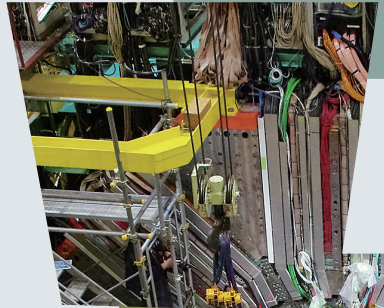




FOUNDATION FOR HIGH ENERGY
ACCELERATOR
SCIENCE

FAS だより

2024.8 第28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 28 号の発行に当って ■

- 賛助会員の皆様にはますますご清栄のこととお喜び申し上げます。
日頃より、当財団に対する格別のご協力をいただき、心より厚く御礼申し上げます。
- 広報誌「FAS だより」も公益財団法人に移行してから第 28 号を発行することになりました。
- 当財団では、ホームページや広報誌「FAS だより」などで加速器科学に関する知識の普及啓発活動を行っておりますが、是非ご覧いただき、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。
- また当財団では賛助会員の皆様から、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を募集しております。是非投稿ください。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
当財団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。
掲載を希望される賛助会員様は、是非ご利用ください。(無料)

<連絡先 : info@heas.jp 又は TEL/FAX 029-879-0471>

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 28 号 目次

2024 年 8 月

1. KEK 応用超伝導加速器イノベーションセンター (iCASA) の現状と展望 (Compact ERL 加速器を用いた応用展開を中心に)	1
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 応用超伝導加速器イノベーションセンター (iCASA) 阪井寛志	
2. 奨励賞候補者募集要項 (2024 年度).....	12
3. 研究助成等応募要領 (2024 年度).....	16
4. 第 41 回 高エネルギー加速器セミナー OHO'24 開催案内.....	24
5. 2023 年度事業報告書および 2023 年度決算報告.....	25
6. 賛助会員一覧 (2024 年 8 月 1 日現在)	30
7. 評議員・役員・選考委員会委員名簿	31

KEK 応用超伝導加速器イノベーションセンター (iCASA) の現状と展望 (Compact ERL 加速器を用いた応用展開を中心に)

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
応用超伝導加速器イノベーションセンター (iCASA)

阪 井 寛 志[#]

概要

応用超伝導加速器イノベーションセンター (iCASA) で取り組んでいる超伝導加速空洞を用いた加速器開発とその応用研究について紹介します。超伝導加速空洞を用いた加速器のメリットとニオブ製超伝導加速空洞を用いたコンパクトエネルギー回収型ライナック (Compact ERL (cERL)) の開発を紹介します。その後、cERL を用いた産業医療応用研究を目指した今迄の赤外 FEL, THz 光生成実験、核医学検査薬製造や他木材等の照射実験について紹介します。さらに、将来に向けた、半導体リソグラフィのためのエネルギー回収技術を用いた極端紫外光自由電子レーザー光源の開発、ニオブスズ (Nb₃Sn) を用いた超伝導加速空洞による小型加速器の開発について紹介します。

1. はじめに

1.1 超伝導加速空洞の特徴

加速空洞は加速器にとってビームを加速する重要なコンポーネントである。高加速勾配の加速空洞は、空洞内に電磁波を共鳴させエネルギーを蓄えることで実現されるが、そのエネルギーは空洞壁で消費される。空洞材料は通常、常伝導の銅金属が用いられるが、常伝導空洞では空洞壁ロスにより低加速勾配 (<1 MV/m) か、duty 比が 0.1% 以下の pulse 運転しかできない。超伝導加速空洞は、銅空洞に比べ 100 万分の 1 程度の抵抗値を実現する。それにより、連続 (CW) 加速 (=duty100%) の大電流のビームの高加速勾配での運転を可能とする。

日本では KEK が先駆的に超伝導空洞開発を行ってきた。1980 年代には素粒子実験用の電子衝突型大型加速器である TRISTAN での超伝導加速空洞の開発により、509 MHz、5 セルの超伝導空洞を 32 台作成し、常伝導では実現できなかった 5 MV/m の連続 (CW) 加速を実現 [1]。衝突型加速器 KEKB にて 5 ~ 8 MV/m (1.2-2 MV) の加速勾配にて、世界最大の 1A もの電流を CW 加速する超伝導空洞を実現した [2]。一方、2004 年からは超伝導加速空洞を国際リニアコライダー (ILC) に採用

することが決定し、高加速勾配を long pulse (1.5 ms, 5 Hz) でビーム加速を行うスキームから、これらの超伝導空洞の高加速勾配の実現に向けた開発がさらに進んだ。具体的には 1.3 GHz の 9 セル空洞を 31.5 MV/m (duty 1% 以下) で運転することがリニアコライダーにとっての開発目標であり、空洞の材料の質の向上、加工技術、表面処理技術、組立技術の向上により、KEK の空洞性能評価試験にて、35 MV/m 近くを安定に出せるまでになってきている [3]。

さらに近年は、高性能で量産可能な超伝導加速空洞の世界的な開発が進み、ここ 10 年で超伝導加速空洞を用いた X 線自由電子レーザー用大型加速器の建設 [4,5] や原子核実験用の重イオンビームの大強度ビーム加速器建設が行われてきた [6,7]。このような放射光源および高エネルギー原子核実験用の超伝導加速空洞開発が世界的に進む中で、上述したように KEK ではこの超伝導加速空洞開発を長年行っており、その更なる開発とその応用展開を進めるために、応用超伝導加速器イノベーションセンター (iCASA) が発足された。

1.2 応用超伝導加速器イノベーションセンター

2019 年に加速器の産業医療応用を応用超伝

[#] hiroshi.sakai.phys@kek.jp

導加速器センター（CASA）として、加速器研究施設の中でスタートした。その後、2022年4月に応用超伝導加速器センター（CASA）をさらに発展させた応用超伝導加速器イノベーションセンター（iCASA）に改組して現在に至っている（図1）。iCASAではATF, STF, CFF施設を中心としたリニアコライダーに関する研究開発を担うとともに、cERLを中心としたERL技術を用いた超伝導加速空洞による応用展開を行っている。電力効率の高い超伝導加速器を用いた次世代光源や大電流電子ビームによる産業医療応用などの研究開発を実施し、実証機やさらに実用機の製造を目指す。さらに、改組後のiCASAではCOI棟での新たな超伝導空洞材料を用いた加速空洞の開発、モジュール製作を行うと共に、iBNCTの医療加速器等が所属している。

本文ではiCASAの中で特にcERLで展開している超伝導加速空洞での応用展開について述べる。

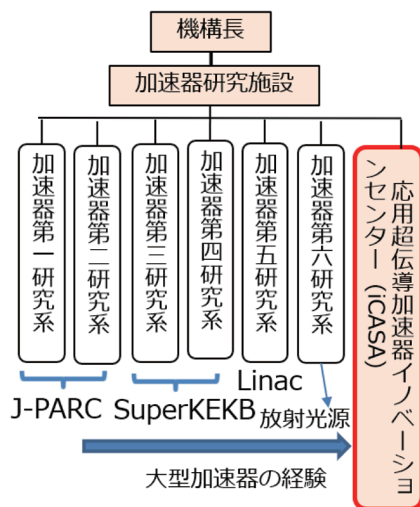


Figure 1: Schematics of iCASA in KEK.

2. cERL 加速器での開発現状

2.1 cERL 加速器の概要

コンパクト ERL (cERL) [8] は、高エネルギー加速器研究機構（KEK）の ERL 開発棟内に建設された試験施設である。当初の目的は、将来の数 GeV 級 ERL 放射光源に必要な技術を実証することであった [9]。その結果、2016 年には、エネルギー回収条件での CW 1 mA ビームの運

転に成功した [10]。2017 年以降、KEK は ERL 放射光源の研究開発を終了し、新たに cERL での ERL 技術に基づく産業応用展開を重点的に進め、ERL 加速器技術の更なる開発を行うこととなった。

Table 1 : Design Parameters of the cERL

Nominal beam energy	35 MeV
Nominal injection energy	5 MeV
Beam current	10 mA (initial goal)
Normalized emittance	0.1 – 1 mm-mrad
Bunch length (bunch compressed)	1-3 ps (usual) 100 fs (short bunch)

cERL 加速器の全体像を図2に示す。cERL は、高電荷・低エミッタンスの電子ビームを作る 500 kV DC 光陰極電子銃 [11]、入射空洞 [12]、エネルギー回収を行う主加速空洞 [13]、周回ビームライン、そして、ビームダンプから構成される。詳細な設計パラメータを表1に示す。cERL 建設後、主加速空洞は厳しいフィールドエミッションにより、2つの空洞の加速電圧は 8.6 MV に設定し、周回ビームエネルギーを 20 MeV でビーム運転を開始した [13]。その後、2017 年に主空洞の片方の性能が劣化し、1つの加速空洞の電圧は 6 MV となり [14]、現在、周回エネルギーを 17.5 MeV で運転を行っている。

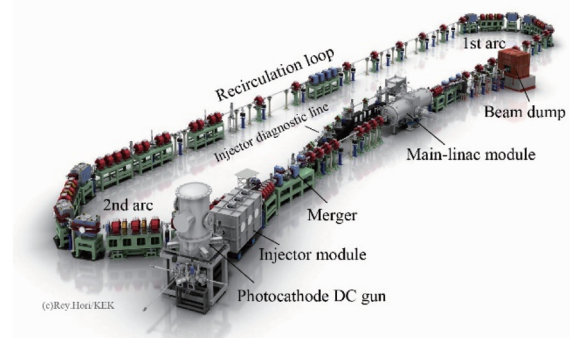


Figure 2: Schematic view of Compact ERL [8].

2.2 cERL 加速器による応用研究

ERL 方式による超伝導空洞を用いた加速器は、短バンチで、高輝度な大電流ライナックビームが提供可能である。そのため、高輝度放射光源利用だけでなく、本特徴的なビームを用いて、様々な応用展開が行える。我々は cERL のこのような特徴を用いたビームにて、2017 年から

現在まで、以下のような様々な重要な産業医療
 応用展開を行ってきた。

1. 核医学検査用薬剤用 RI の高効率製造
2. 木材照射によるナノセルロース生成実験
3. ビーム照射によるアスファルト劣化回復
4. 大電流 ERL ビームを用いた IR-FEL 実験
5. 短バンチビームによる高強度テラヘルツ光発生

図 3 は cERL における上記の応用展開の具体的
 展開場所を示している。まず、上記 1～3
 の展開のために、2019 年から電子ビーム照射
 のための新しいビームラインを cERL に建設し
 た [15]。次に赤外領域の大電流ビームを FEL
 で生成するために、新しいアンジュレータを
 設置した。これは、後述する EUV-FEL の概念
 実証 [16] につながる新たな試みである。さら
 に、cERL において数百 fs のバンチ長ビームに
 よる共振コヒーレント回折放射による THz 生
 成も試みた [17]。なお、cERL を用いたレーザー
 コンプトン X 線応用は 2015 年に既に実現して
 いる [18]。このような 2018 年以降の cERL を
 用いた産業応用の展開のうち、 ^{99}Mo 照射実験、
 木材照射実験と IR-FEL 実験について、簡単に
 紹介する [19]。

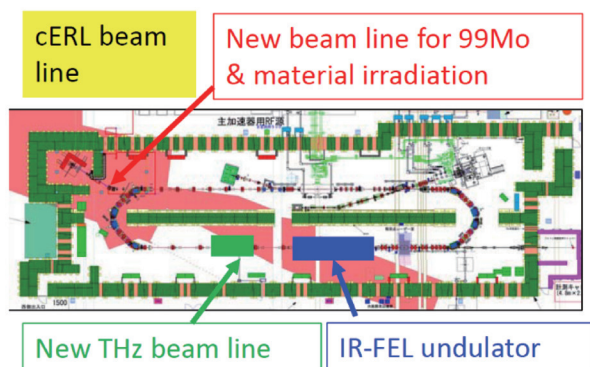


Figure 3: New beam lines for some applications at
 cERL from 2018 [19].

2.2.1 核医学薬剤 ^{99}Mo 生成のための cERL 照 射実験

^{99}Mo は核医学診断のためには現在欠かせない
 薬剤である。実際には ^{99}Mo の生成物である
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を用いて診断を行うが、 ^{99}Mo のほとんど

は原子炉で製造されており、現在はほぼ 100%
 輸入品になっている。 ^{99}Mo は半減期が 3 日と
 なり、その安定供給が課題となっているが、国
 内での原子炉の安定供給は難しく、 ^{99}Mo が国
 内での安定的に生産されれば、 ^{99}Mo を安定的
 に患者に供給することが可能である。加速器に
 よる開発が近年すすんでおり、陽子ビームや電
 子ビームなど様々な手法がある。cERL での照
 射ではこの電子ビームでの ^{99}Mo の製造に着目
 した [20]。 ^{99}Mo は天然の ^{100}Mo から、電子ビ
 ームを使えば数 10 MeV の電子ビームにコンバ
 ーターから放出される制動放射線 γ 線を当てて、
 γ -n 反応によって作られる。世界の医療需要
 を満たすためには、20-50 MeV の電子ビームを
 数 mA で運転する必要がある、超伝導空洞による
 照射加速器は、20 MeV 以上の大電流を発生
 させるのに適した加速器であると考えられる。
 大電流 CW ビームによる ^{99}Mo 製造のための大
 電力加速器を建設する前に、実機を実現する
 ために必要な ^{99}Mo の効率を検証のため、cERL
 に ^{99}Mo 製造を実証するビームラインを建設し
 た [15]。本研究は (株) アクセルレータの委託
 事業にて行い、具体的には、ビームエネルギー
 約 20 MeV の CW ビーム 10 μA でビーム運転を
 開始した。

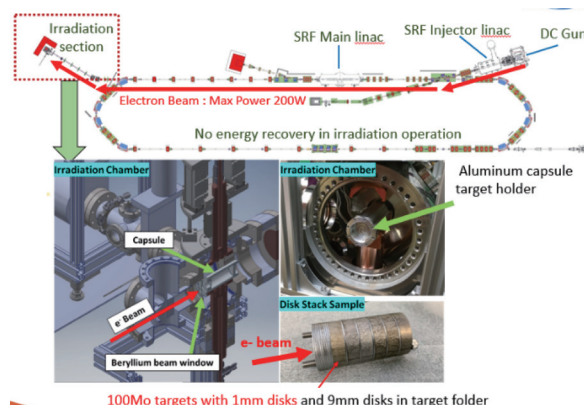


Figure 4: Setup of RI production beam line[19].

図 4 の上図は、照射ビームラインの概略図で
 ある。2019 年に、cERL の北側ラインの先に照
 射部を建設した。この照射部での運転ではエネ
 ルギー回収運転を行わない。図 4 下に照射部の
 ターゲットシステムを示す。発生した放射性同

位元素を封じ込めるため、ターゲット試料は密封カプセルに封入される。このカプセルに ^{100}Mo ターゲットを図4のようにセットし、照射室チャンバー内に設置し、ビーム照射運転を行った。図5は17.5 MeVのエネルギー下でのビーム運転の様子を示しており、CWモードで9 μA の安定したビーム運転が可能であった。なお、 ^{99}Mo の収率を確認するため、空洞電圧をあえて上げて、20 MeV付近での運転も試みた。結果、cERLビームのCWモードによる低エミッタンスビームでは、cERL安定CWビーム運転により、 γ -n反応による ^{99}Mo の正確な収量情報を得ることができた。

電子線で ^{99}Mo を生成する利点は、不純物の少なさにある。図6に、今回の照射実験で得られた核種ごとの生成収率のエネルギー依存性を示す。20 MeV程度の電子線の場合は不純物となる他の核種がほとんど生成されないことが示され、製薬材料としても放射性廃棄物の観点からも望ましいことが示された。

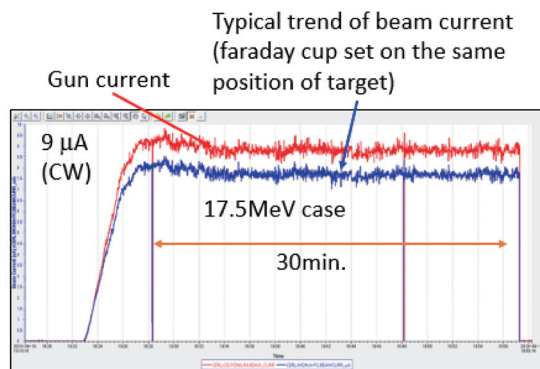


Figure 5: Trend of beam operation for irradiation beam line with 17.5 MeV energy [19].

その後、生成した ^{99}Mo から $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の抽出も行い、無事に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が抽出されることもわかった。抽出の効率化は課題であるが、現在の日本の需要はおよそ350 TBq/yearと推測され、およそ1日に1 TBq製造できると日本全国の需要を満たすことができる。10 mAで19.5 MeVの加速器ができれば、天然モリブデンターゲットでも加速器数台で国内需要を賄える試算となるであろう [21]。

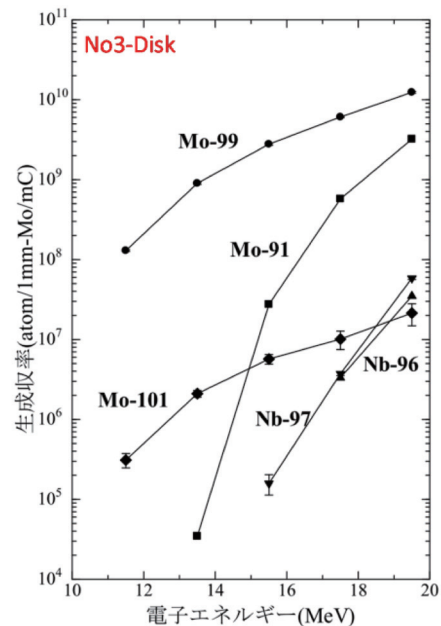


Figure 6: Energy Dependence of RI production [21].

2.2.2 ナノセルロース高効率生成のための木材照射実験

さらに、ここでは上記照射ビームラインを使った別の照射実験について簡単に紹介する [22]。木材やパルプから製造される新素材のナノセルロース (CNF) は、鋼鉄の5倍の引張強度を持ちつつ重量が5分の1であることから、軽量・高強度・高弾性という特徴を持ち、様々な用途展開が期待されている。ナノセルロース製造では木材組織をナノサイズまで解繊する必要があるが、広く社会実装するには、省エネ化、低コスト化、量産化など様々な課題がある。そこで、我々は強靱な細胞壁構造を持つ木材組織・成分を大強度の電子ビームで切断・破壊し、ナノセルロース製造効率の向上につながることに着目した。

2021年度からは、NEDO 先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導研究プログラムで採択された「高効率ナノセルロース製造のための革新的量子ビーム技術開発」のもとで、産総研と共同で、効率的なナノセルロース生成のための木材照射を行った。平均電流1 μA のCW運転で、1 MGyの照射実験を行った。照射ターゲットとしてスギを利用し、特にナノセルロース生成のエネルギー依存性を調べるため

に、3.5 MeV と 10 MeV で の 2 種 類 の ビー ム エ ネ ル ギ ー で 照 射 を 行 い、 各 々 深 さ 毎 の ナ ノ セ ル ロ ー ス の 生 成 量 の 違 い が わ か る よ う な 構 成 と し た。 照 射 ター ゲ ッ ト に 対 す る ビー ム の 均 一 性 に も 注 意 を 払 っ た う え で、 照 射 の 深 さ 方 向 の 分 布 を 測 定 で き る よ う な 線 量 計 も 設 け た (図 7)。 こ れ ら の 結 果、 従 来 の 機 械 的 な ナ ノ セ ル ロ ー ス 生 成 に 比 べ て、 非 常 に 高 効 率 に ナ ノ セ ル ロ ー ス が 生 成 さ れ る こ と が 分 か っ た。 特 に 10 MeV で の 照 射 と し て は 数 cm も の 深 さ ま で ナ ノ セ ル ロ ー ス が 生 成 さ れ て い る こ と が わ か り、 あ る 程 度 の エ ネ ル ギ ー に よ る 照 射 に よ り 大 量 の 木 材 が セ ル ロ ー ス に 高 効 率 に 作 成 さ れ て い る こ と が わ か っ た。(詳 し く は NEDO 成 果 報 告 書 参 照。)

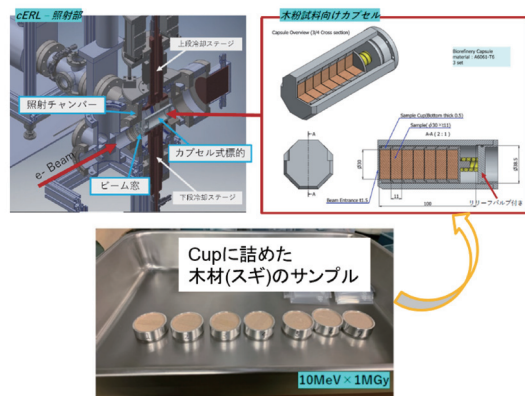


Figure 7: Setup of irradiation to the wood in cERL.

2.2.3 cERL における赤外 FEL 生成実験

最後に cERL で の IR-FEL 生 成 に つ い て 紹 介 す る。 FEL の 生 成 に は ピーク 電 流 を 上 げ る 必 要 が あ り、 特 に 高 輝 度 か つ 短 バ ン チ ビー ム の 生 成 が 欠 か せ な い。 cERL で は こ の 短 バ ン チ で 高 輝 度 の ビー ム の 生 成 が 可 能 で あ る。 さ ら に、 ERL モード で 使 う と、 繰 り 返 し が 桁 違 い に 上 が り、 従 来 で は 生 成 不 可 能 な 高 出 力 FEL の 作 成 が 可 能 で あ る。 cERL の ビー ム エ ネ ル ギ ー 17.5 MeV で あ り、 こ の エ ネ ル ギ ー は 中 赤 外 (IR) FEL の 生 成 に 適 し て お り、 大 電 流 ERL 運 転 が で き れ ば 高 出 力 FEL が 作 成 可 能 で あ る。 こ の 波 長 可 変 か つ 大 強 度 中 赤 外 FEL が 有 機 材 料 (プ ラ ス チ ッ ク、 テ フ ロ ン な ど) の レ ー ザ ー 加 工 に 非 常 に 有 望 で あ る こ と に 我 々 は 着 目 し た。

中 赤 外 領 域、 例 え ば 5 μm か ら 25 μm に 有 機

材 料 に 多 数 の 吸 収 スペ ク ト ラ ム が 存 在 す る。 そ こ で、 2018 年 度 当 時 に NEDO が 支 援 す る レー ザ ー 加 工 用 の デー タ ベー ス を 作 成 の た め の プ ロ ジェ ク ト に 参 画 し (委 託 事 業)、 NEDO プ ロ ジェ ク ト 「 分 子 振 動 を 利 用 す る 高 効 率 加 工 プ ロ セ ス 用 中 赤 外 高 出 力 レー ザ ー 光 源 開 発」と し て、 cERL で IR-FEL を ベー ス に し た 波 長 可 変 な 高 出 力 自 由 電 子 レー ザ ー (FEL) の 生 成 を 開 始 し た。 具 体 的 に は、 2018 年 度 か ら 2020 年 度 に か け て、 産 総 研、 東 京 理 科 大 学、 浜 松 ホ ト ニ ク ス と 共 同 で 本 プ ロ ジェ ク ト を 開 始。 KEK で は cERL で アン ジュ レー タ を 作 成 し、 FEL ビー ム ラ イ ン を 作 り、 10 μm ~ 20 μm 波 長 領 域 の IR-FEL を 生 成 し、 有 機 材 料 の レー ザ ー 加 工 試 験 を 行 っ た [23,24]。

FEL ビー ム ラ イ ン は 2019 年 ~ 2020 年 に cERL に 建 設 さ れ た [25]。 図 8 に cERL に 建 設 さ れ た IR-FEL の 概 略 を 示 す。 cERL の 南 直 線 部 に 3 m の アン ジュ レー タ を 2 台 設 置 し、 SASE 方 式 に よ る IR-FEL を 実 現 し た。 特 に gap を 広 げ な い 位 相 調 整 可 能 な アン ジュ レー タ を 開 発 [26]。 こ の 周 期 は 24 mm で あ り、 ギ ャ ッ プ は 約 10 mm に 固 定 さ れ て い る。 こ の アン ジュ レー タ を 用 い る こ と で、 FEL の 波 長 を 10 ~ 20 μm ま で 変 え る こ と が で き た。 FEL 光 は、 図 8 に 示 す よ う に、 各 アン ジュ レー タ の 後 ろ に あ る 穴 開 き ミ ラー を 介 し て 得 ら れ る。 電 子 は こ の 穴 を 通 過 す る が、 発 生 し た FEL 光 は 発 散 し、 こ の ミ ラー で 反 射 さ れ、 IR 検 出 器 で 検 出 さ れ る。

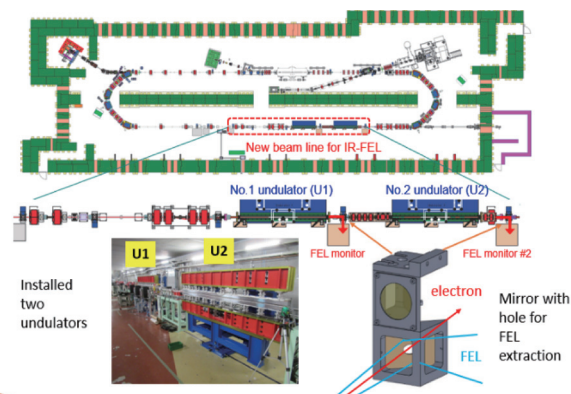


Figure 8: Layout of the cERL after modification for IR-FEL (upper) and enlarged drawing of the undulators installed in the south-straight section with installed undulator picture (lower) [19].

FEL のゲインを得るために 81.25 MHz のレーザーを光陰極のレーザーとして用い、60 pC/バンチの高電荷ビームを作成した。今回は 1 μ s のマクロパルスビームのバーストモードにて 5 Hz の繰り返しで cERL の運転を行った。目標パワーはマクロパルスで 1 W レベルであり、これは 12 nJ/パルスに相当する。

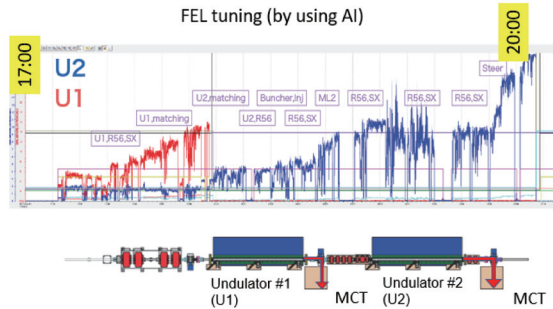


Figure 9: Trend of FEL tuning. Red (blue) data shows the measured FEL by MCT on U1 (U2)[19].

図 9 は、我々の FEL 生成の trend を示す。2 台のアンジュレータ—U1、U2 からの FEL はいずれも HgCdTe (水銀カドミウムテルル) 検出器 (MCT) で測定された。図 9 の紫色で示す各オプティクスチューニングを行った。具体的には、FEL を得るために、ビームプロファイルをアンジュレータ部に合わせて変更したり、バンチ圧縮パラメータ (R_{56}) を調整したりする。これらのチューニングは非常に複雑であるため、機械学習 (AI) によるチューニングを駆使することで、図 9 に示すように FEL を増大させることができた。最終的に、U2 は U1 の約 10 倍の利得を得ることに成功した。強度で 0.5 W レベルで 30 分間で 7% r.m.s での安定した強度が得られた。詳細な結果は文献 [23] にまとめられているが、これにより、cERL で高繰り返しの SASE-FEL が実現可能であることが分かった。

3. iCASA での将来開発展望

3.1 Nb₃Sn 超伝導空洞を用いた汎用小型加速器開発

cERL で行ってきた応用実験として、電子ビーム照射による実験を行ってきたが、2 節で示し

たように ⁹⁹Mo の医療応用、材料照射による需要など多岐にわたることがわかり、さらに大電流による照射が重要であることがわかってきた。しかし、現状の Nb 空洞では液体ヘリウム浸漬冷却に伴う高圧ガス保安法による規制、大量の液体ヘリウムの運用など多くの課題があり、今後も大学や汎用レベルの医療産業応用への普及は難しいと考えられる。これらのさらなる応用展開で特に大強度ビームの利用の需要を満たすために、KEK では、小型で汎用な超伝導加速空洞の開発を開始した。具体的には新材料での Nb₃Sn の超伝導加速空洞の開発である (後述)。

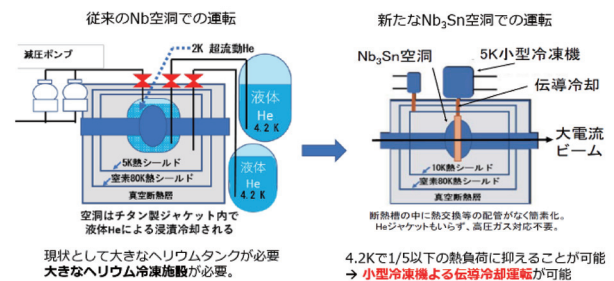


Figure 10: Comparison between Nb cavity cryomodule and Nb₃Sn cryomodule.

Nb₃Sn は転移温度 (T_c) が 18.3 K と Nb の転移温度 (9.2 K) と比べて高い。特に、Nb₃Sn に関しては、1.3 GHz 周波数帯の加速空洞の開発は 2010 年代半ばから米国コーネル大、フェルミ研究所 (FNAL) で開発が進み [27]、現在我々 (KEK) 含め、世界的に開発が精力的に行われている。Nb₃Sn は 2 K の Nb と同じ抵抗値 (Q 値) を 4.2 K で実現することが可能である。具体的には、10 MV/m の加速勾配で、抵抗値 20 n Ω とすると 4.2 K で 1 空洞あたり発熱量 1 W という低熱負荷を実現できる。市販の機械式小型冷凍機は 4.2 K まで冷却可能で 1 ~ 2 W 程度の冷凍能力がある。Nb に比べ、空洞での熱負荷を圧倒的に減らすことが可能である。近年では Nb₃Sn 加速空洞は 15 MV/m ~ 20 MV/m の性能を達成している。具体的には空洞冷凍負荷として 1/3 ~ 1/5 程度まで低減できることが期待される (図 10)。Nb₃Sn 加速空洞を小型冷凍機で

伝導冷却することで液体ヘリウムが不要な超伝導加速器が実現可能である。

このような開発状況を踏まえ、まずは、2.2.2 節で展開したナノセルロースの需要に合う伝導冷却の Nb₃Sn 空洞ベースの汎用加速器の設計を行った。具体的な、ビームパラメータは 10 MeV, 50 mA の大強度加速器である。図 11 は Nb₃Sn クライオモジュールを用いた照射型加速器の全体像である。入射部、Nb₃Sn クライオモジュール、照射部の設計を踏まえ、加速器全体の設計を行った [28]。これら全体の加速器の大きさは約 8 m × 約 1 m × 高さ 2 m 程度の大きさに抑えることが可能であった。Nb₃Sn 空洞を用いることで、10 MeV、50 mA をロスなく加速可能であるとともに、従来超伝導加速器に付随する He 冷凍機プラントなどがなくなり、非常にコンパクトな照射加速器を設計できた。さらに冷凍負荷は従来の Nb 空洞に比べ、数 10% 程度まで削減が可能な設計であった。

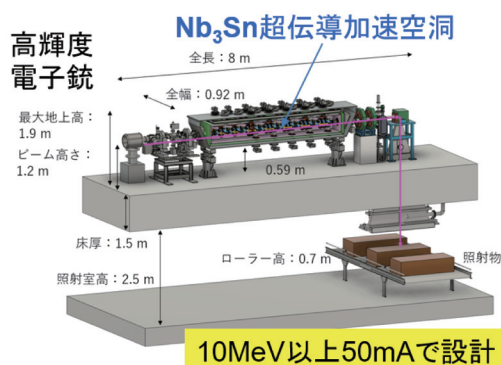


Figure 11: Conceptual design of 10 MeV 50 mA accelerator based on Nb₃Sn SRF cryomodule [28].

一方、KEK での Nb₃Sn の空洞開発も着実に進んでいる。Sn 熱拡散法による Nb₃Sn 超伝導加速空洞の研究開発を開始している。空洞成膜用の大型成膜炉の立ち上げ (図 12)、大型成膜炉の特性理解、サンプルを用いた Nb₃Sn 成膜試験を行った後に空洞への成膜試験を開始し、計 4 回 1.3 GHz 単セル超伝導空洞に対する Nb₃Sn 成膜を行った [29]。3 回目以降の成膜では低加速勾配で高い Q 値を得ることが出来、低加速勾配での Q 値が 4.2 K の温度で 1.1×10^{10} で

あり、目標の Nb の 2 K と同等の Q 値である $Q_0 > 10^{10}$ を達成している。さらに高 Q 値の Nb₃Sn 空洞の伝導冷却スタンドによる測定も現在行っている。

このような大電流小型超伝導空洞による加速器設計と Nb₃Sn 開発を踏まえて、より Nb₃Sn 超伝導加速空洞による大強度小型加速器の実現を目指していく予定である。



Figure 12: Nb₃Sn furnace at COI building in KEK.

3.2 EUV-FEL 開発

半導体の露光装置としては、レーザー誘起プラズマ (LPP) 法による 250 W/ 露光機の EUV 光源を用いた EUV リソグラフィ (波長 13.5 nm) の光源をベースとしており、現在、さらに 3 nm・2 nm ノードといった更なる微細化に向けての研究が進んでいる。LPP 光源は現状で 13.5 nm の EUV 波長で 250 W の光源強度を実現しているが、その原理はスズのドロップレットに大強度 CO₂ レーザー (30 kW 程度) を照射し、プラズマ状態からの EUV 発光を利用しているが、これ以上の増強が大きな課題である。3 nm・2 nm ノードでの最適な EUV 光源強度は 1.8 ~ 2.8 kW と見積もられており、1 kW/ 露光機を超える大強度 EUV 光源開発が最優先開発項目である。

ERL 技術を用いた FEL 光源は、2.2.3 節でも示したように、今迄に類を見ない大強度の光源を提供可能である。そのブレイクスルーとして、将来光源開発として、加速器ベースの自由電子レーザー (FEL) を用いた 10 kW 級の半導体露光用 EUV 光源を我々は提唱し、10 台の露光装置に 1 kW の EUV 光を同時に供給できる EUV-

FEL 光源を提案してきた [16]。

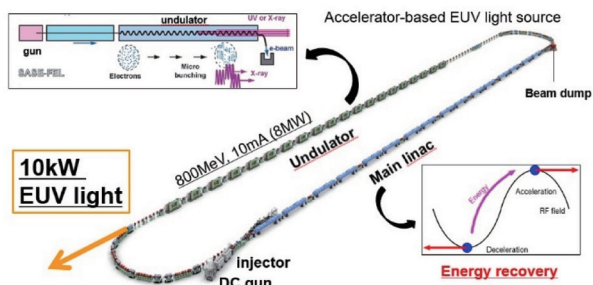


Figure 13: Conceptual design of EUV-FEL light source.

具体的な光源は図 13 にあるように、800 MeV、10 mA のエネルギー回収型加速器による SASE-FEL 光源である。波長の短い FEL の発振には、ミラーを用いない自発型自由電子レーザー (SASE-FEL) という方式を用いる。これにより、EUV ~ X 線領域の短波長のレーザー生成を可能としている。国内では理研播磨の SACLA を代表とするように、既存の第 3 世代放射光源をはるかに凌駕するピーク強度をもたらしている。但し、繰り返しが常伝導線形加速器の繰り返しで決まっており、平均輝度 (パワー) が圧倒的に少ないのが現状である。ERL はこの線形加速器の高繰り返しを可能とし、大電流化を実現するものである。加速した電子ビームのうち数 % は FEL エネルギーとなるが、その後、電子ビームの 90 % 以上は SASE-FEL ではそのまま捨てられる。捨てられるはずの大電流ビームをこのエネルギー回収技術により、次の電子ビームの加速に用いることで、FEL で使用されたビームエネルギーを再利用することが本 ERL ベースの EUV-FEL 光源の重要な技術である。これにより、10 kW 以上もの EUV 光が生成可能であると共に、エネルギー回収による大幅な電力をおさえることが可能となる。さらにビームダンプでの大電流ビームの放射化を防ぐことが可能となる。

本加速器の特徴として、EUV-FEL 光源は露光装置 1 台あたりの消費電力も LPP 光源に比べて大幅に抑えられる。また、ビームエネルギーを上げることでより短波長で高分解能の高出力 Beyond EUV 光源へ拡張できることが大きな特

徴であり、次世代光源と言われる所以である。すでに概念実証実験として、2.2.3 節で示したように cERL に IR-FEL を建設し、ERL 型加速器において世界で初めて SASE-FEL の発振に成功した [23]。またエネルギー回収技術として、1 mA の大電流ビームの改修運転を実現してきた [10]。本 EUV-FEL 光源開発が iCASA における将来展開のもう一つの目標であり、cERL 加速器で EUV-FEL の要素開発やビーム運転技術開発を行っていく予定である。

具体的には、下記の開発を行い、将来光源である EUV-FEL 光源の技術指針を出す予定である。

- 1) 10 mA の大電流高輝度電子銃開発
- 2) EUV-FEL に特化した高 Q 値加速空洞を保持したクライオモジュールの開発
- 3) より小型の EUV-FEL 光源の設計
- 4) 安価で偏光可変なアンジュレータの開発である。

1) に関しては、cERL で用いている電子銃の電源を改造し、10 mA の高輝度電子銃の開発を行っていく。更に、低エミッタンスを目指すために、光陰極型の GaAs のカソードにレーザー照射した電子銃の開発をおこなってきたが、カソードの量子効率を大電流運転でも確保する必要がある。大電流では真空中にビームに沿って真空中のイオンがカソードに逆走し、カソードにダメージを与える。そのために、超高真空が必要であった。GaAs に代わるダメージに強いマルチアルカリカソードなどの開発を進めて行く予定である。さらにその電流により cERL でのエネルギー回収運転を実現していく予定である。

2) に関しては、近年の超伝導空洞処理の技術発展により、空洞の更なる高 Q 値化が可能となってきた。具体的には空洞の温度処理を 300 度でアニールを行うことで、現在の Q 値の 3 倍以上の高い Q 値が実現できる [30]。これにより、運転時の液体 He の熱負荷が 1/3 以下になり、大幅な運転コストダウンに直結する。また、大電流に有害となる空洞に立つ高次モード (HOM) を除去する空洞設計とその

HOM を吸収する HOM ダンパー開発を進めていく [31]。これらを内包するクライオモジュールを作成、cERL にて Q 値が 3×10^{10} 以上で 15 MV/m 以上の加速勾配が可能かを実証していく予定である。

3) に関しては、汎用の EUV 光源の実現にとっては大きな課題である。図 13 にある加速器は長さ 200 m で幅 50 m 程度の大きさの加速器である。その長さを決めているのは、超伝導加速空洞のトータルの長さと同アンジュレータの長さである。両方の長さを小さくすることが重要である。1 つ目の提案は、主加速空洞で数回加速するマルチターン加速方法を採用することである。現在の設計は主加速部で一度の加速と減速を行うものであるが、エネルギー回収技術としては、加速空洞で何回も加速することは可能である。具体的にはコーネル大学で CBETA 試験加速器でマルチターン加速の実証が行われており、 μA 以下であるが、4 ターンのマルチターン ERL を実証している [32]。これにより、加速セクションが非常に短くすることが可能である。もう一つの課題は SASE-FEL のゲインを得るために、十分な増幅のためのアンジュレータの距離が必要となることである。幸い、ERL 加速器は連続でビームが、来るために、増幅した光の一部を一旦アンジュレータ入り口まで戻し、それを種光として、別のビームの再生増幅に使うというものである。これにより、最初からある程度増幅した光が種光として使うことで、アンジュレータの増幅距離を短くすることが可能である。この再生増幅実験は cERL で行っていく予定である。

最後に 4) に関しては、さらに 5 m のアップル型のアンジュレータを開発して、色々な偏光の波長に対応するとともに、コンパクトなアンジュレータ開発を目指していく予定である。

これらの要素開発をビーム実験を cERL で行い、次の 800 MeV 10 mA の prototype 加速器に結び付けていく予定である。

iCASA で具体的に見通せる将来の展望として、上記、Nb₃Sn による大強度小型超伝導加速

器と EUV-FEL の展望について、述べた。しかしながら、加速器の応用は、医療・情報・環境・エネルギー・インフラ以外にも、農業・安全・加工・改質等様々な分野が考えられる。将来の“夢”として、我々の技術が今後どのように応用ができるかも重要と思い、ブレーンストーミング等も行っている。iCASA のメンバーで、大強度加速器を小型化して、宇宙デブリを落とせないかなど、色々、アホみたいなこと（失礼）も議論した。その一環でナノセルロース開発などが出てきたこともあり、iCASA で継続して、超伝導空洞を用いた様々な利用などを検討していければと思っている。

4. まとめ

超伝導空洞のメリットと iCASA での応用展開を述べた。その iCASA の応用展開として、具体的に、cERL の産業応用と医療応用を示した。一つ目は照射ビームラインを製作し、cERL CW ビームを用いた ⁹⁹Mo の製造と、ナノセルロース生成を紹介した。もう一つは、2 台のアンジュレータを用いた SASE 方式による IR-FEL の生成実験を紹介した。

今後、cERL では ERL モードによる 10 mA ビームの増強を予定している。cERL で 10 mA ビームによる ERL-FEL 運転が可能になれば、10 kW クラスの高出力 EUV-FEL 光源も夢ではなくなる [16]。照射ビームラインでは、他の照射実験も行うとともに、今後の大強度 Nb₃Sn 加速空洞による汎用小型大強度加速器に向けた開発を進めて行く予定である。

超伝導空洞を用いた加速器の売りは、大強度ビームを生成できることである。本研究のように EUV-FEL のような先端性を持つものもあれば、小型化や汎用化も進むと期待される。このような加速器は今まではものの分析のツールとして使っていた加速器が、強度を上げることで、ものの改質加工まで踏み込むことが可能なレベルになる。そのため、本研究が進むことで、加速器の応用が、医療・情報・環境・エネルギー・インフラ以外にも様々な分野に広がればと思っ

ている。

謝辞

IR-FEL の建設・運転は、NEDO プロジェクト「高輝度・高効率レーザー加工技術の開発 (TACMI プロジェクト)」のサポートのもと行われました。本研究の一部は、JSPS 科研費番号 18H03473 のサポートを受けている。照射ラインの建設および運転は、株式会社アクセラレータのサポートを受け、委託契約に基づき実施した。ナノセルロース生成研究は「NEDO 先端研究プログラム／エネルギー・環境新技術先端研究プログラム／高効率ナノセルロース製造のための革新的量子ビーム技術開発」のサポートの元、行われました。

cERL の設計、建設、実験に協力して頂いた cERL チームのメンバーに感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] K. Akai, T. Furuya, E. Kako, K. Kubo, S. Noguchi and T. Shishido, “Operational experience with the TRISTAN superconducting RF system,” Conference Record of the 1991 IEEE Particle Accelerator Conference, San Francisco, CA, USA, 1991, pp. 2405-2407 vol.4.
- [2] T. Furuya *et al.*, “Achievements of the Superconducting Damped Cavity in KEKB Accelerator” Proc. of SRF2003, Lubeck/Travemunder, Germany, MOP21, pp.78-81, (2003).
- [3] Y. Yamamoto, H. Hayano, E. Kako, S. Noguchi, T. Shishido, and K. Watanabe, Achieving high gradient performance of 9-cell cavities at KEK for the international linear collider, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 729, 589 (2013).
- [4] C. Schmidt *et al.*, “Operational Experience with the European XFEL SRF Linac”, Proc. of SRF2023, Grand Rapids, MI, USA, MOIXA06, pp.43-50, (2023).
- [5] D. White, S. Aderhold, R. Coy, D. Gonnella, “Installation of LCLS-II Cryomodules” Proc. of SRF2023, Grand Rapids, MI, USA, MOPMB089 pp.324-326, (2023).
- [6] J. Wei *et al.*, “FRIB Transition to User Operations, Power Ramp up, and Upgrade Perspectives”, Proc. of SRF2023, Grand Rapids, MI, USA, MOIAA01, pp.1-8, (2023).
- [7] K. Yamada *et al.*, “Operational Experience for RIKEN Superconducting Linear Accelerator”, Proc. of SRF2023, Grand Rapids, MI, USA, MOIXA04, pp.30-37, (2023).
- [8] M. Akemoto *et al.*, “Construction and commissioning of the compact energy-recovery linac at KEK”, Nucl. Instrum. Method, A, vol. 877 pp.197-219 2018.
- [9] Energy Recovery Linac Conceptual Design Report, KEK Report 2012-4, 2012.
- [10] T. Obina *et al.*, “1 mA Stable Energy Recovery Beam Operation with Small Beam Emittance”, in *Proc. IPAC'19*, Melbourne, Australia, May, 2019, p.1482.
- [11] N. Nishimori *et al.*, “Generation of a 500-keV electron beam from a high voltage photoemission gun”, Appl. Phys. Lett. vol. 102, p.234103, 2013.
- [12] K. Watanabe *et al.*, “Development of the superconducting rf 2-cell cavity for cERL injector at KEK”, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A, vol. 714, p.67, 2013.
- [13] H. Sakai *et al.*, “Field emission studies in vertical test and during cryomodule operation using precise x-ray mapping system”, Phys. Rev. Accel. Beams, vol. 22 p.022002, 2019.
- [14] H. Sakai *et al.*, “Long-term Operation with Beam and Cavity Performance Degradation in Compact-ERL Main Linac in KEK”, in *Proc. 29th Linear Accelerator Conference (LINAC2018)*, Beijing, China, Sep. 2018, p.695.
- [15] Y. Morikawa, *et al.*, “New Industrial Application Beamline for the cERL in KEK”, in *Proc. IPAC'19*, Melbourne, Australia, May, 2019, p.3475.
- [16] H. Kawata, N. Nakamura, H. Sakai, R. Kato,

- and R. Hajima, “High power light source for future extreme ultraviolet lithography based on energy-recovery linac free-electron laser”, J. of Micro/Nanopatterning, Materials, and Metrology, 21(2), 021210 (2022).
- [17] Y. Honda, *et al.*, “High-efficiency broadband THz emission via diffraction-radiation cavity”, Phys. Rev. Accel. Beams, vol. 22, p.040703, 2019.
- [18] T. Akagi *et al.*, “Narrow-band photon beam via laser Compton scattering in an energy recovery linac”, Phys. Rev. Accel. Beams, vol. 19, p.114701, 2016.
- [19] H. Sakai *et al.*, “Stable beam operation in Compact ERL for Medical and Industrial Application at KEK”, Proc. of SRF2021 (online) p.714-717, (2021)
- [20] 伊藤拓, 「加速器による医療用 RI の商業生産」、加速器学会誌 Vol. 17, No. 3, 2020 (181–186).
- [21] 森川祐、他, 「cERL における RI 製造、電子線照射ラインの建設と照射試験報告」、Proc of PASJ2019, July 31- August 3. 2019, Kyoto, Japan, WEPH015 pp.312-316.
- [22] 加藤龍好、他, 「KEK コンパクト ERL の現状」、Proc of PASJ2022, Oct. 2022, (online) Kyushu Univ., Japan, TWP010 pp.1104-1106.
- [23] Y. Honda *et al.*, “Construction and commissioning of mid-infrared self-amplified spontaneous emission free-electron laser at compact energy recovery linac”, Review of Scientific Instruments, vol.92, p.113101, 2021.
- [24] 阪井寛志、加藤龍好、中村典雄、築山光一、枝村忠孝、秋草直大、佐藤正健、屋代英彦、欠端雅之, 「分子振動を利用する高効率加工プロセス用中赤外高出力レーザー光源開発」、「レーザー加工学会誌」 Vol. 28, No. 3 p36-42, 2021.
- [25] R. Kato *et al.*, “Construction of an Infrared FEL at the Compact ERL”, in *Proc. IPAC’21*, Campinas, SP, Brazil, May, 2021, p.1608.
- [26] 土屋公央, 阿達正浩, 塩屋達郎, 江口柊, 加藤龍好, 「cERL 自由電子レーザー用アンジュレータの開発」、Proc of PASJ2019, July 31- August 3. 2019, Kyoto, Japan, FRPI018 pp.1064-1065.
- [27] R. D. Porter *et al.*, Proc. of LINAC2018, p.462-465 (2018).
- [28] H. Sakai, *et al.*, “Conceptual design of the high-power electron beam irradiator using niobium-tin superconducting cavity”, J. Phys. Conf. Ser. 2687 092013 (2024).
- [29] H. Ito, H. Sakai, K. Umemori, T. Yamada, “Development of Nb₃Sn Coating System and RF Measurement Results at KEK”, Proc. of SRF2023, East Lansing, MI, USA, TUPTB014, pp.414-418, (2023).
- [30] H. Ito *et al.*, “Influence of furnace baking on Q-E behavior of superconducting accelerating cavities”, Prog. Theor. Exp. Phys. 2021, 071G01 (2021).
- [31] T. Konomi *et al.*, “Damped superconducting structure for EUV light source based on energy recovery linac”, Phys. Rev. Accel. Beams 26, 121601 (2023).
- [32] A. Bartnik, *et al.*, “CBETA: First Multipass Superconducting Linear Accelerator with Energy Recovery”, Phys. Rev. Lett. 125, 044803 (2020).

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項（2024 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： 高エネルギー加速器に関する実験的あるいは理論的な基礎研究ならびに応用研究において、独創性に優れ国際的にも評価の高い業績をあげた、単数または複数の研究者および技術者

小柴賞： 素粒子分野などの基礎科学における測定器技術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あげた、単数または複数の研究者及び技術者

諏訪賞： 高エネルギー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単数または複数の研究者及び技術者ならびに研究グループ

熊谷賞： 研究開発、施設建設など長年の活動を通して、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単数または複数の加速器関係者

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）及び表彰盾（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当財団の選考委員会で選考し、理事会において決定する。

6. 選 考 2024 年 12 月上旬

7. 提出書類

(1) 推薦書（当財団のホームページに掲載の様式による）

(2) 選考資料

西川賞、小柴賞、諏訪賞については、研究業績に関する出版された（Open access を含む）論文等（3 編以内）、熊谷賞については、業績に関する論文または資料（3 編以内）を pdf ファイルとして添付すること。

8. 受付期間 2024 年 9 月 2 日（月）～ 2024 年 11 月 29 日（金）必着

9. 書類の提出ならびに問合せ先

(公財) 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

※ Eメールによる提出でも受け付けます。その場合書類のPDFを添付してください。

TEL・FAX : 029-879-0471

Eメール : info@heas.jp

ホームページ : <https://www.heas.jp/>

受 付 番 号	
受 付 年 月 日	年 月 日

公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会
奨励賞候補者推薦書

候 補 者	氏名（ふりがな）	所属・職
		候補者連絡先・email アドレス等
研究課題／業績名	(和文)	
	(英文)	
賞 の 種 類 ^(*)	☐ 西川賞 ☐ 小柴賞 ☐ 諏訪賞 ☐ 熊谷賞	
推 薦 要 旨		
年度 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 奨励賞候補者として、上記 の者を推薦します。 年 月 日 公益財団法人高エネルギー加速器科学研究奨励会 選考委員会委員長 殿 推薦者の所属機関・職・連絡先電話番号・email アドレス等 推薦者名		

(*) 授与する賞の種類については応募内容に応じて選考委員会が変更する場合がある。

候補者略歴	(生年月日 (西暦)	年	月	日)
研究課題 / 業績及び推薦理由 (候補者が複数の場合はその役割分担等も記載のこと)				

公益財団法人高エネルギー加速器科学研究奨励会

研究助成等応募要領（2024 年度）

1. 趣 旨

本公益財団法人では、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国外の研究者、技術者に対する研究助成を行う。

2. 助成の対象

- 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（但し共同利用実験等は除く。）
- 4)： 我国の加速器科学振興のために特に必要と認められる研究

3. 助成内容

1) 研究に対する助成

(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、国外の研究者等に対する国内旅費等の助成

2) 国際交流に対する助成

(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等を国外に派遣する場合に必要とする旅費等の助成

(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国外の研究者等を招聘する場合に必要とする旅費等の助成

3) 国際会議・国際研究集会等に対する助成

国内において開催す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必要な国内旅費及び会場費等の助成

4. 助成件数

年間それぞれ5件程度とする。

5. 申込時期

随時、但し助成金使用予定の1ヶ月以上前

ただし、受付期間は、原則として2024年4月から2025年1月末日までとする。

6. 申込要領

下記書類を当財団宛に提出すること。（メール・PDF 申請可）

(1) 当財団指定の研究助成申請書等に必要事項を記入した書類

様式1：研究助成申請書

様式2：国際交流助成申請書（研究発表等で国際会議等に出席する場合）

様式3：国際会議等助成申請書（国際会議等を主催する場合）

- (2) 国際交流助成・国際会議等助成の場合は会議開催通知、プログラム、招聘状、会議での役割分担等、研究の重要性が判断できるもの
- (3) 旅費計算書（航空運賃見積書・領収書等を添付）
- (4) その他必要と思われる書類

7. 決定通知

当財団選考委員会の審査を経て、申請後1ヶ月以内に助成決定通知書を申請者に送付する。

8. 助成金の支払い

申請者の指定口座へ振込みとする。

9. 報告の義務

助成を受けた者は、業務終了後、1ヶ月以内に研究等の「研究成果報告書（様式4）」及び「助成金使用実績内訳書（様式5）」を提出すること。

10. 申込書の請求、提出ならびに問合せ

〒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
公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会
TEL・FAX 029-879-0471
E-mail: info@heas.jp

研 究 助 成 申 請 書

年 月 日

公益財団法人
高エネルギー加速器科学研究奨励会
代表理事 幅 淳 二 殿

申請者氏名 _____

所属機関 _____

所 属 名 _____

下記の研究課題に対する助成を申請します。

記

研究課題（内容が把握できるよう表現してください）		
実施期間 年 月 日～ 年 月 日		
実施場所		
助成申請者に関する事項	申請者氏名	
	最終学校名 卒業年月	年 月
	学位名・学位授与大学名 取得年月日	年 月
	現在の研究分野	
	所属機関・職名	
	連絡先住所・ 電話（内線）	住所 Tel. E-mail

※共同研究の場合は、氏名欄は代表者

助 成 申 請 額	
-----------	--

申 請 理 由
申請額算出内訳（使途概要）
上記申請を適切と認めます。 年 月 日 所属機関 所 属 名 所属長職・氏名

- ※ 申請時に見積書・申請額算出内訳（使途概要）を記入すること。
- ※ 研究終了後1ヶ月以内に別紙「研究助成報告書（様式5）」及び「助成金使用実績内訳書（様式6）」を記入の上、当公益財団法人事務局まで提出すること。

国 際 交 流 助 成 申 請 書

年 月 日

公益財団法人
高エネルギー加速器科学研究奨励会
代表理事 幅 淳 二 殿

申請者氏名 _____

所属機関 _____

所 属 名 _____

下記の国際交流に対する助成を申請します。

記

研究課題（内容が把握できるよう表現してください）		
実施期間 年 月 日～ 年 月 日		
実施場所（開催国・都市・機関等）		
助成申請者に関する事項	申請者氏名	
	最終学校名 卒業年月	年 月
	学位名・学位授与大学名 取得年月日	年 月
	現在の研究分野	
	所属機関・職名	
	連絡先住所・ 電話（内線）	住所 Tel. E-mail

※共同研究の場合は、氏名欄は代表者

助 成 申 請 額	
-----------	--

申 請 理 由
申請額算出内訳（使途概要）
上記申請を適切と認めます。 年 月 日 所属機関 所 属 名 所属長職・氏名

- ※ 申請時に見積書・申請額算出内訳（使途概要）を記入すること。
- ※ 研究終了後1ヶ月以内に別紙「研究助成報告書（様式5）」及び「助成金使用実績内訳書（様式6）」を記入の上、当公益財団法人事務局まで提出すること。

国際会議等助成申請書

年 月 日

公益財団法人
高エネルギー加速器科学研究奨励会
代表理事 幅 淳二 殿

申請者所属・職名 _____
 申請者氏名 _____
 主催機関名 _____
 主催機関代表者 _____
 申請者と主催機関との関係 _____

下記の国際会議等に対する助成を申請します。

記

会議の名称	和文名
	英語名
会 期	年 月 日から 月 日 日間
開 催 場 所	(都市・機関等)
参加者(国別)	
参 加 人 員	人
助成申請額	円
連絡先住所・ 電話(内線)	住 所 Tel. E-mail 振 込 先

申 請 理 由
申請額算出内訳（使途概要）
上記申請を適切と認めます。 年 月 日 所属機関 所 属 名 所属長職・氏名

- ※ 申請時に会議・集会の概要を添付すること。
- ※ 申請時に見積書・申請額算出内訳（使途概要）を記入すること。
- ※ 研究終了後1ヶ月以内に別紙「研究助成報告書（様式5）」及び「助成金使用実績内訳書（様式6）」を記入の上、当公益財団法人事務局まで提出すること。

第41回高エネルギー加速器セミナー OHO '24 開催

今年度の高エネルギー加速器セミナー OHO '24 は、現地開催とオンラインによるハイブリッド形式により開催されます。

申込み、プログラムなどは下記をご参照ください。

<https://conference-indico.kek.jp/event269/>

第41回 高エネルギー加速器セミナー

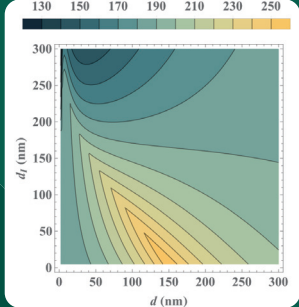
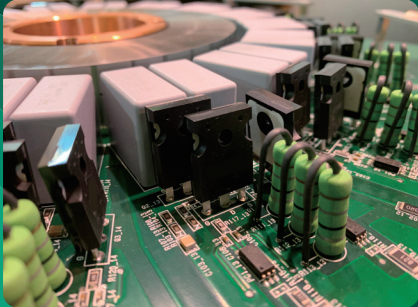
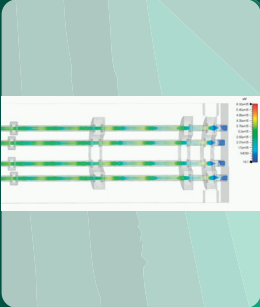
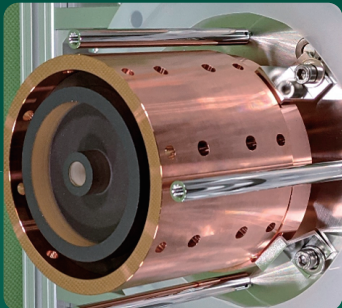
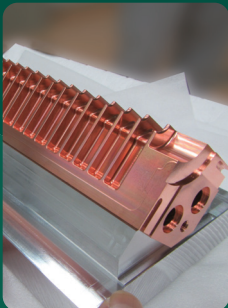
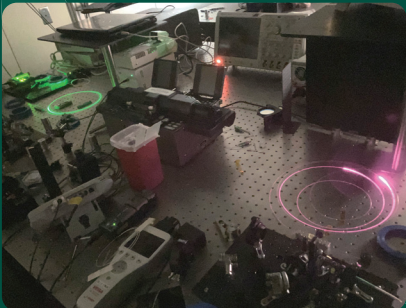
OHO'24

新奇・革新的な加速技術

2024年9月10日(火) ▶ 13日(金)

👤 現地 + 💻 オンライン開催

参加者募集



 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 (FAS)  大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)

〒305-0801 つくば市大穂 1-1 高エネルギー加速器研究機構内

<https://www.heas.jp> TEL/FAX : 029-879-0471

<https://conference-indico.kek.jp/event/269/>

✉ oho24@ml.post.kek.jp



2023 年度 事業報告書

2023 年 4 月 1 日 ～ 2024 年 3 月 31 日

1. 研究に対する助成

応募無し

2. 国際交流に対する助成

- ①申請者 栗木雅夫 広島大学大学院先進理工系科学研究科 教授
研究課題 LCWS23(International Workshop on Future Colliders)における国際リニアコライダー
加速器・測定器開発についての議論
開催期間 2023 年 5 月 15 日～2023 年 5 月 19 日
開催場所 米国・メンロパーク スタンフォード線形加速器センター
- ②申請者 栗木雅夫 広島大学大学院先進理工系科学研究科 教授
研究課題 13th ICFA Seminar on Future Perspectives in High-Energy Physics への参加
開催期間 2023 年 11 月 28 日～2023 年 12 月 1 日
開催場所 DESY, Hamburg, Germany

3. 国際会議、学術講演会等の開催助成

- ①申請者 古川和朗 高エネルギー加速器研究機構名誉教授
研究課題 第 13 回粒子加速器の運用に関わる国際ワークショップ (WAO2023)
開催期間 2023 年 9 月 10 日から 9 月 15 日 6 日間
開催場所 茨城県つくば市 ・ つくば国際会議場 (EPOCHAL)

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'23 の開催
- ・高エネルギー加速器研究機構との共催
 - ・テーマ 「標的と 2 次ビーム」
 - ・開催期間：2023 年 9 月 5 日（火）～9 月 8 日（金）
 - ・参加者数：学生、研究機関、企業関係者等 約 130 名 内訳は資料 7 参照
- (2) 第 3 回加速器施設探訪会の実施
- ・一般見学ではアクセスできない場所、機器等を担当者の解説を交えてじっくりと視察、十分な質疑応答の時間なども設けて、施設の「探訪」を行うことを目的として実施した。
 - ・実施期日 2023 年 9 月 15 日（水）13:00～17:00
 - ・見学場所 高エネルギー加速器研究機構つくばキャンパス
3 号館展望台、入射器、ダンピングリング、フォトンファクトリー、
SuperKEKB、ATF
 - ・参加者数：賛助会員 11 社 20 名

(3) 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では大学の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」を実施しているが、今年度19名のインターンシップを行うことで助成の申請があったので助成した。

(4) レクチャーアンドコンサート「科学と音楽の饗宴」への助成

2023年12月3日(日) つくば市 ノバホールにて開催した。来場者659名

内容は、「虫たちの音と振動の世界～生物音響学への招待～」と題して森林研究・整備機構森林総合研究所東北支所・チーム長(害虫制御担当)の高梨琢磨さんによる講演と、著名なギター奏者である村治奏一さんの「ギターで綴る愛と映画の音楽」と題してのコンサートであった。

5. 研究成果の褒賞

今年度の奨励賞(西川賞、小柴賞、諏訪賞、熊谷賞)には西川賞に4件、小柴賞に2件、諏訪賞に3件、熊谷賞に2件の計11件の推薦があった。

今年度の奨励賞の募集期間は9月から11月末までの3か月間として、奨励会のホームページ、FASだより、各学会のホームページなどでの広報、また学会や団体等のメーリングリストにより広報活動を行った。

選考委員会を12月25日に開催し、厳正な選考を行った結果、推薦のあった11件のうち西川賞に1件、小柴賞に1件、諏訪賞に3件、熊谷賞に1件の計6件を奨励賞候補者として決定し理事会に推薦した。

2月1日に開催された理事会に諮った結果、選考委員会の案通りに承認され、西川賞1件、小柴賞1件、諏訪賞3件、熊谷賞1件の授賞が決定し、奨励賞授与式を2024年3月7日(木)、東京・アルカディア市ヶ谷で評議員会終了後に開催した。

6. 加速器科学に関する出版物等の頒布

(1) 高エネルギー加速器セミナー OHO'23 テキスト

- ・2023年9月に発行済、配布先：学生・賛助会員(無料)
一般企業、研究機関等(1冊2,000円で頒布)

(2) 高エネルギーニュース

- ・賛助会員、他関係者に配付している。
- ・Vol.42.1(6月配付済)、Vol.42.2(9月発行、配付済)、Vol.42.3(1月発行、配付済)、Vol.42.4(3月発行、配付済)

(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)

- ・8月に第26号を発行、3月に第27号を発行し、賛助会員、他関係者に配付した。

7. 理事会の開催

1) 第36回理事会を2023年4月27日(木)13:30～14:45までWeb会議(ZOOM利用)で開催した。

(1) 承認・決議事項

第1号議案 「2022年度事業報告書(案)承認」の件
事業報告附属明細書(案)を含む

第2号議案 「2022年度貸借対照表(案)、損益計算書(案)、損益計算書内訳表(案)及び財産目録(案)承認」の件 監査報告書含む

第3号議案 「第29回評議員会の招集」に関する件

第4号議案 「次期評議員選定委員会委員のうち外部委員の選任」に関する件

第5号議案 「次期選考委員会委員の選任」に関する件

(2) 報告事項

①次期評議員について

②代表理事、業務執行理事の業務執行状況報告について

2) 第37回理事会を2023年6月2日(金)11:00～11:20までWeb会議(ZOOM利用)で開催した。

(1) 承認・決議事項

第1号議案 「代表理事・業務執行理事の選定」の件

第2号議案 「顧問の委嘱」の件

(2) 報告事項

なし

3) 第38回理事会を2024年2月1日(木) 13:30～15:30までWeb会議(ZOOM利用)で開催した。

(1) 承認・決議事項

第1号議案 「奨励賞授賞者選考」に関する件

第2号議案 「2024年度事業計画書(案)承認」に関する件

第3号議案 「2024年度収支予算書(損益計算書案)(案)・正味財産増減計算書内訳表(案)、資金調達及び設備投資の見込みについて承認」に関する件

第4号議案 「第30回評議員会の招集」に関する件

第5号議案 「研究助成等内規の一部改正」に関する件

第6号議案 「評議員選定委員会運営規則の一部改正」に関する件

(2) 報告事項

①2023年度事業報告(中間)について

②2023年度収支決算の見込みについて

8. 評議員会の開催

1) 第29回評議員会を2023年5月25日(木)13:30～14:30までWeb会議(ZOOM利用)で開催した。

(1) 承認・決議事項

第1号議案 「2022年度事業報告書(案)承認」の件
事業報告附属明細書(案)を含む

第2号議案 「2022年度貸借対照表(案)、損益計算書(案)、損益計算書内訳表(案)及び財産目録(案)承認」の件 監査報告書含む

第3号議案 「任期満了に伴う理事選任」の件

第4号議案 「任期満了に伴う評議員選定委員会委員の選任」の件

(2) 報告事項

①次期評議員について

②次期選考委員会委員について

③業務報告について

2) 第30回評議員会を2024年3月7日(木)13:00～14:35まで東京・アルカディア市ヶ谷で開催した。

(1) 承認・決議事項

第1号議案 「2024年度事業計画書(案)承認」の件

第2号議案 「2024年度収支計算書(案)、収支計算書内訳書(案)、資金調達及び設備投資の見込みについての承認」の件

第3号議案 「評議員選定委員会運営規則の一部改正」に関する件

(2) 報告事項

① 2023年度奨励賞選考結果について

② 代表理事、業務執行理事の業務報告(中間報告)について

③ 2023年度収支決算見込みについて

④ 賛助会員数について

正味財産増減計算書（2023 年度）

2023 年 4 月 1 日から 2024 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	3,624,077	3,089,045	535,032
特定資産運用益			
特定資産受取利息	174	174	0
受取会費			
賛助会員受取会費	4,350,000	4,550,000	△ 200,000
事業収益			
講習会等事業益	78,000	101,897	△ 23,897
受取寄附金			
会議・助成・寄附金	1,000,000	0	1,000,000
雑収益			
預金受取利息	48	38	10
その他（返納金等）	0	0	0
経常収益計	9,052,299	7,741,154	1,311,145
(2) 経常費用			
①事業費			
研究助成費	0	0	0
国際交流助成費	400,000	337,310	62,690
国際会議助成費	200,000	128,000	72,000
その他の助成	0	0	0
講習会開催費	863,480	570,227	293,253
褒賞費	2,168,356	1,833,131	335,225
出版物頒布費	495,165	508,530	△ 13,365
諸謝金	0	92,000	△ 92,000
給料手当	1,468,741	1,472,339	△ 3,598
旅費交通費	86,200	121,400	△ 35,200
通信運搬費	64,761	74,933	△ 10,172
什器備品費	84,865	0	84,865
消耗品費	79,333	93,756	△ 14,423
賃借料	73,975	73,975	0
光熱水料費	30,888	22,949	7,939
雑費	33,725	36,795	△ 3,070
事業費合計	6,049,489	5,365,345	684,144
②管理費			
給料手当	1,468,739	1,472,336	△ 3,597
旅費交通費	216,438	350,800	△ 134,362
会議費	35,750	65,571	△ 29,821
通信運搬費	69,855	72,706	△ 2,851
什器備品費	84,865	0	84,865
消耗品費	39,908	67,835	△ 27,927
賃借料	73,975	73,975	0
諸謝金	55,000	55,000	0
光熱水料費	30,888	22,948	7,940
雑費	29,815	30,310	△ 495
管理費合計	2,105,233	2,211,481	△ 106,248
経常費用計	8,154,722	7,576,826	577,896
当期経常増減額	897,577	164,328	733,249
2. 経常外増減の部			
(1) 経常外収益	0	0	0
(2) 経常外費用	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	897,577	164,328	733,249
一般正味財産期首残高	125,807,337	125,643,009	164,328
一般正味財産期末残高	126,704,914	125,807,337	897,577
II. 指定正味財産増減の部			
受取補助金等	0	0	0
III. 正味財産期末残高	126,704,914	125,807,337	897,577

(公財) 高エネルギー加速器科学研究奨励会賛助会員一覧

2024 年 8 月 1 日現在

	会員名		会員名
1	英和株式会社	33	ニチコン草津株式会社
2	S.P. エンジニアリング株式会社	34	日新パルス電子株式会社
3	株式会社大阪真空機器製作所	35	株式会社日本アクシス
4	キャノン電子管デバイス株式会社	36	日本高周波株式会社
5	金属技研株式会社	37	日本製鉄株式会社
6	工藤電機株式会社	38	日本電磁工業株式会社
7	株式会社ケーバック	39	株式会社野村鍍金
8	小池酸素工業株式会社	40	浜松ホトニクス株式会社
9	神津精機株式会社	41	ハヤシレピック株式会社
10	コミヤマエレクトロン株式会社	42	株式会社パルスパワー技術研究所
11	秀和電気株式会社	43	株式会社日立製作所
12	JFE テクノリサーチ株式会社	44	株式会社日立テクノロジーアンドサービス
13	株式会社ジェック東理社	45	株式会社 Bee Beans Technologies
14	真空光学株式会社	46	株式会社富士サービス
15	スカンジノバ・システムズ株式会社	47	富士通株式会社
16	住友重機械工業株式会社	48	V A T 株式会社
17	セイコー・イージーアンドジー株式会社	49	武州ガス株式会社
18	大陽日酸株式会社	50	株式会社双葉工業
19	株式会社多摩川電子	51	古本機工株式会社
20	株式会社千代田テクノル	52	ブルーフォース株式会社
21	ツジ電子株式会社	53	株式会社プロテリアル
22	T & M コーポレーション株式会社	54	株式会社マイテック
23	株式会社電研精機研究所	55	株式会社前川製作所
24	東京ニュークリア・サービス株式会社	56	松枝印刷株式会社
25	東康建設工業株式会社	57	三菱重工機械システム株式会社
26	東芝エネルギーシステムズ株式会社	58	三菱電機株式会社
27	東洋プラント工業株式会社	59	三菱電機システムサービス株式会社
28	株式会社トヤマ	60	三菱電機ディフェンス&スペーステクノロジーズ株式会社
29	長瀬ランダウア株式会社	61	ミラプロ株式会社
30	株式会社 NAT	62	ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社
31	仁木工芸株式会社	63	明昌機工株式会社
32	ニチコン株式会社	64	森松工業株式会社

評 議 員 名 簿

2024 年 4 月 1 日現在

氏 名	所 属
矢 野 安 重	公益財団法人仁科記念財団 常務理事
横 溝 英 明	一般財団法人総合科学研究機構 理事長
佐 藤 潔 和	東芝エネルギーシステム株式会社 京浜事業所 技術顧問
下 村 理	高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
大久保 光 一	元三菱重工機械システム株式会社
武 田 廣	神戸市公立大学法人 理事長

任期 2022 年度の最終のものに関する定時評議員会の終結時（2023 年 5 月 25 日）から
2026 年度の最終のものに関する定時評議員会の終結の時（2027 年 5 月下旬）までとする。

役員（理事）名簿

2023 年 5 月 25 日現在

役 職	氏 名	所 属
代 表 理 事	幅 淳 二	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所 特別教授
理 事	山 口 誠 哉	高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
理 事	浅 野 克 彦	中部大学工学部 特任教授
理 事	長谷川 和 男	量子科学技術研究開発機構六ヶ所フュージョンエネルギー 研究所 核融合炉材料研究開発部 部長
理 事	杉 山 純	（一財）総合科学研究機構中性子科学センター サイエンス・コーディネーター
理 事	小 関 忠	高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設 施設長

任期 2022 年度の最終のものに関する定時評議員会の終結時（2023 年 5 月 25 日）から
2024 年度の最終のものに関する定時評議員会の終結の時（2025 年 5 月）までとする。

役員（監事）名簿

2024 年 5 月 31 日現在

役 職	氏 名	所 属
監 事	古 屋 貴 章	高エネルギー加速器研究機構 名誉教授
監 事	須 賀 伸 一	株式会社 NAT 代表取締役社長

任期 2023 年度の最終のものに関する定時評議員会の終結時（2024 年 5 月 31 日）から
2027 年度の最終のものに関する定時評議員会の終結の時（2028 年 5 月中旬）までとする。

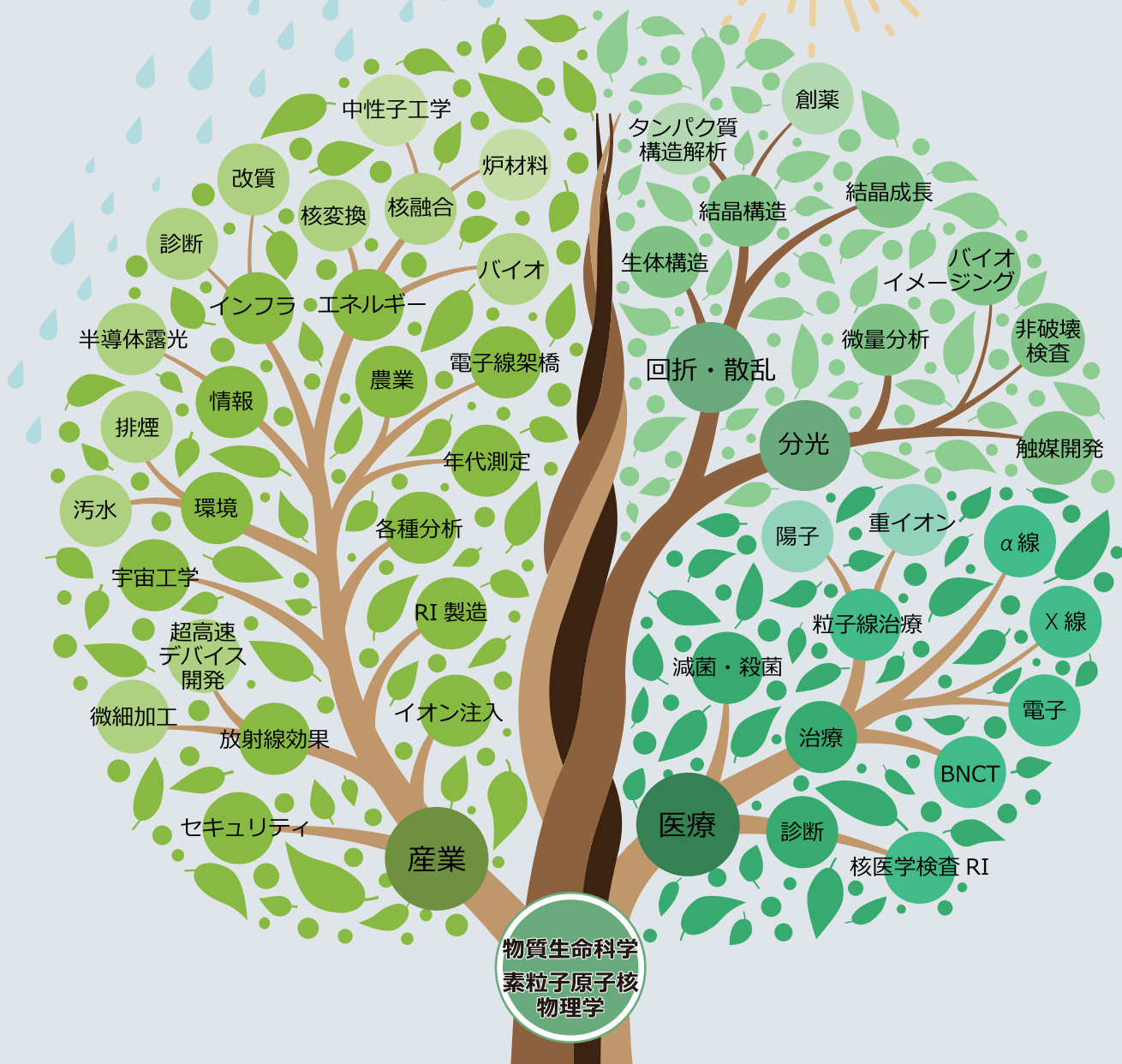
選考委員会委員名簿

2024 年 4 月 1 日現在

氏 名	所 属
木 下 豊 彦	公益財団法人高輝度光科学研究センター 放射光利用研究基盤センター コーディネーター
神 山 崇	中国科学院 高エネルギー物理学研究所 破砕中性子源科学センター 上級顧問
加 藤 政 博	広島大学 放射光科学研究センター 特任教授
小 林 幸 則	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 特別教授
中 野 貴 志	大阪大学 核物理研究センター センター長
福 西 暢 尚	理化学研究所 仁科加速器科学研究センター加速器基盤研究部 副部長
道 園 真 一 郎	高エネルギー加速器研究機構 理事
森 俊 則	東京大学 素粒子物理国際研究センター 教授

任期 2023 年 5 月 1 日から 2026 年 3 月 31 日までとする。

高エネルギー加速器科学



画像診断 グリッド技術 加速空洞(常伝導・超伝導) 放射線計測
高速・大容量ネットワーク レーザー 電磁石(常伝導・超伝導) 耐放射線材料
高速計算技術 コンピューター 高周波源(大電力・低電力) 超精密加工
粒子検出器 大型 He 冷凍機 低温 診断 制御 溶接
高速エレクトロニクス 真空 測量技術 粒子源(電子銃・イオン源)

加速器基盤技術

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
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(職員会館 2 階)
TEL・FAX: 029-879-0471
E-mail: info@heas.jp URL: <https://www.heas.jp>