



FOUNDATION FOR HIGH ENERGY
ACCELERATOR
SCIENCE

FAS だより

2019.06 第 18 号



公益財団法人
高エネルギー加速器科学研究奨励会

■ 広報誌「FAS だより」第17号の発行に当って ■

- 賛助会員の皆様には益々ご清栄のこととお慶び申し上げます。
日頃より、当公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会に対する格別のご協力を頂き、心から厚くお礼申し上げます。
- 広報誌「FAS だより」も公益財団法人に移行してから第17号を発行することになりました。
- 加速器セミナーおよび特別講演会のテーマ等でご希望・ご要望等がありましたら奨励会事務局までお寄せください。
- 賛助会員の皆様で、広報誌「FAS だより」に投稿したい高エネルギー加速器に関する記事等がございましたら是非お知らせ下さい。投稿をお待ちしております。
- 当公益財団法人の「ホームページ」・広報誌「FAS だより」等をご覧いただき、より良いものにするために皆様のご意見をお寄せください。お待ちしております。
- 賛助会員のバナー広告掲載について
当公益財団法人のホームページ上に賛助会員様のバナー広告を掲載しております。
バナー広告掲載を希望される賛助会員様は、ぜひご利用ください。(無料)

< 連絡先 :info@heas.jp 又は TEL/FAX029-879-0471 >

公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 事務局

FAS だより 第 18 号 目次

2019 年 6 月

1. 研究助成報告
 - 1) 「加速器国際スクール」(The 1st international school on Beam Dynamics and Accelerator technology) の開催報告(開催地: 広島県東広島市広島国際プラザ)
自 30.11.26 至 30.11.30 1
広島大学大学院先端物質科学研究科 教授 栗木 雅夫
 - 2) 次世代加速器実験に向けた SOI 技術による一体型シリコンピクセル検出器開発
自 31.02.17 至 31.03.07 7
高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 測定器開発室 小野 峻
2. 国際会議・学術講演会等の開催助成
第 14 回 核破碎材料技術に関する国際ワークショップ「IWSMT-14」報告
自 30.11.11 至 30.11.16 13
高エネルギー加速器研究機構 J-PARC 技師 牧村 俊助
3. その他の助成報告
レクチャー&コンサート「科学と音楽の饗宴 2018」開催報告 15
(国内 つくば市ノバホール) 30.12.09 (日) 高エネルギー加速器研究機構
4. 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 奨励賞(西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞) 受賞者について(平成 30 年度) 16
 - 1) 奨励賞(西川賞)
受賞者氏名 發知 英明(46 歳)
所属機関 日本原子力研究開発機構 研究主幹
研究テーマ 「J-PARC RCS における大強度陽子ビームのビーム力学的研究と
ビームロスの低減」 18
 - 2) 奨励賞(熊谷賞)
受賞者氏名 吉沢 克仁(62 歳)
所属機関 元 日立金属(株) 冶金研究所(旧)
研究テーマ 「高周波用磁性材料の開発による加速器科学貢献」 27

3) 奨励賞授与式に関する科学新聞記事 (31.02.22 (金) 付) について	31
4) 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会奨励賞候補者募集要綱 (2019 年度) について	32
5. 2018 年度 事業報告書について	36
6. 2018 年度 損益計算書 (正味財産増減計算書) について	44
7. 2019 年度 事業計画書について	46
8. 2019 年度 収支予算書 (損益計算書) について	50
9. 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 賛助会員一覧 (2019 年 6 月 1 日現在)	52
10. 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 評議員・役員名簿 (2019 年 6 月 1 日現在)	53

加速器国際スクール (The 1st International School on Beam dynamics and Accelerator technology) 開催報告

広島大学
先端物質科学研究科
栗木 雅夫

はじめに

2018年11月26日から30日の五日間にわたり、第一回ビーム力学と加速器技術のための国際スクール(The 1st International School on Beam dynamics and Accelerator technology, ISBA18)が、広島県東広島市の広島国際プラザで開催されました。本スクールはアジア地区を中心とした学生、若手研究者に加速器の基礎となるダイナミクスと各技術を学ぶ機会を与え、本格的な加速器研究への入り口となることを目指したものです。本スクールについて報告いたします。

1. 加速器科学における人材育成の課題

残念ながら、高エネルギー物理や物性物理などと異なり、加速器開発に直接かかわるような大学の研究室の数は非常に限られています。そのため、加速器開発に取り組む研究者の育成には意識的に取り組む必要があります。日本の加速器研究の歴史は長く、理研の仁科芳雄や台湾帝国大学の荒勝文策など戦前まで遡ることができますが、一研究室の枠を超えた「大型加速器」の建設は、1960年代に本格稼働を始めた東京大学原子核物理研究所(核研)の電子シンクロトロンあたりが最初でしょう。この時代までは、専門の加速器研究者は存在せず、素粒子・原子核物理研究者が加速器研究を担っていたものと思われます。しかし1970年代にはいと、加速器はより大型化し、高エネルギー物理学研究所(当時)の陽子シンクロトロン建設の時代には、加速器の研究開発、建設を担う専門家集団が発生していたものと思われます。その後、日本の加速器のレベルは急速に発展し、1986年にはエネルギーフロンティアであるトリスタンが稼働を開始し、文字通り世界の最



図1: ISBA18のポスター。厳島神社の大鳥居を背景に、原爆ドームと西条の酒蔵を配置した。文化、平和、産業が科学を支える社会的基盤として重要であるという寓意を込めた。

先端に立つことになりました。

その一方で、加速器研究者の人材教育という意味では、OJT (On the Job Training)、すなわち現場での訓練が主流で、組織的な取り組みは、各種の散発的な講義やセミナーなどに限られていたようです。OJT は徒弟制度としばしば混同され「現場での叩き上げ」と同一視されますが、両者は似ているようで大きく異なるものです。OJT は一般的な教育を修了している者に対する職業訓練の方法で、例えば、大学での教育課程などを終えた者に適用されます。OJT は一般企業でも導入されていて、人材教育の重要な要素です。その一方で、体系的な教育が行われていないという事実は、未来の加速器を切り開く加速器研究者の養成という観点から見ると問題が多く、学問分野として自立しているとは言えないのが現状でしょう。長期的な発展を考えると解決すべき課題であると言えます。

海外ではこのような事情は大きく異なります。加速器の発展を牽引してきた欧米はもとより、近年では中国やインドなどにおいて、大学院レベルで加速器の教育が積極的に進められています。エ

コールポリテクニクはフランスにおける工科大学の最高峰ですが、もともとは革命防衛のための人材育成が目的でした。何かをするには、まず人材教育から、というのが海外では一般的です。事実、今回のスクールにおいても、中国とインド、特に中国からの応募者が傑出して多く、予定人員の数倍にもなった一方で、日本からの参加者は限定的でした。このような状態の解決が本スクールの最大の目的です。

以上のような問題意識のもとに、第1回ビームダイナミクスと加速器技術に関する国際スクール (The International School on Beam dynamics and Accelerator technology, ISBA18) が開催されました。写真1に広島国際プラザでの集合写真を示します。

2. ISBA18 の概要

ISBA18 は「大学加速器連携ネットワークによる人材育成等プログラム」(高エネルギー加速器研究機構)の事業として実施されました。本プログラムの趣旨には「日本が加速器科学における国



写真1：広島国際プラザでの集合写真。

際競争力を維持し続けるためには、高い専門性と広い視野並びに国際的通用性を持つ若手研究者を育成することが急務であり、高エネルギー加速器研究機構（KEK）は加速器科学分野のCOEとして、当該分野の発展と人材育成に主導的役割を果たす」と記されており、人材育成が加速器科学の維持・発展に必要不可欠であるという問題意識は、ISBA18と共通するものです。

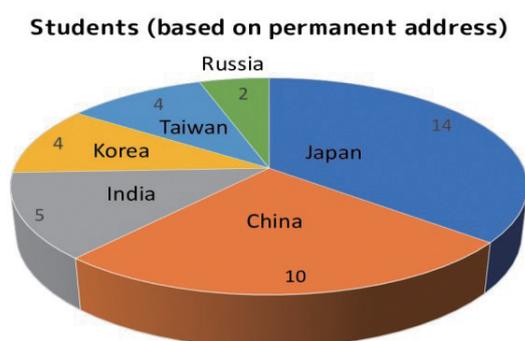


図2：参加学生のパイチャート。日本からの参加者は14名で最大であった。中国の10名がこれに続き、インド5名、韓国と台湾4名、ロシア2名であった。地域は永住先の住所による。

ISBA18は高エネルギー加速器研究機構および日本加速器学会の協賛を得て、広島大学の主催で開催されました。狙いは、加速器を構成する重要な要素であるビームダイナミクス（しばしば縦糸と表現される）と、各要素技術（しばしば横糸と表現される）の基礎的な部分を講義の主眼として、国際的な環境のもとで集中して学ぶ機会を学生に提供することにより、加速器研究への誘因、それを開始するきっかけとなることです。多くのスクールがそうであるように、知識やスキルの習得とともに、人的なネットワークの形成も重要な目的の一つです。若手にとって海外や国際的な環境で講義などを受ける機会がそう多くはありません。そのような環境で新しい知識を得て、新しい友人や講師などと知り合うことは、多くの学生にとって将来の進路に良い影響を与えるでしょう。また、大学の教員としては、やる気満々の海外の大学院生に刺激を受けて、日本の大学院生が少し

でも将来の進路について野心的に考えてくれたら、という思惑もあります。

当初の予定としては、海外からの参加者として、中国、韓国、台湾、インドから各4名の学生、各1名の講師、広島大学を除く日本国内から16名の学生、広島大学から16名の学生、そして国内から5～6名の講師を予定していました。予算的制限から日本国内から12名の学生、広島大学から12名の学生と変更して公募を7月から開始しました。会期は当初4日間としていたが、少しでも内容を充実させようと5日間としました。図1に配布したスクールのポスターを示します。背景には広島県を象徴する宮島の大鳥居を配して、そこに原爆ドーム、西条の酒蔵群の写真を加えました。伝統文化、平和、そして産業は社会を構成する重要な要素であり、科学研究もそれらを基盤として成立するもの、という寓意を込めました。

図2は参加学生の地域別人数のパイチャートです。地域の表示は住所によるものです。日本からの学生の応募は低調で、結果として14名でした。それでもかなりやる気に満ちた、加速器プロパー以外を含む多くの学生が集まったのは救いでした。それに続いて中国からの参加者は10名です。当初の予定は4名でしたが、中国側からの予算の追加もあり、全体で10名になりました。中国からは30名程度と大量の参加希望があり、多くの学生は参加することができませんでした。中国は加速器科学に政策的に取り組んでいて、それに連動して各地の研究所、大学で加速器研究者の養成に組織的に取り組んでいるのです。IHEP (Institute of High Energy Physics) や IMP (Institute of Modern Physics) などの大型の加速器を抱える研究所は、学年あたり数十名から数百名の規模で加速器専攻の大学院生の教育に取り組んでいます。また各地の有力大学でも加速器を学ぶ講座が設定されています。組織的あるいは戦略的取り組み不在の日本社会との差をまざまざと見せつけられた気分です。それに続いてインドから5名、韓国と台湾は4名、ロシアから2名の参加がありました。インド、韓国、台湾には枠として当初4名を割り当てまし

たが、日本に滞在していたインド人、ロシア人から参加申し込みがあり、日本からの参加と同等に扱うこととし、採択しました。

会場となったのは、広島県東広島市の広島国際プラザ（Hiroshima International Plaza, HIP）です。国際協力事業団（JICA）と広島県国際センターが共同で運営する施設で、国際交流事業などで来日する外国人や行事に参加する日本人のための宿泊研修施設です。

本スクールには、組織委員長として広島大学の栗木雅夫、KEK側のパートナーとして Alexander Arishev 氏（KEK）、さらに各国、地域のパートナーとして Gao, Jie 氏（IHEP, China）、Abhay Deshpande 氏（SAMEER, India）、Yujong Kim 氏（KAERI, Korea）、そして Hwang, Ching-Shian 氏（NSRRC, Taiwan）という体制で臨んだ。実施体制としては充分とはとても言えないが、このような急ごしらえの実施体制でもなんとか運営ができたのは、優秀な事務局を形成できたからである。事務局の実働は5名で、KEKの国際企画課からハ

イス由乃氏、KEKの加速器から石川銀、岡美智代、草間仁美の各氏、そして広島大学先端研から土居寿美江氏です。ハイス氏には主に旅費の手続きを、石川、岡、草間の各氏にはビザの手続き、休憩時の飲料やスナック、懇親会や遠足の手配、HIPとの折衝、現地事務局業務、そして土居氏には、広島大学側との連絡、ノベルティグッズの提供、などを担当してもらいました。

3. カリキュラム

表にカリキュラムを示します。講義は4日間に渡って行われ、全体で16コマの講義が提供されました。加速器科学の全体像（栗木）、加速器の歴史（横谷）、ビーム力学や素課程の基礎（岡本、田中、L. Sukhikh）、個々の加速器の動作原理（A. Deshpande、J. Gao、横谷）、要素技術（栗木、Y. Kim、J. Gao、A. Arishev、J. Chen）、加速器の応用（本田、L. Sukhikh）という内容です。入り口として加速器科学の全体像を示し、その構成要素であるビーム力学や各種の要素技術、そして加速器の動

表：ISBA18のカリキュラム

講義題目	講師	所属
Accelerators in modern sciences	栗木雅夫	広島大
History of Accelerator	横谷馨	KEK
Beam Dynamics Foundation	岡本宏己	広島大
Foundation of Synchrotron and storage ring	J. Gao	IHEP, China
Foundation of Linear Accelerator	A. Deshpande	SAMEER, India
Particle Generation	栗木雅夫	広島大
Laser Technology for accelerator	A. Aryshev	KEK
Foundation of Normal Conducting Accelerator	Y. Kim	KAERI, Korea
Foundation of Colliders	横谷馨	KEK
Foundation of Synchrotron Radiation	J. Chen	NSRRC, Taiwan
FEL and advanced light source	田中隆次	Riken/Sp8
Laser Compton and its applications	本田洋介	KEK
Foundation of Radiation Process	L. Sukhikh	Thomsk, Russia
Medical Application of accelerator	L. Sukhikh	Thomsk, Russia



写真2：講義の一コマ。

作原理を説明し、応用としての幾つかの興味有る例を挙げるという構成を意図しました。個々の講義の詳細な内容については、ISBA18のWEBページ [1] から資料が入手可能ですので、そちらを参照してください。

講義は各コマ90分で行われました。講義の最後には多くの質問が寄せられ、休み時間としては多少長めの30分を確保していたおかげで、時間が大幅に超過せずにスケジュールをこなすことができました。遠慮なくわからないこと、興味あることは時間など気にせずどんどん質問するという風景は、残念ながら普段の大学の講義ではあまり見かけません。国際スクールをやってよかった、と思う瞬間の一つです。写真2は講義の一コマです。

4. Social Events

ISBA18ではSocial eventsとして、バンケットおよび遠足を行いました。バンケットは27日の火曜日の夕食として、併設されているレストランで行われました。予算も限られているため、山海の珍味、地元広島のご馳走が山盛り、という訳には行きませんが、事務局の努力により必要十分な食物と飲み物が提供され、楽しいひと時を過ごせました。既に述べたように、このようなスクールにおける目的の半分程度は人的なネットワークの形成です。学生達は他の国の学生達や講師達と話すことで、おおいにその目的を達成することができたと思います。沢山の話の輪が咲いて

いました。

HIPの催しとして三日目の水曜日の19時30分から、ひよっこ踊りの鑑賞会がありました。ひよっこ踊りとは、ご存知のひよっこのお話を題材とした踊りで、宮崎県で盛んな芸能のようです。ISBA18の参加者を含めHIPに滞在している日本人、外国人に大受けでありました。最初は尻込みしていた参加者も、ひよっこ連に促され、最後は総踊りであったようです。というのも、夕食後に開いていた学生セッションのため、イベントの後半は講義室に戻らざるを得ませんでした。写真3はひよっこ踊りの様子です。



写真3：ひよっこの総踊りの様子。SBA18のスタッフによると、あまりに笑いすぎて、お腹が痛くなるほどだったそう。

ISBA18最終日の金曜日には、広島市平和記念公園および宮島への遠足が行われました。8時30分にバスでHIPを出発した一行は、9時40分過ぎに平和公園に到着しました。平和公園では平和記念資料館の見学、そして平和ボランティアガイドによる平和記念講演のガイドツアーが行われました。平和記念公園では毎年の原爆忌（8月6日）に開催される平和記念式典が行われる慰霊碑と原爆ドームが有名なモニュメントです。それに加えて、韓国人犠牲者の慰霊碑、平和の鐘、原爆の子の像、など多くのモニュメントがあります。原爆の子の像の前では小学生くらいの児童たちが歌を捧げていて、若くして原爆症で亡くなった佐々木貞子さんの気持ちを思うと、涙を禁じ得ません

した。貞子さんは元気になると信じて祈りながら千羽鶴を折り続けたそうです。そして1300羽以上の鶴を折ったところで亡くなりました。写真4は原爆ドーム前での記念撮影です。

昼食を挟み、遠足の後半では廿日市市の宮島を訪れました。江戸幕府の初代の大学頭、林羅山の三男である林鷺峰により、松島、天橋立とならび日本三景と称された場所です。平清盛の庇護により現在のような壮大な規模の社屋を備えるようになったと言われていて、スクールのポスターにも示した海上の大鳥居が有名です。瀬戸内海は近代以前において、北前船に代表される交通の大動脈で、航海の安全は当時の人々にとっては大きな関心事でした。厳島神社は軍神としての側面に加えて、海運の神としての面も併せ持ちます。大鳥居が海上にあるのは、海の道が正式な参道であるからです。厳島神社では毎年7月には管弦祭と呼ばれる祭りが催されます。飾り立てた船上で音楽を奏するという優雅なお祭りです。また瀬戸内は朝鮮通信使が通った道でもあります。国際交流の歴史に思いをはせることは、国際スクールの遠足として意義あることです。

5. 最後に

以上のように、今回、ISBA18を成功裏に終了することができました。これも加速器科学奨励会をはじめとする、多くの関係諸機関の協力のたまものです。ここで改めて感謝を表したいと思いません。

ISBA18を行うことによって、課題も多く見えてきています。学生は複数のグループに分けられるようです。周辺分野から参加のやる気に満ちた学生、加速器研究にすでに取り組み、やはりやる気に満ちた学生、そして、加速器に興味はあり、すでに取り組んでいるが、まだまだその面白さが実感できない学生達です。来年に向けて、これらの学生すべてに対して、スクール内における適切な役割を与え、全体として各々が満足でき、さらに全体として加速器研究が盛り上がるようなスクール形態を模索していきたい思います。

参考文献等

[1] ISBA18 ホームページ

<https://conference-indico.kek.jp/indico/event/56/>



写真4：原爆ドーム前での集合写真。

次世代加速器実験に向けた SOI 技術による一体型シリコンピクセル検出器開発

高エネルギー加速器研究機構
測定器開発室
小野 峻

1. 研究概要

本研究では将来の加速器実験に向けて Silicon On Insulator (SOI) 技術を応用した半導体ピクセル検出器の開発を行った。次世代加速器実験の1つである International Linear Collider (ILC) では高ルミノシティ下で生成される荷電粒子を検出するために高位置精度ピクセル検出器が要求されている。高精度で粒子の飛跡検出を行うにはピクセルを微細化し、さらに高頻度バンチ衝突でのヒットタイミングを識別してイベント再構成することが可能な新たなピクセル検出器が必要となる。そこで現在、ILC 実験崩壊点検出器として実用化を目指す SOI 検出器: SOFIST の開発を行なっている。SOFIST は飛来粒子の位置・時間同時計測を目指しており、高位置・時間分解能をもつピクセル開発に取り組んでいる。今回、開発した試作チップを使用し、米国フェルミ国立加速器研究所のテストビーム照射施設においてビーム試験を実施し性能評価を行なった。

2. SOI 検出器: SOFIST

この研究の基盤となる SOI ピクセル検出器は KEK 測定器開発室において研究が進められているセンサー・回路一体型のシリコン検出器である [1]。SOI 検出器は一体型構造によるピクセル微細化、低物質質量、高放射線耐性といった特長を持っている。本研究ではこの SOI 検出器を用いて、高エネルギー加速器実験用の検出器として実用化を進めている。

現在、我々が主に開発を行なっている SOFIST (Sof sensor for Fine measurement of Space and Time)

は、ILC 崩壊点検出器の候補として実用化を目指している [2]。このセンサーでは微細ピクセルを実装することで位置分解能 $3 \mu\text{m}$ 以上を達成する。さらに ILC のビームトレイン構造 (554 ns 間隔での入射・衝突) に対応したイベント識別を行うためにピクセル内にタイムスタンプ回路を埋め込み、位置・時間同時計測による高精度の飛跡再構成を行う。Fig. 1 にピクセル回路構成を示す。各ピクセル内には、ヒット検出を行う Comparator とヒット情報を保持する Shift-register が実装されている。ヒット検出のタイミングに同期して、検出されたチャージシグナルとタイミング情報を Analog-signal memory, Timestamp memory へそれぞれ格納する。

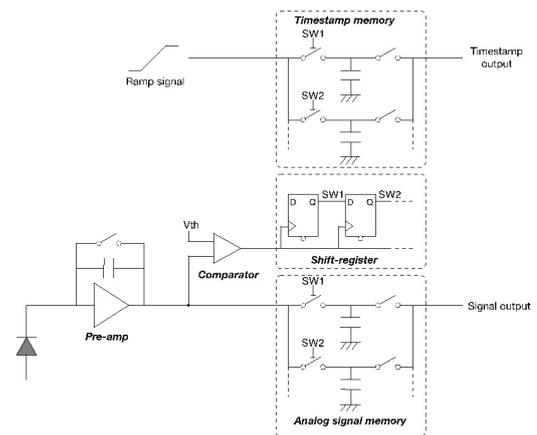


Fig. 1 SOFIST ピクセル回路構成

本年度までに SOFIST Ver.1 ~ Ver.3 の3回の試作センサー設計を進めており、最新の試作となる Ver.3 において SOFIST の全ピクセル機能を実装することができた。

3. ビーム試験セットアップ

今回 SOFIST Ver.3 の位置・時間分解能の評価、及び荷電粒子飛跡検出試験を実施するため、フェルミ研究所テストビーム照射施設を利用し、120 GeV 陽子ビームを使用したビーム試験を実施した。

Fig. 2 にビーム試験で使用した検出器セットアップを示す。SOFIST Ver.3 を中核とした飛跡検出器をビームラインに設置した。この飛跡検出器

内には、トリガー検出や荷電粒子の検出位置・時間情報を校正、補間するために、SOFIST 以外にも複数の SOI 検出器を配置している。以下に、今回の実験の検出器構成を示す。

- DUT: SOFIST Ver.3: 5 chips
- Tracker: INTPIX7: 4 chips
- Trigger: XRPIX, Scintillator + MPPC

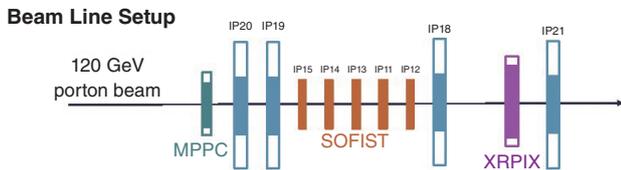
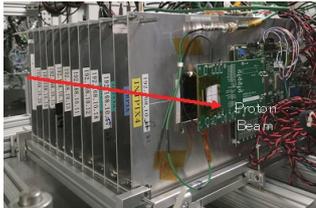


Fig. 2 ビーム試験検出器セットアップ・構成

3.1. SOFIST Ver.3

このビーム試験では、前述した SOFIST の試作チップ :SOFIST Ver.3 を使用し検出器を構築している。Table 1, Fig. 3 に SOFIST Ver3 のチップ構成を示す。

Table 1 SOFIST Ver.3 parameters

Parameter	-
Pixel size	30 × 30 μm
Pixel array	128 × 128
Chip size	6.0 × 6.0 mm
Sensor thickness	300, 75 μm

SOFIST Ver.3 は飛跡検出器の中心に 5 センサーが設置されており、各センサーで測定された位置・時間情報より陽子ビームの飛跡検出を行う。また、設置した 1 チップはセンサー厚 75 μm まで薄化しており（他 4 チップは 300 μm 厚）、検出される電荷信号・電荷収集の比較試験を行なった。

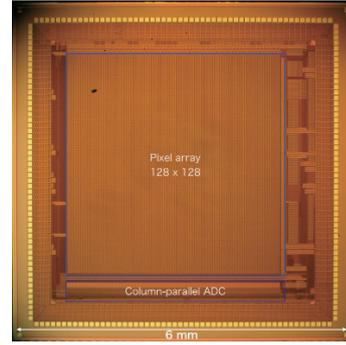


Fig. 3 SOFIST Ver.3 chip

3.2. INTPIX7

SOFIST の前後には、SOI 検出器 :INTPIX7 を各 2 チップ配置し外部飛跡検出器として使用している。INTPIX7 はピクセルサイズ: 12 μm 角、チップサイズ 18 × 18 mm の高精細、大面積センサーである (Table 2, Fig. 4) [3]。より微細なピクセルを持つ INTPIX7 では高い位置分解能を実現できるため、今後の様々な検出器評価において INTPIX7 を使用した荷電粒子用飛跡検出器として構築することを目指している。今回は INTPIX7 で検出されたヒットイベントから再構成された飛跡を内挿し、SOFIST の位置分解能評価を行なっている。

また、INTPIX ではデータ取得を行う際にピクセル領域をあらかじめ指定する Region-Of-Interest (ROI) 機能が実装されている。今回は、データ収集効率および飛跡検出効率を向上させるため、INTPIX の全ピクセルの内、SOFIST の有感領域と重なる部分となる 4.6 mm 角相当の 384 × 384 ピクセルのみ読み出しを行なった。

Table 2 INTPIX7 parameters

Parameter	-
Pixel size	12 × 12 μm
Pixel array	1408 × 1408
Chip size	18.0 × 18.0 mm
Sensor thickness	500 μm

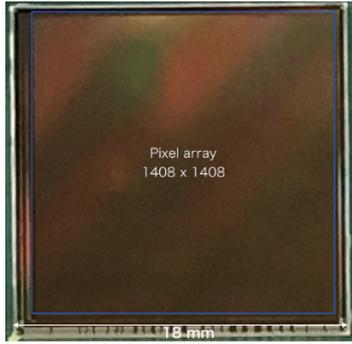


Fig. 4 INTPIX7 chip

3.3. XRPIX5

加速器ビームからのシグナル検出のトリガーとしては Scintillator と MPPC を組み合わせたトリガーカウンタと、さらに SOI 検出器 :XRPIX5 を使用している [4]。XRPIX5 は X 線天文衛星用に開発された SOI 検出器であり、センサー内でヒットシグナルを検出しトリガーを外部出力することができる。また、このトリガーと同期してヒット領域のアドレス読み出しを行うイベントドリブン機能を搭載している。ヒットトリガー出力とその位置情報を出力できる特徴を利用し、大面積のトリガー検出器、およびビームモニターとして設置した。

3.4. 検出器同期

SOFIST/INTPIX は同期してデータ収集を行うため、MPPC あるいは XRPIX5 によって検出されたヒットトリガーを各検出器に配信している。各検出器はトリガー入力によってシグナル蓄積から読み出し状態へ移行する。シグナル読み出しを実施中、各検出器より BUSY を出力しトリガーに対して Veto を掛けることで、全検出器がトリガー受付可能な状態でのみトリガーは配信される。また、解析時に各検出器データの同期検証を行うため、取得データに対して Event-Tag を付加している。Event-Tag は外部より周期クロックを配信して、各検出器で入力クロックをカウントし、トリガー入力時のカウント値を保持する。各検出器で記録されたトリガータイミングを比較することにより、取得データの同時性を保証している。

4. 実験・解析結果

今回のビーム試験は、2019 年 2 月 20 日～3 月 5 日までの 12 日間ビームラインに検出器を設置し、データ取得を行なった。各センサーの空乏層厚などのパラメータを変更した状態で実験を実施し、全日程で合計 745,000 イベント分の陽子ビームデータを取得した。以降で、SOFIST/INTPIX それぞれの解析結果を示す。

4.1. SOFIST 解析結果

SOFIST Ver.3 はで取得した陽子ビームシグナルのイベントを Fig. 5 に示す。ピクセルごとにチャージシグナルとタイムスタンプを同時計測できるため、ヒットイベントごとに位置・時間情報についてそれぞれ解析を実施した。

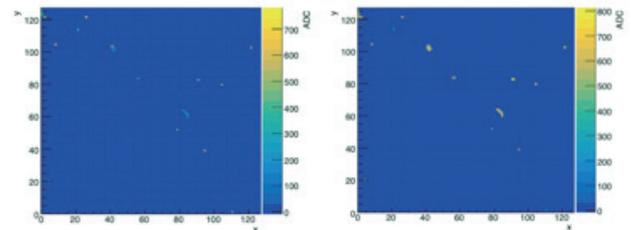


Fig. 5 SOFIST イベントディスプレイ

最初に、計測されたチャージシグナルのシグナルスペクトルを Fig. 6 に示す。Fig. 5 に示されるように、多くのイベントでヒットシグナルは複数のピクセルに分割されて観測される。ヒット中心となるピクセルをシードとし、その周囲 8 ピクセルで検出されたシグナルを含めた 3×3 ピクセル内でのクラスタリングを行なっている。クラスターシグナルスペクトルよりピークが確認でき、陽子ビームによるシグナルを検出できている。

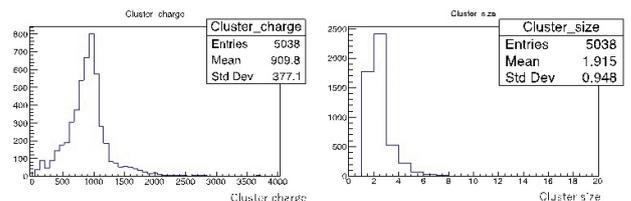


Fig. 6 SOFIST クラスタシグナルスペクトル (左)、クラスタサイズ (右)

300 μm 厚のセンサーに対して、センサーに印加するバイアス電圧をスキャンし、シグナルピークの変化を観測した (Fig. 7)。センサーで検出されるチャージ量は空乏層厚に比例し、空乏層厚は印加電圧の平方根で変化する。センサーが完全空乏化すると、検出シグナルは飽和する。Fig. 7 よりバイアス電圧が -185V 付近で飽和し、空乏層厚 300 μm に達していると考えられる。以降、完全空乏化状態で取得されたデータについて解析を行っている。

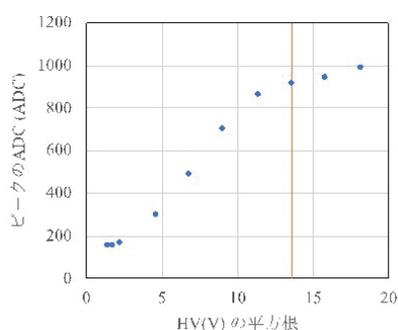


Fig. 7 SOFIST シグナル - バイアス電圧依存性

再構成されたヒットシグナルより、各チップ上で検出されたヒット座標を求め、センサー間での相関を解析した。Fig. 8 は 2 つの SOFIST Ver.3 センサーで検出されたヒット位置の X 座標（地面に対し水平方向）の Correlation map である。2 センサーで検出されたヒットに対しての、全組み合わせをプロットしている。Correlation map 上で明らかに 2 センサー間の相関関係が見られ、同じ陽子ビームによるヒットシグナルを検出できていることが確認できた。また、相関位置よりセンサー間のズレを計測でき、現在この情報を元に全センサー間の位置の補正、アライメントを行なっている。

次に、再構成されたヒットピクセルより、センサー間で同時に記録されたタイムスタンプ情報の相関を解析した。Fig. 9 は 2 つの SOFIST Ver.3 センサーで検出されたヒット時間の Correlation map である。Fig. 9: 左図は 2 センサーで検出されたヒットに対しての全組み合わせをプロットしてい

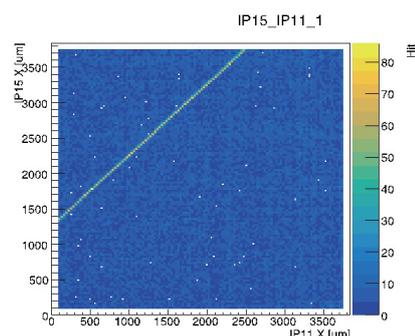


Fig. 8 SOFIST 2 センサー間ヒット位置 Correlation map

る。ここから、Fig. 8 で確認された位置相関の結果より、イベントの選別を実施した。位置座標の相関が検出されたイベントのみ抽出し、同イベントのヒット時間を解析した結果が Fig. 9: 右図である。位置情報を使用することにより、時間情報についても相関イベントのみを抽出することが可能となった。

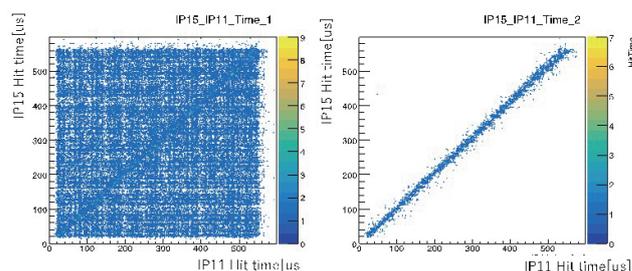


Fig. 9 SOFIST 2 センサー間ヒット時間 Correlation map: 位置情報による選別前 (左)、選別後 (右)

今回 SOFIST の特長である位置・時間同時計測により、各情報からイベント選別を行うことで同じ粒子によるヒットの組み合わせを抽出し、ヒットイベントを再構成することができた。今後、位置・時間情報を使用したヒットイベント・トラッキング解析を実施し、高精度の飛跡再構成ができることを実証する。

4.2. INTPIX 解析結果

INTPIX の取得データ解析もヒットシグナル再構成から、センサー間の位置相関解析を実施した。

Fig. 10 に再構成されたクラスターシグナルのスペクトルを示す。SOFIST と同様に、シードピクセルの周囲 8 ピクセルで検出されたシグナルを含めた 3×3 ピクセル内でのクラスタリングを行なっている。また、シグナルピークのバイアス電圧スキャン解析結果を Fig. 11 に示す。INTPIX の場合では、センサー厚が $500 \mu\text{m}$ であり -200 V まで印加しても完全空乏化による飽和は観測されなかった。

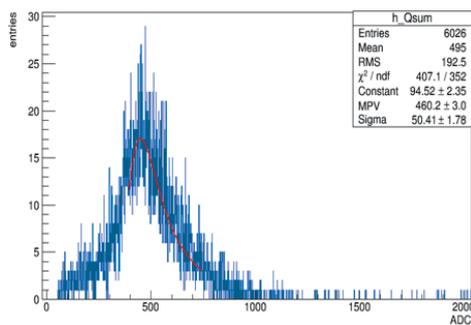


Fig. 10 INTPIX クラスターシグナルスペクトル

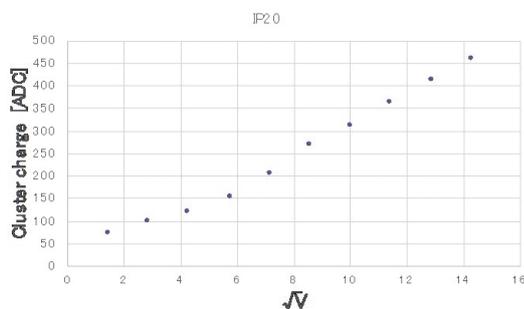


Fig. 11 INTPIX シグナル-バイアス電圧依存性

INTPIX 上で再構成されたヒットシグナルよりヒット座標を求め、SOFIST 上のヒット位置相関を解析した。Fig. 12 は INTPIX, SOFIST それぞれで検出されたヒット位置の Correlation map である。こちらでも、2 センサー間の相関関係が見られ、同じ陽子ビームによるヒットシグナルを確認できた。

今後、INTPIX 間および SOFIST との位置相関・アライメント解析を実施する。INTPIX で飛跡再構成を行い、 $12 \mu\text{m}$ の微細ピクセルでの位置分解能を計測する。最後に INTPIX トラッカーにより再構成

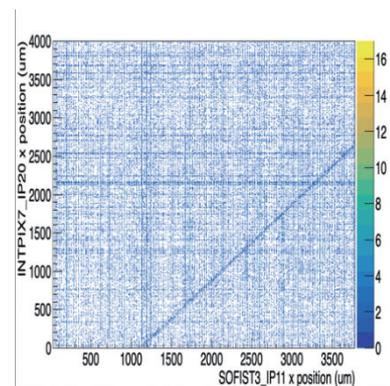


Fig. 12 INTPIX-SOFIST 間ヒット位置 Correlation map

された飛跡を SOFIST 上へ内挿し、SOFIST の位置分解能評価を実施する。

5. 結論

次世代加速実験用ピクセルセンサーの開発のため、SOI ピクセル検出器 :SOFIST, INTPIX を使用し、フェルミ国立研究所にてビーム試験を実施した。SOFIST の特長である位置・時間同時計測によるヒットイベント検出を検証し、また微細ピクセルを持つ INTPIX を使用した飛跡検出器の構築・飛跡再構成を実施した。本実験で SOI ピクセル検出器による高精度の荷電粒子飛跡検出が可能であることを検証し、また今後のピクセルセンサー開発へとフィードバックするためのデータを取得することができた。

謝辞

本研究は高エネルギー加速器科学研究奨励会の研究助成支援により実施されました。また、実験利用についてフェルミ国立加速器研究所テストビーム照射施設に感謝いたします。

参考文献

- [1] Arai, Y., et al. "Developments of SOI monolithic pixel detectors." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 623.1 (2010): 186-188.

- [2] Ono, Shun, et al. "Development of a monolithic pixel sensor based on SOI technology for the ILC vertex detector." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment (2018).
- [3] Miyoshi, Toshinobu, et al. "Advanced monolithic pixel sensors using SOI technology." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 824 (2016): 439-442.
- [4] Tsuru, Takeshi G., et al. "Kyoto's event driven x-ray astronomy SOI pixel sensor for the FORCE mission." High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy VIII. Vol. 10709. International Society for Optics and Photonics, 2018.

第14回核破碎材料技術に関する国際ワークショップIWSMT-14 報告

高エネルギー加速器研究機構
教物質構造科学研究所
牧村 俊助
& IWSMT14-LOC

1. はじめに

核破碎材料技術国際ワークショップ (International Workshop on Spallation Materials Technology, IWSMT) は、核破碎標的材料や加速器駆動核変換システム材料を主なテーマに隔年で欧州、米国、アジアが持ち回りで主催する国際会合です。1996年に米国オークリッジ研究所で開催された本国際会合も14回目を迎え、今年はJ-PARCセンターがホスト機関となり、11月11日～17日に福島県いわき市のいわき産業創造館等を会場として開催されました。日本をはじめ、ヨーロッパやロシア、アメリカ、中国の大学、研究機関、民間企業から総勢約60名の参加がありました。

陽子線の照射効果、液体金属による腐食・脆化、照射損傷 (DPA 等) の基礎研究、材料・機器の技術開発の最新成果、高エネルギー量子線の大強度化に伴う各標的システムの寿命評価に加えて、原発事故で残留する放射化物の物理特性の議論があり、さらに各機関の照射後試験の状況等報告がありました。

2. 各セッション報告

2.1. 基調講演

基調講演では、各施設の報告がなされた。12日には二川 (J-PARC、以下、敬称略) が J-PARC での各施設における標的運転状況の紹介、Y. Dai (PSI) によるスイス PSI-SINQ での照射試験の状況、B. Reimer (ORNL) によって米国オークリッジ研究所、高田 (J-PARC) によって J-PARC、Y. J. Lee (ESS) によって欧州 ESS 研究所、X. Jia (CAS) によって中国 CAS の中性子源の紹介がなされた。

引き続き池田 (KEK) によって KEK つくばキャンパスで運転された中性子源 KENS の歴史の紹介と、千葉 (東工大) によって核変換を念頭にした核分裂の理論研究の現状の紹介が行われた。近年、高エネルギー物理分野で発足した RaDIATE 国際協力に関する活動報告が P. Hurh (FNAL) によって、同様な課題を抱える核融合炉分野からタンゲステンの照射効果研究が長谷川 (東北大) と鈴木 (JAEA) によって紹介された。

13日には、A. Aerts (SCK-CEN) によってベルギー MYRRHA 核変換計画が紹介され、順調な計画は本コミュニティーを力強く支えると感じられた。

14日には C. Nelson (STFC-RAL) によって英国ラザフォード研究所におけるタンタルの疲労試験、T. Saleh (LANL) によって米国ロスアラモス研究所での効率的な照射後試験の新たな展開が紹介された。

15日には液体金属である鉛ビスマスによる腐食に関する研究が菊地 (茨城大) と A. Aerts (SCK-CEN) によって報告された。

16日には、日本での本国際会合を2000年から支えてきた川合 (KEK) によって福島第一原発で飛散したセシウムの除染や効率的な中性子遮へい体に関する講演が行われた。同じく福島でのセシウムの除染活動報告が山口 (茨城大) によって行われた。



Fig. 1 本国際会合での記念写真
海外からの参加者が約半数を占めた

2.2. 各セッション

12日には高い中性子生成効率が期待されるタングステンと、その基礎研究に関して紹介された。13日には、液体金属中での腐食研究、米国 SNS 大強度化計画や IFMIF 計画、理研でのウランビームと材料との相互作用に関する報告がなされた。引き続き材料に与える照射損傷の基礎研究に関する議論がなされた。夕方には1回目のポスターセッションが行われた。

14日には照射によるヘリウム生成が材料に与える影響、液体金属中の圧力波による損傷研究が行われ、午後には2回目のポスターセッションが行われた。

15日には核変換施設で展開されている研究、高エネルギー物理を展開する施設での研究、中性子源に関連する講演が行われた。



Fig. 2 本国際会合での様子
活発な議論がなされた

2.3. テクニカルツアー

福島第一原子力発電所とその近隣エリアの見学ツアーが開催された(16日)。住民ボランティアによるガイドツアーでは、周辺住民がいまだに津波や福島第一原発事故の影響で苦しんでいることを語ってくれました。また、東電による福島第一原子力発電所内のガイドツアーでは、汚染水や放射化廃棄物の課題の説明があった(17日)。

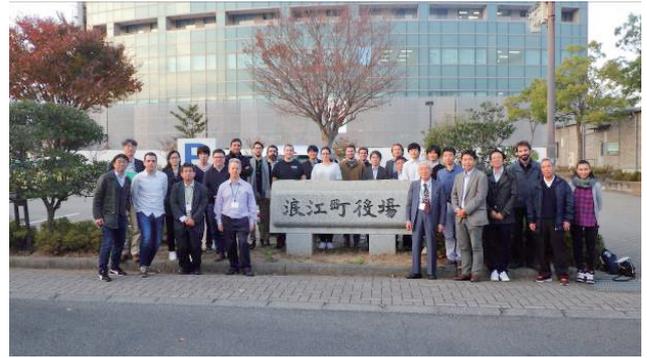


Fig. 3 テクニカルツアー
浪江町役場前にて

3. 国際組織委員による議論

今回の本国際会合は2020年に欧州 ESS 研究所が主催することが決定された。その頃には、運転に向け様々な加速器機器が設置されていると期待されている。

引き続き会議論文による議論が行われた。これまで Impact Factor の高い Journal of Nuclear Materials への投稿をメインとしてきたが、本国際会合の目的が幅広い分野に拡大しつつあるため、別の受け皿が必要となってきている。Impact Factor が比較的高い、Scientific Net と JPS Proceeding で紙媒体の冊子を配布する二案が議論されたが、より有意義な会議論文集となるように、また、著作権やページ数の制限などの課題をクリアするように前者の雑誌で調整を進めている。現在、議論を継続しつつ参加者の意向を考慮してその詳細を決定することとした。

レクチャー&コンサート「科学と音楽の饗宴2018」開催報告

1. 開催日時

平成30年12月9日（日）14時～

2. 会場

ノバホール（つくば市吾妻1-10-1）

3. プログラム

【第1部 講演】「宇宙のからくり、わかったこと、わからないこと」

講師：山内 正則（高エネルギー加速器研究機構長）

【第2部 コンサート】「バロック名曲選」

ヴァイオリン：天野 寿彦

チェンバロ：水永 牧子

～曲目～

G. F. ヘンデル作曲「ヴァイオリン・ソナタ」

G. F. ヘンデル作曲「調子のよい鍛冶屋」

D. カステッロ作曲「ソナタ」

A. コレッリ作曲「ラ・フォリア」

J. S. バッハ作曲「ゴールドベルク変奏曲」よりチェンバロソロ

J. S. バッハ作曲「ヴァイオリンとオブリガートチェンバロのためのソナタ」

4. 来場者数

747名



KEKのウェブサイトの記事が掲載されております
<https://www.kek.jp/ja/newsroom/2018/12/21/1300/>

公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 奨励賞（西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞）受賞者について （平成 30 年度）

平成 30 年度の公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 奨励賞（西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞）は、平成 30 年 11 月 7 日に開催された選考委員会及び平成 30 年 12 月 4 日に開催された理事会において審議の結果、受賞者は次の通り決定いたしました。

なお、受賞者に対する奨励賞（西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞）授与式は、平成 31 年 2 月 15 日（金）14 時 30 分より、アルカディア市ヶ谷（私学会館）において開催されました。

1. 西川賞

- 1) 受賞者氏名 ほっち ひであき 發知 英明（46 歳）
- 2) 所属機関 日本原子力研究開発機構 研究主幹
- 3) 研究テーマ 「J-PARC RCS における大強度陽子ビームのビーム力学的研究とビームロスの低減」
- 4) 受賞理由

J-PARC 3GeV シンクロトロン（以下、Rapid-Cycling Synchrotron, RCS と呼ぶ）のような大強度陽子加速器では、ビームロスが出力ビーム強度を制限する。

大強度加速器におけるビームロスは、複数の効果が絡み合った複雑な発生機構を持つため、この現象を理解し低減を果たすには、より高度なビームの運動学的検討が必須となる。

發知氏は、現在考えられるビームロスの要因の全てを組み込んだ RCS の高度な計算モデルの構築に取り組み成功した。

空間電荷効果や主電磁石等の各種誤差磁場の影響、磁場リプルによる軌道変動と真空チェンバー上の影像電荷の影響が結合して生じる共鳴現象等、磁場測定やビーム試験で得た結果をひとつひとつ計算モデルに組み込み精度の向上を図った。

特にビーム軌道変動と影像電荷が関与する共鳴現象は、大強度ビーム特有の新たなロス発生のメカニズムとして、發知氏の研究で初めて明らかにしたものと評価される。

このシミュレーションコードを活用し、位相空間の広い範囲に一様に粒子を分布させてビームの空間電荷効果を緩和させるペイント入射法の最適化を計算モデル上で検討した。

粒子をペイントする経路や範囲を独自のアプローチで最適化し、さらに、誤差磁場由来の共鳴現象を補正する手法などを組み合わせることで、効果的なペイント入射を実現し、ビームロスを大幅に低減させた。

さらに、RCS を周回するビームの軌道変動と真空チャンバーに誘起される影像電荷との相互作用によって生じる共鳴現象が、ロスの原因となることを見出した。

これは、大強度ビーム特有の新たなロス発生メカニズムとして評価される。

これら計算機上で評価した結果は、実際に発生したビームロスの時間構造や絶対量を、従来と比べて一桁高い精度で再現できたことは特筆に値する。

このように、發知氏が行った一連の研究は、ビームの大強度化を効率的に推進する原動力となり、メガワットクラスのシンクロトロンで世界一とも言える約0.2%という極めて低いビームロスで設計強度1MWの連続ビーム加速を実現させるなど、RCSの所期目標達成に多大な貢献を果たした。

精度の高い数値シミュレーションを実現したこと、また、それを用いたビーム力学的研究により、極限まで低減されたビームロスで1MW加速を達成したことなど、J-PARC RCSにおける大強度陽子ビームの力学的研究とビームロス低減の成果は、Fermilab等の将来計画である大強度陽子RCS設計の参考とされるなど、加速器科学の発展に果たした役割は大きいと認め、西川賞に選考する。



西川賞 授与式・成果発表の様子

2. 熊谷賞

- 1) 受賞者氏名 よしざわ よしひと 吉沢 克仁 (62 歳)
- 2) 所属機関 日立金属 (株) 冶金研究所 (旧)
- 3) 研究テーマ 「高周波用磁性材料の開発による加速器科学への貢献」
- 4) 受賞理由
吉沢克仁氏は、1981 年から 2015 年まで日立金属 (株) に在籍し、長年にわたって磁性材料の開発などに従事してきた。
吉沢氏はファインメットと呼ばれる Fe 系ナノ結晶軟磁性材料を開発した。この材料は従来のフェライトやアモルファス合金よりも優れた高周波特性を有することからトランスなど様々な製品に応用されるようになった。
吉沢氏を第一著者とするファインメットに関する論文 Journal of Applied Physics 64, 6044 (1988) は、2600 を超える引用をされていることからその有用性がわかる。
陽子シンクロトロンではビーム加速に伴い、加速周波数も変化させる必要がある、従来の軟磁性材料では、高周波磁気特性が十分ではなく、特に J-PARC の大強度陽子加速を実現するためには高い透磁率を有する新しい材料が必要であった。
吉沢氏の開発したファインメットを加速空洞の材料として利用することで、コンパクトで性能の高い空洞を開発することができ、J-PARC シンクロトロンにおける 1MW の陽子ビーム加速が成し遂げられた。
ファインメットの存在無くしては、大強度陽子加速は不可能であったと言える。
こうして開発された加速空洞はその後、CERN でも利用されるようになっていく。
以上のように、吉沢氏は企業における磁性材料開発で、加速器科学にとって無くてはならない貢献をされてきており、まさに熊谷賞の趣旨に合致すると判断する。



熊谷賞 授与式・成果発表の様子



賞授与式 集合写真

J-PARC RCS における大強度陽子ビームの ビーム力学的研究とビームロスの低減

日本原子力研究開発機構
J-PARC センター
發知 英明

1. 研究背景

J-PARC RCS は、1 MW という世界最高クラスのビーム出力を目指す大強度陽子シンクロトロンである [1, 2]。こうした大強度加速器で共通の課題となるのがビーム損失である。ビーム損失により生じる機器の放射化がビーム出力を制限する最大の要因となるため、その低減がビームの大出力化を実現するうえで最重要の研究課題となる。

ビーム損失の原因は多様に存在する。RCS のような大強度かつ大口径の電磁石群からなる加速器では、ビーム粒子が互いに反発しあうことで生じる空間電荷効果や加速器内に内在する各種誤差磁場（非線形磁場成分など）によって現れる様々な共鳴現象がビーム損失の第一の原因となる。また、こうした大強度加速器では、一般に、フォイルを使った荷電変換入射を採用しているため、そのフォイル上での散乱現象もビーム損失の原因になる。大強度加速器で実際に発生するビーム損失は、一般に複数の効果が絡み合った複雑な発生機構を持つため、その解決を果たすには、より高度なビームの運動学的検討が必須で、実際のビーム試験と共に、計算機上での数値シミュレーションが重大な役割を果たすことになる。

高精度の数値シミュレーションを実現するには、ビームの空間電荷効果を正しくモデル化することやビームの入射過程など実際のビーム操作を計算コードへ組み込むことが必要条件となるが、実際に発生しているビーム損失をより精度よく計算機上で再現するには、加速器固有の各種誤差磁場をしっかりと把握し、それらを計算コードに取り入れることが極めて重要になる。我々は、RCS の電磁石群の磁場測定結果を解析して磁場の個体

差や非線形磁場成分などビーム損失の原因になる誤差磁場の定量評価を行った。また、入射バンブ電磁石系が誘起するリップル磁場や出射ライン電磁石からの漏れ磁場など、実測の難しい誤差磁場については、ビームを使った測定手法を考案して、それらの定量評価を実現させた。RCS 固有のそうした各種誤差磁場を計算コードに組み込んでビーム損失の計算精度の向上を図ると同時に、その計算コードでの検討結果を実際のビーム運転に反映させることでビーム損失の低減を着実に実現させていった。

本報告では、実際に RCS におけるビーム増強過程で我々が直面したビーム損失について、その発生メカニズムや解決手段を報告すると共に、その際に数値シミュレーション（コード名：Simpsons [3, 4]）が果たした役割について具体例を挙げて紹介する。

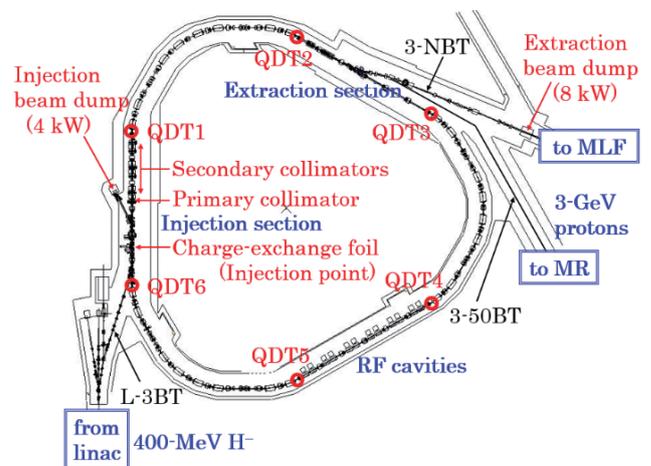


Fig. 1 J-PARC RCS の全体像。

2. J-PARC RCS の概要

本題に入る前に、RCS の概要と現在のビーム運転の状況を簡潔に述べておく。

Fig. 1 に J-PARC RCS の全体像を示す。RCS は、周長 348.333 m、3 回対称のラティス構造からなる陽子シンクロトロンで、リニアックから供給される 400 MeV の負水素イオンを、入射点におかれた炭素フォイルを使って陽子へと荷電変換し

ながら多重入射（307 ターン）し、その陽子を 25 Hz という速い繰り返しで 3 GeV まで加速する。RCS から出射された 25 Hz ビームパルスの殆どは、物質生命科学実験施設（MLF）へ供給され、中性子やミュオン生成に用いられる。また、数秒毎に 4 発のパルスが後段のメインリング（MR）へ入射され、そこで 30 GeV まで加速されたビームがハドロン実験施設（HD）とニュートリノ実験施設（NU）へと供給される。

RCS は、2008 年 12 月に 4 kW の出力で利用運転を開始した。以来、ハードウェア系の増強やビーム調整の進展などに伴って着実に加速器性能を向上させている。

2013 年と 2014 年の夏季メンテナンス期間にリニアックの増強作業が実施され、RCS への入射エネルギー（181 MeV から 400 MeV へ）と入射ピーク電流（30 mA から 50 mA へ）が共に設計値へと引きあげられた。RCS は、その一連の作業終了直後の 2014 年 10 月より 1 MW のビーム試験を開始した。以来、利用運転の合間を縫って、1 MW 運転時のビーム損失低減を目指した大強度ビーム試験を精力的に展開し、2018 年 7 月には、 $\sim 0.2\%$ という極めて少ないビーム損失で 25 Hz での 1 MW 連続運転を成功させた [4]。MLF の中性子生成標的の不具合が原因で、現在、利用運転時のビーム出力は 500 kW に制限されているが、加速器自体の調整は順調に進展している。

次章以降では、RCS のビーム増強過程で問題になったビーム損失の発生メカニズムやその低減に向けた我々の取り組みを幾つか紹介する。

3. ペイント入射の導入

ビーム増強を実現する上で、最大の障壁となるのがビームの大強度化と共に顕在化する空間電荷由来のビーム損失である。RCS では、空間電荷効果を軽減するために、入射ビームを横方向および縦方向の位相空間上にできる限り広く一様に分布させてビームの空間電荷密度を低減させるペイント入射と呼ばれる手法を採用している。

横方向のペイント入射 [5] では、ビーム入射中

に、入射ビームと周回ビームの位置や傾きの相対関係を時間的に変化させる。この操作により、ベータatron 振動の振幅を徐々に拡幅して、位相空間上の必要な範囲（ペイント範囲）にビーム粒子を一様に分布させる。Fig. 2 の上段に示される通り、横方向ペイント入射の導入により、横方向の空間電荷密度が大幅に低減されているのがわかる。一方の縦方向ペイント入射 [6, 7] も原理は同様で、ビーム入射中に、RF バケツに対して運動量オフセットを付加することで振幅の大きいシンクロトロン振動を励起させて縦方向の空間電荷密度の平坦化を図る。この際、RF 基本波の 80% の振幅を持つ 2 倍高調波電圧を重畳して RF ポテンシャルの形状を平坦化させると共に、その 2 倍高調波電圧の位相をスイープさせて RF ポテンシャルの形状を入射中に変化させるなどの追加措置をとることで、より効果的な縦方向分布の制御を実現させている。Fig. 2 の下段に示すように、縦方向ペイント入射の導入により、縦方向のビーム分布が効果的に平坦化されているのがわかる。

ペイント入射は、空間電荷効果を緩和させる直

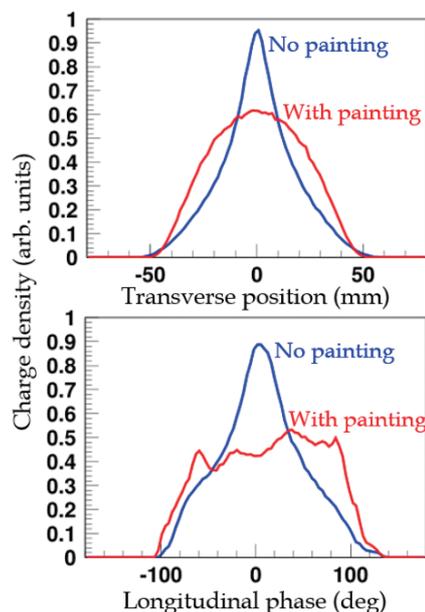


Fig. 2 上段：横方向ペイントの有（赤）・無（青）による横方向ビーム分布の比較。下段：縦方向ペイントの有（赤）・無（青）による縦方向ビーム分布の比較。何れも入射終了直後の分布。

接的且つ強力な手段であるが、一方で、横方向・縦方向共に振幅の大きい粒子が増えるため、そうした粒子の非線形な振る舞いなどに起因した別のビーム損失を誘発する原因にもなり得る。ペイント入射を効果的に機能させるには、ビーム振動のより安定なチューン（ベータトロン振動数）を選定することが必須となる。Fig. 3 に、RCS の各種誤差磁場を考慮して算出したチューンダイアグラムを示す。図中の白い線状の領域は、各種誤差磁場に起因した共鳴現象が発生する帯域で、チューンがその領域にかかると、ビーム振動が不安定になる。そうした誤差磁場由来の共鳴線を避けると共に、空間電荷自身が励起する共鳴や空間電荷による各粒子のチューンの広がりなどを考察して、より安定にビーム分布を拡幅できる最適な動作点を探索するなど、ビーム試験に先行して、計算機上でペイント入射の最適化を図った。Fig. 4 にペイント入射によるビーム損失低減を実験的に検証した結果を示す。黒点線でシミュレーション結果が描かれているが、概ね期待通りに、ビーム損失が低減されているのがわかる。

上記のビーム試験は、RCS の入射エネルギーが設計値である 400 MeV へ増強される前の 2012 年 11 月に実施された。当時の入射エネルギーは 181 MeV、ビーム強度は 540 kW 相当であった。空間電荷効果は、ビーム自身で作る磁場からの収束作用で弱められるため、エネルギーが低いほど顕著となる。この試験時のビーム強度は設計値の半分程度であったが、入射エネルギーが 181 MeV と低かったため、その入射領域の空間電荷効果は、1 MW 設計運転の際の入射領域（400 MeV）での強さの約 1.6 倍に相当する。この設計値を大きく上回る強力な空間電荷効果により、当初は 30% 程度の大きなビーム損失が発生したが、ペイント入射により、そのビーム損失を 2% 程度にまで大幅に低減することに成功した [4]。これは、入射エネルギー増強後の 1 MW 出力の実現に目途をつける結果であると共に、設計出力を越える更なる大強度化への道を拓く大きな成果と位置づけられる。

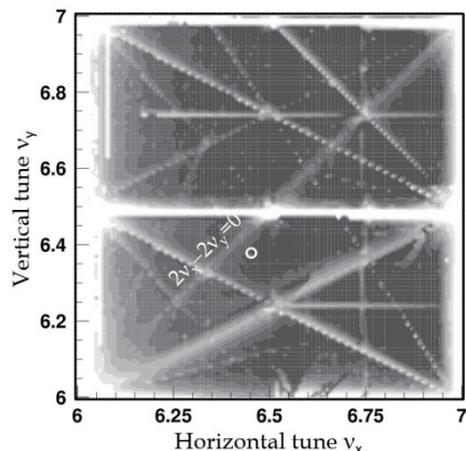


Fig. 3 チューンダイアグラム。図中の○がRCSの動作点。

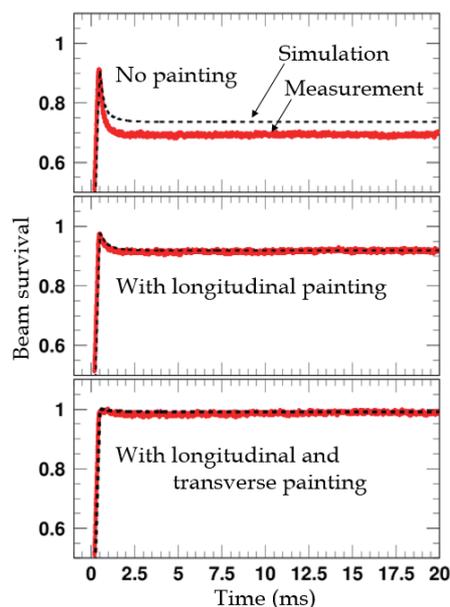


Fig. 4 ペイント入射の有・無によるビーム損失の比較。黒点線は数値シミュレーション結果。

4. 像電荷が励起する共鳴現象

前章で述べた通り、ペイント入射の導入によりビーム損失を大幅低減させることに成功したが、依然、2% 程度の有意なビーム損失が残っている状況にあった。Fig. 5 の上段に、そのビーム損失の時間構造を示す。特徴的な二瘤構造を持っているのが見て取れる。一つ目の構造は、入射中のフォイル散乱に起因した単純なビーム損失であるが、2つ目の構造については、数値シミュレーションによる検討から、入射バンプ電磁石系が誘起する

100 kHzのリプル磁場 [8]に起因した軌道変動(Fig. 6) が発生源になっていることが明らかにされた。但し、そのビーム損失は、単純なビーム重心振動のみでは発生せず、その発生メカニズムを理解するには、真空チェンバー上の像電荷の影響を考慮しなければならない。

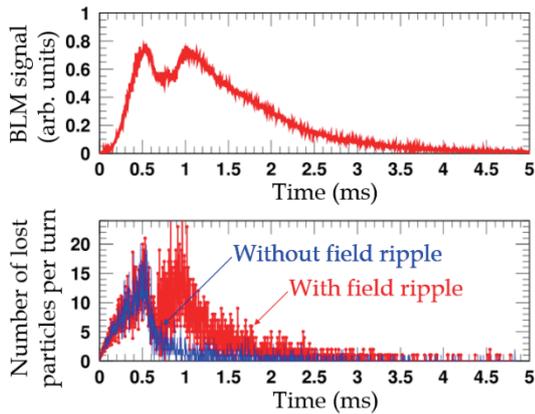


Fig. 5 上段：ビームロスモニタ (BLM) で観測したビーム損失の時間構造。下段：数値シミュレーション結果。100 kHzのリプル磁場の有 (赤)・無 (青) によるビーム損失の比較。

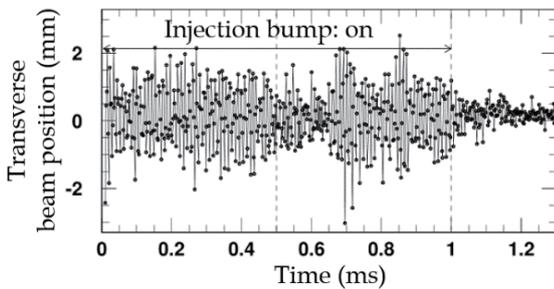


Fig. 6 入射バンプ電磁石系が誘起する 100 kHzのリプル磁場によって発生したビーム振動。

ビームの重心系において、像電荷は各粒子に発散力を及ぼすが、その強さがビームの重心位置の2乗に比例するため、ビーム重心が振動すると、その振動の2倍の周波数でビーム粒子への発散作用が変化することになる。この周期的に変化する発散力は、その周波数に相当するチューンの帯域 (2ν の小数部が 0.4) に2次共鳴を励起する。Fig. 7 に示されるように、その共鳴がエミッタンス増大を引き起こしていることが数値シミュレ-

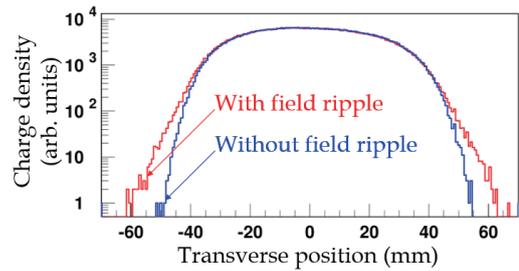


Fig. 7 数値シミュレーション結果。100 kHzのリプル磁場の有 (赤)・無 (青) による入射終了直後の横方向ビーム分布の比較。

ーションで突き止められた。また、Fig. 5 の下段に示されるように、観測された特徴的なビーム損失の状況も計算機上で上手く再現された。このビーム重心振動と像電荷の組み合わせで引き起こされる共鳴現象は、これまでは注目されずにいたが、像電荷の効果が顕著となる RCS のような MW 級の大強度加速器では、有意な効果になり得ることがこの検討で明らかにされた [4]。

この結果を受けて、リプルノイズを大幅に低減できる新たな機構を持った入射バンプ電磁石電源の開発が行われ [9]、入射ビームの増強に合わせて2013年夏に新電源が導入された。現在は、リプルノイズは大幅に低減され、上記のビーム損失は完全に消滅している。

5. エミッタンス交換がペイント入射に与える影響：横方向ペイント入射の最適化

RCS は2014年10月から設計出力 1 MW のビーム調整を開始した。先述したペイント入射の導入やリプル磁場の低減、また、2013年の入射エネルギーの増強による空間電荷効果の更なる低減などにより、1 MW 運転時のビーム損失は、1%程度にまで低減された。残っているビーム損失の大部分は入射中のフォイル散乱起源のもので、その他のビーム損失についてはほぼ最小化された。

フォイル散乱起源のビーム損失の大部分は、シールドされたコリメータ領域で回収されるが、大角度で散乱された一部の粒子がフォイル直下で損失して入射機器の放射化の原因になっていたため、更なるビーム損失の低減が強く求められてい

た。それを実現するには、入射中のフォイルヒット回数を低減する必要があるが、横方向のペイント範囲を更に拡幅できれば、周回ビームをより早くフォイルから遠ざけるけることが可能となるので、フォイルヒット回数を大幅に減らすことができる。最初に導入した横方向のペイント範囲は 100π mm mrad であった。この値は、空間電荷由来のビーム損失を最小化する上で十分であるが、それを2倍に拡幅できれば、フォイルヒット回数を1/3程度にまで低減できる。

但し、ペイント範囲の拡幅はそう簡単には実現できなかった。ペイント範囲を 100π mm mrad 以上に拡幅すると、別種のビーム損失が付加的に発生してしまうという状況に陥ってしまったわけであるが、このビーム損失についても、数値シミュレーションがその解決の手がかりを与えてくれた。

Fig. 8 の上段に1 MW 運転時のビーム損失の測定結果を示す。ペイント範囲を2倍に拡幅したことで、フォイル散乱由来のビーム損失は低減されたが、図中の赤色で示されるように、1.8% という別種のビーム損失が発生してしまった。Fig. 8 の下段に数値シミュレーション結果を示す。図中の赤色で示されるように、ビーム損失の観測結果は計算機上で上手く再現されたので、それを使ってビーム損失の発生メカニズムを議論した。その結果、そのビーム損失には、動作点近傍に存在する $2\nu_x - 2\nu_y = 0$ 共鳴 (Fig. 2) が深く関わっていることが判明した。その共鳴は、ビーム自身が作る非線形な空間電荷場によって励起され、x 平面と y 平面の間でエミッタンス交換を引き起こす。横方向のペイント入射中に、エミッタンス交換によって有意なエミッタンス増大が発生していたこと、また、横方向のペイント入射がエミッタンス交換の影響をより強く受けてしまう方式のものであったことなどが明らかにされた。

Fig. 9 の上段に x 方向と y 方向のアクションの2次元プロットを示す。図中の水色の矢印がペイント入射の経路を示す。これは、我々が用いてきたペイント入射方法で Correlated painting と呼ば

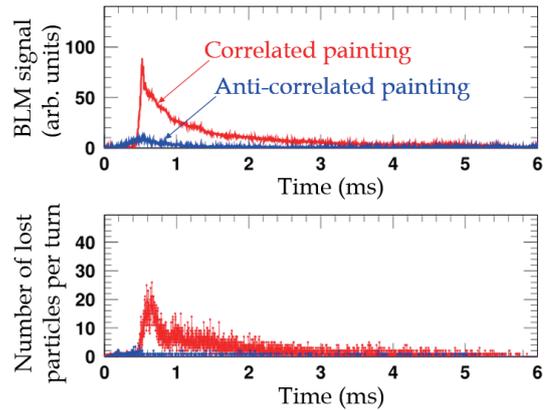


Fig. 8 上段：ビームロスモニタ (BLM) で観測した1 MW 運転時のビーム損失の時間構造。下段：数値シミュレーション結果。

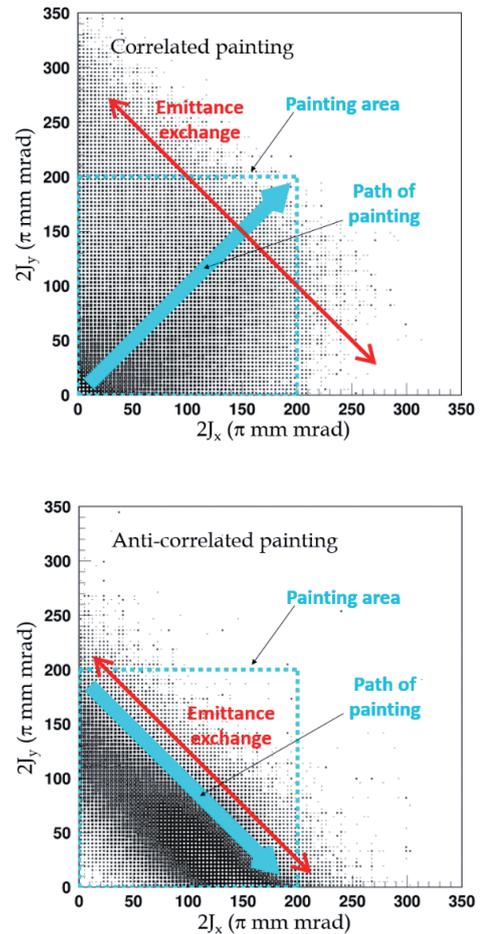


Fig. 9 数値シミュレーション結果。x 方向と y 方向のアクションの2次元プロット。上段：Correlated painting の場合。下段：Anti-correlated painting の場合。何れも入射終了直後の様子。

れる方式である。この手法では、水色の矢印に沿って、x方向・y方向共に、入射ビームを周回ビーム楕円の中心から外側へと分布させてゆく。Correlated paintingの場合、ペイントの経路に対して直交する方向にエミッタンス交換が発生するため、エミッタンス交換が生ずるとそれがそのままエミッタンスの増大につながってしまう。図中の水色の点線がペイント範囲を示しているが、エミッタンス交換によって、多数の粒子がペイント範囲の外に押し出されてしまっているのが見て取れる。

こうした状況を回避するために導入したのが Anti-correlated painting である。Fig. 9 の下段に示されるように、Anti-correlated painting では、y方向のペイント経路が逆向きになる。つまり、x方向は中心から外側へ、y方向は外側から中心へと入射ビームを分布させてゆく。この場合は、ペイントの方向とエミッタンス交換の方向が同じになるので、エミッタンス交換が生じて、それが、直接、エミッタンス増大につながることはない。Fig. 8 の青色で示される通り、Anti-correlated painting の導入によって、数値シミュレーションが予想した通りに、ビーム損失を抑制することができた [4]。

横方向のペイント方式を Anti-correlated painting に切り替えることで、付加的なビーム損失を抑えつつ、ペイント範囲を2倍に拡幅することに成功した。ペイント範囲の拡幅以前の1粒子あたりの平均フォイルヒット回数は41回であったが、ペイント範囲を2倍に拡幅したことで15回、更に、フォイルのサイズや位置を再調整することで7回と、1/6程度にまでヒット回数を減らすことができた。これにより、荷電変換フォイル上での大角度散乱に起因したビーム損失成分は、フォイルヒット回数の減少と同じ比率で大幅に低減された。

6. まとめ

ビーム損失を引き起こす様々な効果を取り込んだ RCS の計算モデルを構築し、数値シミュレーションと実験を組み合わせたアプローチで課題の

克服に取り組んだ。計算と実験の一致は良好で、計算機上で、実際に発生するビーム損失の時間構造や絶対量を従来と比べて格段に高い精度で再現できたことは画期的なことである。数値シミュレーションで生成されたビーム損失粒子の挙動を詳細に解析することで、実際の加速器で起こっている現象を十分な確度で理解することが可能になっただけでなく、それを低減するためのビーム補正手法を確立するのに多大な役割を果たした。また、その数値シミュレーションを活用することで、大強度陽子ビーム特有の共鳴現象やエミッタンス交換が発生する状況下での Anti-correlated painting の優位性など、新たな知見も獲得することができた。

本報告書で取り上げた内容は、我々の取り組みの一部に過ぎないが、こうした一連の研究により、2018年7月には、 $\sim 0.2\%$ という極限まで低減されたビーム損失で設計出力1 MWの連続ビーム加速を実現することができた。RCSで許容可能なビーム損失は3%（コリメータの許容値）であるので、その1/10以下にまでビーム損失を低減できたことになる。この成功は、機器の放射化の抑制に大きく貢献すると共に、設計出力1 MWを超える更なる大強度ビーム加速の可能性をも拓く大きな成果と言える。

7. 謝辞

2007年9月以来、RCSのビームコミッショニングは、RCSグループを中心に、Linacグループ、3NBTグループ、MRグループや運転業務を委託された企業の方々など、多くの方々の支援を受けて行われています。

特に、RCSビームコミッショニングチームのコアメンバーであるサハ・プラナブ博士、原田寛之博士、菖蒲田義博博士、田村文彦博士、吉本政弘博士は、ビーム試験中に寝食・苦楽を共にした戦友で、皆様の協力・助言がなければこうした成果は上げられなかったと思っています。心より感謝申し上げます。

計算コードの開発においては、町田慎二博士に

大変お世話になりました。我々の使っているコードは、元々、町田氏が開発したもので、それをベースに RCS に特化したコードへと改良を重ねてきたわけですが、その間、多くの助言や支援を頂きました。深く感謝申し上げます。

また、長谷川和男博士、金正倫計博士、林直樹博士、山本風海博士、小関忠教授には、ビームコミッショニングを遂行するにあたり親身に支援頂くと共に、ビーム試験の方向性や運営面について多くの助言を頂きました。深く感謝申し上げます。

最後に、入江吉郎教授、高崎栄一教授、山崎良成教授、故安東愛之輔教授、横溝英明博士、神谷幸秀教授、生出勝宣教授の諸先生方には、ビームコミッショニング開始当初から厳しくも親身な助言や支援を頂いてきました。深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] High-intensity Proton Accelerator Project Team, J-PARC, JAERI Report No. JAERI-Tech 2003-044.
- [2] H. Hotchi *et al.*, Phys. Rev. ST Accel. Beams **12**, 040402 (2009).
- [3] S. Machida *et al.*, AIP Conf. Proc. **448**, 73 (1998).
- [4] H. Hotchi *et al.*, Phys. Rev. Accel. Beams **20**, 060402 (2017).
- [5] H. Hotchi *et al.*, Phys. Rev. ST Accel. Beams **15**, 040402 (2012).
- [6] F. Tamura *et al.*, Phys. Rev. ST Accel. Beams **12**, 041001 (2009).
- [7] M. Yamamoto *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A **621**, 15 (2010).
- [8] Y. Shobuda *et al.*, Phys. Rev. ST Accel. Beams **12**, 032401 (2009).
- [9] T. Takayanagi *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. **24**, 0503504 (2014).

高周波用磁性材料の開発

元 日立金属株式会社
現 高エネルギー加速器研究機構
吉沢 克仁

1. はじめに

このたびは、熊谷賞という誠に名誉ある賞をいただきまして大変身に余る光栄に存じます。選考委員の方々ならびに奨励会関係者、ご推薦頂いた皆様に厚く御礼申し上げます。

本稿では、このたび受賞の対象となりました高周波用磁性材料（ナノ結晶軟磁性材料）の開発の経緯、開発内容について概説します。

2. 高周波用磁性材料の開発

2.1. 開発の背景・内容

軟磁性材料（ソフト磁性材料）は、トランス、モータリアクトルなどの磁心材料として、エネルギー・エレクトロニクス分野で重要な役割を果たしており、電磁鋼板、パーマロイ、ソフトフェライト、アモルファス軟磁性合金など種々の軟磁性材料が開発されてきました。高周波用軟磁性材料としては、ソフトフェライトやアモルファス軟磁性合金材料が知られています。

近年は、各種装置・電子機器の小型・軽量化、効率向上や高周波化などの要求が強くなっており、磁性部品の小型化、低損失化が必要となっています。磁性部品を小型化するためには、高飽和磁束密度（高 B_s ）で低損失の軟磁性材料を使用し、駆動周波数を高くすることが有効です。また、低損失の材料を使用することは、装置・機器の効率向上にもつながります。しかし、従来の高周波用軟磁性材料ソフトフェライトは、 B_s が低い、特性の温度変化が大きいなどの欠点があります。Co 基アモルファス合金材料は高透磁率・低磁心損失材料で優れた軟磁気特性を示しますが、Fe 基材料に比べ B_s が低く、Fe に比べ非常に高価な Co を使用するため材料価格が非常に高くなるという

問題があります。一方、Fe 基アモルファス合金は、 B_s は高いが、Co 基アモルファス合金に比べて磁心損失が大きく、高周波磁気特性が劣るなどの課題があります。このように、従来の材料では必ずしも満足できる特性は得られていませんでした。以上の背景から、日立金属（株）において、優れた磁気特性を示す高周波用 Fe 基軟磁性材料の開発に取り組みました。

2.2. 開発内容

1986 年に、微量な Cu や Nb などを複合添加した Fe-Si-B アモルファス合金を加熱し結晶化のための熱処理を行うと、アモルファスマトリックス中に粒径 10 nm 程度のナノスケール結晶粒が均一に分散した超微細結晶粒組織からなる合金が得られ、この合金が優れた軟磁性を示すことを見出しました。この材料は、優れた軟磁性を示し、結晶粒が非常に微細な金属材料であることから、日立金属（株）ではこの材料の商品名をファインメットと命名し日立金属（株）の登録商標としています。この材料は、一般にはナノ結晶軟磁性材料と呼ばれています。1988 年にナノ結晶軟磁性材料ファインメットを世界で初めて開発したことを公表し¹⁾、製造販売を開始しました。

以下に、開発したナノ結晶軟磁性材料について概説します。

2.2.1. ナノ結晶軟磁性材料の製法とマイクロ組織

Fig. 1 にナノ結晶軟磁性材料ファインメットの製造プロセスを示す。ファインメットは、超急冷法（単ロール法）により、一旦 Cu と Nb などを微量添加した Fe-Si-B 系アモルファス合金薄帯を作製後、これを熱処理し結晶化させるプロセスにより製造されます。実際の製品では、熱処理前にトロイダルコア（巻磁心）などの製品形状にした後に、結晶化のための熱処理を行います。従来のアモルファス軟磁性材料の場合は、結晶化すると軟磁気特性が著しく劣下するため、結晶化を避ける条件で熱処理を行うのが常識でしたが、ファインメットの場合は従来のアモルファス軟磁性材料

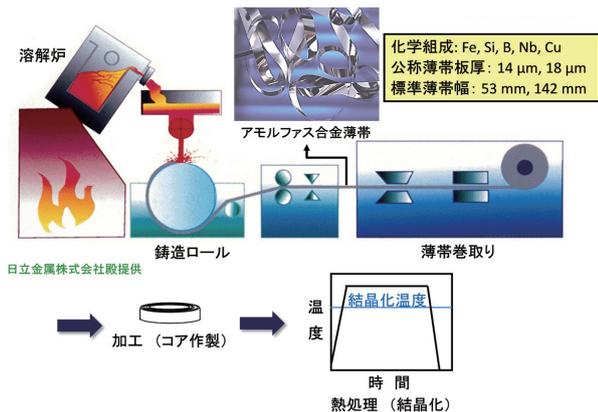


Fig. 1 ナノ結晶軟磁性材料ファインメットの製造プロセス

の熱処理温度よりも高い温度で熱処理し、結晶化させることにより軟磁気特性を著しく向上させています。

ファインメットは、フェライトよりも抵抗率が低い金属材料ですが、板厚が 14 μm から 18 μm 程度であり、従来の結晶質材料に比べて薄く、金属材料としては抵抗率が高いため、渦電流損失が低くなり、高周波領域において低い磁心損失を示します。

Fig. 2 に透過電子顕微鏡により観察したファインメットのマイクロ組織を示す。ファインメットは、平均粒径約 10 nm のナノスケールの Fe-Si 結晶粒からなる超微細結晶粒組織であり、従来の結晶質軟磁性材料やアモルファス軟磁性材料とはまったく異なるマイクロ組織を有しています。

Fig. 3 にファインメット組成の Fe-Si-B-Nb-Cu 系アモルファス合金の結晶化過程の模式図を示す。Fe と Cu は分離する傾向があるため、熱処理により Cu クラスターリングが起こり、生成した Cu リッチ粒が bcc Fe-Si 結晶粒の不均一結晶核生成サイトとして振る舞い、結晶化の進行に伴い bcc Fe-Si 結晶粒の周囲の残留アモルファスマトリックス中の Nb と B の濃度が増加により、残留アモルファス相が安定化し結晶粒成長が抑制されるため、ファインメットの均一微細なナノ結晶粒組織が得られることが明らかにされています²⁾。

Fig. 4 に磁性材料の保磁力 H_c と結晶粒径 D の関係を示す。従来の結晶質軟磁性材料の結晶粒径

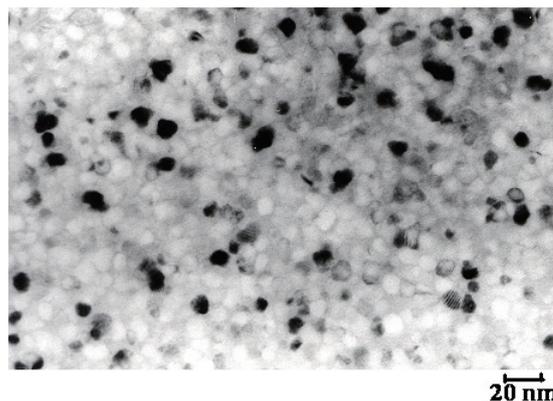


Fig. 2 透過電子顕微鏡により観察したファインメットのマイクロ組織¹⁾

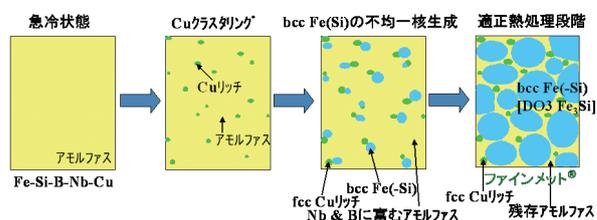


Fig. 3 ファインメット組成の Fe-Si-B-Nb-Cu 系アモルファス合金の結晶化過程の模式図²⁾

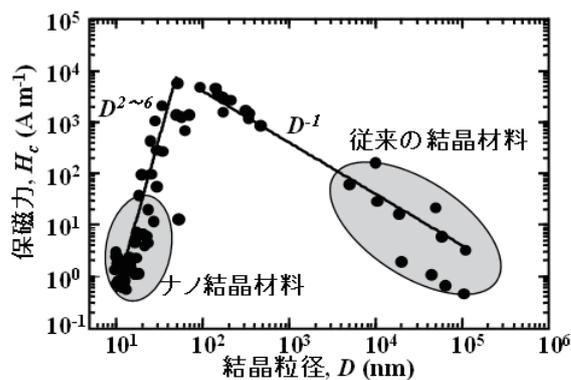


Fig. 4 磁性材料の保磁力 H_c と結晶粒径 D の関係³⁾

はミクロンオーダー以上であり、従来の結晶質軟磁性材料では、結晶粒径 D が大きくなるほど H_c が低減し軟磁気特性が向上するので、熱処理により結晶粒を成長させて H_c を低減させます。しかし、ナノスケールまで結晶粒サイズを減少させると、 H_c の粒径依存性が従来の結晶質材料と逆になり、結晶粒径が小さくなるほど H_c が低減され

ます。ナノスケールまで結晶粒サイズが減少すると H_c が減少する理由は、各結晶粒の結晶磁気異方性が結晶粒間の相互作用により平均化され、実効的な磁気異方性が減少するためであると解釈されています³⁾。

2.2.2. ナノ結晶軟磁性材料の磁気特性

Fig. 5 に軟磁性材料の磁心損失 P_{cv} と飽和磁束密度 B_s の関係の概略図を示す。ナノ結晶軟磁性材料ファインメットは、高周波用材料として使用されているソフトフェライトの B_s の2倍以上の高 B_s と低 P_{cv} を示し、従来の材料では困難であった、高飽和磁束密度と低磁心損失の両立が可能で、ナノ結晶軟磁性材料が優れている点として、磁気特性の温度依存性が小さく信頼性が高いこと、磁歪が小さく応力による磁気特性の劣化が小さいこと、磁場中熱処理により多様な $B-H$ ループ形状を実現できことなどが挙げられます。

Fig. 6 に磁場中熱処理によるナノ結晶軟磁性材料の磁心損失の磁束密度の波高値 B_m 依存性と $B-H$ ループ形状の違いを示す。熱処理により磁心損失の B_m 依存性が変化し、特に磁路と垂直方向の磁場中で熱処理することにより高周波の磁心損失を低減することができます。

以上述べてきたように、ナノ結晶軟磁性材料は、その優れた磁気特性から種々の用途に使用されています。以下に、ナノ結晶軟磁性材料の応用について触れたいと思います。

3. 応用

3.1. ナノ結晶軟磁性材料の応用

Fig. 7 にナノ結晶軟磁性材料ファインメットの応用例を示す。ファインメットは、高透磁率を示すことから、商用周波数で使用されるスマートメータ（電力量計）のカレントトランスコアや磁気シールドなどにも使用されていますが、前述のように高周波特性に優れているため、高周波の応用が主流となっています⁴⁾。特にファインメットはソフトフェライトよりも B_s が高く、磁気特性の温度変化も小さいので、高エネルギー密度の用途

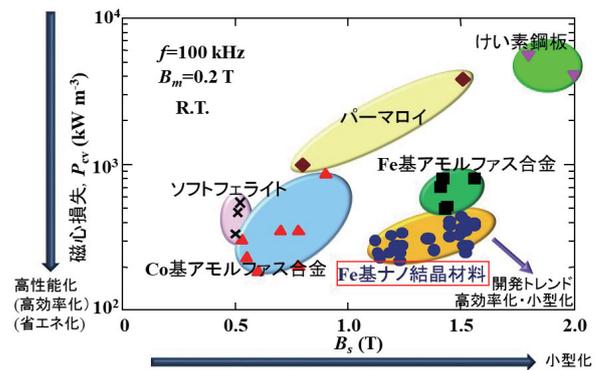


Fig. 5 軟磁性材料の保磁力 H_c と結晶粒径 D の関係

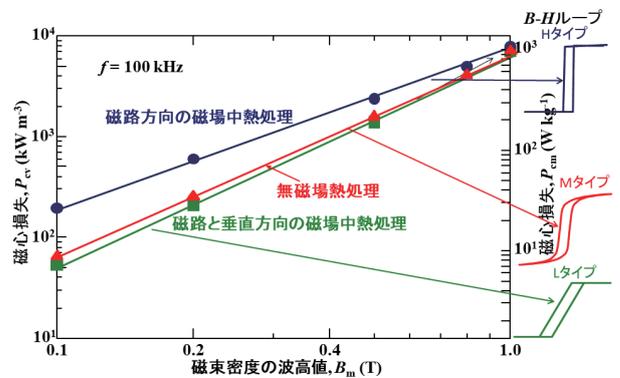


Fig. 6 磁場中熱処理によるナノ結晶軟磁性材料の磁心損失の磁束密度の波高値 B_m 依存性と $B-H$ ループ形状の違い



Fig. 7 ナノ結晶軟磁性材料ファインメットの応用例

に適しています。各種インバータや電源用のノイズ対策部品であるコモンモードチョークコイル、高周波変圧器（トランス）、レーザー電源などに使用される磁気スイッチコアや加速器用コアなどに

実用化されています。

3.2. ナノ結晶軟磁性材料の加速器への応用

1990年頃に開始したステッパーエキシマレーザー電源用のファインメット磁気スイッチコアの開発がきっかけとなり、類似の磁気特性が要求される線形加速空洞用コアの開発が開始されました。これらの用途では薄帯を巻いた巻磁心が使用されますが、薄帯間の層間電圧が高くなるため、層間絶縁をする必要があります。ナノ結晶軟磁性材料ファインメットの熱処理温度は550℃付近であり、耐熱性が不十分な有機フィルムを層間絶縁に使用することはできないため、酸化物層を薄帯表面に形成する技術を新たに開発しました。ファインメット磁気スイッチコアは高角形比B-Hループを示し、フェライトやCo基アモルファス軟磁性材料に比べて B_s が高く低磁心損失であるために、小型で低損失の磁気スイッチコアを実現できます。

この磁気スイッチコアに関する技術をベースとして、線形加速空洞用のファインメットコアが開発されましたが、加速器用のコアはレーザー用の磁気スイッチコアよりも更にサイズが大きいため、日立金属において層間絶縁した大型ファインメットコアの製造技術の開発を行いました。その後、シンクロトロン加速器に使われる高周波加速空洞にファインメットが使用されるようになりました。当初は、熱処理中に磁場を印可しない無磁場熱処理を行ったFT-3Mコアを用いていましたが、更に特性を改善するため、磁場中熱処理を行ったファインメットFT-3Lコアがシンクロトロン加速器用のコアに採用されました。加速器に使用する場合、大型のFT-3Lコアが必要となります。日立金属(株)では、大型コアの磁場中熱処理設備を所有していなかったため、高エネルギー加速器研究機構において、大型コアの磁場中熱処理装置と熱処理技術の開発が行われ、FT-3Lコアが加速器に採用されるに至っています。

ファインメットは、J-PARC加速器、CERN加速器、放医研加速器、フェルミ国立研究所加速器など各所で加速器用のコア材料として採用され

ています。Fig. 8にJ-PARC加速器に採用されているファインメットの状況を示す。RCS (Rapid Cycling Synchrotron) やMR (Main Ring) の高周波加速空洞のコア材料としてファインメットが使用され加速器の高性能化に貢献しています。

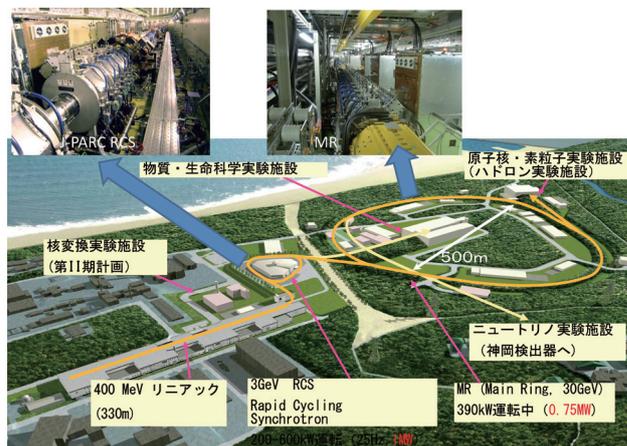


Fig. 8 J-PARC加速器に採用されているファインメット

4. おわりに

開発当初、ナノ結晶軟磁性材料のターゲットとして考えていた用途は、電源、インバータなど民生用磁性部品が中心でしたが、加速器用のコア材料としてナノ結晶軟磁性材料が注目され、加速器に採用されるに至ったことは大きな喜びです。ナノ結晶軟磁性材料が、今後の加速器研究分野の発展の一助になれば幸いです。

最後に、この度の熊谷賞の受賞は、ナノ結晶軟磁性材料の研究開発・実用化ならびに加速器応用への多くの方々のご協力、ご支援の賜物と存じます。この場を借りて深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) Y. Yoshizawa, S. Oguma, and Y. Yamauchi, *J. Appl. Phys.*, **64**, 6044(1988).
- 2) K. Hono, K. Hiraga, Q. Wang, A. Inoue, and T. Sakurai, *Acta Metall. Mater.*, **40**, 2137 (1992).
- 3) G. Herzer, *IEEE Trans. Magn.*, **25**, 3327(1989).
- 4) 日立金属カタログ, ナノ結晶軟磁性材料ファインメット®, HL-FM9-H, 2016年4月.



週刊

(金曜日発行)

発行所 科学新聞社

本社 (〒105-0013)

東京都港区浜松町1-2-13

電話 03-3434-3741

FAX 03-3434-3745

mail: edit@sci-news.co.jp

振替 00170-8-33592

西川賞 發知氏、熊谷賞 吉沢氏

高エネ研究奨励会が授与式開催

高エネルギー加速器科学
研究奨励会は2月16日、平
成30年度の奨励賞(西川賞
熊谷賞)の授与式を開催し
た。

西川賞は、加速器や加速
器利用における実験装置の
研究で、独創的かつ国際的
にも評価の高い業績をあげ
た50歳以下の研究者、技術
者を顕彰するもの。熊谷賞
は、研究開発や施設建設で
長年、加速器や加速器装置
への顕著な貢献が認められ
る企業関係者に授与するも
の。いずれの受賞者にも賞
金(各賞30万円)と表彰盾
が贈られる。今年も、小柴
賞、諏訪賞の
該当者はな
し。



中央の盾を持つ左が發知氏、右が吉沢氏

西川賞は日
本原子力研究
開発機構の發
知英明研究主
幹が、J-P
ARC RC
Sにおける大
強度陽子ビ
ームのビーム力
学的研究とビ
ームロス低
減で受賞し
た。J-P
ARCの大強度
陽子加速器・
RCS(ラビ
ッド・サイク
リング・シン
クロトロン)は、ビームロ
スが出力ビーム強度を制限
してしまふ問題があった。
ビームロスは複雑な発生機
構を持っていることから、
この現象を理解するには、
より高度なビームの運動学
的検討が必要だった。發知
氏は考え得る全てのビーム
ロス要因を組み込んだRC
Sの高度な計算モデルを構
築した。同氏の一連のビ
ームロス低減研究は、ビーム
の大強度化を効率的に推進
することに貢献した。研究
成果により、メガワットク
ラスのシンクロトロン(加
速器)で世界トップレベル
の0.2%という極めて低
いビームロスで、設計強度
である1.5GeVの連続ビーム
加速を実現するなど、RC
Sの所期目標達成に多大な
貢献を果たした。

熊谷賞は元・日立金属冶
金研究所(現・高エネルギー
加速器研究機構協力研究
員)の吉沢克仁氏が「高周
波用磁性材料の開発による
加速器科学への貢献」で受

賞した。陽子シンクロト
ロンでは、ビーム加速に伴
って加速周波数も変化させる
必要がある。従来の軟磁性
材料(比較的簡単に磁極が
消えたり反転したりするも
の)では高周波磁気特性が
十分ではなく、特にJ-P
ARCの大強度陽子加速を
実現するには高い透磁率を
持った材料が必要だった。
そのニーズに応えたのが
「ファインメット」だった。
これは、日立金属で長年磁
性材料の開発などに従事し

てきた吉沢氏が、1986
年に鉄系ナノ結晶軟磁性材
料として開発に成功したも
のだ。これは従来材料より、
優れた高周波特性を持つこ
とから、モーターやトラン
スなど様々な製品への応用
が期待される。加速器洞に
ファインメットを利用する
「マイクロバクト」で高性能
な空洞を実現し、J-P
ARCシンクロトロンに、
この陽子ビーム加速を成
功に導いた。この加速洞
は、QST・放医研のHI
MAO(重粒子線がん治療
装置)や、CERNのLHC
(大型ハドロン衝突型加
速器)などでも利用され始
めている。

公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究所奨励会 奨励賞候補者募集要綱 (2019年度)

1. 趣 旨

加速器ならびに加速器利用に関する研究において、特に優れた業績をおさめた研究者・技術者に次の4賞で構成される奨励賞を授与し、もって加速器科学の発展に資することを目的とする。

2. 各賞の応募条件

西川賞： 加速器ならびに加速器利用に関する実験装置の研究において、独創性に優れ、かつ論文発表され、国際的にも評価の高い業績をあげた、原則として50才以下（応募締切時）の単数または複数の研究者・技術者

小柴賞： 素粒子研究のための粒子検出装置の開発研究において、独創性に優れ、国際的にも評価の高い業績を上げた、原則として50才以下（応募締切時）の単数または複数の研究者・技術者

諏訪賞： 加速器科学の発展上、長期にわたる貢献など特に顕著な業績があったと認められる研究者・技術者・研究グループ

熊谷賞： 研究開発、施設建設など長年の活動を通じて、加速器や加速器装置への顕著な貢献が認められる企業の加速器関係者

3. 表彰件数 4賞合わせて5件程度

4. 賞の内容 賞金（各賞30万円）と表彰盾（各課題毎）を授与する

5. 選考方法 推薦のあった者について公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究所奨励会選考委員会で選考し、理事会において決定する。

6. 選 考 2019年11月上旬

7. 提出書類 (1) 推薦書（当公益財団法人のホームページに掲載の様式による）

(2) 選考資料 研究業績に関する発表論文(3編以内)のコピー(各2部)

8. 受付期間 2019年6月1日(土)～2019年10月25日(金)

9. 書類の提出ならびに問合せ先

公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会事務局

〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1 高エネルギー加速器研究機構内

TEL・FAX: 029-879-0471

Eメール: info@heas.jp

ホームページ: <http://www.heas.jp/>

候補者略歴

生年月日(西暦)

年 月 日

研究業績及び推薦理由

平成30年度（2018年度）事業報告書

平成30年（2018年）4月1日～
平成31年（2019年）3月31日

1. 加速器科学の研究に対する助成

No	実施期間	研究課題	氏名	所属機関・職	備考
1	自 30. 08. 06 至 30. 08. 09	高校生サイエンスキャンプ「Belle Plus」における加速器科学アウトリーチ手法の研究（高エネルギー加速器研究機構）	中山 浩幸	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 助教	
2	自 30. 09. 19 至 30. 09. 12	「ILC 夏の合宿」 （開催地：山口県下松市笠戸島 国民宿舎 大城）	栗木 雅夫	広島大学大学院先端物質科学研究科 教授	
3	自 30. 11. 26 至 30. 11. 30	「国際加速器スクール」 （international school on Beam Dynamics and Accelerator technology） の開催補助 （開催地：広島県東広島市広島国際プラザ）	栗木 雅夫	広島大学大学院先端物質科学研究科 教授	
4	自 31. 02. 17 至 31. 03. 07	次世代加速器実験に向けた SOI 技術による一体型シリコンピクセル検出器開発	小野 峻	高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 測定器開発室	

2. 国際交流に対する助成

No	実施期間	研究課題	氏名	所属機関・職	備考
1	自 30. 09. 16 至 30. 09. 21	29th Linear Accelerator Conference-LINAC18 (16-September 21, 2018) （中国 北京 IHEP）	北村 遼	東京大学博士課程学生	
2	自 30. 09. 17 至 30. 09. 23	環境によって異なるミュオニウムラジカルを与える有幾分子の精密 μ SR 解析（TRIUMF）	伊藤 繁和	東京工業大学 物質理工学院応用化学系 准教授	
3	自 30. 10. 28 至 30. 11. 02	高温超伝導線材の電気的接合抵抗における層間抵抗の測定手法開発（アメリカ・シアトル）	早坂遼一路	東北大学 大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻エネルギー物理学講座 核融合炉電磁流体工学分野 博士前期課程1年	

3. 国際会議、学術講演会等の開催助成

No	実施期間	研究課題	氏名	所属機関・職	備考
1	自 30. 11. 11 至 30. 11. 16	第 14 回核破碎材料技術の国際ワークショップ「福島県いわき市」	牧村 俊助	高エネルギー加速器研究機構 J-PARC 技師	

4. 加速器科学インターンシップへの助成

No	実施期間	研究課題	氏名	所属機関・職	備考
1	自 30. 10. 01 至 31. 02. 18	加速器科学インターンシップ 日本大学理工学部 学生 黒澤歩夢 他 5 件	山内 正則	高エネルギー加速器研究機構 機構長	

5. セミナー・講演会等の開催

No	実施期間	研究課題	所属機関・氏名等		備考
1	自 30. 09. 04 至 30. 09. 07	研修会 高エネルギー加速器 セミナー OHO'18 の開催	高エネルギー 加速器研究機 構との共催	参加者 企業ほか 97 名	賛助会員 無料 大学生・院生 無料 一般企業 5,000 円 関係機関 2,000 円
2	30. 10. 10	第 8 回 特別講演会（主催） 講演. 1 「世界で幅広く展開 する超伝導加速器の現状と 将来」 講演. 2 「いよいよ始まった 宇宙の起源を探る SuperKEKB/Belle II 実験」	講演者 高エネルギー 加速器研究機 構 教授 加古永治 氏 宇野彰二 氏	アルカディア 市ヶ谷（私学 会館） 参加費 無料 参加者 賛助 会員他 49 名	参加費 無料
3	30. 12. 09	「科学と音楽の饗宴 2018」へ の助成	高エネルギー 加速器研究機 構 機構長 山内正則 氏	つくば市ノバ ホール 参加者 747 名	ポスター・パンフレッ トの印刷代

6. 研究成果の褒賞

No.	賞名称	受賞者氏名	所属機関・職	研究テーマ
1	西川賞	發知 英明	日本原子力研究開発機構 研究主幹	J-PARC RCS における大強度陽子ビームのビーム力学的研究とビームロスの低減
2	熊谷賞	吉沢 克仁	日立金属（株） 冶金研究所（旧）	高周波用磁性材料の開発による加速器科学への貢献

公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 第8回 奨励賞授与式の開催（平成31年2月15日）

7. 加速器科学に関する出版物等の頒布

No	出版物等の名称	発行回数
1	高エネルギー加速器セミナー OHO'18 テキスト	年 1 回
2	HIGH ENERGY NEWS	年 4 回
3	FAS だより (公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 広報誌)	年 2 回

8. 理事会の開催

回	期日・時間	開催場所	出席者・議案
第19回	平成30年4月18日(水) 13時30分～15時30分	高エネルギー加速器 研究機構 職員会館2階 特別会議室	<p>[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀、浅野克彦、熊谷教孝……………4名</p> <p>[欠席理事] 上坂 充……………1名</p> <p>[出席監事] 木村嘉孝……………1名</p> <p>(理事現在数5名、監事現在数1名)</p> <p>議 事</p> <p>1) 決議事項</p> <p>第1号議案 「平成29年度(2017年度)事業報告(案)承認」の件</p> <p>平成29年度事業報告附属明細書(案)を含む</p> <p>第2号議案 「平成29年度(2017年度)貸借対照表、損益計算書及び同附属明細書、財産目録承認」の件</p> <p>A. 平成29年度(2017年度)貸借対照表(案)</p> <p>B. 平成29年度(2017年度)損益計算書(正味財産増減計算書)(案)</p> <p>C. 平成29年度(2017年度)損益計算書(正味財産増減計算書)内訳表(案)</p> <p>D. 平成29年度(2017年度)財産目録(案)</p> <p>E. 平成29年度(2017年度)財務諸表に対する注記(案)</p> <p>F. 平成29年度(2017年度)財務諸表附属明細書(案)</p> <p>G. 平成29年度(2017年度)残高証明書(3通)</p> <p>H. 平成29年度(2017年度)監査報告書</p> <p>第3号議案 「公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 定款の一部改正(案)承認」の件</p> <p>第4号議案 「公益財団法人高エネルギー加速器科学研究奨励会理事会運営規則の一部改正(案)承認」の件</p> <p>第5号議案 「公益財団法人高エネルギー加速器科学研究奨励会 謝金支給要項の制定(案)承認」の件(案)承認」の件</p>

			<p>2) 報告事項</p> <p>(1) 奨励賞候補者募集要綱（平成 30 年度）について</p> <p>(2) 内閣府公益認定等委員会事務局による立入検査講評事項について</p> <p>(3) 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会賛助会員の現状について（平成 30 年 4 月 1 日現在）</p> <p>(4) 奨励賞授与式に関する科学 新聞記事（30.02.23（金）付）について</p> <p>(5) 高エネルギー加速器セミナー OHO'18 の開催予定について</p> <p>(6) 第 8 回 特別講演会開催予定について</p>
第 20 回	平成 30 年 12 月 4 日(月) 13 時 30 分～15 時 30 分	高エネルギー加速器 研究機構 職員会館 2 階特別会議室	<p>[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀、浅野克彦、上坂 充……………4 名</p> <p>[欠席理事] 熊谷教孝……………1 名</p> <p>[出席監事] 木村嘉孝……………1 名</p> <p>[出席選考委員会委員長] 山口誠哉……………1 名 (理事現在数 5 名、監事現在数 1 名)</p> <p>議 事</p> <p>1) 決議事項</p> <p>第 1 号議案 「奨励賞 候補者選考（案）承認の件」</p> <p>第 2 号議案 「平成 31 年度（2019 年度）事業計画（案）承認の件」</p> <p>第 3 号議案 「平成 31 年度（2019 年度）収支予算書（損益計算書案）・正味財産増減計算書内訳表（案）承認の件」</p> <p>第 4 号議案 「評議員選定委員会・評議員会・理事会・選考委員会の任期の件」</p> <p>2) 報告事項</p> <p>(1) 第 35 回 高エネルギー加速器セミナー（OHO'18）報告</p> <p>(2) 第 8 回 特別講演会開催報告</p> <p>(3) 平成 30 年度 研究助成等の状況について</p> <p>(4) 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会賛助会員の現況について</p> <p>(5) 奨励会の主な行事予定について</p> <p>(6) 平成 30 年度予算の執行状況について</p>

9. 評議員会の開催

回	期日・時間	開催場所	出席者・議案
第17回	平成30年5月11日(金) 13時30分～15時30分	アルカディア市ヶ谷 4階 飛鳥	<p>[出席評議員] 長島順清、矢野安重、大野英雄、横溝英明、袴田敏一、佐藤潔和 ……………6名</p> <p>[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀……………2名</p> <p>[出席監事] 木村嘉孝……………1名 (評議員現在数6名)</p> <p>議 事</p> <p>1) 決議事項</p> <p>第1号議案 「平成29年度(2017年度)事業報告(案)承認」の件、平成29年度事業報告附則明細書(案)を含む</p> <p>第2号議案 「平成29年度(2017年度)貸借対照表、損益計算書及び同附属明細書、財産目録承認」の件</p> <p>①平成29年度(2017年度)貸借対照表(案)</p> <p>②平成29年度(2017年度)損益計算書(正味財産増減計算書)(案)</p> <p>③平成29年度(2017年度)損益計算書(正味財産増減計算書)内訳表(案)</p> <p>④平成29年度(2017年度)財産目録(案)</p> <p>⑤平成29年度(2017年度)財務諸表に対する注記(案)</p> <p>⑥平成29年度(2017年度)財務諸表 附属明細書(案)</p> <p>⑦平成29年度(2017年度)残高証明書(3通)</p> <p>⑧平成29年度(2017年度)監査報告書</p> <p>第3号議案 「公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 定款の一部改正(案)承認」の件</p> <p>第4号議案 「公益財団法人高エネルギー加速器科学研究奨励会 理事会運営規則の一部改正(案)承認」の件</p> <p>第5号議案 「公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 謝金支給要項の制定(案)承認」の件</p>

<p>第 18 回</p>	<p>平成 31 年 2 月 15 日(金) 13 時 00 分～ 14 時 20 分</p>	<p>アルカディア市ヶ谷 6 階 貴船</p>	<p>[出席評議員] 長島順清、矢野安重、大野英雄、横溝英明、袴田敏一、佐藤潔和 ……………6 名</p> <p>[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀……………2 名</p> <p>[出席監事] 木村嘉孝……………1 名 (評議員現在数 6 名)</p> <p>[オブザーバー] 浅野克彦理事・山口誠哉選考 委員会委員長……………2 名</p> <p>議 事</p> <p>1) 決議事項</p> <p>第 1 号議案 「平成 31 年度 (2019 年度) 事業計画書 (案) 承認の件」</p> <p>第 2 号議案 「平成 31 年度 (2019 年度) 収支予算書 (損益計算書) (案)・正味財産増減計算書内訳表 (案) 承認の件」</p> <p>2) 報告事項</p> <p>(1) 奨励賞 (西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞) 受賞者選考結果について</p> <p>(2) 第 8 回 奨励賞選考委員会選考結果一覧について</p> <p>(3) 高エネルギー加速器科学研究奨励会 第 20 回 理事会 議事録について</p> <p>(4) 評議員選定委員等の任期について</p> <p>(5) 評議員選定委員等名簿について</p> <p>(6) 平成 30 年度 研究助成等の状況について</p> <p>(7) 高エネルギー加速器セミナー OHO'18 の開催結果について</p> <p>(8) 第 8 回 特別講演会の開催結果について</p> <p>(9) レクチャー&コンサート「科学と音楽の饗宴 2018」の開催結果について</p> <p>(10) 高エネルギー加速器科学研究奨励会賛助会員の現況について</p> <p>(11) 平成 30 年度 予算執行状況について</p> <p>(12) 奨励会の主な行事予定について</p>
---------------	---	-----------------------------	--

10. 平成 30 年度 収支決算監査

平成 31 年 4 月 12 日（金）～ 15 日（月） 木村監事による監査を受検

11. 平成 30 年度 収支決算報告書について

平成 30 年度 収支決算報告書については、木村監事に確認を依頼し、4 月 15 日（月）付で内容に問題なしとの回答を得ている。

損益計算書（正味財産増減計算書）

平成30年度（2018年度）

平成30年4月1日から平成31年3月31日まで

（単位：円）

科 目	当年度	前年度	増 減
I. 一般正味財産増減の部			
1. 経常増減の部			
(1) 経常収益			
基本財産運用益			
基本財産受取利息	1,299,610	2,096,504	△ 796,894
特定資産運用益			
特定資産受取利息	4,594	15,241	△ 10,647
受取会費			
賛助会員受取会費	4,850,000	4,950,000	△ 100,000
事業収益			
講習会等事業益	198,282	170,582	27,700
受取寄附金			
会議・助成・寄附金	0	0	0
雑収益			
預金受取利息	87	636	△ 549
その他（返納金等）	176,740	0	176,740
経常収益計	6,529,313	7,232,963	△ 703,650
(2) 経常費用			
①事業費			
研究助成費	695,100	219,520	475,580
国際交流助成費	483,000	1,391,300	△ 908,300
国際会議助成費	100,000	0	100,000
その他の助成	0	0	0
講習会開催費	1,066,543	1,011,104	55,439
褒賞費	839,525	1,580,335	△ 740,810
出版物頒布費	313,221	228,285	84,936
印刷製本費	0	0	0
諸謝金	0	0	0
給料手当	1,468,817	401,700	1,067,117
旅費交通費	342,850	307,000	35,850
通信運搬費	39,360	37,310	2,050
消耗品費	0	0	0
賃借料	106,596	103,788	2,808
光熱水料費	21,383	21,607	△ 224
雑費	35,352	54,504	△ 19,152
事業費合計	5,511,747	5,356,453	155,294

科 目	当年度	前年度	増 減
②管理費			
給料手当	1,468,818	2,168,435	△ 699,617
会議費	85,437	47,247	38,190
旅費交通費	256,850	260,900	△ 4,050
通信運搬費	55,165	63,525	△ 8,360
什器備品費	64,800	0	64,800
消耗品費	96,399	210,835	△ 114,436
印刷製本費	0	0	0
賃借料	106,596	103,788	2,808
諸謝金	100,000	50,000	50,000
光熱水料費	21,383	21,606	△ 223
雑費	38,622	18,004	20,618
管理費合計	2,294,070	2,944,340	△ 650,270
経常費用計	7,805,817	8,300,793	△ 494,976
当期経常増減額	△ 1,276,504	△ 1,067,830	△ 208,674
2. 経常外増減の部			
(1) 経常外収益			0
(2) 経常外費用			0
経常外費用計	0	0	0
当期経常外増減額	0	0	0
当期一般正味財産増減額	△ 1,276,504	△ 1,067,830	△ 208,674
一般正味財産期首残高	126,698,559	127,766,389	△ 1,067,830
一般正味財産期末残高	125,422,055	126,698,559	△ 1,276,504
II. 指定正味財産増減の部			
受取補助金等			0
III. 正味財産期末残高	125,422,055	126,698,559	△ 1,276,504

平成31年度（2019年度）事業計画書

自 平成31年（2019年）4月 1日

至 令和 2年（2020年）3月31日

公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会は、高エネルギー加速器科学及び関連技術の研究を助成し、加速器科学の振興を図り、もつて我が国と海外との学術研究の推進を図ることを目的として次の事業を行う。

1. 研究に対する助成事業

(1) 助成対象

高エネルギー加速器科学及びその関連技術に関し、優れた業績を有する国内及び海外の研究者・技術者に対する研究助成を行う。

- ①加速器の原理・物理・技術に関する研究
- ②加速器を用いた研究のための測定技術や装置の開発研究
- ③高エネルギー加速器を用いた研究
- ④我が国及び海外の加速器科学の振興のために特に必要と思われる研究
- ⑤上記研究に必要な国内旅費

(2) 助成件数……………5件程度

(3) 選定方法

選考委員会において申請書の審査を行い決定する。

(4) 報告の義務

助成を受けた者は研究成果の報告書を提出する。

(5) 募集期間

平成31年（2019年）4月～12月末日

2. 国際交流に対する助成事業

(1) 助成対象

①高エネルギー加速器科学及びその関連技術に関し、優れた業績を有する国内の研究者及び技術者を海外に派遣する場合に助成する。

②高エネルギー加速器科学及びその関連技術に関し、優れた業績を有する海外の研究者及び技術者を招聘する場合に助成する。

(2) 助成件数……………5件程度

(3) 選定方法

選考委員会において申請書の審査を行い決定する。

(4) 報告の義務

助成を受けた者は研究成果の報告書を提出する。

(5) 募集期間

平成31年（2019年）4月～12月末日

3. 国際会議・国際研究集会等に対する助成事業

(1) 助成対象

国内において開催される高エネルギー加速器科学及びその関連技術に関する国際会議・国際研究集会等で高エネルギー加速器科学研究機関が主催する場合に助成する。

上記会議等に必要となる国内旅費及び機器購入費等の費用

(2) 助成件数……………5 件程度

(3) 選定方法

選考委員会において申請書の審査を行い決定する。

(4) 報告の義務

助成を受けた者は研究成果の報告書を提出する。

(5) 募集期間

平成 31 年（2019 年）4 月～ 12 月末日

4. 研修会等の開催事業

(1) 高エネルギー加速器セミナー (OHO' 2019) の開催

(高エネルギー加速器研究機構及び総合研究大学院大学との共催)

・開催テーマ : SuperKEKB ールミノシティ最前線を切り開く電子陽電子衝突型加速器
(仮)

・開催日 (予定): 平成 31 年 9 月 10 日 (火) ～ 13 日 (金)

・会場 (予定): 高エネルギー加速器研究機構 3 号館セミナーホール

・参加費 (予定): 賛助会員、大学生・大学院生・・・無料

(テキスト代) 研究機関職員 2,000 円、一般企業職員 5,000 円

・募集人員 (予定): 80 人

・募集期間 (予定): 平成 31 年 (2019 年) 6 月末日～9 月上旬

(2) 講演会の開催 (主催)

・開催テーマ : 未定

・開催日 (予定): 平成 31 年 10 月

・会場 (予定): アルカディア市ヶ谷 (東京)

・参加費 : 賛助会員は無料、他の参加者は資料代

・募集人員 (予定): 50 人

・募集期間 (予定): 平成 31 年 (2019 年) 7 月末日～開催前日

(3) 高エネルギー加速器科学インターンシップへの助成

高エネルギー加速器研究機構は、幾多の優れた学術的成果を生み出し、今日では加速器科学における世界の研究センターの一つとなっている。

この高い研究レベルと研究への意欲・情熱を維持し、更に強化することが重要で、継続的な人材の育成を図るため、大学の 3・4 年生及び大学院修士課程の学生を対象とした「加速器インターンシップ制度」が必要となる。

この制度では、高エネルギー加速器研究機構のつくばキャンパスと東海キャンパスで進行している加速器の開発や運転に大学生 (大学院生も含む) を一定期間受け入れて、その研究計画に参加させる。

この大学生（大学院生も含む）を受け入れるための財政支援を行う。

(4) レクチャー&コンサート「科学と音楽の饗宴」への助成

「科学と音楽の饗宴」は、地域の文化活動の一環として、つくば市、高エネルギー加速器研究機構が主催する講演と音楽のコラボレーション形式のイベントである。

科学に親しみながらバランスの取れた頭脳の能力向上を目指す企画として平成 17 年より毎年開催されている。

- ・開催テーマ : 未定
- ・開催日 (予定) : 平成 31 年 12 月
- ・会場 (予定) : つくば市ノバホール
- ・参加費 : 無料
- ・来場者数 : 約 800 人

5. 研究者及び研究グループに対する顕彰事業

(1) 奨励賞の名称・概要

- ①西川賞 高エネルギー加速器ならびに加速器利用に関する実験装置の研究において、独創性に優れ、かつ論文発表され、国際的にも評価の高い業績をあげた、原則として 50 才以下（応募締切時）の単数または複数の研究者及び技術者
- ②小柴賞 素粒子研究のための粒子検出装置の開発研究において、独創性に優れ、国際的にも評価の高い業績を上げた、原則として 50 才以下（応募締切時）の単数又は複数の研究者及び技術者
- ③諏訪賞 高エネルギー加速器科学の発展上、長期にわたり顕著な寄与があつたと認められる研究者及び技術者
- ④熊谷賞 開発研究、施設建設など長年の活動を通して、高エネルギー加速器や加速器装置への顕著な貢献が認められる企業の加速器関係者

(2) 奨励賞の内容

賞金は各賞 30 万円とする

表彰盾は課題毎に授与する

(3) 表彰件数・・・各賞合わせて 5 件程度

(4) 選定方法

選考委員会において各賞受賞対象の審査を行い、理事会において決定する。

(5) 募集期間

平成 31 年（2019 年）4 月～ 10 月上旬

(6) 報告の義務

受賞者は受賞課題に対する研究成果の報告書を提出する。

6. 加速器科学に関する知識の普及・啓発事業

一般社会に対し、高エネルギー加速器科学に関する知識の普及・啓発活動を行う。

（一般公開・奨励会ホームページ・奨励会パンフレット・奨励会情報誌（FAS だより）等による PR を行う）

7. 出版物の編集及び刊行事業

高エネルギー加速器科学及び関連技術の研究成果を加速器科学の振興の為、我が国の研究推進を図ることを目的として出版物を発行する。

- ① FAS だより（奨励会情報誌）……………賛助会員等に配布・130部……………年2回発行
- ② 高エネルギー加速器セミナーテキスト ……………賛助会員・セミナー参加者に配布・70部
……………年1回発行
- ③ HIGH・ENERGY・NEWS……………賛助会員等に配布・75部……………年4回発行

8. その他、この法人の目的を達成するために必要な事業を行う。

平成 31 年度（2019 年度）収支予算書（損益計算書）

自：平成 31 年（2019 年）4 月 1 日 至：2020 年 6 月 31 日

（単位：円）

科 目		平成 31 年度予算 (A)	平成 30 年度予算 (B)	増 減 (C = A - B)
I. 一般正味財産増減の部				
1. 経常増減の部				
(1) 経常収益				
基本財産運用益	基本財産受取利息	1,299,000	2,186,000	△ 887,000
特定財産運用益	特定財産受取利息	5,000	51,000	△ 46,000
受取会費	受取会費	4,850,000	4,950,000	△ 100,000
事業収益	研修会等事業益	194,000	170,000	24,000
受取寄附金	寄附金等	0	0	0
雑収益	預金受取利息	0	1,000	△ 1,000
経常収益計		6,348,000	7,358,000	△ 1,010,000
(2) 経常費用				
①事業費				
	研究助成費	500,000	500,000	0
	国際交流助成費	500,000	500,000	0
	国際会議助成費	500,000	500,000	0
	その他の助成費	0	0	0
	褒賞費	1,580,000	1,500,000	80,000
	研修会等開催費	832,000	793,000	39,000
	出版物頒布費	318,000	205,000	113,000
	印刷製本費	0	0	0
	諸謝金	0	0	0
	給料手当	1,192,000	500,000	692,000
	旅費交通費	319,000	322,000	△ 3,000
	通信運搬費	39,000	47,000	△ 8,000
	消耗品費	0	0	0
	賃借料	106,000	108,000	△ 2,000
	光熱水料費	21,000	22,000	△ 1,000
	雑費	55,000	32,000	23,000
事業費合計		5,962,000	5,029,000	933,000
②管理費				
	給料手当	1,205,000	2,333,000	△ 1,128,000
	会議費	47,000	48,000	△ 1,000
	旅費交通費	259,000	262,000	△ 3,000
	通信運搬費	54,000	61,000	△ 7,000
	什器備品費	0	12,000	△ 12,000
	消耗品費	110,000	126,000	△ 16,000

科 目		平成 31 年度予算 (A)	平成 30 年度予算 (B)	増 減 (C = A - B)
	印刷製本費	0	0	0
	賃借料	106,000	102,000	4,000
	諸謝金	50,000	50,000	0
	光熱水料費	21,000	22,000	△ 1,000
	雑費	24,000	16,000	8,000
	管理費合計	1,876,000	3,032,000	△ 1,156,000
	経常費用計	7,838,000	8,061,000	△ 223,000
	当期経常増減額	△ 1,490,000	△ 703,000	△ 787,000
2. 経常外増減の部			0	0
	(1) 経常外収益		0	0
	有価証券売却益	有価証券売却益	0	0
	基本財産評価益	基本公社債評価益	0	0
	特定資産評価益	特定公社債評価益	0	0
	経常外収益計		0	0
	(2) 経常外費用		0	0
	有価証券売却損	有価証券売却損	0	0
	基本財産評価損	基本公社債評価損	0	0
	特定資産評価損	特定公社債評価損	0	0
	経常外費用計		0	0
	当期経常外増減額		0	0
	当期一般正味財産増減額	△ 1,490,000	△ 703,000	△ 787,000
	一般正味財産期首残高	114,198,226	114,901,226	△ 703,000
	一般正味財産期末残高	112,708,226	114,198,226	△ 1,490,000
Ⅱ 正味財産期末残高		112,708,226	114,198,226	△ 1,490,000

(公) 高エネルギー加速器科学研究奨励会賛助会員一覧

2019年6月1日現在

	会員名		会員名
1	エーザイ(株)	30	(株)日本アクシス
2	S.P.エンジニアリング(株)	31	日本アドバンステクノロジー(株)
3	(株)大阪真空機器製作所	32	日本高周波(株)
4	川崎設備工業(株)	33	日本電磁工業(株)
5	(株)関電工	34	(株)野村鍍金
6	金属技研(株)	35	浜松ホトニクス(株)
7	工藤電機(株)	36	日立金属(株)
8	(株)ケーバック	37	(株)日立製作所
9	小池酸素工業(株)	38	VAT(株)
10	(株)工業ゴム研究所	39	富士通(株)
11	神津精機(株)	40	武州ガス(株)
12	コカ・コーライーストジャパン(株)	41	(有)双葉工業
13	(株)ジェック東理社	42	(株)マイテック
14	秀和電気(株)	43	(株)前川製作所
15	日本製鉄(株)	44	三菱重工機械システム(株)
16	セイコー・イージーアンドジー(株)	45	三菱電機(株)
17	大陽日酸(株)	46	三菱電機システムサービス(株)
18	(株)多摩川電子	47	太陽計測(株)平成30年度休会
19	ツジ電子(株)		
20	(株)電研精機研究所		
21	東京ニュークリアサービス(株)		
22	東芝エネルギーシステムズ(株)		
23	キヤノン電子管デバイス(株)		
24	(株)トヤマ		
25	豊田通商(株)		
26	長瀬ランダウア(株)		
27	ニチコン(株)		
28	ニチコン草津(株)		
29	日新パルス電子(株)		

評議員会 評議員名簿

2019年6月1日現在

氏名	所属
ながしま よりきよ 長島 順清	大阪大学 名誉教授
や の やすしげ 矢野 安重	仁科記念財団 常務理事
よこみぞ ひであき 横溝 英明	一般財団法人総合科学研究機構理事長 兼 中性子科学センター長
さとう きよかず 佐藤 潔和	東芝エネルギーシステム株式会社 京浜事業所 技監
しもむら おさむ 下村 理	高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
おおくぼ こういち 大久保 光一	三菱重工機械システム株式会社 取締役常務執行役員

任期 平成30年度(2018年度)の最終のものに関する定時評議員会の終結時(令和元年(2019年)5月14日)から令和4年度(2022年度)の最終のものに関する定時評議員会の終結の時(令和5年(2023年)5月中旬)までとする。

役員(理事)名簿

2019年6月1日現在

役職	氏名	所属
代表理事	たかさき ふみひこ 高崎 史彦	高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
業務執行理事	かみや ゆきひで 神谷 幸秀	高エネルギー加速器研究機構 理事
理事	あさの かつひこ 浅野 克彦	(株)日立製作所 ライフ事業統括本部スマートセラピー統括本部 技術顧問
理事	うえさか みつる 上坂 充	東京大学大学院工学系研究科 原子力専攻原子炉工学講座教授
理事	すぎやま じゅん 杉山 純	(財)総合科学研究機構 中性子科学センター
理事	はば じゅんじ 幅 淳二	高エネルギー加速器研究機構 理事

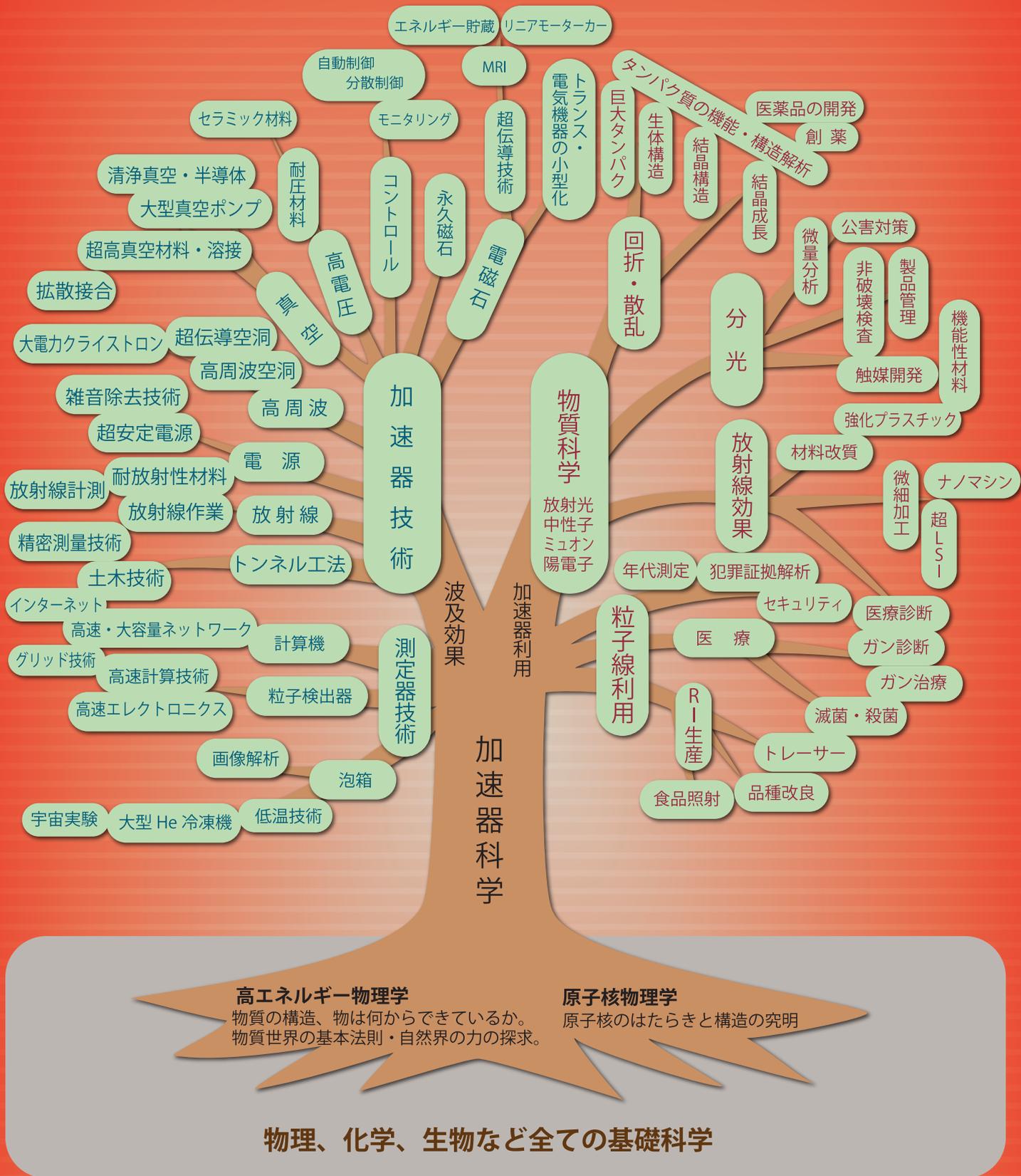
任期 平成30年度(2018年度)の最終のものに関する定時評議員会の終結時(令和元年(2019年)5月14日)から令和2年度(2020年度)の最終のものに関する定時評議員会の終結の時(令和3年(2021年)5月中旬)までとする。

役員（監事）名簿

2019年6月1日現在

役 職	氏 名	所 属
監 事	きむら よしたか 木村 嘉孝	高エネルギー加速器研究機構 顧問

任期 平成30年度（2018年度）の最終のものに関する定時評議員会の終結時（令和元年（2019年）5月14日）から令和4年度（2022年度）の最終のものに関する定時評議員会の終結の時（令和5年（2023年）5月中旬）までとする。



発行 公益財団法人
高エネルギー加速器科学研究奨励会
 〒305-0801
 つくば市大穂 1-1 高エネルギー加速器研究機構内 (職員会館 2F)
 TEL・FAX : 029-879-0471
 E-mail : info@heas.jp
 URL : http://www.heas.jp/