.j-parc.jp/c/press-release/2020/02/11000412.html>



中性子実験によるCuNIRの結晶構造：

左が全体構造(水素原子位置は白い玉で表示)。右は部分構造を抜き出したもの。水素原子(赤)や重水素原子(緑)の分布がはっきりと見える。実験には重水を用いているため、水分子として重水分子を観察しており、アミノ酸(Tyr180, Trp63など)中の水素原子も一部重水素原子に置き換わっている。



## 活動報告

### ◆研究会

#### ●構造生物学研究会

2019年11月28日(木) エッサム神田ホール1号館401会議室において、2019年度第1回構造生物学研究会を「新世代中性子構造生物学と相関構造解析」をテーマとして開催しました。講演等が4件あり、参加者は31名でした。

まず構造生物学の最近のトピックスとして2件「古細菌タンパク質の高次構造多型の解析」「Xray,NMR,EM,AFMを統合した膜蛋白質酵素の相関構造解析」、続いてタンパク質の構造解析と創薬の視点から2件「大型放射光施設 SPring-8における創薬研究の現状」「クライオ電子顕微鏡解析で見てきた膜タンパク質の分子機構」の講演がありました。チュートリアルと

して「外来エピトープ配列の標的タンパク質への挿入と抗体断片の結合による結晶化の促進」と題した講演がありました。



会場の様子

#### ●非破壊検査・可視化・分析技術研究会

2019年12月20日(金) エッサム神田ホール1号館401会議室において、2019年度非破壊検査・可視化・分析技術研究会を「中性子・負ミュオンによる非破壊分析」をテーマとして開催しました。〈中性子利用分析〉で3件、〈ミュオン利用分析〉で3件、〈はやぶさ2の中性子利用分析〉で1件の講演がありました。参加者は32名でした。

本研究会では、中性子・負ミュオンを利用した分析についての基礎その産業応用について紹介し、中性子・負ミュオンを用いた非破壊分析の有用性を示しました。さらには、中性子・負ミュオンを用いた非破壊

分析の活躍が大いに期待されているはやぶさ2の回収試料の分析プロジェクトについても議論しました。



会場の様子

#### ●金属組織研究会

2020年1月14日(火) エッサム神田ホール1号館401会議室において、2019年度金属組織研究会を「金属材料における小角散乱解析法の活用」をテーマとして開催しました。

チュートリアルとして「金属材料における小角散乱解析法の活用」と題した講演があり、装置技術の紹介として「ラボSAXS装置」「J-PARC MLFの小角散乱装置(大観)」が紹介されました。研究トピックスとしては「ANS・SAXSによる金属・超電導材料の解析」「Ti添加低炭素鋼における板状析出物のSAXSおよびTEMによる定量評価」「中性子透過率スペクトルを用

いた小角散乱解析」の3件の講演がありました。参加者は28名でした。



会場の様子

## ●磁性材料研究会

2020年1月17日(金) エッサム本社ビル4階こだまホールにおいて、2019年度磁性材料研究会を「磁性材料開発に役立つ中性子 一歴史、原理、実用例」をテーマとして開催しました。

チュートリアルとして「永久磁石の研究開発において中性子が果たした役割」と題し、永久磁石材料の研究開発の歴史の中で、中性子解析が用いられた事例を振り返りました。さらに磁性材料開発に役立つ中性子技術として、「磁気ブラッグエッジを用いた新しい磁性材料評価法の展望」「機械学習による中性子実験の効率化」「高強度中性子全散乱装置NOVAにおける磁性研究と産業利用」「大型施設の産業利用について～磁

性薄膜評価を例に」の4件の講演がありました。参加者は25名でした。



会場の様子

## ●電池材料研究会、薄膜・界面研究会

2020年1月29日(水) エッサム神田ホール1号館3階301会議室において、2019年度電池材料研究会と薄膜・界面研究会を共同で開催しました。「電池材料開発における、薄膜・界面の課題」をテーマとしました。

チュートリアルとして「中性子による薄膜、界面の解析」と題し講演がありました。研究トピックスの紹介として、「NEDO 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発(RISING、RISING2)の紹介」「中性子反射率法によるリチウムイオン電池電極/電解質界面現象解析」「Liイオン電池の負極界面における被膜解析」「オペランドHAXPESによる全固体蓄電池内部のポテンシャル分布の可視化」「固体リチウム電池にむけた硫化物

固体電解質の開発」の5件の講演がありました。最後に研究会の今後の進め方について、意見交換を行いました。参加者は46名でした。



会場の様子

## ◆講習会

### ●中性子実験技術基礎講習会

2019年度中性子実験技術基礎講習会(レベル1講習会)を11月29日(金)に東京神田のエッサム神田ホール1号館701会議室で開催しました。

この講習会は中性子実験初心者の方を対象に、中性子実験技術の基礎的事項を紹介し、J-PARC MLFでの実験計画立案や、課題申請に役立てていただく事を目的に開催しています。今回は、7名の講師の方に講義をしていただきました。受講者は17名で、内訳は会員企業8名、非会員企業3名、大学1名、研究機関5名でした。



会場の様子



# お知らせ

## ●研究会・講習会の予定変更

3月に開催を予定していた下記の研究会と講習会は、COVID-19の国内での感染拡大により中止しました。

- 3月 5日 残留ひずみ・応力解析研究会
- 3月 6日 第2回構造生物学研究会
- 3月 9日-10日 中級者向けZ-CODE講習会
- 3月14日 液体・非晶質研究会

研究会や講習会の予定の詳細については協議会のHPに掲載してありますのでご参照ください。

## ●2020年度総会

日時：2020年7月9日(木) 10:00～12:00 会場：東京 秋葉原コンベンションホール

中村道治副会長、志満津孝運営委員長の挨拶

第1号議案 2019年度事業報告及び決算報告

第2号議案 2020年度事業計画及び収支予算

第3号議案 会則の改訂

その他 役員の交代と新体制

について報告と審議をする予定です。

会員企業の皆様だけでなく、非会員企業や大学、研究機関の皆様にも参加していただけます。多くの皆様のご出席をお願いいたします。

## ●2020年度J-PARC MLF 産業利用報告会

主催：J-PARCセンター、総合科学研究機構、茨城県、中性子産業利用推進協議会

共催：J-PARC MLF 利用者懇談会

日時：2020年7月9日(木) 13:00～10日(金) 17:40 会場：東京 秋葉原コンベンションホール

齊藤直人J-PARCセンター長、文部科学省の挨拶

セッション1 MLFの産業利用の現状と期待

セッション2 MLFで始動した産学連携の成果

セッション3 鉄鋼業界における中性子利用

セッション4 水が絡む機能材料の創製と計測

セッション5 JRR-3の運転再開へ向けて

各セッション内の講演の他、特別講演が2件あります。J-PARC MLFの装置紹介や、ポスターセッションも実施します。多くの皆様のご参加をお願いいたします。

協議会HP (<http://www.j-neturon.com/>)では、J-PARC MLFやJRR-3の運転情報などを提供するサイトや、研究成果を紹介するサイトなどが設けてあります。研究会や講習会などの詳細についてはHPに順次新規情報を掲載しています。是非HPにアクセスして活用してください。また、新規材料の発見や高度な測定技術の開発、ならびに、中性子に関する重要な会議など皆様に周知すべき情報がありましたら、是非ご提供ください。

季報「四季」編集委員会

委員長 杉山 純(CROSS)

委員 勅使河原 誠(J-PARC)、山田 悟史(J-PARC)、水沢 多鶴子(CROSS)

事務局 野間 敬、大内 薫(中性子産業利用推進協議会)

## 中性子産業利用推進協議会 季報【20年・春】Vol.46

発行日 2020年3月25日

発行元 中性子産業利用推進協議会

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方162-1 いばらき量子ビーム研究センター2F D201

TEL:029-352-3934 FAX:029-352-3935 E-mail:info@j-neutron.com