



Photo K. Hirano

Index

放射光施設放射線安全ワークショップ “RADSYNCH workshop” ～ International workshop on radiation safety at synchrotron radiation sources ～ ……………	浅野 芳裕	1
低線量域放射線被ばくの健康影響 －原子力発電施設等の放射線業務従事者の1991年から 2010年までの疫学的調査から－ ……………	笠置 文善	7
〔施設訪問記㊸〕 －X線自由電子レーザー施設 SACLAの巻－ 日本初のXFEL施設が作り出す夢の光 ……………		12
ノーベル物理学賞受賞 おめでとうございます……………		17
FBNews 新編集委員のご紹介 ……………		17
〔FBNews〕 総合目次 その43 (No.457～468) ……………		18
〔サービス部門からのお願い〕 「ご使用者変更連絡票」の「処理区分」をご記入ください!! ……………		19

放射光施設放射線安全ワークショップ “RADSYNCH workshop”



浅野 芳裕*

～ International workshop on radiation safety
at synchrotron radiation sources ～

1. はじめに

高速の荷電粒子が進行方向を曲げられると進行方向の接線方向に電磁波を放射します。一般にこれを放射光と呼んでいます。イオントラップによるビームの不安定性を避けるため荷電粒子に陽電子を用いていたことも過去にはありましたが現在は電子蓄積方法の改善によってイオントラップの影響を避けることができるようになり、どの施設でも電子を用います。高エネルギーの電子加速器から発生する放射光は指向性が強く、大強度・高密度X線で、物性研究や生物研究などにその威力を遺憾なく発揮しており、いまやなくてはならない強力な道具として活躍しています。放射光実験の初期には素粒子実験や原子核実験など高エネルギー加速器を用いた実験に間借りするような形で行われていました。やがて放射光の優位性が認められるようになり、1970年代半ばには世界で最初の放射光専用施設UV-SOR⁽¹⁾が東大核研に建設されたのをはじめ、Photon Factory⁽²⁾のような放射光専用施設が数多く建設されるようになって来ました。1990

年代になると図1に示されるように永久磁石列の中に電子を走行させ、その軌道を強制的に揺らすことにより、より高密度で高エネルギーの放射光が得られるウイグラーやアンジュレータと呼ばれる挿入光源装置を装備した第3世代の放射光施設が建設されるようになりました。また、大型施設も欧州 (European Synchrotron Radiation facility (ESRF)) やアメリカ (Advanced Photon Source (APS))、日本 (SPring-8) で建設され、放射光施設特有の放射線安全問題が加速器や放射光ビームライン設計・建設上、大きな話題となって上がってくるようになります。そのような状況のなかで放射光施設の放射線安全を議論する専用の場を設けてほしいという声が大きくなり、APSのP.K.Job (当時)、ESRFのP.BerkvensとSPring-8の著者が中心となり放射光施設放射線安全に関するワークショップを開催することになりました。それが表題のRADSYNCH workshopです。本稿ではこのワークショップで議論されていることを中心に、放射光施設の放射線安全問題などについて述べたいと思います。

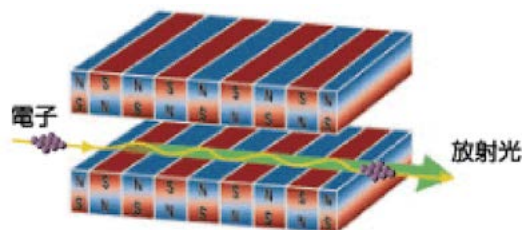


図1 アンジュレータ放射光(<http://www.spring8.or.jp>)

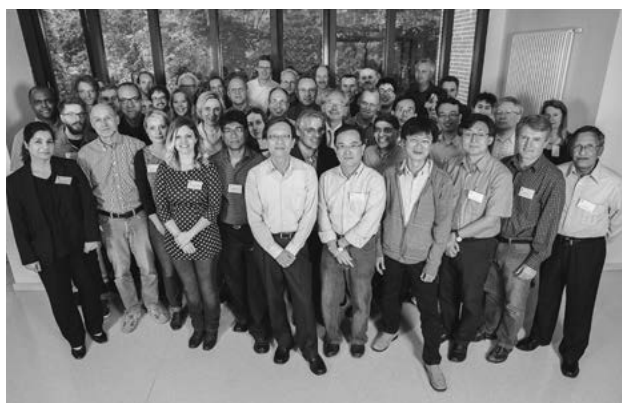
2. RADSYNCHワークショップ

ワークショップは表1に示しますように2001年からほぼ2年に1回の割合で、現在までに8回開催されています。表に示されているように、最初の3回は本ワークショップの発起人の所属施設で開催されています。慣例として開催場所

* Yoshihiro ASANO 国立研究開発法人 理化学研究所 放射光科学総合研究センター グループディレクター

表1 RADSYNCHワークショップ開催地及び参加状況

Workshop	Date	Hosts	Num. Facilities	Num.Participants
RADSYNCH' 01	April 23~24, 2001	APS ANL, Argonne (USA)	18	39
RADSYNCH' 02	Nov. 13~14, 2002	ESRF Grenoble (France)	15	25
RADSYNCH' 04	Nov. 17~19, 2004	SPring-8 Sayo (Japan)	38	68
RADSYNCH' 07	June 7~9, 2007	CLS Saskatoon (CANADA)	25	42
RADSYNCH' 09	May 21~23, 2009	Elettra Trieste (Italy)	25	44
RADSYNCH' 11	April 27~29, 2011	PAL Pohang (Korea)	15	25
RADSYNCH' 13	May 8~10, 2013	NLSL BNL Upton (USA)	27	48
RADSYNCH' 15	June 3~5, 2015	DESY Hamburg (Germany)	33	55
RADSYNCH' 17* (next)	Spring, 2017	NSRRC Hsinchu (Taiwan)	—	—

図2 Radsynch15参加者 (<http://radsynch15.desy.de>)

はアメリカ大陸→欧州→アジアの順で、本年度は3周目の欧州の番であり、ドイツの Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY) で6月初旬に開催されました。そのときの参加者による集合写真を図2に示します。次回は2017年の春に台湾、新竹の国家同步輻射研究中心 (NSRRC) で開催される予定です。このワークショップは参加人数が50人に満たない場合が殆どの小さな国際会議ですが、放射光施設の放射線物理・安全を専門に議論する唯一にして非常に特色のある国際会議であり、

表2 今までにワークショップに参加した施設・機関

アメリカ	Advanced Photon Source (ANL), National Synchrotron Light Source (BNL), SLAC Synchrotron Radiation Lights (SLAC), Advanced Light Source (LBNL), CAMD (Louisiana State Univ.), Yale Univ., Duke Univ., Canadian Light Source (Saskatoon Univ.), Canadian Nuclear Safety Commission, LNKS-Sirius (Brazilian synchrotron light lab.), Lou Champagne Systems (Canada), Framework Scientific (USA), Canberra (USA)
欧州	European Synchrotron Radiation Facility (Grenoble), SOLEIL (French Synchrotron Facility), ALBA (CELLS Spain), ANKA (Forschungszentrum Karlsruhe), HASYLAB-European XFEL (DESY), PTW-Freiburg, BESSY-II (Helmholts Zentrum Berlin), MaxLab (Sweden), ELLETRA (Sincrotrone Trieste), INFN (Frascati National Lab.), SRS (Daresbury Lab.), SLS (PSI Swiss), CANDLE (Armenia), DIAMOND light source (Rutherford Appleton Lab.), SOLARIS (Poland), Joint Institute for Nuclear Research (Dubna), Berthold Technologies GmbH, Radosys Ltd (Hungary), El.Se. s.r.l. (Italy), Politecnico di Milano, Ludwig-Maximilians-Universität, Klett Cons. WPE GmbH, Maier-Leibnits-Laboratorium, ELSE NUCLEAR, LMU Munchen,
アジア・オセアニア	Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SINAPCAS), Institute of High Energy Physics (Beijing), Pohang Accelerator Lab., KINS (Korea Insti. Nuclear Safety), Taiwan Light Source-Taiwan Photon Source (NSRRC), Feynman Teck.Co.Ltd (Taiwan), KEK, SPring-8, APRC (JAERI), NewSUBARU (Univ. Hyogo), Institute for Molecular Science (Okazaki-NRI), Nagoya Univ., SMS Medical College (India), SESAME (Jordan), Singapore Synchrotron Light Source (National Univ. Singapore), The Univ. Sydney, Oyo Koken, Chiyoda Technol, Canberra Japan, SEIKO EG&G, Berthold Japan, Laboratory Equipment, Aloka, Nagase Landauer, Fuji Electric, REPIC,

世界の主要な放射光施設放射線物理・安全専門家の殆どが参加しています。今までに32国立等研究機関、11大学、21企業が参加しており、その機関・施設を表2に示します。小さな国際会議の利点を十分に生かして、実に密度の高い議論を行っているとともに各人が親密になり、情報交換にとっても有効です。

ワークショップの会議録は各ホスト研究所から発行されています。詳しくはそれらを見ていただくとして、次のことが主に議論されてきました。(1)放射光施設の安全システム設計と概念、(2)放射光施設放射線遮蔽設計手法とその検証、(3)放射光施設放射線源及び誘導放射能測定・評価、(4)第4世代放射光施設(X線自由電子レーザー施設)の放射線安全設計。また、今年開催された会議では、X線自由電子レーザー施設の新しい放射線源として(5)大強度光学レーザーによる誘導放射線が話題に上がりました。以下に要点を示します。

2-(1) 放射光施設の安全システム設計概念

放射光施設は加速された電子を供給する入射器と電子を蓄積する蓄積リング及び蓄積リングの電子から発せられる放射光を利用する放射光ビームラインからなる複合加速器群です。放射光施設では高エネルギー加速器施設等と異なり、殆どの施設で年間1千人を超える大勢のユーザーが放射光ビームを取り扱います。放射光ビームはその殆どがX線領域で、出力密度は益々高くなっています。放射光ビームが持つ潜在的な危険度は大きく、かつビームシャッター等の放射光ビーム制御も通常不特定多数のユーザーが行います。従って、放射光ビーム照射場へのアクセス方法及びそのインターロックシステムがとても重要になります。また、インターロックシステムを独立2重にすることが、関係者の間で世界的に合意されていますが、ビームシャッター自体を2重にするか、あるいは電氣的に2重チェック機構にするかなどは、施設により考え方に相違があります。加速器遮蔽設計の上で電子ビーム損失割合をどのように設定するかは重要な問題であり、各々の施設の考え方や実測値がとても参考になります。

たとえばSPring-8の場合、建設当初は8 GeVクラスの蓄積リング運転経験が世界的に無く、電子入射効率も安全側に10%と設定されました。その後入射タイミング技術の進展もあり、実際には少なくとも70%以上の入射効率で運転されています。これらは参考文献(3)及び(4)に纏められており、その後の放射光施設建設に有効なデータとして活用されています。

2-(2) 放射光施設放射線遮蔽設計手法

放射光施設の基本的な遮蔽設計は電子加速器の遮蔽設計と同じです。ただし、フロントエンドも含めた放射光ビームライン固有の問題があります。SPring-8の遮蔽設計を始めたころは数GeVオーダーまで計算できる電磁シャワーコードが普及しておらず、光核反応を取り扱うことができる計算コードは皆無の状態、数十MeV以上の光核反応断面積を計算、整備するところから始める状態でした。実際には適応範囲を慎重に検証しつつ半実験式⁽⁵⁾を用いて遮蔽設計を行い、実験で確認する状態でした。やがて高エネルギー電磁シャワーが取り扱い可能なモンテカルロ計算コードEGS4⁽⁶⁾や光核反応計算可能なFLUKA⁽⁷⁾コードが普及してきます。表1で示されているように、初めのころのワークショップは大型の放射光施設で開催されており、半経験式で遮蔽設計が行われました。これら大型施設は供用開始から18年以上経過しており、どの施設も更新・高度化を計画しています。また、NSLS-II⁽⁸⁾やMAX-IV⁽⁹⁾、Sirius⁽¹⁰⁾などの3 GeV付近のエネルギーを持つ中型施設は現在も世界中で建設・整備が進められており、夫々の施設遮蔽・安全設計を議論しています。使用勝手の良さなどから今では放射光施設の殆どがFLUKAを用いています。最近、日本で開発されているPHITSコード⁽¹¹⁾も高エネルギー領域における光核反応計算ができるようになり、今後放射光施設でも利用が増すことが期待できます。

放射光施設の入射器や蓄積リングと異なり、放射光ビームラインの遮蔽設計にはユーザーのアクセスがあることに加えて、次項で述べる高エネルギー光子とそれに付随する光中性子

及び大強度X線を考慮しなければなりません。各々モンテカルロ計算を行う上で注意を要する点があります。特に大強度X線の遮蔽には計算に長時間が必要なことなど不向きな点が多く存在します。そこでSPring-8の放射光ビームライン遮蔽設計を実施する際に簡易放射光遮蔽設計計算コード⁽¹²⁾が開発されました。このコードは現在も世界中の放射光施設で使用されており、その有効性が確認されています。

2-(3) 放射光施設放射線源及び誘導放射能測定・評価

既に述べたように放射光施設は電子加速器複合施設です。従って基本的には加速電子が何らかの原因により軌道を離れ、機器と衝突することにより電磁シャワーが発生、生成される高エネルギー光子と光核反応による中性子、ミュー粒子を効率的に遮蔽することが必要です。放射光施設特有の加速器運転形態として、Top-up運転（Top-off運転とも言う）があります。蓄積リングの電子が電子同士のクーロン散乱（タウシェック効果）やリング内残留ガスとの衝突などによって周回を繰り返す間に少しずつ失われていきます。放射光強度はこの電流に比例するので実験中に強度が少しずつ失われていきます。通常、この失われる

電子を継ぎ足して蓄積電流を一定に保つ運転を行います（Top-up運転の厳密な定義は電流一定運転と関係なく放射光実験中に継ぎ足し運転を行うことを言う）。安全設計側から考えますと、これは定常状態で周回している電子群に外から電子を入射して乱れを生じさせることを意味しており、電子ビーム損失量が多くなることや高速電子が放射光ビームラインに混入する可能性が高まるなどの危険性が増します。この増加する危険度をどのような方法で低減させるかも重要なテーマでした（現在では主に電子入射効率を制御するか、ビームライン毎に放射線モニターを配置する方法のどちらかがとられています）。SPring-8が2004年5月Top-up運転を始めたころの入射部近傍の遮蔽壁外の中性子線量を例として図3に示します。

第3世代放射光施設では挿入光源装置が多く用いられるようになりました。この挿入光源装置を装着するために蓄積リングの直線部が長くなり、その上この直線部の電子走行軌道軸上に放射光ビームラインを構築しなければならないので、蓄積電子と蓄積リング内残留ガスとの作用による制動放射線（ガス制動放射線と呼び、光子エネルギーは蓄積電子エネルギーまで分布している）がビームラインに混

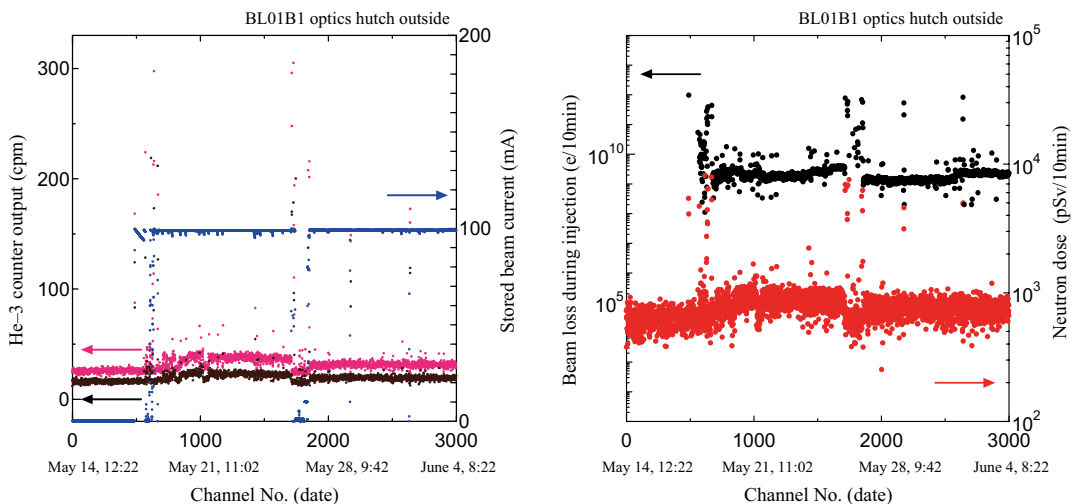


図3 Top-up運転開始時の遮蔽壁外中性子線量率
(左図；蓄積電流値と³Heカウンター出力、右図；中性子線量と電子ビーム損失値)⁽¹³⁾

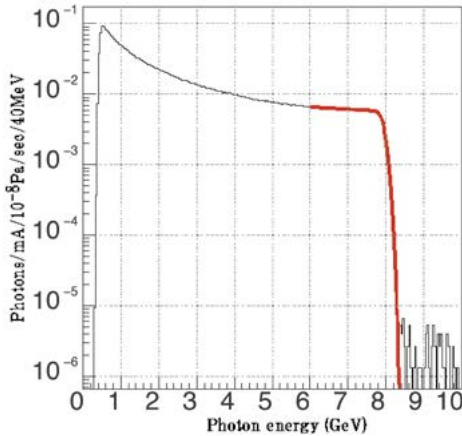


図4 ガス制動放射線エネルギー分布⁽¹⁴⁾

入してきます。SPring-8の典型的な挿入光源装置ビームラインで測定されたガス制動放射線の例を図4に示します。このガス制動放射線を精度よく評価、遮蔽することも大きなテーマです。

先に述べたように放射光ビームのエネルギーはその殆どがX線領域にある上、その強度は極端に強く、典型的なSPring-8アンジュレータビームラインではその光子出力は13kWもあります。従って直接線だけでなく、散乱線の遮蔽だけでも普通数cmの鉛壁が必要となります。また、放射光ビームはミラーやモノクロメーターなどの光学素子によって集光、及び分光されます。その上、普通放射光は直線偏光しています。これらの特徴をよく捉えた上でビームライン遮蔽設計を行う必要があります。

現在ESRFなどの大型放射光施設では高度化を目指して加速器施設の更新が計画・実行されています。この更新を行う上で大量の加速器構成物を放射化の程度によって廃棄・保管しなければなりません。また、北欧やカナダでは施設を建設する際にあらかじめ放射化物の評価も含めた廃止処置計画を作成しなければなりません。放射光施設では陽子加速器などに比較して放射化の程度はかなり低いのですが、精度良い評価及び適切な測定をすることが必要であり、光核反応中性子の挙動を把握することが益々重要となります。

2-(4) 第4世代放射光施設(X線自由電子レーザー施設)の放射線安全設計

放射光ビームとレーザーの特徴を併せ持ったX線自由電子レーザーが2009年から2011年にかけてLCLS(SLAC、アメリカ)とSACLA(SPring-8サイト)で相次いで発振しました。この第4世代放射光施設であるX線自由電子レーザー施設は基本的に線型加速器とおよそ100mにもなる長いアンジュレータより構成されます。得られるX線レーザーの波長や強度は電子エネルギーやアンジュレータの磁場強度、周期長及び周期数に依存します。SACLAの基本的な概念については本誌No.425⁽¹⁵⁾に、また放射光施設とX線自由電子レーザー施設の放射線安全に関する相違点などの特徴については文献(16)に掲載されています。現在SLACではLCLSの他にLCLS-IIの建設が進んでおり、SACLAではビームラインの増設、運転の高度化が行われています。また、現在European-XFEL(DESY)、やSWISS-XFEL(Paul Scherrer Institute)及びPAL-XFEL(Korea)の建設が進んでいます。その他に上海やMaxLab(Lund-Sweden)でも計画が進んでいます。

2-(5) 大強度光学レーザーによる誘導放射線

X線自由電子レーザーは波長が揃っているだけでなく、非常に短パルスの大強度X線が得られます。この特徴を生かして極短時間事象の観察を行うことも可能です。具体的には化学変化の物理過程や物質のプラズマ状態の変化などです。およそ1EW/cm²(10¹⁸W/cm²)以上の大強度光学レーザー(現在Ti:sapphire(TiS)レーザー、波長800nm、が主に用いられている)を物質に照射することにより大強度光子下での物質状態を探求できます。そのときレーザー誘導放射線が発生します。これは大強度光学レーザーを照射することにより発生したプラズマによって電子が加速され、それに伴って制動放射線が発生することによって考えられています。光学レーザーからプラズマ電子へのエネルギー変換率など、安全評価上重要ではあるが、不確定な要素が多く残されており今後実験等に期待されるところです。

一方、積極的に電子をレーザーで加速等させることによって加速器や装置を極コンパクトにする研究も行われてきており、この分野でも今後の発展が期待されると同時に放射線遮蔽・評価の重要性が高まっています。

3. 終わりに

放射光施設放射線安全国際ワークショップ RADSYNCHについて、その歴史と活動内容及び現状について紹介させていただきました。会議で得られる情報や議論は世界の放射光施設放射線安全設計・システム構築に大いに役立っているものと思います。たとえば、電子ビームの異常軌道など予期せぬ事象の解析や対策について、その事象発生確率も含めて常に議論の対象になります。加速器本体の設計にも放射線解析は重要な影響を与えます。たとえば暗電流対策です。より一層効率的で安全なシステムを今後構築するためには、放射線物理・安全解析の担当者と加速器・ビームライン設計・構築の担当者との交流・対話は欠かせません。DESYの加速器は大半が一般住宅地の地下に構築されています。これはDESYが最新の技術と知見を基に安全に関する情報発信を常に心がけていること、そのことが地域の信頼を得ていることに大きく貢献していると思います。情報発信と議論の場として本会議は電子加速器・大強度レーザー研究施設全般に対する放射線物理・安全設計に重要な役割を果たしていくものと期待しています。

参考文献

- (1) T.Miyahara et al., "SOR-RING, an electron storage ring dedicated to spectroscopy", Particle accelerators 7 (1976)
- (2) K.Kora and T.Matsushita, Photon Activity report 1982/83 KEK (1984)
- (3) J.C.Liu et al., "Comparison of design and practices for radiation safety among five synchrotron radiation facilities", Rad. Measurements 41/SU2 (2006)
- (4) P.Berkvens et al., "Design and practices at four European synchrotron radiation facilities", Rad. Measurements 41/SU2 (2006)
- (5) T.M.Jenkins, "Neutron and photon measurements through concrete from a 15 GeV electron beam on a target- Comparison with models and calculations", Nucle. Instr. Methods 159 (1979)
- (6) W.R.Nelson et al., "The EGS4 code system" SLAC-265 (1985)
- (7) A.Ferrari et al., "FLUKA: a multi-particle transport code", CERN 2005-10 (2005), INFN/TC_05/11, SLAC-R-773
- (8) NSLS-II: <https://www.bnl.gov/ps/nsls2/about-NSLS-II.php>
- (9) MAX-IV: <https://www.maxlab.lu.se/maxlab>
- (10) Sirius: <http://lns.cnpem.br>
- (11) T.Sato et al., "Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, version 2.52" J.Nucl. Sci.Technol. 50; 9 913-923 (2013), [2015年10月現在、PHITS, version 2.76]
- (12) Yoshihiro Asano and Nobuo Sasamoto, "Development of Shielding Design Code for Synchrotron Radiation Beamline"; Radiation Physics and Chemistry; Vol 44 No.1/2 (1994)
- (13) Y.Asano et al., "Radiation safety issues for Top-up operation at SPring-8", Radi. Measurements 41 S2 (2007)
- (14) Y.Asano et al., "Measurement of Gas bremsstrahlung at the SPring-8 incertion device beamline using PWO scintillator", Nucle.Instr. Methods A45 No.3 (2000)
- (15) 浅野芳裕 "X線自由電子レーザー施設SACLAと放射線安全設計", FBNews No.425 千代田テクノロ (2012)
- (16) Y.Asano, "Characteristics of radiation safety for Synchrotron Radiation and X-ray Free Electron Laser facilities", Radiation Protection Dosimetry 146 ncr131 (2011)

著者プロフィール

1975年、名古屋大学原子核工学科卒業。同大学院を経て日本原子力研究所に入所。保健物理部を経てSPring-8計画に参画、主に放射光施設の安全設計・評価研究、検出器開発をおこなう。2008年、理化学研究所に転籍、安全設計GDとしてSACLA安全設計・建設に携わる。この間、DESYの招聘にてPETRA-IIIおよびEuropean-XFELの遮蔽安全設計に参画、また、各放射光施設、SWISS-XFEL、PAL-XFEL、SLAC-LCLSなどで招待講演、安全レビューなどを行う。現在、理研放射光科学総合研究センター放射線評価グループディレクター、博士(工学)、技術士(原子力・放射線、総合技術監理)、APEC Engineer (Environmental, Industrial)、EMF International Professional Engineer。

低線量域放射線被ばくの影響

—原子力発電施設等の放射線業務従事者の1991年から2010年までの疫学的調査から—



笠置 文善*

はじめに

低線量域放射線の慢性被ばくによる健康影響は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震およびその後の津波による福島第一原子力発電所事故以来、国民的に大きな関心事ともなっている。しかし、低線量域の放射線被ばくによる健康影響については、未だ直接に解明がなされているとは言い難く、原爆被爆者のような急性の高線量被ばくの調査に基づく知見が間接的な主たる根拠となっている。

低線量域の慢性放射線被ばくの影響を科学的に解明するためには、低線量被ばくの集団を長期に亘って追跡観察し、その集団の中で健康影響について何が起こるのかを調査する必要がある。原子力発電施設等の放射線業務従事者を対象とする疫学的調査は、そのことを観察することができ、しかもその健康影響と低線量放射線との関連を直接的に知ることができる調査であると考えられる。

放射線業務従事者を対象とした低線量域放射線被ばくによる健康影響についての疫学調査は国際的にも数多く実施されているが、しかしながら、未だ低線量被ばくに関しては明確な結論が得られているわけではない。これには、これらの疫学調査が低線量被ばくの観察研究であり、低線量域放射線に起因する疾患リスクは放射線以外の要因に起因する疾患リスクに比べて小さく、この小さなリスクを検出するには統計的検出力が高くないことが考えられる。

しかし、小さなリスクと雖も、放射線以外

の要因が放射線量に関して一様に存在していれば統計的検出力だけの問題になるが、もしも放射線以外の要因が放射線量と相関をもっているとするならば、これらの要因が放射線量と疾患との関連に交絡することになる、それが大きな問題である。放射線以外の要因が放射線量と疾患との関連に交絡するとは、放射線量と疾患との関連を見えなくしたり、逆に恰もあるかのような関連をもたらす様に作用することである。この交絡は考慮すべき重要な課題であり、低線量被ばくの影響は小さいことから交絡の存在は無視できないものとなる。従って、放射線被ばくと健康との関連に交絡する要因の影響を除外して放射線被ばくと健康との関連をみることで、低線量域の放射線被ばくの影響の解明には必要なことである。

放射線業務従事者等を対象とした低線量域放射線の健康影響に関する疫学調査

公益財団法人放射線影響協会は、1990年度から文部科学省、2013年度から原子力規制委員会原子力規制庁の委託を受けて、原子力発電施設等の放射線業務従事者等を対象として、低線量域の放射線の慢性被ばくによる健康影響に関する疫学的追跡調査（以下、本疫学調査という）を実施している。

本疫学調査は、死亡を健康影響の指標としている。追跡調査が開始された1991年以来、5年サイクルの追跡が延長される毎に放射線量と死亡との関連を評価し、低線量域の放射

* Fumiyoshi KASAGI 公益財団法人放射線影響協会 放射線疫学調査センター センター長

線の慢性被ばくによる健康影響に関する取りまとめを行ってきた。これは、低線量域放射線の慢性被ばくと、健康影響、特にがん死亡との関係に関する日本で唯一の疫学調査報告となっている。このほど、第Vサイクルの調査が終了したので、1991年から2010年までの20年間に及ぶ追跡調査に基づいて低線量域放射線の健康影響について取りまとめを行った。詳細は協会のホームページ (<http://www.rea.or.jp/>) をご参照下さい。

(1) 調査対象者

原子力業務従事者被ばく線量登録管理制度においては、原子力発電施設等で従事する放射線業務従事者の業務上の被ばく線量等の情報が全国規模で一元的に管理されている。放射線影響協会放射線従事者中央登録センターは、この登録管理制度の中心的推進機関の役割を担い、原子力事業者等と共に維持運営している。

本疫学調査における調査対象者は、登録管理制度に基づいて原子力事業者等から放射線従事者中央登録センターに1999年3月末までに登録された放射線業務従事者のうち、解析条件を満たした男性の放射線業務従事者204,103人である。図1は、調査対象者の出生年の分布を示している。出生年別の人数は、1950年代が最も多く、次に1940年代、1960年代となっている。観察終了時の平均年齢は55.6歳（標準偏差13.0歳）である。

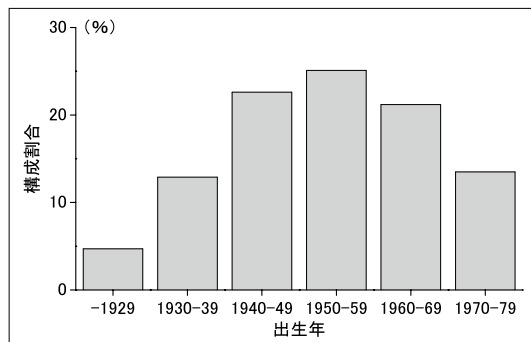


図1 調査対象集団の出生年の分布

(2) 対象者の生死及び死因の確認調査

本疫学調査では、全国に渡る調査対象者の住所地の市区町村長へ住民票の写し等の交付

を請求して調査対象者の生死を確認することとしている。

生死の確認については、住民票の写しまたは転出除票の交付を受けた者を生存と判断し、死亡除票の交付を受けた者を死亡と判断した。転出除票の交付を受けた者については、転出先住所地に住民票の写し等の交付を請求した。

死亡除票の交付により死亡が確認された者については、厚生労働大臣の承認を得て、人口動態調査死亡票の提供を受け、原死因の調査を把握した。死亡除票交付者の原死因の把握のためには、その対象者の性別、生年月日、死亡年月日、死亡時住所コードの4項目と、死亡票に記載されている4項目と照合し、照合項目が一致する死亡票から原死因を抽出する作業が必要であった。調査対象者204,103人のうち、1991年から2010年までの死亡者は20,519人であった。死因別では、白血病は全死亡者の約1%、白血病を除く全悪性新生物は38.6%、非新生物疾患は46.2%であった。白血病を除く全悪性新生物の中での部位別の内訳は表1に、非新生物疾患の内訳は表2に示している。

表1 部位別悪性新生物の内訳

全悪性新生物 (白血病を除く)	7,929
食道	5.6%
胃	17.7%
肝臓	15.4%
結腸	6.7%
肺	22.1%

表2 非新生物疾患の内訳

非新生物疾患	9,483
循環器系疾患	52.2%
呼吸器系疾患	19.2%
消化器系疾患	11.0%
感染症	4.3%
結核	22.1%

(3) 被ばく放射線量の把握

本疫学調査では、原子力業務従事者被ばく線量登録管理制度に基づいて放射線従事者中央登録センターに登録されている調査対象者の個人線量（実効線量）の提供を受けた。線量記録のある最も古い過去は1957年度である。対象者の2010年度までの放射線従事期間中に

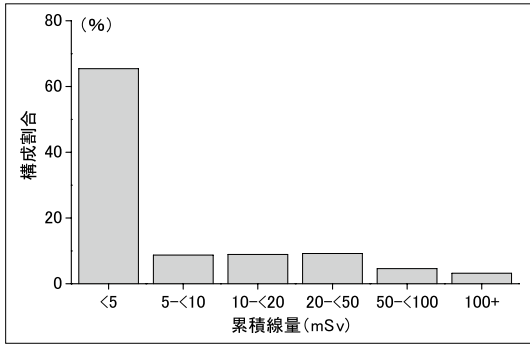


図2 調査対象者の累積線量分布

加算される年度別線量の累積が対象者の被ばく放射線量である。図2には、個人の観察終了日までの累積線量の分布を示している。5 mSv未満の者は65%、100 mSv以上の者は3%で、相対的に累積線量の低い側に偏った分布を示していた。また一人当たりの平均累積線量は13.8 mSvであった。

本疫学調査ではこの累積放射線量と死亡・死因との関連が解析されている。

(4) 放射線以外の要因の把握

低線量放射線被ばくによる健康影響を解明する上では、交絡が存在するならばその交絡を考慮して解析しなければならない。放射線以外の要因が放射線量と疾患との関連に交絡するかどうかは、その放射線以外の要因が放射線量との間に関連をもっているかを確認する必要がある。

そのため、喫煙、飲酒、職種などの放射線以外の要因を把握する必要があるとして、対象者の一部について生活習慣等の調査を過去1997年及び2003年に実施した。

一回目の調査は1997年10月から1999年3月の1年半の期間をかけて調査期間中に原子力発電施設等に従事していた放射線業務従事者約5.8万人を対象に実施した。約4.8万人から喫煙、飲酒、職種などの放射線以外の要因を把握することができた。二回目は、2003年9月から半年かけて、年齢を40歳以上に絞り年齢、地域別に線量をマッチングさせて約7.8万人を抽出し郵送調査にて実施し、約4.2万人から回答を得た。二つの調査ともに回答された人数を考慮すれば、合わせて7.5万人の従事者から彼らの生活習慣情報の提供を受け

たことになる。

放射線以外の要因を調査対象者から把握するにもこれだけの期間と人をかけ地道な調査が必要であった。これらの調査から、何れの年齢においても累積線量と喫煙率との間に関連が認められた。喫煙は種々の疾患死亡の危険因子であることはよく知られていることから、これらの調査から、喫煙は本疫学調査において低線量域放射線被ばくと健康との関連に交絡する要因であることがわかった。更に喫煙本数の高い人の割合、喫煙開始年齢が20歳未満の割合や、更には教育年数や単身赴任歴、職種に線量との相関があることがわかった。

(5) 低線量域放射線被ばくの健康影響に関する解析

低線量域放射線被ばくと死亡との関連をみるために、20万人以上の放射線業務従事者集団を設定し、その集団の中で起こる生死を20年以上に亘って追跡し、死因を把握し、低線量域放射線被ばくの健康影響に交絡するであろう要因の探索のため生活習慣調査を実施して把握し、対象者個人毎の従事期間中の線量を把握し、これらが揃うことによって疫学調査の低線量域放射線被ばくの死亡解析ができる。

本疫学調査では、低線量域放射線被ばくと死亡率との関連の解析にポアソン回帰分析を適用した。追跡期間をベースにした死亡率に対する放射線量の影響を、統計的モデルの下で交絡要因を説明変数に加えて推定して、放射線被ばくと死亡との関連を測った。

ポアソン回帰分析による解析においては、年齢、暦年、最新住所地の地域による区分と累積線量の区分で層別し、各層での死亡率λのモデルは次式とした。この時、放射線と健康影響との関連に交絡する喫煙等の説明変数を対数線形でモデルに加えている。

$$\lambda = \lambda_0 (\text{年齢、暦、地域}) e^{\beta_1 z_1 + \beta_2 z_2 + \dots + \beta_n z_n} (1 + \beta d)$$

λ : 死亡率
 λ₀ : 年齢、暦年、地域別の死亡率
 β : 過剰相対リスク / mSv
 d : 累積線量区分別の平均線量 (mSv)
 z_i : 喫煙等の交絡因子を示す変数
 β_i : 交絡因子 z_i に係るパラメータ

放射線以外の交絡因子を考慮した低線量放射線被ばく健康影響

放射線業務従事者等を対象とした低線量域放射線の健康影響に関する疫学調査の第V期報告の意義は、交絡要因、特に喫煙の影響を除外して（上記モデル式に喫煙を説明変数として加えることに対応する）放射線被ばくと健康との関連をみることであった。

生活習慣等の調査によって喫煙等の放射線以外の要因の情報が把握できた75,442人を対象に、放射線被ばくとがん死亡との関連を閾値なし一次線形の過剰相対リスクを用いて推定した。過剰相対リスク（ERR）は、放射線の健康影響の研究分野で適用される指標であり、単位線量の放射線被ばくによって死亡率が過剰に増加あるいは減少する割合を示している。

表3には、喫煙を考慮しない時（喫煙を説明変数に加えないこと）のERRと喫煙を考慮した時（喫煙を説明変数に加えること）のERRを死因別に示している。

全死亡と放射線被ばくとの関連は喫煙を考慮しないときは有意なERR（統計的にはERR>0）が観測された。しかし、喫煙を考慮することによって、そのERRの有意性は消えた。このことは、全死亡と放射線被ばくとの関連に喫煙が交絡していることを示している。もし喫煙の影響を除外しなければ、全

表3 喫煙を考慮した時の過剰相対リスクERR

死因	喫煙の考慮の有無	ERR%/10mSv
全死亡	考慮なし	1.05
	考慮あり	0.45
非新生物疾患	考慮なし	1.85
	考慮あり	1.17
全悪性新生物 (白血病を除く)	考慮なし	0.92
	考慮あり	0.36
胃がん	考慮なし	0.79
	考慮あり	0.11
肝がん	考慮なし	6.32
	考慮あり	5.54
肺がん	考慮なし	2.18
	考慮あり	1.20

本疫学調査における調査対象者個人の平均累積線量は13.8mSvであるためERRはこの平均線量に近い10mSv当たりの値としたが、小数点以下の小さな値を避けてパーセント表示にした。

死亡と放射線被ばくとの関連は見かけ上の関連で有意であるといってしまうことになる。同じように非新生物疾患においても喫煙を考慮することによりERRの有意性が消えた。

全悪性新生物（白血病を除く）と累積線量との関連のERRは統計的に有意ではなかったが、喫煙を調整することによってERRは約60%低下し、全悪性新生物（白血病を除く）への喫煙の交絡は大きいと考えられる。部位別にみた胃がんや肺がんにおいても、喫煙の調整によるERRの低下は大きかった。やはり、放射線量とこれらの死亡率との関連に喫煙が交絡していた。

本疫学調査においては、交絡、特に喫煙は放射線と死亡との関連を歪ませることを初めて、しかもその程度を定量的に評価することができた。今回の第V期の調査では、その歪みを除いて放射線と死亡との関連が評価できたと考えている。

しかしながら、肝臓がんにおいては、喫煙の調整によるERRの低下に大きな変化はなく、肝臓がんへの喫煙の交絡は小さいと考えられる。肝臓がんについては喫煙よりも肝炎ウイルスの関与が大きく、肝炎ウイルスの感染に関する情報がなく交絡の有無が確認できない段階で本疫学調査から肝臓がんにおける累積線量との関連は放射線によるものであると結論付けることはできない。従って、これからの調査には肝臓がんに関する交絡要因の探索が必要であり、その上で、交絡を考慮して肝臓がんと放射線との関連をみるのが課題となる。

低線量域放射線の健康影響に関する最新の第V期調査報告

本疫学調査の調査対象者は204,103人であることは既に示した。この204,103人の中で低線量域放射線の健康影響はどうなっているのかを示さないといけないだろう。本疫学調査においては、放射線と死亡との関連に交絡をもたらす喫煙等を考慮した上で放射線による健康影響をみる必要があることは既に述べた通りであるが、この204,103人の調査対象集団全

体においては、交絡に関わる生活習慣等の要因情報が把握されていない。従って、75,442人における交絡因子を考慮することによって得られた知見に基づいて、204,103人の解析対象集団全体における低線量域放射線の健康影響を評価する必要があると考える。第V期調査報告は、以下のように纏めることができる。

全死亡に累積線量との関連は観察されなかった。また、放射線被ばくと関連が強いといわれている白血病（慢性リンパ性白血病を除く）においても有意な関連が認められなかった。多くの部位別の悪性新生物や非新生物疾患に累積線量と統計的に有意な関連は観測されなかった。

喫煙を考慮できない段階で肺がんにおいて累積線量との関連がみられた。喫煙等が累積線量と死亡との関連に交絡していることが生活習慣調査回答者を対象にした解析によって確かめられたことから、この関連には喫煙等の放射線以外の要因による交絡の影響を含むと考えられる。肝臓がんにおいては、肝炎ウイルスの感染の情報を得た上で交絡の解析を進める必要がある。

これまでの結果から、低線量域放射線被ばくががんの死亡率に影響を及ぼしているとはいえないということが現段階での評価である。

これまでの調査の課題を踏まえてこれからの放射線影響調査の方向

本疫学調査においては、低線量放射線被ばくと死亡との関連をみるには、交絡する要因の影響を除外しなければならないという重要な知見が得られた。一方で、肝臓がんにおいては肝炎ウイルスが交絡として関与している可能性があると考えられる。しかし、過去実施した生活習慣等調査では肝炎ウイルスの感染に関する情報がなく、交絡としての影響を考慮することができない。

本疫学調査の対象者は、放射線業務従事者であっても、研究機関や電力会社の雇用者、元請企業、その下請企業など異なる環境の下で働く従事者から構成されている。その中には種々の職種・職位等の違いや生活習慣の違

い等が混在し、それがまた放射線被ばく量と関連しているなど、交絡が深く関わる特性を持った構成となっている。これらの特性が低線量域放射線による健康影響の解明に困難さをもたらしていることも分かった。

これらの課題を踏まえて、低線量域放射線被ばくによる健康影響に交絡する生活習慣等の特性が排除された疫学調査の枠組みを設定してこれからの調査を進めたいと考えている。そのために、生活習慣等の特性のアンバランスを排除した集団の設定、調査対象者全員から交絡に関わる生活習慣等の把握、生死の確認のみならずがんの罹患調査、これがこれからの放射線影響調査の方向である。

これまでの調査からも分かるように低線量域放射線被ばくの健康影響を疫学的に解明するには長い期間の調査の継続が必要である。それが人を対象に調査する疫学調査である。調査をすればすぐに結果が得られるものでもなく、今回の第V期調査で喫煙などの交絡因子の影響を除いて健康影響の解析ができたのも長く追跡調査を継続してきたからこそである。しかも、これほどの長い追跡をかけて初めて交絡の解析ができた。そして、交絡する要因を除いて健康影響を測ると有意性が落ちるといふ重要な知見が得られた。地道な努力、継続が疫学調査には必要である。これからも新しい調査デザインに基づいて、今後も長きに亘って疫学調査として進展させていかなければならないと考えている。

著者プロフィール

九州大学大学院統計学博士課程在籍中に、何かの縁で、地域住民の追跡調査データを扱い統計的手法を用い、検査の擬陽性を考慮してある疾患の発生率を推定する作業に係ったことが、疫学の分野に入った所以である。1981年にその博士課程を単位取得退学し当時の国立循環器病センター研究所疫学部に入所した。1990年に放射線影響研究所に異動、統計部や疫学部で原爆被ばく者の追跡調査に基づく健康影響の研究に従事した。2011年から(公財)放射線影響協会放射線疫学調査センターにて放射線業務従事者の追跡調査に参加し低線量域放射線の健康影響について調査研究を続けている。

広島大学原爆放射線医学研究所、名古屋市立大学自然科学研究教育センター、久留米大学バイオ統計センター、岩手医科大学にて非常勤講師や客員教授など歴任。興味の分野は生物統計、疫学である。



－ X線自由電子レーザー施設 SACLAの巻 －



まだ夏の暑さが残る2015年8月26日、我ら編集部一行は、兵庫県佐用郡佐用町にあるX線自由電子レーザー施設「SACLA」を訪ねました。日本初の施設を見学させていただけるということで、おのおのが期待に胸を膨らませ、東京から新幹線に乗りました。3時間半程で最寄り駅の「相生（あいおい）」に到着しました。

「相生」と言えば、今から10年ほど前になりますが、歩道からアスファルトを押しかけて出てきた大根「ど根性大根の大ちゃん」が全国的に話題となりました。大きく葉を広げたその姿が皆に元気を与えた、その大ちゃんの生誕地が「相生」です。

また、相生駅から南へ車で10分ほどのところにある相生湾では、「相生」の特産品である牡蠣の養殖がおこなわれています。江戸時代にはすでに養殖が始まっていたといわれ、波が穏やかで自然が豊かな播磨灘で育った牡蠣は身が大きく、味の良さも評判になっているそうです。

さて、相生駅から車に乗り、相生湾を背にして山間部へ向けて20分程走ると、狭い山道から広い道路へと景色が変わりました。南西部の丘陵地帯を切り開いて造成された学術公園都市が広がっており、公共施設や研究・教育施設、多数の企業などが立地しています。SACLAは、この学術公園都市“播磨科学公園都市”内にあります。

SACLA概要

お話をお伺いしたのは、国立研究開発法人理化学研究所 放射光科学総合研究センター XFEL研究開発部門 工学博士の浅野芳裕先生です。浅野先生はSACLAの計画段階より安全設計のグループディレクターとして携わってこられました。最初にSACLAの概要からご説明いただきました。

SACLAは、国立研究開発法人 理化学研究所と公益財団法人 高輝度光科学研究センターが共同で建設し、整備を行いました。2006年度に国家基幹技術の一つとして選定され、建設が進められました。2011年3月に施設が完成し、2012年3月には共用運転が開始されました。日本初の“X線自由電子レーザー施設”であり、世界でも“X線自由電子レーザー施設”として稼働しているのは、米国スタンフォードにあるLCLS (Linac Coherent Light Source)と二施設しかありません。

SACLAは、全長700mの直線状の建物です。(写真1)リング状の大型放射光施設「SPring-8」(スプリングエイト: Super Photon ring-8 GeV)に隣接して建っています。

700mの建物の中に400mの加速器棟、240mの光源棟、60mの実験研究棟があり、さらに



写真 1 SACLA全景

(出典 国立研究開発法人 理化学研究所)

SPring-8と共用実験をおこなう為のXFEL-SPring-8相互利用実験施設に繋がっています。この相互利用実験施設は、SPring-8が放つシンクロトロン放射光とSACLAが放つX線自由電子レーザーを同時照射できる世界唯一の施設となっており、この二つの光の長所を組み合わせ合わせた様々な研究開発が進められています。

SACLAは他国の施設に比べ、700mとコンパクトに施設設計がされています。米国のLCLS（全長：2 km）や現在建設中である独逸ハンブルク市のEuropean XFEL（全長：3.4km）に対し、小型化されているSACLAは、他国の施設に比べ、大幅に建設費が削減されているとのことです。

また、SACLAの施設には日本独自の技術が結集し開発された「単結晶カソード電子銃」、「高勾配Cバンド加速システム」、「短周期真空封止型アンジュレータ」などの装置が設置されています。厳選された素材が使用され、高度の加工技術や高精度計測制御技術など広範な最先端の産業技術によって支えられています。

SACLAという愛称は、「SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser」の略で、公募により「SACLA（さくら）」と命名されました。言葉の響きから“桜”をイメージし“日本らしさ”を感じると共に“日本独自の技術が結集された施設”に合う素敵な愛称であると思いました。

X線自由電子レーザー（XFEL）とは？

SACLAでつくられるX線自由電子レーザー（XFEL：X-ray Free Electron Laser）とはどのようなもののでしょうか。

光でものを見るときに、どれだけ細かいものが見えるかというのは光の波長によって決まります。そのため、波長の短い光を使うと、細かいものを見ることができます。

「X線」は、病院のレントゲンなどで知られていますが、波長の短い光なので、原子や分子のレベルで物質の微細構造を観察するのに利用されています。

一方、「レーザー」は非常に強い光を出す光源で、CDやDVD、商品バーコードの読み書きやその他様々な場面で利用されています。レーザーの光は、細い光が遠くまで届くという性質を持っており、太陽や電球などの光に比べ、光の波の山と山、谷と谷が完全にそろい、狭い範囲に絞りこむことができる便利な光です。

この「X線」と「レーザー」を組み合わせた「X線レーザー」は、短い波長で原子や分子の瞬間的な動きを観察することが可能です。

従来技術では、赤外線や可視光のような長い波長の光であれば、原子や分子を光らせ共振器に通すことで比較的簡単にレーザーをつくることができます。しかし、X線の場合は、波長が短く透過してしまうので、鏡を使った共振器が役に立ちません。そこで、電子を高エネルギー加速器の中で制御して運動させ、それから出る光を利用するという方式が提案されました。この光の波の山と山、谷と谷が完全にそろったX線を発生させる自己増幅自発放射（SASE：Self-Amplified Spontaneous Emission）機構によってX線自由電子レーザーの発振が可能になりました。

原子からはぎ取られた自由な電子を用いてX線レーザーをつくることから、X線自由電子

レーザーと呼ばれるそうです。

施設見学

次に浅野先生に施設の内部をご案内いただきました。

この700mもの長大な施設の中では移動するのも一苦勞なのでは…とっていると、施設の端に移動用の自転車が2台置かれていました。

初めに、400mからなる加速器棟です。施設内に入ると、遙か遠くの方まで装置が並んでいる光景にまず驚きました。

施設の中には、電子銃、加速器、アンジュレータ、レーザービームラインの4つの装置が一直線上に配置されています。施設内部は厚さ1.5～2mのコンクリート壁によって外部と遮断されており、安定した運転と安全性が確保されているとのことです。

「熱電子銃」装置によって電子ビームが発生されます。細く絞られた高品質の電子ビームを安定的に供給するために、セリウムボライトという金属化合物の単結晶を用いた熱電子銃が開発されました。熱電子銃から取り出された電子ビームは加速器に送られます。

「加速器」装置は、手前の上流側Sバンド加速管(2.8ギガヘルツ)から奥にある下流側Cバンド加速管(5.7ギガヘルツ)へと、整然と連なっ

て設置されています。(写真2) 加速器に送られてきた電子ビームは、クライストロンという装置が発生する高い周波数の大電力マイクロ波を受けながら80億電子ボルトまで加速されます。電子ビームを効率よく加速させるため、高純度の無酸素銅を高精度に加工する技術により、高電界を持つCバンド加速管が開発されました。この加速管は、従来の2倍の加速性能を持っており、この加速管の開発によって、加速器の全長が大幅に短縮されたとのことです。加速された電子ビームは、ビームラインBL1～BL5に振り分けられるようになっています。現在は2本のラインがXFELビームラインとして整備されており、その他に軟X線として1本が稼働しています。将来的には5本のラインが設置される計画とのことです。加速器によってエネルギーが高められた電子ビームは輸送部を経てアンジュレータへ送られます。(写真3)

続いて240mの光源棟に入ると、並んで見えているのが「短周期真空封止型アンジュレータ(光発生装置)」です。(写真4) アンジュレータは真空の容器に磁石列が上下に並べられています。磁石列を真空内に入れることにより、電子ビームに近づけることができ、強い磁力を得られます。加速器から送られた電子ビームは、磁石の力によって蛇行しながら進み、蛇行する度にX線が発生します。長いアンジュレータの中を通ることにより、後ろの電子から

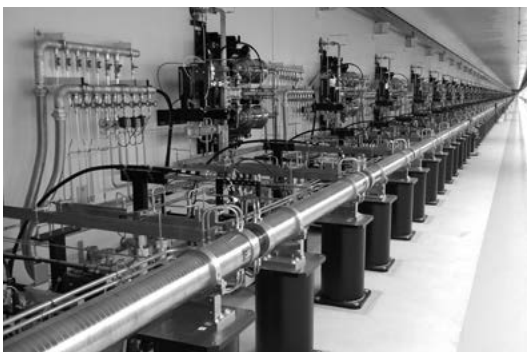


写真2 下流側Cバンド加速管

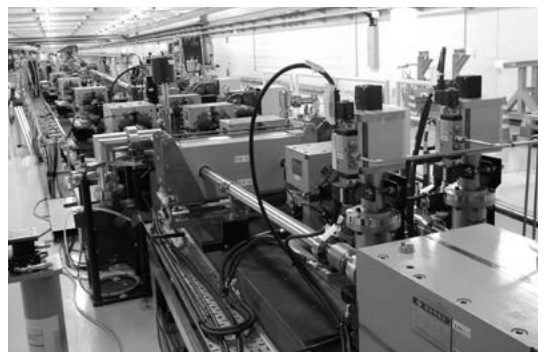


写真3 電子ビーム輸送部



写真4 短周期真空封止型アンジュレータ

出る光と前の電子から出る光との相互作用によって、光の波の山と山、谷と谷が段々とそろう、X線レーザーを発生させます。また、より短い磁場周期によって短い波長の光を得ることができるという新しい技術により、低いエネルギーの電子でX線レーザーの発振が可能となりました。こうしてできたX線レーザーは、実験研究棟へ送られます。

レーザーを発振させた電子ビームは役目を終え、アンジュレータの先にあるビームダンプにて破棄されます。誤って電子ビームがX線自由電子ビームラインに混入しないようインターロック監視が装備されています。

実験研究棟にある光学ハッチ内には、多くの実験に共通で用いられるよう開発されたビームライン工学系・診断系が設置されています。(写真5) 光学ハッチにて光軸や波長などを調整さ



写真5 光診断システム



写真6 実験ステーション

れたX線レーザーは実験ハッチに送られます。様々な実験に対応できるように4つの実験ハッチがあり、最先端の実験装置を収容することが可能となっています。実験ハッチを含む実験ステーションでは、実験データをリアルタイムで取得することができます。(写真6)そしてその先にXFEL-SPring-8相互利用実験施設があります。

SACLAの「眼」－マルチポートCCD検出器

SACLAで発振されたX線レーザーを試料に照射し、試料を透過、あるいは回折したX線を正確に捉える重要な役割を果たしているのが「マルチポートCCD検出器」です。(写真7) 強い放射線耐久性、多くのX線光子を測定するための効率的な電荷回収、毎秒60回の撮影



写真7 検出器の説明をしてくださる浅野芳裕先生

を正確に測定する性能、大面積イメージ領域の実現のための100mm×100mmの大型センサーを備えた構造により、X線光子の1個以下の微弱な信号から数千個を超える強い信号まで効率的かつ正確に測定することが可能です。この検出器は、SACLAでの実験の基幹技術で8割以上の実験課題で活用されています。

SACLAの未来

X線自由電子レーザーの光の明るさは、従来のX線の100億倍のさらに100億倍という非常に明るい光だそうです。しかもパルス幅が狭いことにより、わずか10兆分の1秒という一瞬の現象を捉えることができます。パルス幅とは何秒間光を出すかという時間的な幅で、この幅が小さいほど短い時間内で起きる現象を正確に測定することが可能となります。

この光を用いることで、原子レベルの微細構造の観察ができるだけでなく、瞬間的な動き、超高速現象も観察できます。SACLAによって様々な視点から私たちの生活の向上に大きく役立つ可能性があります。

例えば、従来は結晶にならないと見えなかった膜タンパク質という分子の構造を結晶化することなく、原子レベルで解析できるようになります。その結果、膜タンパク質が作用していると考えられている「薬」について、新薬の開発が進むことなどが期待されます。

また、クリーンエネルギー源として利用されている太陽電池については、太陽光のエネルギーを電力に変換する際、電気のもととなる電荷の高速の動きを細かく分析することができるようになります。これにより、高い変換効率を持つ太陽電池の開発につながると期待されます。

化学反応の促進を速める物質として「触媒」がありますが、この分野でも、短い時間の間で起こっている触媒反応の途中の動きを観察



写真8 右から二番目が浅野芳裕先生。弊社アドバイザーの加藤和明（中央）と編集委員。

して原理を知ることができれば、効率的な触媒や新たな反応を進める新しい触媒の設計が可能になると期待されます。

さらには、宇宙空間での反応現象の解明などという科学の分野でも進展が期待されています。

おわりに

SACLAの壮さに始終圧倒されながら、施設見学を終えました。近い将来、SACLAによって多くの新たな発見と技術の進展がもたらされ、今までとは違う世界になっていることを想像しながら施設を後にしました。（写真8）

お忙しい中、私共の取材にご対応いただき、長い時間お話を聞かせていただきました浅野芳裕先生に厚く御礼申しあげます。編集委員の加藤、畑崎、村井、一丸が訪問させていただきました。（文責：一丸理佳）

SACLA公式キャラクターのご紹介

SACLA公式キャラクターの「播磨サクラ」は、PRムービー「未来光子 播磨サクラ」の主人公で、学習及び自己進化能力を持った人口生命体“G4型ピコドロイド”として設定されています。SACLAに関して、さまざまな角度からアニメや漫画等で紹介されていますので、ご興味ある方は下記のホームページからぜひご覧ください。
国立研究開発法人 理化学研究所
<http://xfel.riken.jp/pr/sacla/index.html>



ノーベル物理学賞受賞 おめでとうございます



本誌2009年8月号に「宇宙線研究の今」を執筆いただきました東京大学宇宙線研究所 所長梶田隆章教授が、2015年度のノーベル物理学賞を受賞されることとなりました。ニュートリノに質量があることを発見した功績によるものです。心よりお祝いを申し上げます。

FBNews 編集委員会

*千代田テクノルのホームページから記事をご覧ください。

FBNews No.392 2009年8月号「宇宙線研究の今」梶田隆章氏

<http://www.c-technol.co.jp/cms/wp-content/uploads/2014/04/392fbn.pdf>

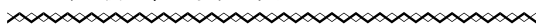
FBNews 編集委員のご紹介



根岸 公一郎 (ねぎし こういちろう)

この7月から、FBNewsの編集に携わることになりました線量計測事業本部の根岸です。FBNews編集委員には2年ぶりの復帰となります。

皆様の放射線管理に役立つ総合情報誌として、紙面の充実に努めて参ります。今後ともよろしくご願ひ申し上げます。



青山 伸 (あおやま しん)

放射線は、毒性のあることのうちで、最も広く研究され、最もよく理解され、簡単に検知され、精密に測定され、たやすく制御され、効果的に規制されるものというRalph Lappのことが好きです。わくわくする紙面づくりに貢献できれば幸いです。



兼尾 昌二 (かねお しょうじ)

皆様、はじめまして。この度FBNews編集委員を拝命しました線源営業課の兼尾と申します。放射線源は工業分野から医療の領域まで多岐に渡り利用されていますが、入社十年の経験を生かした情報をFBNewsの誌面でお伝えできればと思います。また、編集委員を通して皆様により近づくことができるよう活動して参ります。どうぞよろしくご願ひいたします。



高橋 英典 (たかはし ひでのり)

この度FBNews編集委員になりました線量計測事業本部の高橋英典と申します。今年7月に東京へ赴任して参りました。現在は、ガラスバッジ全般の営業支援の業務に携わっております。読者の皆様へ有益な情報をこれまで以上にご提供できるよう努めて参ります。どうぞよろしくご願ひ申し上げます。



谷口 和史 (たにぐち かずふみ)

はじめまして、原子力事業本部の谷口と申します。わたしは平成25年7月に入社しましたが、それ以前はFBNewsを提供してもらう立場に居りました。

これからFBNews編集に携わることになりましたが、ユーザ視点を忘れることなく、お客様に興味を持っていただける誌面作りに取り組んで行きたいと思ひます。

微力ではありますが、どうぞよろしくご願ひいたします。

「FBNews」総合目次 その43 (No.457~468)

2015 1.1 No.457		(サービス部門からのお願い)	
迎春のごあいさつ	山口 和彦 1	GBキャリア集荷専用フリーダイヤルについて	19
放射線治療による発がん	山下 孝 2		
第9回自然放射線環境に関する国際シンポジウム(NRE9)を開催して	床次 真司 7		
タイ王国と原子力	町 未男 12		
D-シャトルによる全国放射線量比較調査について	野中 俊吉 13		
2015 2.1 No.458		2015 7.1 No.463	
ハンディ型ガンマ線可視化装置 ガンマ・キャッチャー	18	新規シンチレータ単結晶とそのバルク単結晶作製技術の開発	
(サービス部門からのお願い)		Ce:GAGG Ce:(La,Gd) ₂ Si ₂ O ₇ (Ce:La-GPS)、Eu:SrI ₂	
ガラスバッジの「休上」について	19	放射線量計測の基礎(2)	吉川 彰 1
		放射線量計測の基礎(2)	細田 正洋 7
		【施設訪問記⑦】メディボリス国際陽子線治療センターの巻	
		南国の光あふれる施設～闘わながん治療～	13
		電源ベストミックスを考える	町 未男 17
		【図書紹介】	
		マンガ ボクたち私たちが考える放射線	18
		(サービス部門からのお願い)	
		平成26年度「個人線量管理票」のお届けについて	19
		2015 8.1 No.464	
		D-シャトルと高校生線量測定プロジェクト	原 尚志 1
		世界の原子力発電事情を見る	町 未男 6
		放射線量計測の基礎(3)	細田 正洋 7
		【「熱帯光線量計の歴史と未来」	眞正 浄光 11
		(テクニカルコーナー)	
		放射線管理手帳発行機関のご紹介	16
		D-シャトル(環境タイプ)線量測定サービスを予定しています!!	17
		個人線量管理システム ACE GEAR (エースギア) V4のご紹介	18
		公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ	18
		(サービス部門からのお知らせ)	
		ガラスバッジ用発送トレイを変更しました	19
		2015 9.1 No.465	
		高線量率環境に対応する線量測定方法の実用化開発	
		-Advanced Glass Dosimeter-	山本 幸佳 1
		深刻化する温暖化への対策として高温にも耐える作物を開発する事が必要だ	
		-放射線育種を活用しよう-	町 未男 6
		平成26年度 個人線量の実態	7
		J-PARCで開かれた「第2回加速器施設安全シンポジウム」に出席して	
		三村 功一・新原 佳弘・瀬川 佑也	16
		(サービス部門からのお願い)	
		ガラスバッジはご使用期間終了日を過ぎてからご返却願います!	19
		2015 10.1 No.466	
		「原子力の日」に思う	藤田 玲子 1
		農地および竹林での放射性物質の動態と作物への移行抑制	小松崎 将一 3
		個人線量分布モデルの再考と点減衰核法の一般化モデル式	熊澤 番 8
		待たなしの温暖化対策とCOP-21への期待	町 未男 13
		単位[Sv]が表すもの	黒澤 忠弘 14
		町 未男先生を偲んで	19
		2015 11.1 No.467	
		銀活性ガラスによる放射線画像検出器	
		-A glass imaging detector-	黒堀 利夫 1
		ガラス線量計による平均乳線線量の測定方法	
		松本 進・田中 隆宏・齋藤 則生・福田 光道・狩野 好延	6
		平成26年度 一人平均年間被ばく実効線量0.23ミリシーベルト	中村 尚司 11
		平成26年度 年齢・性別個人線量の実態	14
		【町 未男先生を偲んで】	細田 敏和・山口 和彦 17
		公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ	18
		保健セミナー2015 開催のご案内	18
		《お知らせ》	
		個人線量報告書および個人線量管理票の記載項目(裏面)の説明について	19
		2015 12.1 No.468	
		放射線施設放射線安全ワークショップ「RADSYNCH workshop」	
		~ International workshop on radiation safety at synchrotron radiation sources ~	浅野 芳裕 1
		低線量域放射線被ばくの健康影響	
		-原子力発電施設等の放射線業務従事者の1991年から	
		2010年までの疫学的調査から-	笠置 文善 7
		【施設訪問記⑧】X線自由電子レーザー施設 SACLAの巻	
		日本初のXFEL施設がつくり出す夢の光	12
		ノーベル物理学賞受賞 おめでとうございます	17
		FBNews 新編集委員のご紹介	17
		【FBNews】総合目次 その43 (No.457~468)	18
		(サービス部門からのお願い)	
		「ご使用者変更連絡票」の「処理区分」をご記入ください!!	19
2015 3.1 No.459			
FBNews創刊50周年	1		
福島県伊達市の日常生活における個人線量の活用例			
-全市民で取組んだ被ばく線量測定-	伊達市健康福祉部健康推進課 6		
インドの放射線ガン治療	町 未男 11		
-学会参加報告-			
日本放射線腫瘍学会 (JASTRO) 第27回学術大会			
米国放射線腫瘍学会 (ASTRO) 56 th Annual Meeting	12		
International Conference on Occupational Radiation Protection (ORP) に出席しました			
-職業放射線被ばくに係る国際会議-	杉山 誠 17		
(サービス部門からのお願い)			
測定依頼票ご記入のお願い	19		
2015 4.1 No.460			
免疫学者からみた低線量放射線の生体影響 (上)			
-福島第一原発事故を通じて-	宇野賀津子 1		
水晶体の防護量と実用量	岩井 敏 6		
温暖化抑止「パリ会議」と原子力	町 未男 11		
RaD-E-F 標準線源に想いを寄せて	油井 多丸 12		
(テクニカルコーナー)			
緊急時可搬型車両スクリーニング装置 ガンマ・ポール	17		
【2015国際医用画像総合展】のご案内	18		
【個人線量測定サービス規約】の一部を改訂しております	18		
(サービス部門からのお願い)			
●4月1日はガラスバッジ、ガラスリングの交換日です			
●ガラスバッジラベルデザイン、一部変更のご案内	19		
2015 5.1 No.461			
免疫学者からみた低線量放射線の生体影響 (下)			
-福島第一原発事故を通じて-	宇野賀津子 1		
放射線生物物理学と保健物理学の先駆者-西脇 安 先生-	山崎 正勝 6		
【第10回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ】が開催されました!			
(The 10th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring)	11		
カニとエビの甲羅から放射線で作る「オリゴトサン」			
-「環境に優しい農業」への貢献-	町 未男 17		
第58回放射線安全技術講習会開催要項	18		
ご案内			
2015年製薬放射線研修会 (第17回製薬放射線コンファレンス総会)	18		
(サービス部門からのお願い)			
ご登録できない漢字について	19		
2015 6.1 No.462			
「測定線量」と「防護量」	平山 英夫 1		
放射線量計測の基礎(1)	細田 正洋 6		
パキスタンと原子力	町 未男 11		
■公開シンポジウム■			
【加速器中性子を用いたMo-99等			
医療用放射性同位体の生成研究】報告	永井 泰樹 12		
(新刊紹介)			
放射線遮蔽ハンドブック-基礎編-	17		
平成27年度 放射線取扱主任者試験の実施について	18		

サービス部門からのお願ひ

「ご使用者変更連絡票」の「処理区分」をご記入ください!!

平素より弊社のモニタリングサービスをご利用くださり誠にありがとうございます。
 「ご使用者変更連絡票」をご記入の際は、「処理区分」のいずれかの項目に○印をつけてください。「ご使用者変更連絡票」裏面に記入例、**処理区分早見表**を記載しておりますので、ご参照のうえ、ご記入をよろしくお願ひいたします。



処理区分	登録コード	登録番号	個人コード	使用姓名	性別	生年月日 (西暦)	職種	モニタ の種別	測定 回数	測定年月日 (西暦)	測定 回数	測定 場所	測定 結果
追加・変更 中止・休止	123	567-890	001	千代田 太郎	女	1990年 11月10日	医師	FS	20	15年 12月1日	1	福島 次郎	○
訂正・名義変更	123	4567-890		千代田 花子	男	1995年 10月20日	看護師	FS	20	15年 12月1日	1	福島 次郎	○
追加・変更 中止・休止				千代田 花子	男	年月日			20	年月日			○
追加・変更 中止・休止				千代田 花子	女	年月日			20	年月日			○
追加・変更 中止・休止				千代田 花子	男	年月日			20	年月日			○
追加・変更 中止・休止				千代田 花子	女	年月日			20	年月日			○
追加・変更 中止・休止				千代田 花子	男	年月日			20	年月日			○
追加・変更 中止・休止				千代田 花子	女	年月日			20	年月日			○

*「ご使用者変更連絡票」はこちらまで…測定センター フリーダイヤルFAX: **0120-506-984**

編集後記

●今年の10月の科学分野での最大のトピックは、ノーベル生理学・医学賞に寄生虫による熱帯病の治療薬の開発に貢献した、大村智氏（北里大学特別栄誉教授）とノーベル物理学賞にニュートリノの質量を発見した、梶田隆章氏（東京大学宇宙線研究所長）が選ばれたことである。今年には自然科学3分野のノーベル賞の内2つを日本人が受賞したこと、物理学賞は昨年に続いての受賞となり、日本の科学レベルの高さが世界的に評価されていることは誠に素晴らしい。特に2000年以降で自然科学分野の日本人の受賞はアメリカに次いで第2位という世界に誇れる優れたものである。しかし、国立大学が法人化され、文部科学省からの交付金が毎年削減され、ともかく外部資金を獲得することが必要になり、金を稼ぐ先生が偉いという風潮が強くなり、実用研究に重点がおかれて基礎研究がやり難くなっている現状は、今後の日本の科学技術にとって大きな問題であり、改善する必要がある。
 ●今月号は、浅野芳裕氏（理化学研究所放射光科学総合研

究センター）の「放射光施設放射線安全ワークショップ」の概要と、同じセンター（Spring-8 Center）に、2011年に新設されたX線自由電子レーザー施設（SACLA）の施設訪問（案内は浅野芳裕氏）の記事が掲載されている。このSACLAはアメリカスタンフォード大学のLCLSと世界中に2つしかない装置とのことで、これからの様々な分野での活躍が大いに期待できる。
 ●その他に原子力発電施設等の放射線業務従事者の20年に及ぶ疫学調査の結果から、低線量被ばくによる健康影響について、笠置文善氏（放射線影響協会放射線疫学調査センター）がまとめられていて、低線量領域では交絡要因の影響を評価しないと放射線影響を正確に評価できないとのことである。
 ●なお、社会的に大きな出来事としては、TPP（環太平洋経済連携協定）が大筋合意されたことである。これは、日本の今後の経済・社会への大きな影響を伴うものであり、これからの批准に向けた各国の動きに注意が必要である。（T.N.記）

FBNews No.468

発行日/平成27年12月1日

発行人/山口和彦

編集委員/畑崎成昭 根岸公一郎 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 五十嵐仁
 加藤毅彦 兼尾昌二 木名瀬一美 篠崎和佳子 高橋英典 谷口和史 長谷川香織

発行所/株式会社千代田テクノロ 線量計測事業本部

所在地/☎113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル4階

電話/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp/

印刷/株式会社テクノサポートシステム

一禁無断転載一 定価400円(本体371円)