



FOUNDATION FOR HIGH ENERGY  
ACCELERATOR  
SCIENCE

# FAS だより

2020.07 第20号



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/

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 20 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 20 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](mailto: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 20 号 目次

2020 年 7 月

1. KEK 加速器の現場から ～本格実験を始めた SuperKEKB～ 古屋 貴章 .....	1
2. 2019 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（西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞）受賞者について.....	6
1) 西川賞 1 ポジトロニウム負イオンの光脱離および共鳴光脱離の観測 満汐 孝治 氏.....	10
西川賞 2 放射光 X 線による物質構造の超高速ダイナミクス計測法の開発と応用 足立 伸一 氏、野澤 俊介 氏.....	15
3) 小柴賞 ハイパーカムオカンデ用 Box & Line 型 20 吋径光電子増倍管の開発 小谷 政弘 氏、河合 輝典 氏.....	19
4) 熊谷賞 深作 正博 氏	
3. 奨励賞授与式に関する科学新聞記事.....	23
4. 2020 年度奨励賞候補者募集要綱.....	24
5. 高エネルギー加速器セミナー（OHO'20）開催について .....	27
6. 2019 年度事業報告書および 2019 年度決算報告について.....	29
7. 2020 年度事業計画書および収支予算について.....	38
8. 賛助会員一覧（2020 年 6 月 1 日現在）.....	44
9. 評議員・役員名簿（2020 年 6 月 1 日現在）.....	45



# KEK 加速器の現場から

～本格実験を始めた SuperKEKB ～

高エネルギー加速器研究機構  
ふるや たかあき  
古屋 貴章

KEK の加速器と言えば、つくばキャンパスの SuperKEKB、RF、PF-AR、技術開発目的の STF、ATF そして cERL などすべてが電子加速器であるが、SuperKEKB の LER のみは陽電子加速器である。一方、東海キャンパスには J-PARC 加速器があり、これは 400 MeV ライナック、3 GeV の RCS、そして 30 GeV の MR からなる陽子の複合加速器である。

2020 年 2 月からのコロナ感染症に対して KEK は適宜独自の対策を進めてきたが、その甲斐あって KEK は閉鎖されることなく加速器は運転を継続することができた。

## 1. KEKB を超えた SuperKEKB

KEK 最大の加速器 SuperKEKB は、2 つの蓄積リング、LER (Low Energy Ring: 4 GeV 陽電子) と HER (High Energy Ring: 7 GeV 電子) による電子・陽電子衝突型加速器である。B 中間子物理のために世界最高の衝突確率 (ルミノシティー) を達成して 2010 年に停止した KEKB 加速器の後継として、さらにその 40 倍の  $8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  という圧倒的なルミノシティーを目指して改造を続けてきた。加速ビームの電流値を 2 倍にするとともに、衝突点では幅 10  $\mu\text{m}$ 、厚さを 50 nm にまで絞り込んだ両ビームを大きな交差角度 (83 mrad) で衝突させることによってルミノシティーをさらに 20 倍に増強する設計はナノビーム方式と呼ばれる。しかし世界に類を見ないこの方式を成功させるためには、KEKB の経験の上にさらに新たな工夫と精度の高いビーム制御技術の開発が必要であった。

2010 年から改造を開始し、2016 年に加速器のみの蓄積運転を開始 (Phase 1)、その後は 2018 年に衝突点でビームに強烈な収束をもたらす超伝導収束磁石 (QCS) と衝突現象を捉える BELLE II 測定器を設置しての衝突試験 (Phase 2) を経て、2019 年に最終的に完成した SuperKEKB の本格稼働を開始した。その全体の構成を図 1 に示す。

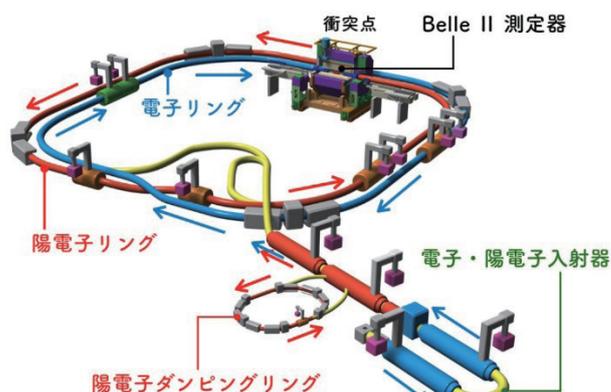


図 1 : SuperKEKB 加速器の構成

RF 電子銃で作られた電子は 7 GeV に加速されて直接電子リング (HER) に入射される。一方、熱電子銃で作られた電子を加速途中でタングステン標的に当てて作られる陽電子は、一旦ダンピングリング (DR) に入ってエミッタンスを小さくしてから、再びリニアックに戻って 4 GeV まで加速され LER に入射される。

衝突点でのビームの厚さを示す  $\beta_y$  関数の設計値は 0.3 mm であり、これに向けて 8 mm、6 mm、3 mm、2 mm と徐々に近づけてきたが、その各段階でこぼれた粒子や放射光から装置を守るための軌道の修正やコリメーションあるいは制御ソフトの開発が続いた。現時点では 1 mm にまで絞り込んでいるが、このときの衝突点のビーム厚さは設計値の 4 倍、おおよそ 200 nm にまで到達している。ビーム電流は電子・陽電子ともに 500 mA で KEKB の 1/3 程度であるが、ルミノシティーはすでに KEKB

の最高値を凌駕しておりナノビーム方式の成功が確認された。しかしこの後 50 nm まで絞るためには越えるべき困難がさらに待ち構えている。

ビームダクトの真空焼きだしがまだ不十分であることと、極めて細く絞られたビーム内の粒子間の反発によるこぼれ落ち (Toushek 効果) によりビーム寿命が 10 分程度と非常に短いため絶えず入射する top-up 方式が必要であり、入射器には精度の高い安定なビーム入射が要求される。またこの効果は電流値が上がるとさらに顕著になるため、ビーム制御はますます難しくなる。電流値、ビーム収束系、バックグラウンド対策とコリメーション、入射調整、バンチ数などのパラメーターをエンドレスに調整し続けながら徐々に目標に近づけていく努力が必要である。SuperKEKB の運転状況はリアルタイムで下記に公開されているので、是非見て頂きたい。図 2 にその例を示す。表 1 には KEKB と SuperKEKB のパラメーターを比較した。世界から 700 人以上

の研究者が参加して進めている SuperKEKB-BELLE II 実験はまだ始まったばかりである。なお SuperKEKB 加速器の詳細については、本奨励会が主催している OHO 加速器セミナーの 2019 年度テキストを参照されたい。

SuperKEKB 運転情報 URL:

<http://www-linac.kek.jp/skekb/snapshot/dailysnap.html>

OHO 加速器セミナーテキスト URL :

<http://accwww2.kek.jp/oho/OHOtxt4.html>

表 1 : KEKB review と SuperKEKB のパラメーター比較

	KEKB (実績)	SuperKEKB (設計)
	LER/HER	LER/HER
エネルギー (GeV)	3.5/8.0	4.0/7.0
蓄積電流 (A)	1.64/1.19	3.60/2.60
蓄積バンチ数	1584	2500
$\beta_x$ (mm)	1200/1200	32/25
$\beta_y$ (mm)	5.9/5.9	0.27/0.3
$\sigma_x$ ( $\mu\text{m}$ )	147/170	10.1/10.7
$\sigma_y$ (nm)	940/940	48/62
交差角度 (mrad)	22	83
RF 電圧 (MV)	8.0/13.0	9.4/15
ルミノシティ ( $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	$2.1^1 \times 10^{34}$	$80 \times 10^{34}$

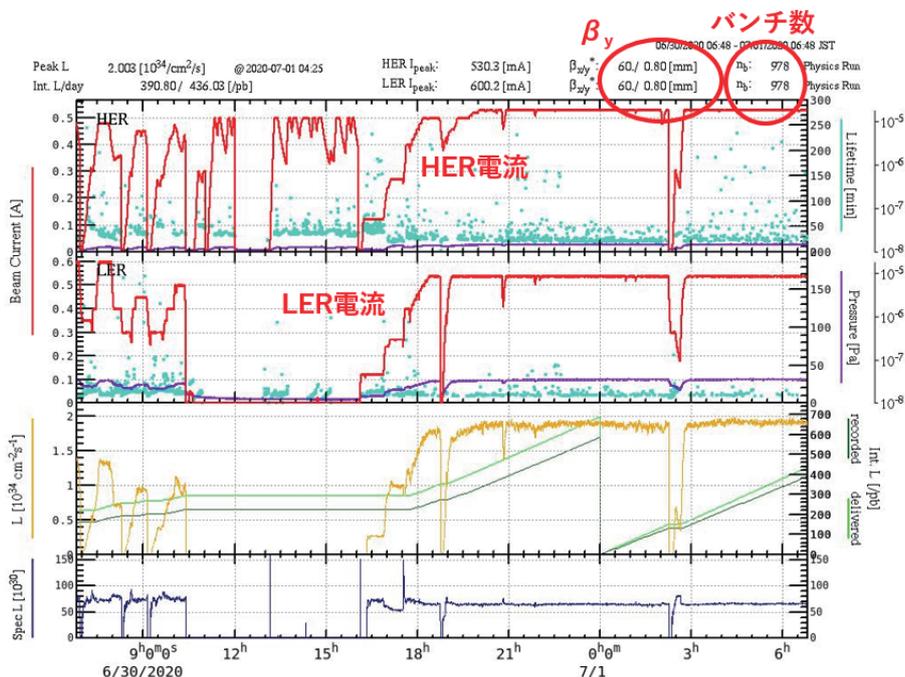


図 2 : ビーム調整中の SuperKEKB

1 段目は電子リング (HER) の蓄積電流 (赤) とリングの真空度 (紫)、ビーム寿命 (水色)、2 段目は陽電子リング (LER) の蓄積電流、3 段目はピークルミノシティ (茶) とその積分値 (薄緑) および BELLE II 測定器がカウントしたルミノシティ (濃緑)、4 段目はスペシフィック・ルミノシティ (衝突点のビーム断面の逆数の対応する量) である。図の欄外にこの時点での  $\beta_y$  関数 (mm) とバンチ数が示されている。

## 2. J-PARC におけるビーム強度の増強

KEK と日本原子力研究開発機構 (JAEA) が共同で運用している東海キャンパスの J-PARC の構成を図 3 に示す。400 MeV のリニアックから出た陽子は RCS (rapid cycle synchrotron) で 3 GeV に加速され、その多くは MLF に打ち込まれて中性子やミュオンを発生し、物質科学や生命科学の研究に貢献している。残りは MR に入射されて 30 GeV まで加速され、一気に取り出す速い取り出し (FX) 或いは少しずつゆっくりと取り出す遅い取り出し (SX) を用いて実験施設に向けて取り出される。速い取り出し (FX) は陽子ビームをニュートリノ実験施設に送り、そこで生成されたニュートリノビームが 250 km 離れた神岡の検出器 Super-Kamiokande に向けて打ち出される (T2K 実験)。遅い取り出し (SX) は陽子ビームをハドロン実験室 (HEF) に送り、生成された K 中間子や  $\pi$  中間子などが素粒子原子核実験に用いられる。最近になって Super-Kamiokande の次世代検出器である Hyper-Kamiokande 計画が承認され、MR が目指すビーム強度はこれまでの設計仕様値 750 kW から 1.3 MW に増強されることとなった。そのために通常運転と同時にその準備が開始されている。

400 MeV ライナックからは RCS に向けて設計通りのパルス幅 500  $\mu$ s、50 mA の陽子ビームが安定に供給されている。しかし将来 MLF への供給を 1.5 MW へ増強する計画があり、その場合には 600  $\mu$ s、> 60 mA への増強が必要になる。その場合のビームロスを最小限に抑えるためのビームスタディも行われている。

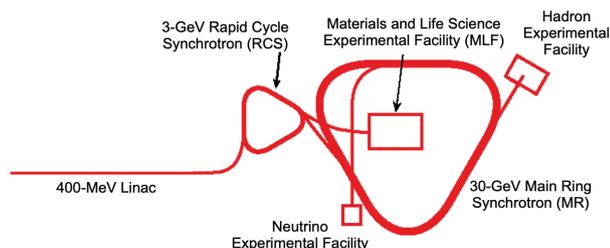


図 3 : J-PARC 加速器群の構成と 3 つの実験施設

RCS から MLF へは、現在、600 kW のビームが供給されている。このビーム強度は MLF の中性子生成標的の性能が制限している。RCS 自体は 2018 年に 1 時間、2019 年には 11 時間、2020 年 6 月には 36 時間の 1 MW 供給試験をはたしており、1 MW の定常供給の準備はほぼできているとして良い。受ける側の MLF は 1 MW の定常運転に耐える中性子標的を開発中である。また、将来、MLF に第 2 ターゲットステーションを建設する計画があり、その場合には 1.5 MW の RCS ビームが必要になるとされている。1.5 MW 運転に対しては加速空洞の高周波源が出力不足であり、その手当が必要になる。

MR で 30 GeV に加速されたビームはニュートリノ実験とハドロン実験へ供給される。設計ではニュートリノへは 30 GeV、750 kW のビームが供給されることになっているが、現在は 500 kW が達成されている。これを 750 kW に増強するために、現在のビーム繰り返し周期 2.48 秒を 1.32 秒にすることが計画されている。その場合には主電磁石電源の交換や入出射システムおよびビームコリメータの増強が必要となるため、2021 年度の完成を目指してその製作が進められている。一方、ハドロン実験に対しては現在 50 kW のビームが供給されている。各要素加速器の運転パラメータを表 2 に示す。

2019 年度より Hyper-Kamiokande 建設の予算措置が開始されたが、先に述べたように、この中には MR のビーム強度を従来の設計強度を大きく超えた 1.3 MW まで引き上げる増強計画が含まれている。8 年後に予定されている

表 2 : J-PARC のビーム性能 (2020 年 6 月現在)

	Linac	RCS	MR (FX/SX)
ビームエネルギー	400 MeV	3 GeV	30 GeV
繰り返し	25 Hz	25 Hz	2.48 s/5.20 s
ビーム強度	500 $\mu$ s, 50 mA	600 kW	500 kW/50 kW

J-PARC の運転状況 URL:

<http://j-parc.jp/Acc/ja/operation.html>

Hyper-Kamiokande の運転開始に合わせて MR からニュートリノ実験施設に 1.3 MW のビームを供給できるよう、2022 年以降は利用運転やビームスタディに加え高周波加速系の増強を中心とするハードウェアの整備も進めていく予定である。

### 3. PF と PF-AR

KEK には放射光源が 2 台あり、PF と PF-AR である。PF は 2.5 GeV、PF-AR は 6.5 GeV とともに電子を周回させている。PF は共同利用施設として 1982 年以來 40 年近く稼働している日本初の第 2 世代放射光源である。PF-AR は TRISTAN 加速器のブースター加速器として建設されたが、その後放射光源に転用され、単バンチ加速という特徴ある光源としての価値を有している。PF の運転形態には 450 mA のマルチバンチモードとハイブリッドモードがあり、マルチバンチモードでは 250 バンチ、ハイブリッドモードでは 30 mA のシングルバンチ部分と 420 mA の 131 バンチとを共存させながら多様な実験に対応している。近年の予算難と加速器の老朽化のなかで PF は 3000 時間のユーザー時間を、また PF-AR は 2000 時間のユーザー時間を捻出した。これら両リングは現在も 3000 余人に及ぶユーザーに光を供給している。表 3 に両リングのビーム性能をまとめた。

表 3：PF および PF-AR のビーム性能

	PF	PF-AR
ビームエネルギー (GeV)	2.5	6.5
周長 (m)	187	377
蓄積電流 (mA)	450	60
エミッタンス (nmRad)	34.6	293
挿入光源	11	5
バンチ数	280	1

将来計画として第 5 世代光源の検討を始めているが、その要素技術として極低エミッタンスリングへの入射のための多極パルス電磁石入射の開発研究を進めている。また PF-AR では素粒子原子核物理研究所と共同で GeV 級の電子テストビームラインを建設する計画がある。蓄積ビームのハローをワイヤに当ててガンマ線を発生させ、それをタングステン標的に当てて電子を生成するものであり、実現すれば蓄積電流に影響を与えることなく 2 GeV の電子ビームの取り出しが見込まれる。このビームは測定器開発だけでなく広くユーザーに解放される計画である。

### 4. その他の加速器

#### 4.1. cERL

cERL は 2012 年に完成したエネルギー回収型リニアックの技術試験器であり、超伝導加速空洞を加速部に用いた連続波運転が可能な線形加速器である。超伝導空洞の特性を遺憾なく活用した先端加速技術であり高輝度で繰り返しの速い光を得ることができる。超伝導空洞に入射した電子は周回して放射光を供給した後、同じ加速空洞に減速位相で戻される。すると周回中に太くなったビームは持っている運動エネルギーを電磁エネルギーとして空洞に戻すことになり、そのエネルギーが次に来る新しく細い入射ビームの加速に使われる。これまで KEK が開発してきた超伝導空洞の特徴を十分に発揮するこの方式により、少ない電力で強くて細いビーム電流を加速することができるようになる。試作機はコンパクト ERL (cERL) と呼ばれ、20 MeV、1 mA の連続ビームを供給することができる。

超伝導空洞応用の技術開発を目的とした試験加速器であるが、これまでに医療用途の Tc99 の原料として Mo99 を加速器で生産する試験、アスファルトの硬化試験など加速ビームは実験用途として活躍している。図 4 は cERL 加速器室の内部である。



図4：cERL 加速器室の内部。中央には超伝導空洞を収容したクライオスタットが見える

## 4.2. ATF と STF

これらはリニアコライダーのための加速器技術開発を目的とした試験加速器である。ATF は 2856 MHz、1.28 GeV の常伝導リニアックと周長 140 m の低エミッタンスリングからなる加速器であり、リニアコライダーで扱うナノサイズビームの生成と制御、測定技術などを開発する施設である。高精度のビーム位置の読み取りと磁石の修正を繰り返して細い周回ビームを作り、最終の絞り込みで 41 nm のビームを実現している。ここにはナノビーム技術開発の数少ない研究施設として、世界から研究者が利用しに来ている。

STF はリニアコライダー用の超伝導加速空洞の総合研究施設で、空洞製作研究の拠点であると同時に製造した加速空洞のビーム試験を行う超伝導リニアックが建設されている。図5は STF の超伝導リニアックである。



図5：STF の超伝導リニアック

## 5. 結び

来年 50 周年を迎える KEK は 1977 年の陽子シンクロトロン (KEK-PS) を皮切りに PF、TRISTAN、J-PARC、KEKB そして SuperKEKB と共同利用研究所としての使命を果たしてきた。今また新たな組織として応用超伝導加速器センター (CASA、Center for Applied Superconducting Accelerator) を立ち上げ、従来の加速器技術開発を踏襲するだけでなく、企業と共同で加速器の工業や医療への応用研究を目指す加速器科学の拠点として発展しようとしている。

# 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 （2019年度）

2019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、2019年11月13日に開催された選考委員会及び2019年12月9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、2020年2月20日（木）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 No.1

- 1) 受賞者 みちしお こうじ 満汐 孝治 氏（34歳）
- 2) 所属機関 産業技術総合研究所 研究員
- 3) 研究テーマ 「ポジトロニウム負イオンの光脱離および共鳴光脱離の観測」
- 4) 授賞理由

高エネルギー加速器研究機構の低速陽電子実験施設においては、ながらく高エネルギー加速器研究機構のLINACグループ、東大の兵頭教授、東京理科大の長嶋教授らのグループを中心に陽電子の応用研究が進められてきた。

最近になって様々な応用事例が論文や学会でも報告されるようになり、物性研究者の間でもその有用性が認知されてきたところである。

候補者の満汐氏は、その応用事例の中でも、国際的に高く評価されているポジトロニウム負イオンの光脱離および共鳴光脱離の観測で中心的な役割を果たした。

具体的には計測装置開発、レーザーとの同期観測システムの構築や実験の実施、解析である。

この成果は、陽電子&電子2コからなるポジトロニウム負イオンビームをエネルギーが可変な状態で発生させることのできる非常に独創的な物である。

最近、産総研の研究員になり、今後産総研内の陽電子装置のアップグレードのみならず、高エネルギー加速器研究機構の陽電子実験施設の利用などにおいても中心的な役割を果たしていくことが期待できる。

以上のように、満汐氏の功績は、加速器利用に関する実験装置の研究について独創性に優れ、国際的に高く評価されている論文発表もなされているところであり、西川賞にふさわしい研究であると判断された。



## 2. 西川賞 No.2

### 1) 受賞者

あだち しんいち  
足立 伸一 氏 (56歳) \* 1  
のざわ しゅんすけ  
野澤 俊介 氏 (46歳) \* 2

### 2) 所属機関

\* 1 高エネルギー加速器研究機構 放射光科学研究施設 教授  
\* 2 高エネルギー加速器研究機構 放射光科学研究施設 准教授

### 3) 研究テーマ

「放射光 X 線による物質構造の超高速ダイナミクス計測法の開発と応用」

### 4) 授賞理由

候補者の足立氏と野澤氏は従来の実験室系の X 線光源では実現不可能なポンプ & プローブ方式の超高速時間分解 X 線構造解析手法を、KEK—PF の AR リングを中心に開発し、応用研究を進めてきた。

100 ピコ秒のスケールでの時間分解構造解析手法としての AR 放射光の有用性を実証し、応用研究を進めただけでなく、彼らの研究のノウハウがその後の SPring-8 等の施設での構造解析実験に影響を与えたことも評価できる。

また、さらなる発展として、自由電子レーザー SACLA を用い、より高速 (500 フェムト秒) 領域の時間分解構造解析にも成功している。

それまでどちらかという低エネルギー領域の分光を中心とした放射光の時間分解実験を、構造解析による物質の具体的な動的観察にまで発展させた功績は大きく、足立氏がこの分野のリーダーとしての能力を発揮したことと野澤氏の実現のための努力によるところが大きい。

審査資料として提出された論文のうち、光誘起相転移に関する研究は、国際的にも大きく評価されている。

以上のように、両氏の功績は、加速器利用に関する実験装置の研究について独創性に優れ、国際的に高く評価されている論文発表もなされているところであり、西川賞にふさわしい研究であると判断された。



### 3. 小柴賞

- 1) 受賞者 

こたに 小谷 かわい 河合	まさひろ 政弘 てるのり 輝典	氏 (36 歳)
		氏 (35 歳)
- 2) 所属機関 浜松ホトニクス (株) 電子管事業部 第 2 製造部
- 3) 研究テーマ 「ハイパーカミオカンデ用 Box & Line 型 20 吋径光電子増倍管の開発」
- 4) 授賞理由

候補者の小谷氏と河合氏は、次世代超大型ニュートリノ測定器ハイパーカミオカンデに使用可能な、格段に性能が向上した世界最大形の Box & Line 型 20 吋径光電子増倍管の研究開発に成功した。

新しい 20 吋径光電子増倍管は、31% という高い量子効率のバイアルカリ光電面、93% という高い電子収集効率をもつ電極構造、を開発することで、スーパーカミオカンデで使われているものより 2 倍高い光子検出効率を達成している。

また、その単一光子検出時間分解能は 2.7ns (FWHM) と優れていて、電極構造を新たに開発することで、スーパーカミオカンデのもの (5.5ns) から 2 倍以上改善している。さらに、その外形形状を最適化したことで 125m 対水圧水深を満たす仕様を達成し (スーパーカミオカンデのものは 60m 相当)、深さ 71m のハイパーカミオカンデで使用が可能な設計となっている。

この画期的な性能を持つ 20 吋径光電子増倍管が採用されれば、ハイパーカミオカンデは大幅な測定器性能の向上が期待できる。

よって、小柴賞にふさわしい研究であると判断された。



### 4. 熊谷賞

- 1) 受賞者 

ふかさく 深作	まさひろ 正博	氏 (66 歳)
------------	------------	----------
- 2) 所属機関 有限会社双葉工業代表取締役
- 3) 研究テーマ 「超重量加速器機器設置に関する低コスト・省労力化研究」
- 4) 授賞理由

深作氏は、日本の大型加速器プロジェクトである、KEK PS、TRISTAN、KEKB、J-PARC、SuperKEKB の、特に、加速器、物理実験用重量物の設置作業において、独創的な工夫により非常に効率的に、つまり、短期間かつ低コストで作業を達成させるという実績を挙げてきた。

推薦書の実績一覧には、主に J-PARC の加速器、ハドロン、ニュートリノ、KEKB、PF 関係の作業が挙げられているが、この他にも、電子陽電子入射器、先端加速器研究施設 ATF や最近では、その手腕を買われて、重力波観測研究施設 KAGRA においても重要な作業を請け負っ

ている。

加速器の開発・建設においては、物品製造であれば、性能仕様ではなくて、構造仕様にする  
ことにより、コストを抑えることは可能であって、実際、多くの加速器では、そのやり方が採  
用されているところであるが、重量物の設置などの役務の場合は、性能仕様となるので、その  
性能（価格、工事期間、信頼性、耐久性等を含む）は、受注者の創意工夫によるところが大きい。

深作氏が、参考資料に見られるような、  
発注者が考えもつかないような工夫をこら  
すことによって、要求された性能を達成さ  
れたことは、高く評価されるべきである。

加速器装置ならびに関連機器の建設に対  
する深作氏の貢献は、極めて顕著であると  
認められるので、熊谷賞に値するという結  
論に至った。



2020.2.20 公益財団法人 高エネルギー加速器科学研究奨励会 西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞授与式  
於 アルカディア市ヶ谷

## ポジトロニウム負イオンの光脱離および共鳴光脱離の観測

産業技術総合研究所  
分析計測標準研究部門

満汐 孝治

### 1. はじめに

電子とその反粒子である陽電子が結合すると、ポジトロニウム ( $\text{Ps}$ ) と呼ばれる束縛状態が形成される。 $\text{Ps}$  にさらに 1 個の電子が結合した状態、これがポジトロニウム負イオン ( $\text{Ps}^-$ ) である。このエキゾチックなイオンは、構成粒子が等しい質量比をもつため、電子と比べて重い原子核の運動を凍結するボルン-オープンハイマー近似が適用できない特異な系であり、量子力学的な三体問題の理想的な研究対象である。また、レプトンのみから構成される  $\text{Ps}^-$  の様々な性質を精密に調べることで、束縛系の量子電磁力学を検証することができる。

$\text{Ps}^-$  が束縛状態として安定に存在することは、1946 年に電子相関を取り入れた変分計算によって初めて予言されている [1]。その後、束縛エネルギーや後述する共鳴状態、消滅率・消滅分岐比、各種断面積に関する理論計算が枚挙に暇がないほど行われており、この特異なイオンが魅力的な研究対象であることが窺い知れる [2]。一方で、 $\text{Ps}^-$  が実験室で観測できるようになったのは 1981 年のことで、陽電子を炭素薄膜に打ち込むと、陽電子が薄膜中で電子 2 個を剥ぎ取って、 $\text{Ps}^-$  となって放出される現象が発見された [3]。その後、この方法で生成した  $\text{Ps}^-$  を使って、 $\text{Ps}^-$  中の電子-陽電子の消滅率の測定が行われている [4]。しかしながら、生成効率が低く (10<sup>-2</sup>%)、また自己消滅の寿命が 479 ps と極めて短いために、 $\text{Ps}^-$  を用

いた実験研究は困難であり、その観測と消滅率の測定を除いて行われていなかった。

こうした背景の中、我々のグループは、アルカリ金属を蒸着した W 表面に陽電子を入射すると、従来法より 2 桁も高い効率 (最大で 2%) で  $\text{Ps}^-$  が生成される現象を発見した [5]。エキゾチック三体複合粒子の生成においては、驚異的な効率である。この現象の詳細については、文献 [2] を参考されたい。 $\text{Ps}^-$  の高効率生成法が実現したことで、そのエネルギー準位や散乱過程を調べる分光学的研究が可能となってきた。

本研究では、KEK 物構研 低速陽電子実験施設から供給される陽電子ビームとこの高効率生成法によって  $\text{Ps}^-$  ビームを作り出し、分光研究に挑んだ。この結果、光吸収によって起こる電子光脱離や、光脱離過程で現れる共鳴状態を観測することに成功した [6,7]。また、 $\text{Ps}^-$  の光脱離を応用して、自由にエネルギーを調整できる  $\text{Ps}^-$  ビームの生成が可能となった [8]。

### 2. ポジトロニウム負イオンの光脱離

理論予測によると、 $\text{Ps}^-$  の一電子束縛エネルギーは 0.33 eV であり、それよりも高いエネルギーの光子を吸収すると、光脱離過程  $\text{Ps}^- + h\nu \rightarrow \text{Ps} + e^-$  が起こる。ただし、 $\text{Ps}^-$  の消滅寿命は極めて短いため、生成してから瞬時に消滅していく  $\text{Ps}^-$  を効率的に光脱離するためには、時間的に光の密度を圧縮したパルス光源が必要となる。市販のナノ秒 Nd:YAG レーザーであれば、光脱離を観測するのに十分なエネルギー密度を確保できるが、 $\text{Ps}^-$  のビームも光源と同様のナノ秒パルスに整形する必要がある。

低速陽電子実験施設 (Slow Positron Facility, SPF) では、専用の電子 LINAC で発生させた高強度の低速陽電子ビームを共同利用に供している [9]。この陽電子ビームは、LINAC からの電子ビームの時間特性を反映して、パルス幅 12 ns、繰り返し周波数 50 Hz での短パルスモード運転が可能であり、パルスレーザーとの同期に好都合である。SPF は、このような時間特性を有する陽電子ビームを供給できる世界唯一の共同利用施設で

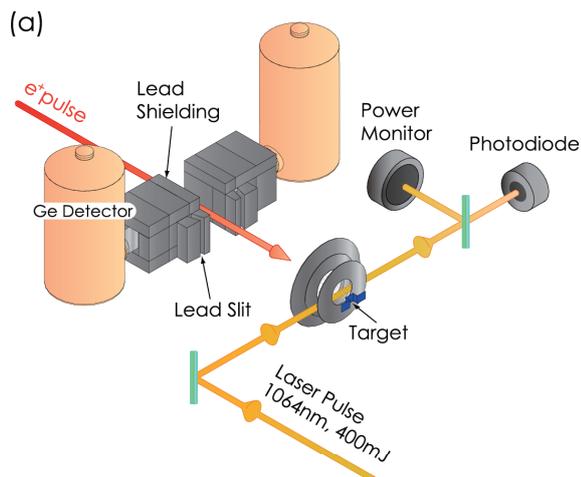


図.1 Ps<sup>-</sup>の光脱離観測装置。文献[6]より転載。

ある。我々は、SPF の汎用ステーション (SPF-B1) に実験装置とレーザー光源を持ち込んで、光脱離の観測実験を行った[6]。

図 1 に実験装置の概略を示す。まず、SPF から供給されるパルス状陽電子ビームを輸送して、1 原子層程度の Na を蒸着した多結晶 W 標的(厚さ 25  $\mu\text{m}$ ) に入射し、その表面上で Ps<sup>-</sup> を効率的に生成した[5]。このパルス状 Ps<sup>-</sup> ビームを、標的とその前方に設置したグリッド間の電位差(-1 kV) で加速させた後に、パルスレーザー光線で照射した。光源には、Q-スイッチ Nd:YAG レーザー(パルス幅 10 ns、繰り返し数 25 Hz)の基本波(波長 1064 nm)を用いた。光脱離の効率を上げるために、高いエネルギー(400 mJ/pulse)の光線を Ps<sup>-</sup> にそのまま照射した。光源の繰り返し周波数は、陽電子ビームの周波数の半分に設定することで、レーザー照射の有りのデータを交互に取得できるロジックとし、Ps<sup>-</sup> ビーム強度の変動に左右

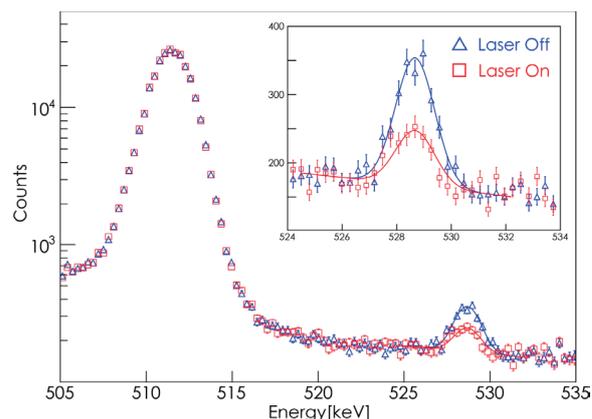


図.2 消滅 $\gamma$ 線のエネルギースペクトル。文献[6]より転載。

されず、定量的に光脱離信号を評価できるシステムを構築した。

実験では、Ge 検出器を用いて標的近傍で発生した陽電子の対消滅 $\gamma$ 線を分光し、加速された Ps<sup>-</sup> から放射されるドップラー偏移消滅 $\gamma$ 線を弁別して、レーザー照射の有りの無しでその信号強度を比較した。なお、ナノ秒の陽電子パルスを標的に入射すると、短い時間に発生した複数の消滅 $\gamma$ 線が検出器に同時入射し、 $\gamma$ 線の分光ができなくなってしまう。これを防ぐために、スリット付きの鉛シールドで検出器を囲い、信号のパイルアップが生じないように検出効率を抑えた。

図 2 に光脱離現象を捉えた消滅 $\gamma$ 線エネルギースペクトルを示す。Ps<sup>-</sup>由来のドップラー偏移消滅 $\gamma$ 線のピークが 529 keV 付近に観測され、レーザーを照射した場合に、このピークの強度が 57% 低下した。この低下は、Ps<sup>-</sup>の光脱離によって形成された Ps の崩壊モードによって説明ができる。この過程で形成される Ps は、電子と陽電子の全スピン  $S$  に応じて、パラポジトロニウム ( $p\text{-Ps}$ ,  $S=0$ ) とオルソポジトロニウム ( $\sigma\text{Ps}$ ,  $S=1$ ) に区別され、それぞれの生成比は 1:3 である。 $p\text{-Ps}$  は消滅時に重心系において 2 本の固有エネルギー(511 keV)を持つ $\gamma$ 線を放射するのに対し、 $\sigma\text{Ps}$  は 3 本の連続スペクトルを持つ $\gamma$ 線を放射する。すなわち、 $\sigma\text{Ps}$  由来の消滅 $\gamma$ 線はドップラー偏移消滅 $\gamma$ 線の単色ピークに寄与しなくなるため、光脱離によって  $\sigma\text{Ps}$  が形成された割合だけ、ピーク強度が低下することになる。低下割合とビームの相互

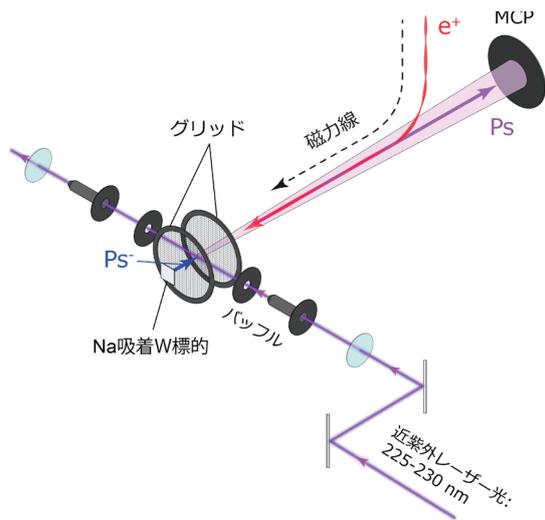


図. 3 分光実験装置の概念図。文献[7]より転載。

作用体積から 1064 nm における光脱離断面積の下限值を見積もると、 $2.1 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$  となり、最新の理論計算と矛盾のない結果となった[10]。以上の結果から、 $\text{Ps}^-$  の光脱離を観測することに初めて成功した。

### 3. 共鳴光脱離の観測

$\text{Ps}^-$  の一電子束縛エネルギーは非常に小さく、励起状態は存在しないが、特定の波長の光を吸収すると準安定な中間状態を経て解離する「共鳴状態」が存在することが予測されている。系の様々な対称性に対して、発現機構の異なる Feshbach 共鳴や形状共鳴の存在が予測され、その共鳴パラメータや断面積が計算によって見積もられているが、実験検証が全く行われていなかった。我々は、光脱離の観測を契機に、この過程で現れる共鳴状態のレーザー分光にも挑戦した[7]。

光脱離の観測で用いた消滅  $\gamma$  線の検出システムは、 $\gamma$  線の検出率が限られて計測効率が非常に悪いため、 $\text{Ps}^-$  の光脱離によって形成される  $\text{Ps}$  を直接検出する効率的なシステムを新たに開発した(図 3)。実験はこれまでと同様に、SPF から供給されるパルス状陽電子ビームを利用して行った。新しい計測システムでは、陽電子ビームを偏向ガイド磁場によって 45 度曲げてから、Na 蒸着 W 標的に入射して  $\text{Ps}^-$  ビームを作り出した。この  $\text{Ps}^-$  を電場で加速した後、レーザー光で照射して

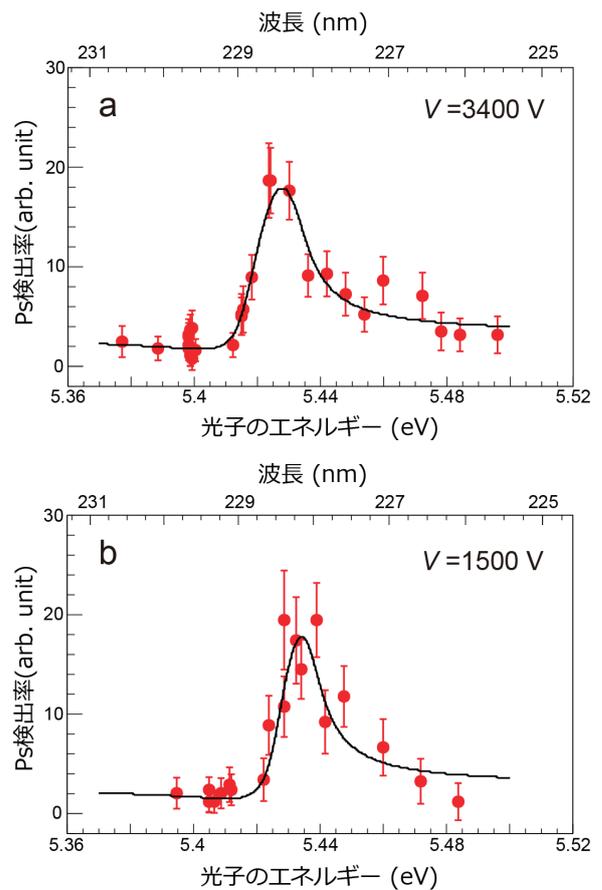


図. 4 共鳴プロファイル。V は  $\text{Ps}^-$  の加速電圧を示す。文献[7]より転載。

光脱離を誘起した。光脱離によって形成された  $\text{Ps}$  を標的に対向して設置したマイクロチャンネルプレート(MCP)によって直接検出した。 $\text{Ps}$  は電的に中性であるので、偏向磁場の影響を受けることなく、検出器に到達できる。光源には、波長可変のパルス色素レーザーを用いた。励起状態  $\text{Ps}$  (主量子数  $n = 2$ ) の形成閾値付近に予測される共鳴をターゲットにし、その共鳴波長に相当する近紫外の波長域(225 nm - 230 nm)を走査して、共鳴を探索した。

波長を変化させて  $\text{Ps}$  の検出率を逐次測定して得たプロファイル曲線を図 4 に示す。非対称な共鳴ピークが明瞭に観測された。実線は、Fano 型の共鳴関数でフィットした結果である。V は  $\text{Ps}^-$  の加速電圧であり、 $\text{Ps}^-$  の速度から生じる 2 次のドップラー効果により、共鳴エネルギーがシフトしている。この効果を含めて共鳴パラメータを解析した結果、共鳴エネルギーは 5.437(1) eV、共

鳴幅は  $0.010(2)$  eV と推定された。この結果は、 $1P_0$  の対称性をもつ形状共鳴の理論計算値とよく一致することが確かめられた[10-12]。このことから、 $Ps^-$  の光脱離過程に現れる形状共鳴の観測に成功し、その分光学的性質を検証することができた。

#### 4. エネルギー可変ポジトロニウムビーム

$Ps^-$  をエネルギー可変の指向性ビームにして、物質に衝突させれば、物質-反物質相互作用の研究や  $Ps^-$  の散乱・回折を利用した新しい分析法が拓けると期待されている。しかしながら、 $Ps^-$  は寿命が短い上 ( $pPs^-:125$  ps,  $\sigma Ps^-:142$  ns) に、電氣的に中性であるため、 $Ps^-$  をビーム化する技術は難しいものであった。これまでに、陽電子と気相原子・分子との荷電交換を利用して、300 eV 以下の低エネルギー  $Ps^-$  ビームが実現されているが、生成効率が低く、また真空環境に制限があり、ビームとしての可能性は限られていた[13]。

$Ps^-$  の光脱離または共鳴光脱離を利用すると、エネルギーを自由に調節可能な  $Ps^-$  ビームを生成することができる。これは、 $Ps^-$  を任意のエネルギーに電場で加速した後に、レーザー光で光脱離するという方法に基づく。図3の装置を用いて、この方法による  $Ps^-$  ビーム生成の実証実験を行った[8]。光脱離領域から MCP 検出器までの距離は 80 cm であり、検出器に到達するまでの  $Ps^-$  の飛行時間を測定した。なお、光脱離の効率を最大にするために、光源には Q-スイッチ Nd:YAG レーザーの基本波をそのまま用いた。

$Ps^-$  の加速電圧を変化させて逐次取得した、 $Ps^-$  の飛行時間スペクトルを図5に示す。レーザー光を照射していない場合、陽電子由来のバックグラウンドが見て取れるが、レーザー光を照射すると新たなピークが観測された。さらに、 $Ps^-$  の加速電圧  $V_{acc}$  を変化させると、それに応じてピークの飛行時間がシフトする様子も観測された。飛行時間の解析から、これらのピークは  $Ps^-$  の光脱離によって形成された  $Ps^-$  に帰属され、エネルギー可変  $Ps^-$  ビームが生成されていることを実証した。図中の  $E_{Ps}$  は加速電圧から算出された  $Ps^-$  のエネルギー

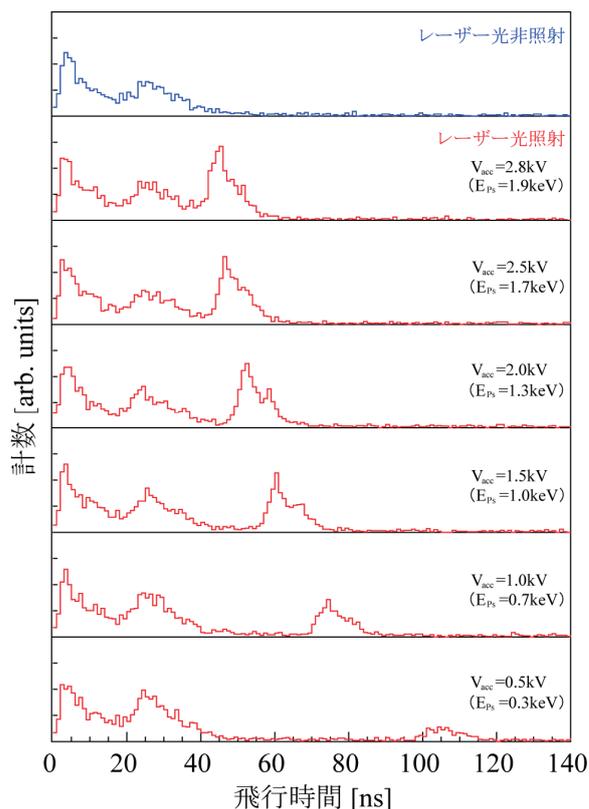


図.5  $Ps^-$  の飛行時間スペクトル。文献[8]より転載)

一であり、0.3 keV - 1.9 keV のエネルギー領域の  $Ps^-$  生成が可能となったが、原理的にはさらに高いエネルギーにまで加速することができる。また、二次元検出器を用いてビームの空間分布を測定し、指向性を有するビームが生成されていることも確認している[14]。

#### 5. まとめ

KEK 物構研 低速陽電子実験施設から供給されるパルス状陽電子ビームと  $Ps^-$  の高効率形成法を駆使して、 $Ps^-$  の光脱離の観測や、この過程に現れる共鳴状態の分光に成功した。これらの成果は  $Ps^-$  研究の黎明ではあるが、今後、運動量分光や精密レーザー分光等の手法を組み合わせることで、量子三体系の新たな基礎物理検証が可能となる。また、この手法で実現したエネルギー可変  $Ps^-$  ビームを用いて、 $Ps^-$  と物質との相互作用に関する研究や新しい分析法が拓けると期待される。これからも、LINAC ベースの低速陽電子ビームや開発

したエネルギー可変 Ps ビームを用いて、新たな研究領域を開拓していきたい。

## 6. 謝辞

本研究は、東京理科大学の長嶋泰之教授のグループ、KEK 物構研 低速陽電子施設のグループ、理化学研究所の東原子分子物理研究室の皆様との共同研究によって行われたものであり、心より感謝申し上げます。また、宮崎大学の五十嵐明則教授には、理論計算について多大なご協力をいただきました。同様に、実験の遂行にあたり、LINAC の保守管理や運転をして頂いた、KEK 加速器第五系 LINAC グループの皆様には深く感謝いたします。本研究は、JSPS 科研費 JP24241031、JP24221006、JP25887046 の助成を受けて行われたものです。

## 参考文献

- [1] J. A. Wheeler, “Polyelectrons”, *Ann. New York Acad. Sci.* 48, 219-238 (1946).
- [2] Y. Nagashima, “Experiments on positronium negative ions”, *Physics Reports* 545:3, 95-123 (2014) and references therein.
- [3] A. P. Mills, Jr., “Observation of the positronium negative ion” *Phys. Rev. Lett.* 46, 717-720 (1981).
- [4] H. Ceeh *et al.*, “Precision measurement of the decay rate of the negative positronium ion Ps” *Phys. Rev. A* 84, 062508 (2011) and references therein.
- [5] H. Terabe, K. Michishio, T. Tachibana and Y. Nagashima, “Durable emission of positronium negative ions from Na- and K-coated W (100) surfaces”, *New J. Phys.* 14, 015003 (2012).
- [6] K. Michishio, *et al.*, “Photodetachment of positronium negative ions”, *Phys. Rev. Lett.* 106, 153401 (2011).
- [7] K. Michishio, *et al.*, “Observation of a shape resonance of the positronium negative ion”, *Nature Commun.* 7, 11060 (2016).
- [8] K. Michishio, *et al.*, “An energy-tunable positronium beam produced using the photodetachment of the positronium negative ion”, *Appl. Phys. Lett.* 100, 254102 (2012).
- [9] T. Hyodo, I. Mochizuki, K. Wada, N. Toge, T. Shidara, “Slow positron applications at Slow Positron Facility of Institute of Materials Structure Science, KEK”, *AIP Conference Proceedings* 1970, 040004 (2018).
- [10] A. Igarashi, I. Shimamura, and N. Toshima, “Photodetachment cross sections of the positronium negative ion”, *New J. Phys.* 2, 17 (2000).
- [11] J. Botero and C. H. Greene, “Resonant photodetachment of the positronium negative ion”, *Phys. Rev. Lett.* 56, 1366–1369 (1986).
- [12] A. K. Bhatia and Y. K. Ho, “Complex-coordinate calculation of 1,3P resonances in Ps using Hylleraas functions”, *Phys. Rev. A* 42, 1119–1122 (1990).
- [13] G. Laricchia and H. R. J. Walters, “Positronium collision physics”, *La Rivista del Nuovo Cimento* 35, 305 (2012).
- [14] K. Michishio, *et al.*, “Profiles of a positronium beam produced using the photodetachment of positronium negative ions”, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 785, 5-8 (2015).

# 放射光 X 線による物質構造の超高速ダイナミクス計測法の開発と応用

高エネルギー加速器研究機構

物質構造科学研究所

足立伸一・野澤俊介

## 1. 緒言

放射光を用いた物質構造研究は、極めて幅広い時間スケール ( $10^{-15}$ ~ $10^3$  秒) と空間スケール ( $10^{-10}$ ~ $10^{-3}$  m) を対象として行われる。またその測定手法としては、実空間、逆空間、実時間、エネルギー空間における測定手法を組み合わせ、イメージング、回折、散乱、分光、時間分解測定、光子相関測定、非弾性散乱測定など様々な手法が相補的に利用されている。本報告では、特に放射光のパルス特性を活かした実時間領域での研究に焦点を当て、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の大強度放射光施設 PF-AR において実施した物質構造の超高速ダイナミクス計測法の開発とその応用研究を中心に紹介する。

## 2. 時間分解 X 線測定法

物質科学における超高速分光計測の分野では、紫外～赤外域のレーザーポンプ・プローブ測定が主要な測定方法として確立している。この測定法は、紫外～赤外の波長域でのパルスレーザーで試料を励起し、過渡的な励起状態となった試料を、遅延時間をかけた紫外～赤外域で広帯域のパルス光を用いて分光測定するといった測定手法である。一般に、このような紫外～赤外域でのレーザーポンプ・プローブ測定は、市販のフェムト秒レーザー装置を用いることでフェムト秒オーダーの時間分解能を実現することができ、吸収、発光、振動などのスペクトル測定が幅広い物質科学

研究に用いられている。これらの分光測定法は、価電子帯の電子状態や分子振動についての詳細な情報を与える一方で、物質構造に関しては間接的な情報を与えるに限定される。これに対して、X 線は、原子間距離と同じオーダーの波長をもち、原子・分子との散乱、回折、内殻吸収を通して、物質構造そのものを検出するのに適したプローブ光である。したがって、試料の励起光にパルスレーザーを使用し、プローブ光に X 線を使用する、レーザーポンプ・X 線プローブ測定法は、試料の過渡的な構造情報を直接的に引き出すことができる点が、他の超高速分光法にない大きな特徴である。これまで放射光 X 線を用いたポンプ・プローブ測定法は固体試料からタンパク質など多岐にわたる物質群に適用され、物質の過渡的な中間構造に関する様々な知見をもたらしてきた。放射光蓄積リングの X 線パルスを活用すれば、数十ピコ秒の時間分解能の測定が実現し、また X 線自由電子レーザーを利用すれば、フェムト秒オーダーの構造研究にまで手が届く状況となった [1-5]。

## 3. レーザーポンプ・X 線プローブ実験のためのパルス同期

放射光 X 線パルスとレーザーパルスとの外部同期は、これまでに確立した技術となっている。基本的には、蓄積リングの RF 信号を分周して、試料励起用のモードロックレーザーの外部同期信号として使用し、レーザーのキャビティー長に対してフィードバックをかけることによってレーザー光と放射光を同期させるという方法を取る。特に放射光 X 線パルスとレーザーパルスとの間の遅延時間をピコ秒以下の精度で制御することが重要である。PF-AR での実験では、RF 周波数である 508.58MHz を基準信号とし、遅延時間の制御には、遅延時間生成用のモジュール (CANDOX systems) を使用している。このモジュールは、508.58MHz の基準信号を基にして、周波数分周器、IQ モジュレータによる位相遅延、デジタルカウンタにより遅延時間を制御し、外部同期に必要なレーザー側への入力信号を得ている。その出力

信号のジッターは1ピコ秒以下である。ピコ秒以上の遅延時間は、IQモジュレータによって、1周期約2ナノ秒までは位相遅延による制御を行い、それ以上の時間スケールはデジタルカウンタで制御することによりミリ秒を超えて連続的に遅延時間を制御することができる。励起用レーザーとして、フェムト秒チタンサファイアレーザーと再生増幅装置を用いて約1kHzの繰り返し実験を行う実験例を示す。シード光であるモードロックチタンサファイアレーザーに508.58MHzを1/6に分周した84.76MHzを入力し、共振器の長さにフィードバックを掛けることによりレーザーと放射光X線を同期させる。再生増幅器には、508.58MHzを1/537600に分周した945Hzを入力し、励起用のレーザーを発振させ、ポッケルスセルによるパルスの切り出しタイミングを制御している。

一方、PF-ARは常時単バンチ運転であるため、放射光X線のパルス列は、その周回周波数である794kHz(508.58MHzの640分周)で出射するが、モードロックチタンサファイアレーザーの繰り返し周波数945Hz(794kHzの840分周)に同期した計測を行う必要がある。検出器側にゲート信号を印加できる場合には、945Hzに同期した信号のみ選択して検出する。一方で、X線回折実験用の大型X線CCD検出器のように945Hzのゲート信号を印加できない場合には、放射光X線の光路上に回転型X線シャッターを導入して、放射光X線パルス列を945Hzまで間引くことにより、ポンプ用のレーザーパルスとプローブ用のX線パルスを1:1で同期させるという実験も可能となっている(Fig.1)。

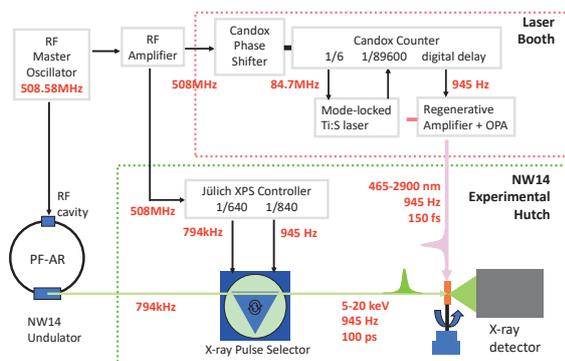


Fig. 1 PF-AR 実験の同期タイミング図。

また、最近では MHz オーダーの繰り返し周波数で外部同期可能なフェムト秒パルスレーザーが市販品で入手可能となっており、このようなレーザーをポンプ・プローブ実験の励起源とすることにより、794kHzのX線パルス列を全く間引くことなく実験を行うことが可能となっている。これにより、これまでの945Hz繰り返し測定と比較して単位時間あたりのX線光子数が約3桁向上し、測定精度の向上、測定時間の短縮に大きく寄与している。

#### 4. 物質構造ダイナミクス研究への動機

次に、これまで我々のグループがPF-ARで開発した時間分解X線測定装置を活用して実施した応用研究を取り上げる。ここではまず、応用研究の動機として「なぜX線を用いて物質構造のダイナミクス研究を行うのか」について、物質の光エネルギー変換機構の解明を目的として研究を行う立場から述べてみたい。

近年、化石燃料の枯渇や地球温暖化など、我々の社会が直面するエネルギー・環境問題を受けて再生可能エネルギーの重要性が叫ばれる中で、太陽光エネルギーから化学エネルギーへの変換を担う光触媒反応の高効率化は喫緊の課題の一つである。このような取り組みは、「人工光合成」研究などとも呼ばれるが、光触媒反応における光-化学エネルギー変換プロセスを分子構造、電子状態の過渡的な変化から理解することは基礎応用の両面から極めて重要な研究テーマとなりつつある。もし光-化学エネルギー変換過程の途中で過渡的に生成する反応中間体の分子構造を動画のように可視化することができれば、その反応中間体の分子構造や電子状態の情報に基づいて、より合目的で高効率な化学反応の設計が可能となると期待される。まさに「百聞は一見に如かず」の言葉の通り、化学反応中の分子構造変化を直接つぶさに観察することは、高効率な化学反応の設計を進めるための鍵である。観測できないものは想像するしかないが、観測できたものは、それをもとに評価し、制御することができるはずであるという信念が研究の動機となっている。光化学反応

に伴う分子構造や電子状態の変化は、ナノ秒からピコ、フェムト秒といった時間域で観測される。放射光 X 線のパルス特性を活用することにより、溶液中や固体表面など凝縮相において、フェムト秒～ナノ秒オーダーの超高速現象を原子レベルの構造変化として可視化する研究手法が、今後益々重要な方法となると期待されている。

## 5. 時間分解 X 線測定の実用研究例

時間分解 X 線測定の実用研究の一例として、時間分解 X 線吸収微細構造 (X-ray Absorption Fine Structure; XAFS) 測定により分子構造がピコ秒オーダーで変化する過程を計測した実験例を紹介する[5]。

XAFS 測定法は、注目する特定の原子の内殻電子の結合エネルギー近傍の X 線を試料に入射し、X 線吸収率のエネルギー依存性を解析することにより、元素選択的に電子状態、スピン状態、構造に関する情報を与える。特に溶液条件下で進行する光反応のダイナミクスを計測するうえで、原子近傍の精密な周辺構造の時間変化を直接得ることのできる時間分解 XAFS 法は極めて有力な測定手法である。ここで紹介するのは、時間分解 XAFS 測定法の一例として、鉄フェナントロリン錯体  $\text{Fe}^{2+}(\text{phen})_3$  水溶液の鉄 K 吸収端 (7.1keV) 近傍のパルス X 線を利用して行ったピコ秒時間分解 XAFS 測定の実験例である。この鉄二価錯体の基底状態は低スピン (low spin, LS) 型であるが、400nm の吸収帯励起により、一重項 Metal-to-Ligand Charge Transfer ( $^1\text{MLCT}$ ) 状態を経て、1 ピコ秒以内に高スピン (high spin, HS)

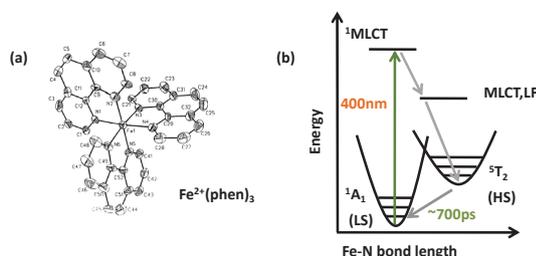


Fig. 2 鉄フェナントロリン錯体  $\text{Fe}^{2+}(\text{phen})_3$  の(a)分子構造と(b)分子の光励起に伴う緩和過程のエネルギーダイアグラム。

型励起状態に緩和し、その後に 700 ピコ秒程度の寿命で、基底状態に緩和することが知られている (Fig.2)。この測定では、HS 中間体から LS 基底状態への緩和過程における溶液中の分子構造の変化をピコ秒オーダーの分解能で観測した。

Fig.3 の上段(a)には LS 基底状態と HS 標準試料の XAFS スペクトルを重ねて示し、下段(b)には 700 ピコ秒程度の寿命で過渡的に生成する HS 励起状態と LS 基底状態との XAFS 差分スペクトルを示した。LS 基底状態および HS 励起状態の XAFS スペクトルに見られる X 線吸収微細構造を抽出してフーリエ変換することにより、LS 基底状態および過渡的に生成する HS 励起状態の分子構造を得ることができる。XAFS スペクトルの解析から、鉄原子と窒素原子間の距離 (Fe-N) は、LS 型で  $1.98\text{\AA}$  に対して、HS 型で  $2.15\text{\AA}$  と見積もられ、光励起により Fe-N 間の結合距離が  $0.17\text{\AA}$  伸長した過渡的な中間体分子が生成していることが明らかとなった。ここで示した鉄錯体の例は、上記の人工光合成を目指した光触媒分子そのものではないが、光エネルギーを分子内のスピン転移を伴う構造転移に変換しているという意味

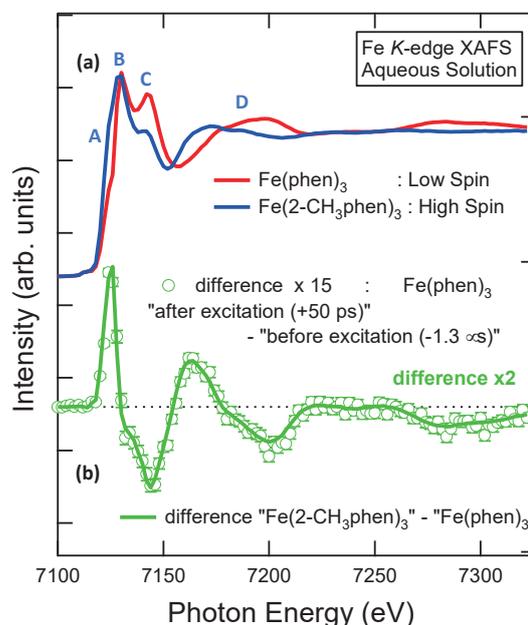


Fig. 3  $\text{Fe}^{2+}(\text{phen})_3$  の(a)LS 状態と HS 状態の XAFS スペクトル比較と(b). HS 励起状態と LS 状態の XAFS 差分スペクトル。

で、光エネルギーを分子内自由度のエネルギーに転換する光触媒反応をモデル化した測定事例と言える。この測定例では、放射光蓄積リングにおけるX線パルス時間幅が数十ピコ秒程度であることから、励起直後に生成する一重項 MLCT 状態から HS 励起状態への過程は観測できないが、別の測定例では、X線自由電子レーザーの超短パルス特性を活用することにより、フェムト秒オーダーの超高速分子構造研究も実施している[6]。

## 6. おわりに

放射光蓄積リングのX線パルス利用によって発展してきたポンププローブ時間分解X線測定は、X線自由電子レーザーの出現によって、さらにフェムト秒オーダーの超高速分子構造研究へと広がっている。これまでに100ピコ秒時間分解X線測定が適用され、蓄積されてきた多岐にわたる分子、化学反応の中間体構造に関する様々な知見は、さらにフェムト秒領域へと進展しつつある。一方で、新規に開発される光機能性材料、光触媒、光デバイスが実際に機能するために重要なタイムスケールが、ピコ秒～ナノ秒～マイクロ秒領域である事例も数多く存在し、そのような試料系の計測は蓄積リング光源が最も得意とするところである。今後は、太陽電池や光触媒など光エネルギー変換デバイスの機能発現のメカニズムに切り込んでゆくために、蓄積リングやXFELを活かした時間分解X線計測装置がさらに重要な計測ツールと発展してゆくと見込まれる。

## 7. 謝辞

本研究の時間分解X線計測のための装置開発およびその応用研究は、独立行政法人科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業「腰原ERATO 非平衡ダイナミクスプロジェクト（2003-2008年、研究総括：東工大・腰原伸也教授）」の外部資金を基盤として、PF-ARのNW14AにおいてPF共同利用課題のS1型研究課題2004S1-001の下で開始され、その後2009S2-001、2009G645、2009G693、2011G655等の共同利用課題に基づき、PF-ARにおいて実施

されました。本研究の装置開発は、2003年の開始当初、本当に手探りの状況からスタートし、PFの光源加速器関係者（現・KEK加速器研究施設 加速器第6研究系スタッフ）、ビームライン関係者（現・物質構造科学研究所 放射光実験施設・放射光科学研究系スタッフ）そして多くの共同研究者の方々との地道な共同作業により初めて実現したものです。この度の受賞は、本研究に様々な形で関わっていただいた先輩の諸先生方、よき同僚に恵まれたおかげであり、心より感謝申し上げます。

最後に、坂部知平先生、故松下正先生、河田洋先生（KEK名誉教授）、腰原伸也先生（東京工業大学教授）には、KEKにおいて時間分解X線計測を開始するきっかけを与えていただき、これまでに様々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] Chen, L. X.; Jäger, W. J. H. Jennings, G.; Gosztola, D. J.; Munkholm, A.; Hessler, J. P. *Science* **292**, 262-264 (2001).
- [2] Bressler, C.; Chergui, M. *Chem. Rev.* **104**, 1781-1812 (2004).
- [3] Huse, N.; Kim, T. K.; Jamula, L.; McCusker, J. K.; de Groot, F. M. F.; Schoenlein, R. W. *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 6809-6816 (2010).
- [4] Ihee, H. *Acc. Chem. Res.* **42**, 356-366 (2009).
- [5] Nozawa, S.; Sato, T.; Chollet, M.; Ichiyangi, K.; Tomita, A.; Fujii, H.; Adachi, S.; Koshihara, S. *J. Am. Chem. Soc.* **132**, 61-63 (2010).
- [6] Kim, K. H.; Kim, J. G.; Nozawa, S.; Sato, T.; Oang, K. Y.; Kim, T. W.; Ki, H.; Jo, J.; Park, S.; Song, C.; Sato, T.; Ogawa, K.; Togashi, T.; Tono, K.; Yabashi, M.; Ishikawa, T.; Kim, J.; Ryoo, R.; Kim, J.; Ihee, H.; Adachi, S. *Nature*, **518**, 385-389 (2015).

# ハイパーカミオカンデ用 Box & Line 型 20 吋径光電子増倍管の開発

浜松ホトニクス(株)

電子管事業部 第2 製造部

小谷政弘、河合輝典

## 1. 背景

スーパーカミオカンデ実験による素粒子ニュートリノの変身(ニュートリノ振動)の 1998 年の発見を突破口に、素粒子理論の見直しをせまるニュートリノの性質が次々に明らかにされてきた。これまで培ってきた高いニュートリノ実験技術をもとにさらに実験感度を向上させるため、ハイパーカミオカンデ実験が計画されている。

ハイパーカミオカンデ実験の検出器は、直径 68m、深さ 71m の円筒形のタンクに超純水を満たしたもので、タンクの体積は 26 万トン、有効体積は 19 万トンでスーパーカミオカンデの約 10 倍になる。タンクの壁には大型の超高感度光センサー(光電子増倍管)が 40,000 本取り付けられ、水中で発生するチェレンコフ光をとらえる。スーパーカミオカンデ実験の 100 年分のデータがハイパーカミオカンデ実験では約 10 年で得られることになるため、これまで見えなかった素粒子のまれな現象や、CP 対称性のわずかな破れの測定が可能となる。

個々の光センサーでは、「いつ」「どれだけ」光を受けたかを測定する。光センサーの性能は、水チェレンコフ検出器全体の観測性能に大きく影響する。たとえば、光を受けた時間の測定精度があがると、ニュートリノ反応や陽子崩壊の発生点をより正確に推定できるようになる。また、バックグラウンドと呼ばれる偽の事象をより区別しやすくなる可能性がある。受けた光の量の測定精度があがると、反応で生成された素粒子のエネルギーをより正確に推定できるようになる。

スーパーカミオカンデ実験で使われている光電子増倍管は、光を受ける光電面の直径 50 cm(20 吋)の世界最大の光センサーで、その性能や信頼性は 20 年以上にわたるスーパーカミオカンデ実験の観測によって十分に証明されているため、この光電子増倍管はハイパーカミオカンデ実験用光センサーの候補となっている。より性能の良い光センサーを使うことで検出器の観測性能を向上することができれば、目標とする物理に対する感度を上げることができるため、スーパーカミオカンデ実験で使われている光電子増倍管よりも高感度で高性能な新型の光センサーをハイパーカミオカンデ実験用に開発することとなった。[1]

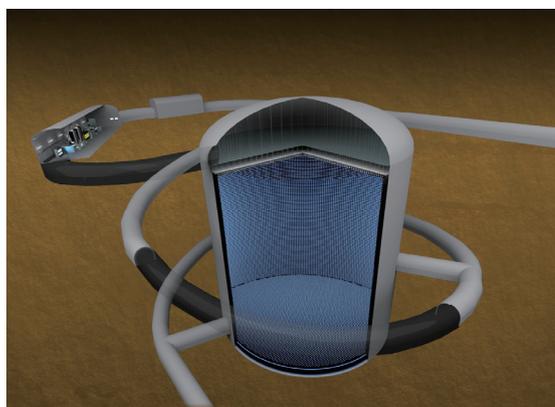


Fig.1 ハイパーカミオカンデ実験イメージ図 [2]



Fig.2 ハイパーカミオカンデ実験用新型 20 吋光電子増倍管

## 2. 光電子増倍管の構造と増倍原理

光電子増倍管(PMT: Photomultiplier Tube)は一般的にガラス管に封じられた真空管の光センサーで、入射窓、光電面(陰極)、集束電極、電子増倍部(ダイノード)、陽極より構成されている。光電子増倍管に入射した光は以下に示す過程を経て信号出力される。[3]

- (1) 入射光がガラス窓を透過し、光電面内の電子を励起して、真空中に光電子を放出(外部光電効果)する。
- (2) 光電子は集束電極で加速・収束され、第1ダイノードに衝突し二次電子を放出する。
- (3) 二次電子がそれ以降の電子増倍部に衝突し、二次電子放出を繰り返す。
- (4) ダイノードにより二次電子放出が繰り返された電子は $10^6$ 倍~ $10^7$ 倍に増倍され、陽極(アノード)より電気信号として取り出される。

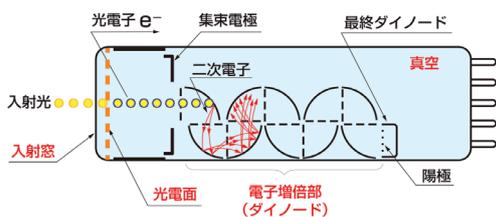


Fig.3 光電子増倍管の構造図

## 3. 新型 20 吋光電子増倍管の開発

スーパーカミオカンデ実験用の 20 吋 PMT では、ダイノードをすだれ状に配置した Venetian Blind 型が採用されていた(Fig.4)。直径 50cm の光電面から光電子を一様に収集するためには、ダイノードを大型化する必要があったため、この電極構造が採用された。しかしこの電極構造では光電子が初段のダイノードに衝突せずに 2 段目のダイノードに衝突する場合があります、また電子増倍の軌道が複数になってしまうことから収集効率や時間特性において欠点を抱えていた。スーパーカミオカンデ実験が計画された 1980 年代後半と比べて現在では、コンピュータの性能向上によるシミュレーション技術の発展とプレス加工機の改善が実現されているので、ハイパーカミオカンデ

実験用の新型 20 吋 PMT ではこれら特性を改善する開発を行った。

### 3.1 光子検出効率の向上

新型 20 吋 PMT では、1 段目に大きな Box 型ダイノードと 2 段目以降に Line 型のダイノードを用いた Box & Line 型の電極構造を採用した(Fig.5)。従来の 20 吋 PMT における Box & Line 型の電極構造では光電面の有効面積が限られていたが、初段ダイノード付近の電極設計を最適化することにより光電面の有効面積を拡大することに成功し、電子収集効率(C.E.: Collection Efficiency)を従来の 68%から 95%へ従来比で 1.40 倍に改善することができた。

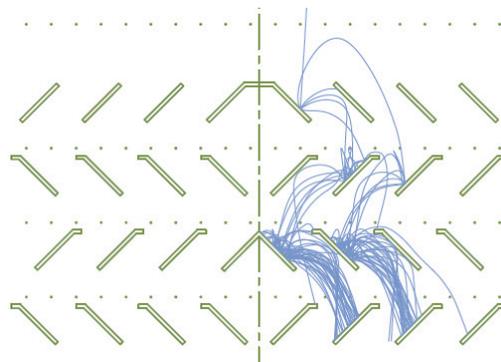


Fig.4 Venetian Blind 型の電極構造

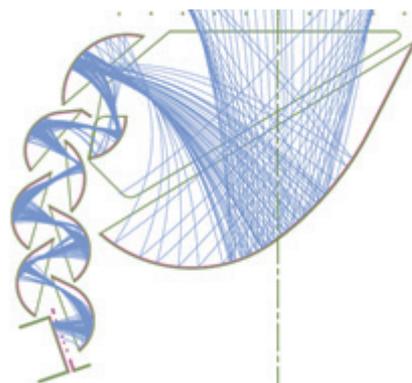


Fig.5. Box & Line 型の電極構造

また光電子増倍管の性能を示す大きな指標の一つである量子効率(Q.E.: Quantum Efficiency)(光電面に入射した光子を光電子に変換する効率)

に関して、従来は平均で 22%程度であったが、光電面素材や光電面の製造技術の開発により従来比で 1.45 倍となる 32%を達成した(Fig.6)。

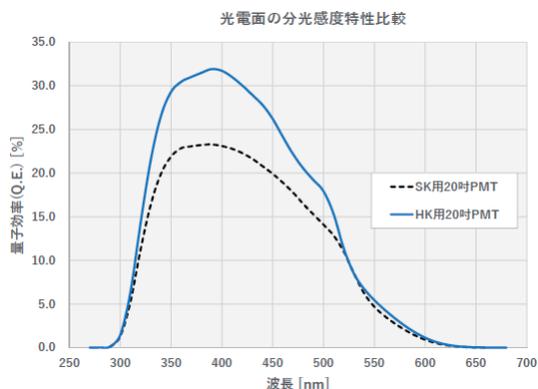


Fig.6. 量子効率(Q.E.)の比較

この電子収集効率と量子効率の改善により、PMT の性能を表す指標である検出効率(D.E.: Detection Efficiency) ( $D.E. = C.E. * Q.E.$ ) は従来の約 2 倍と大幅に向上させることに成功した。これはすなわちチェレンコフ光の有効検出能力の 2 倍化を意味していることとなる。

### 3.2 電子走行時間のばらつきの向上

前述した通り、スーパーカミオカンデ実験用 20 吋 PMT に採用されていた Venetian Blind 型の電極構造では、電子増倍の軌道が複数になってしまうことから電子の走行時間にばらつきが生じていた。ハイパーカミオカンデ実験用の新型 20 吋 PMT の Box & Line 型の電極構造では、電子軌道が一つとなるため電子走行時間のばらつきを抑えることができるようになった。これにより、単一光子検出時間分解能において、従来の 5.5 ns(FWHM)から 2.4 ns(FWHM)に大幅に改善することができた(Fig.7)。これはすなわち、チェレンコフ検出装置内で発生した現象の位置情報が 2 倍改善されることを意味している。

### 3.3 耐水圧性能の向上

スーパーカミオカンデ実験の検出器の水深は 41.4m であったのに対し、ハイパーカミオカンデ実験の検出器では水深 71m となる。スーパーカ

ミオカンデ実験用 20 吋 PMT の耐水圧性能は、応力解析によるシミュレーションでは水深 60m 相当であったため、耐水圧性能の向上も必要となった。耐水圧性能は、光電子増倍管のガラスバルブの形状が支配的である。一般的に耐水圧を考慮した形状にした場合、光電子収集効率や時間特性に影響を及ぼしてしまうが、電子軌道設計の最適化によりこれらの特性を損なうことなく、シミュレーション上において耐水圧性能は水深 120m 相当と従来比で 2 倍となる形状を考案した(Fig.8)。実際に、この新形状となったガラスバルブを用いて耐水圧性能テストを実施したところ、1.25MPa 環境下において爆縮することがないことが確認された。これによりハイパーカミオカンデ実験の水圧にも耐え得る耐水圧性能を実現した。

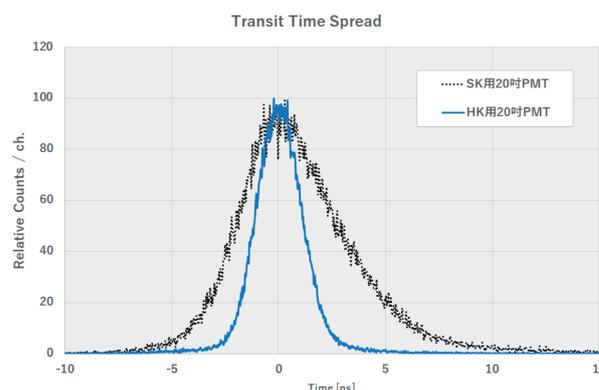


Fig.7 単一光子検出時間分解能の比較

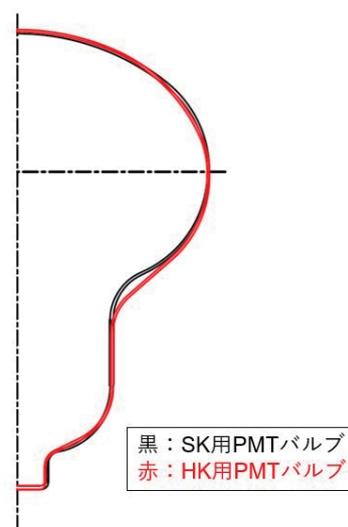


Fig.8 20 吋 PMT 外形形状の比較

#### 4. まとめ

今回開発したハイパーカミオカンデ実験用の新型 20 吋径光電子増倍管では、従来のスーパーカミオカンデ実験用 20 吋径光電子増倍管と比較して、検出効率・単一光子検出時間分解能・耐水圧性能がそれぞれ 2 倍と大幅に改善させることに成功した。これらの特性は水チェレンコフ検出装置において重要な開発要素であり、ハイパーカミオカンデ実験の光センサーとして採用されれば水チェレンコフ検出装置としての大幅な性能向上が期待できる。

#### 5. 謝辞

ハイパーカミオカンデ実験用の新型 20 吋径光電子増倍管の開発においては、東京大学 宇宙線研究所の塩澤真人先生、中山祥英先生、西村康宏先生(現 慶應義塾大学)、他関係者の皆様に多くのご協力をいただき大変お世話になりました。弊社関係者からも多大なるご支援ご協力をいただき、今回の小柴賞を受賞することができましたことをこの場をお借りして深く感謝を申し上げます。

#### 6. 参考文献

- [1],[2] <http://www.hyper-k.org/overview.html>, 提供ハイパーカミオカンデ研究グループ
- [3] 浜松ホトニクス株式会社, 光電子増倍管 その基礎と応用 第 4 版(2017), 14/337

# 加速器科学研究で優れた業績

## 西川賞など19年度奨励賞を贈呈

高工ネ奨励会

(公財)高エネルギー加速器科学研究奨励会は、2019年度(第9回)奨励賞(西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞)を決定し、2月20日、東京のアルカディア市会にて授与式を行った。

開式にあたっては同会の高崎史彦代表理事があいさつし、続いて山口誠哉選考委員会委員長が各賞審査結果を説明。その後、受賞者に対し高崎代表理事が表彰盾などを授与し、さらに各受賞者が受賞研究について発表した。開式にあたっては、同会の神谷幸秀業務執行理事があいさつした。



授与式参加者による記念撮影(盾を持つのが受賞者)

【奨励賞・小柴賞】  
松本トクニクス(株)電子管事業部/河合輝典氏(35歳)同(研究テーマ)ハイパーカミオンテ用Box&Line型20時径光電子増倍管の開発  
【受賞理由概要】小谷氏と河合氏は、次世代超大型ニュートリノ測定器ハイパーカミオンテに使用可能な、格段に性能が向上した世界最大形Box&Line型20時径光電子増倍管の開発に成功した。スーパーカミオンテ使用より2倍高い光子検出効率を達成し、また外形形状最適化によって、スーパーカミオンテの60t仕様の2倍の、125t対水圧水深の仕様を達成した。

【奨励賞・熊谷賞】  
深作正博氏(66歳) (有)双葉工業代表取締役(研究テーマ)超重量加速機器設置に関する低コスト・省努力化研究  
【受賞理由概要】深作氏は、日本の大型加速器プロジェクトであるKEKPS、TRISTAN、KEKB、JPARC、SuperKEKBの、特に加速機器、物理実験用重量物の設置作業において、発注者が考えもつかないような独創的な工夫により、非常に効率的に、短期間かつ低コストで作業を達成させる実績を重ねてきた。

西川賞は加速器と加速器利用に関する実験装置の研究において、独創性に優れた論文発表され、国際的にも評価の高い業績をあげた。また小柴賞は素粒子研究のための粒子検出装置の開発研究において、独創性に優れた、国際的にも評価の高い業績をあげた。それぞ

【奨励賞・西川賞No.1】  
満沙孝治氏(34歳)産業技術総合研究所・研究員(研究テーマ)ボジトロニウム負イオンの光脱離および共鳴光脱離の観測  
【受賞理由概要】陽電子の応用研究事例の中でも、国際的に高く評価されてい

【奨励賞・西川賞No.2】  
足立伸一氏(56歳)高エネルギー加速器研究機構  
放射光科学研究施設教授/野澤俊介氏(46歳)同助教(研究テーマ)放射光X線による物質構造の超高速ダイナミクス計測法の開発と応用  
【受賞理由概要】足立氏と野澤氏は従来の実験要素のX線光源では実現不可能なポンプ&プローブ方式の超高速時間分解X線構造解析手法を、KEK-PFのARリングを中心に開発し、応用研究を進めてきた。

【奨励賞・小柴賞】  
小谷政弘氏(36歳)浜松トクニクス(株)電子管事業部/河合輝典氏(35歳)同(研究テーマ)ハイパーカミオンテ用Box&Line型20時径光電子増倍管の開発  
【受賞理由概要】小谷氏と河合氏は、次世代超大型ニュートリノ測定器ハイパーカミオンテに使用可能な、格段に性能が向上した世界最大形Box&Line型20時径光電子増倍管の開発に成功した。スーパーカミオンテ使用より2倍高い光子検出効率を達成し、また外形形状最適化によって、スーパーカミオンテの60t仕様の2倍の、125t対水圧水深の仕様を達成した。

【奨励賞・小柴賞】  
足立伸一氏(56歳)高エネルギー加速器研究機構  
放射光科学研究施設教授/野澤俊介氏(46歳)同助教(研究テーマ)放射光X線による物質構造の超高速ダイナミクス計測法の開発と応用  
【受賞理由概要】足立氏と野澤氏は従来の実験要素のX線光源では実現不可能なポンプ&プローブ方式の超高速時間分解X線構造解析手法を、KEK-PFのARリングを中心に開発し、応用研究を進めてきた。

【奨励賞・西川賞No.1】  
満沙孝治氏(34歳)産業技術総合研究所・研究員(研究テーマ)ボジトロニウム負イオンの光脱離および共鳴光脱離の観測  
【受賞理由概要】陽電子の応用研究事例の中でも、国際的に高く評価されてい

【奨励賞・西川賞No.2】  
足立伸一氏(56歳)高エネルギー加速器研究機構  
放射光科学研究施設教授/野澤俊介氏(46歳)同助教(研究テーマ)放射光X線による物質構造の超高速ダイナミクス計測法の開発と応用  
【受賞理由概要】足立氏と野澤氏は従来の実験要素のX線光源では実現不可能なポンプ&プローブ方式の超高速時間分解X線構造解析手法を、KEK-PFのARリングを中心に開発し、応用研究を進めてきた。

【奨励賞・熊谷賞】  
深作正博氏(66歳) (有)双葉工業代表取締役(研究テーマ)超重量加速機器設置に関する低コスト・省努力化研究  
【受賞理由概要】深作氏は、日本の大型加速器プロジェクトであるKEKPS、TRISTAN、KEKB、JPARC、SuperKEKBの、特に加速機器、物理実験用重量物の設置作業において、発注者が考えもつかないような独創的な工夫により、非常に効率的に、短期間かつ低コストで作業を達成させる実績を重ねてきた。

# 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 (2020年度)

## 1. 趣 旨

加速器ならびに加速器利用に関わる研究において、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わ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単数または複数の研究者・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で選考し、理事会において決定する。

6. 選 考 2021年3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 2020年6月1日(月)～2021年2月26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

# 高エネルギー加速器セミナー

## OHO'20

### ビーム診断の基礎

2020 9.8 Tue. ~ 9.11 Fri.

開催方法  オンラインによるリモート方式

#### 参加者募集

詳しくは WEB をご覧ください

<http://www.heas.jp>

<http://accwww2.kek.jp/oho/>

#### 講義に関するお問い合わせ

小林 幸則

高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

TEL : 029-864-5632 E-mail : oho20@ml.post.kek.jp

#### 共催

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

TEL / FAX : 029-879-0471 E-mail : info@heas.jp

KEK : 高エネルギー加速器研究機構

総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科



高エネルギー加速器セミナー OHO'20 は、オンラインによるリモート方式により開催されます。  
参加希望者は、Web または Fax にてお申し込みください。

<http://www.heas.jp/index.shtml>

<http://accwww2.kek.jp/oho/oho20/index.html>

### OHO'20 「ビーム診断の基礎」

	9月8日(火)	9月9日(水)	9月10日(木)	9月11日(金)
09:00 - 09:50	受付 Web 会議試験	5 ビーム位置モニター の検出ヘッド 高井 良太	9-1 陽子加速器用ビーム モニター 佐藤 健一郎	13 LC 用モニター：空洞 型 / Laser 本田 洋介
09:50 - 10:00	休憩			
10:00 - 10:50	1-1 ビームモニタ概論 帯名 崇	6-1 電子線形加速器用 ビーム位置モニター 宮原 房史	9-2 陽子加速器用ビーム モニター 佐藤 健一郎	14-1 フィードバックと 不安定 飛山 真理
10:50 - 11:00	休憩			
11:00 - 11:50	1-2 ビームモニタ概論 帯名 崇	6-2 電子線形加速器用 ビーム位置モニター 宮原 房史	10 Review of transverse and longitudinal beam diagnostics Alexander Aryshev	14-2 フィードバックと 不安定 飛山 真理
11:50 - 13:00	昼食休憩			終わりの挨拶
13:00 - 13:50	2 計測の基礎 外山 毅	7 エミッタンス測定 福田 将史	11 Laser technology for accelerator Alexander Aryshev	
13:50 - 14:00	休憩			
14:00 - 14:50	3 信号伝送とノイズ抑制 技術の基礎 諏訪田 剛	8 ロスモニター 池田 仁美	12-1 光モニター 三塚 岳	
14:50 - 15:00	休憩			
15:00 - 15:50	4-1 加速器のビーム調整 下崎 義人	夜話 Belle II 実験が目指す 物理 石川 明正	12-2 光モニター 三塚 岳	
15:50 - 16:00	休憩		休憩	
16:00 - 16:50	4-2 加速器のビーム調整 下崎 義人		12-3 光モニター 三塚 岳	
16:50 - 17:00				
17:00 - 17:50				

# 2019年度 事業報告書

2019年4月1日 ～ 2020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	2019.10.19～26	ビーム力学と加速器技術の国際スクール ISBA19(International Scholl on Beam dynamics and Accelerator technology (広島国際プラザ 東広島市)	栗木雅夫	広島大学先端物質科学研究科	

## 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
	該当なし				

## 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
	該当なし				

## 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	2020.01.23～26	名古屋大学 前田朱音 ミュオン稀崩壊 $\mu \rightarrow e + \gamma$ の探索	山内正則	高エネルギー加速器研究機構 機構長	
2	2020.01.23～26	名古屋大学 皆川真輝 ミュオン稀崩壊 $\mu \rightarrow e + \gamma$ の探索	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	実施項目	開催機関・参加者等	備考	
1	2019.09.10～13	研修会 高エネルギー加速器セミナー OHO'19 の開催 (Super KEKB – ルミノシティフロンティアを切り拓く電子陽電子コライダー)	高エネルギー加速器研究機構との共催	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	2019.10.11	第9回 特別講演会 (主催) 講演. 1 山口誠哉 氏 「KEK 応用超伝導加速器センターが目指す加速器の産業利用」 講演. 2 熊田博明 氏 「ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)」	講演者 高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設 施設長 国立大学法人筑波大学医学研究系准教授	アルカディア市ヶ谷 (私学会館 6階 霧島西) 参加者 27名 賛助会員他	参加費 無料
3	2019.12.01	「科学と音楽の饗宴 2019」 第一部 講演 石黒正人 氏 講演 「見えないものが見えてきた」 第二部 コンサート トランペット進化論－黄金期と変遷の歴史－ トランペット/神代修 氏, ピアノ/徳永 洋明 氏	高エネルギー加速器研究機構	つくば市ノバホール 参加者 520名	参加費 無料

## 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 1	満汐 孝治	産業技術総合研究所・研究員	ポジトロニウム負イオンの光脱離および共鳴光脱離の観測
2	西川賞 2	足立 伸一	高エネルギー加速器研究機構 放射光科学研究施設・教授	放射光 X 線による物質構造の 超高速ダイナミクス計測法の 開発と応用
		野澤 俊介	高エネルギー加速器研究機構 放射光科学研究施設・准教授	
3	小柴賞	小谷 政弘	浜松ホトニクス（株） 電子管事業部	ハイパーカミオカンデ用 Box & Line 型 20 吋径光電子 増倍管の開発
		河合 輝典		
4	熊谷賞	深作 正博	(有)双葉工業 代表取締役	超重量加速器機器設置に関する 低コスト・省労力化研究

## 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'19 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 21 回	2019.04.17 (水) 13:30 ~ 15:30	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 [欠席理事] 熊谷教孝……………1名 [出席監事] 木村嘉孝……………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 「評議員選定委員会委員の選任」の件 第 2 号議案 「選考委員会委員の辞任及び選任」の件 第 3 号議案 「平成 30 年度 (2018 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 4 号議案 「平成 30 年度 (2018 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</p> <p>①平成 30 年度 (2018 年度) 貸借対照表 (案) ②平成 30 年度 (2018 年度) 損益計算書 (正味財産増減計算 書) (案) ③平成 30 年度 (2018 年度) 損益計算書 (正味財産増減計算 書) 内訳表 (案) ④平成 30 年度 (2018 年度) 財産目録 (案) ⑤平成 30 年度 (2018 年度) 財務諸表に対する注記 (案) ⑥平成 30 年度 (2018 年度) 財務諸表 附属明細書 (案) ⑦平成 30 年度 (2018 年度) 残高証明書 (3 通) ⑧平成 30 年度 (2018 年度) 監査報告書</p> <p>2) 報告事項</p> <p>(1) 評議員選定委員会の結果について (2) 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 (3) 奨励賞候補者募集要綱 (2019 年度) について (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 一覧 (平成 31 年 4 月 1 日現在) について (5) 高エネルギー加速器セミナー OHO'19 の開催予定について (6) 第 9 回 特別講演会開催予定について</p>

回	期日・時間	開催場所	出席者・議案
第 22 回 電磁的方法による みなし決議	2019.05.20 (月)	公益財団法人 高エネルギー 加速器科学研究奨励会	[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀、浅野克彦、上坂 充、 杉山 純、幅 淳二……………6名 [出席監事] 木村嘉孝……………1名 出席者総数 7 名 (理事現在数 6 名・監事現在数 1 名) 議 事 決議事項 第 1 号議案 「代表理事・業務執行理事の選任」の件
第 23 回電 磁的方法 によるみ なし決議	2019. 09. 02 (月)	公益財団法人 高エネルギー 加速器科学研究奨励会	[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀、浅野克彦、上坂 充、 杉山 純、幅 淳二……………6名 [出席監事] 木村嘉孝……………1名 出席者総数 7 名 (理事現在数 6 名・監事現在数 1 名) 議 事 決議事項 第 1 号議案 「評議員選定委員会委員の辞任及び選任」の件
第 24 回	2019.12.09 (月) 13:30 ~ 15:45	高エネルギー 加速器研究機 構 職員会館 2 階特別会議 室	[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀、浅野克彦、幅 淳二……………4名 [欠席理事] 上坂理事・杉山理事……………2名 [出席監事] 木村嘉孝……………1名 出席者総数 5 名 (理事現在数 6 名・監事現在数 1 名) [出席選考委員会委員長] 山口誠哉 議 事 1) 決議事項 第 1 号議案 「選考委員会委員の任期満了に伴う選任」の件 第 2 号議案 「奨励賞候補者選考」の件 第 3 号議案 「2020 年度 事業計画 (案)」の件 第 4 号議案 「2020 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)」の件 2) 報告事項 (1) 第 36 回 高エネルギー加速器セミナー (OHO'19) 開催報告 について (2) 第 9 回 特別講演会 開催報告について (3) 2019 年度 研究助成等の状況について (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 (5) 第 23 回 理事会 議事録について (平山評議員選定委員の 就任承諾書を含む)

## 9. 評議員会の開催

回	期日・時間	開催場所	出席者・議案
第19回	2019. 05. 14 (火) 13:30～ 15:00	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……………以上6名</p> <p>[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀……………以上2名</p> <p>[出席監事] 木村嘉孝……………以上1名</p> <p>(評議員現在数6名)</p> <p>1) 議 事</p> <p>第1号議案 「任期満了に伴う役員(理事・監事)選任」の件</p> <p>第2号議案 「平成30年度(2018年度)事業報告書(案)承認」の件</p> <p>第3号議案 「平成30年度(2018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</p> <p>(1) 平成30年度(2018年度) 貸借対照表(案)</p> <p>(2) 平成30年度(2018年度) 損益計算書(正味財産増減計算書)(案)</p> <p>(3) 平成30年度(2018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30年度(2018年度) 財産目録(案)</p> <p>(5) 平成30年度(2018年度) 財務諸表に対する注記(案)</p> <p>(6) 平成30年度(2018年度) 財務諸表 附属明細書(案)</p> <p>(7) 平成30年度(2018年度) 残高証明書(3通)</p> <p>(8) 平成30年度(2018年度) 監査報告書</p> <p>2) 報告事項</p> <p>(1) 評議員選定委員会議事録(平成31年4月8日開催)について</p> <p>(2) 次期評議員会評議員名簿について</p> <p>(3) 第21回理事会議事録(平成31年4月17日開催)について</p> <p>(4) 次期評議員選定委員会委員名簿について</p> <p>(5) 選考委員会委員の辞任(幅委員)及び選任(神山委員)について</p> <p>(6) 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</p> <p>(7) 奨励賞候補者募集要綱(2019年度)について</p> <p>(8) 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</p> <p>(9) 高エネルギー加速器セミナー OHO'19の開催予定に</p> <p>(10) 第9回 特別講演会開催予定について</p>

回	期日・時間	開催場所	出席者・議案
第 20 回	2020.02.20 (木) 13:00 ~ 14:30	アルカディア 市ヶ谷 7階 吉野	<p>[出席評議員] 長島順清、矢野安重、横溝英明、佐藤潔和、大久保光一……………以上 5 名</p> <p>[出席理事] 高崎史彦、神谷幸秀……………以上 2 名</p> <p>[出席監事] 木村嘉孝……………以上 1 名</p> <p>[オブザーバー] 杉山純理事・山口誠哉選考委員会委員長……………以上 2 名</p> <p>議 事</p> <p>1) 決議事項</p> <p>第 1 号議案 「2020 年度 事業計画書 (案) 承認」 の件</p> <p>第 2 号議案 「2020 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) 任期満了に伴う選考委員会委員の現・次期委員名簿について</p> <p>(2) 奨励賞 (西川賞・小柴賞・諏訪賞・熊谷賞) 選考結果一覧について</p> <p>(3) 2019 年度 奨励賞選考結果について</p> <p>(4) 第 36 回 高エネルギー加速器セミナー OHO'19 開催報告について</p> <p>(5) 第 9 回 特別講演会の開催報告について</p> <p>(6) レクチャー&amp;コンサート「科学と音楽の饗宴 2019」開催報告について</p> <p>(7) 2019 年度 研究助成等の状況について</p> <p>(8) 高エネルギー加速器科学研究奨励会賛助会員一覧について</p> <p>(9) 2019 年度 予算執行状況について</p> <p>(10) 奨励会の主な行事予定について</p>

## 10. 2019年度 収支決算監査

2020年4月13日（月）～15日（水） 木村監事による監査を受検

## 11. 2019年度 収支決算報告書について

2019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（水）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） （2019年度）

2019年4月1日から2020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	629,377	1,299,610	△ 670,233
特定資産運用益			
特定資産受取利息	4,468	4,594	△ 126
受取会費			
賛助会員受取会費	4,450,000	4,850,000	△ 400,000
事業収益			
講習会等事業益	164,974	198,282	△ 33,308
受取寄附金			
会議・助成・寄附金	1,500,000	0	1,500,000
雑収益			
預金受取利息	93	87	6
その他（返納金等）	5,240	176,740	△ 171,500
経常収益計	6,754,152	6,529,313	224,839
(2) 経常費用			
①事業費			
研究助成費	91,620	695,100	△ 603,480
国際交流助成費	0	483,000	△ 483,000
国際会議助成費	0	100,000	△ 100,000
その他の助成	0	0	0
講習会開催費	1,069,690	1,066,543	3,147
褒賞費	1,544,546	839,525	705,021
出版物頒布費	329,156	313,221	15,935
印刷製本費	0	0	0
諸謝金	0	0	0
給料手当	1,402,942	1,468,817	△ 65,875
旅費交通費	359,400	342,850	16,550
通信運搬費	26,334	39,360	△ 13,026
消耗品費	0	0	0
賃借料	85,320	106,596	△ 21,276

光熱水料費	22,081	21,383	698
雑費	36,286	35,352	934
事業費合計	4,967,375	5,511,747	△ 544,372
②管理費			
給料手当	1,402,943	1,468,818	△ 65,875
会議費	104,225	85,437	18,788
旅費交通費	292,400	256,850	35,550
通信運搬費	57,417	55,165	2,252
什器備品費	17,604	64,800	△ 47,196
消耗品費	158,290	96,399	61,891
印刷製本費	0	0	0
賃借料	86,895	106,596	△ 19,701
諸謝金	105	100,000	△ 99,895
光熱水料費	22,488	21,383	1,105
雑費	14,358	38,622	△ 24,264
管理費合計	2,156,725	2,294,070	△ 137,345
経常費用計	7,124,100	7,805,817	△ 681,717
当期経常増減額	△ 369,948	△ 1,276,504	906,556
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	△ 369,948	△ 1,276,504	906,556
一般正味財産期首残高	125,422,055	126,698,559	△ 1,276,504
一般正味財産期末残高	125,052,107	125,422,055	△ 369,948
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	125,052,107	125,422,055	△ 369,948

# 2020年度 事業計画書

自 2020年4月1日

至 2021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、もっ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

2020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

2020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

2020 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' 2020）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 : 未定
- ・開催日（予定）: 2020 年 9 月上旬
- ・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）: 2020 年 6 月末日～9 月上旬

#### (2) 講演会等の開催（主催）

- ・開催テーマ : 未定
- ・開催（予定）: 2020 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）: 2020 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あり、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において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、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) : 2020年11月29日(日)
- ・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）の単数また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単数または複数の研究者及び技術者
- 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

賞金は課題毎に各賞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

2020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……………年 2 回発行
- ② 高エネルギー加速器セミナーテキスト…………… 賛助会員等に配布……………年 1 回発行
- ③ HIGH ENERGY NEWS …………… 賛助会員等に配布……………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。

## 2020年度 収支予算書（損益計算書）

自：2020年4月1日 至：2021年3月31日

（単位：円）

科 目	2020年度予算 (A)	2019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	710,000	1,299,000	△ 589,000
特定財産運用益	5,000	5,000	0
受取会費	4,450,000	4,850,000	△ 400,000
事業収益	164,000	194,000	△ 30,000
受取寄附金	0	0	0
雑収益	0	0	0
経常収益計	5,329,000	6,348,000	△ 1,019,000
(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	1,580,000	0
研修会等開催費	832,000	832,000	0
出版物頒布費	318,000	318,000	0
印刷製本費	0	0	0
諸謝金	0	0	0
給料手当	1,192,000	1,192,000	0
旅費交通費	319,000	319,000	0
通信運搬費	39,000	39,000	0
消耗品費	0	0	0
賃借料	85,000	106,000	△ 21,000
光熱水料費	21,000	21,000	0
雑費	25,000	55,000	△ 30,000
事業費合計	5,911,000	5,962,000	△ 51,000
②管理費			
給料手当	1,192,000	1,205,000	△ 13,000
会議費	47,000	47,000	0
旅費交通費	259,000	259,000	0
通信運搬費	54,000	54,000	0
什器備品費	0	0	0

科 目		2020 度予算 (A)	2019 年度予算 (B)	増 減 (C = A - B)
	消耗品費	110,000	110,000	0
	印刷製本費	0	0	0
	賃借料	85,000	106,000	△ 21,000
	諸謝金	50,000	50,000	0
	光熱水料費	21,000	21,000	0
	雑費	24,000	24,000	0
	管理費合計	1,842,000	1,876,000	△ 34,000
	経常費用計	7,753,000	7,838,000	△ 85,000
	当期経常増減額	△ 2,424,000	△ 1,490,000	△ 934,000
	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	△ 2,424,000	△ 1,490,000	△ 934,000
	一般正味財産期首残高	112,708,226	114,198,226	△ 1,490,000
	一般正味財産期末残高	110,284,226	112,708,226	△ 2,424,000
	Ⅱ 正味財産期末残高	110,284,226	112,708,226	△ 2,424,000

※ 当期経常増減額 △ 2,424,000 円については特定資産で補填する

## (公財) 高エネルギー-加速器科学研究奨励会賛助会員一覧

2020年6月1日現在

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

## 評議員名簿

2020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	公益財団法人 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
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)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

2020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	(一財) 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)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

2020年6月1日現在

役職	氏名	所属
監事	<small>きむら</small> 木村 <small>よしたか</small> 嘉孝 ※1	高エネルギー加速器研究機構 顧問
監事	<small>ふるや</small> 古屋 <small>たかあき</small> 貴章 ※2	高エネルギー加速器研究機構 名誉教授

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

※2 任期 2019年度の最終のものに関する定時評議員会の終結時（2020年5月22日）から2023年度の最終のものに関する定時評議員会の終結の時（2024年5月中旬）までとする。