



Photo Kiranori Kirano

Index

第19回固体線量計測国際会議（SSD19）を主催して……保田 浩志	1
〔施設訪問記⑧〕	
ー 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構筑波宇宙センターの巻 ー 宇宙放射線研究の最前線！……………	6
〔書評〕	
「医療関係者のための放射線安全利用マニュアル ー 放射線安全管理のプロが語る60章 ー」……………	11
公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ……………	12
〔コラム〕 14th Column 【運】……………中川 恵一	13
DOSIRIS用防護メガネ取り付けアタッチメントのご紹介……………	14
図説 量子ビーム・放射線利用	
ー 第6回 陽電子で表面構造の謎を解くー……………岡田 漱平	15
〔サービス部門からのお願い〕	
ガラスバッジやガラスリングを洗濯しないようご注意ください……	19



第19回固体線量計測国際会議 (SSD19)を主催して



保田 浩志*

1. はじめに

固体線量計測国際会議 (International Conference on Solid State Dosimetry、以下「SSD会議」) は、1965年に米国スタンフォード大学で始まり、以後世界各地で3年毎に開催されてきた由緒ある国際学術集会です。SSD会議では、放射線の計測や線量評価に関わる世界第一線の専門家が一同に会し、放射線の線量やエネルギー等を正確に測定評価するために開発した技術やその応用・改良等に関わる最新の研究成果についての報告と討議がなされます。各参加者には、放射線計測に関わる最先端の技術やその利用法について効率的に情報を得ると共に、自身が行っている線量測定評価の妥当性や信頼性等について精密に検証することができます。SSD会議で共有された科学的知見は、放射線利用施設や原子力施設での放射線安全管理、放射線治療の効果判定や高度化、放射線災害対応、被ばくを受けた人の健康影響評価やリスクの最適化、長期宇宙滞在の放射線安全などに役立てられてきました。

このたび、この歴史あるSSD会議を、千代田テクノル社をはじめ多くの団体や同僚からご支援を受けながら、日本で開催することができました。そこで、関係者の皆様への感謝の気持ちを込めながら、ここに同会議について報告させていただきます。

2. 会議開催の経緯

2015年10月、小職は、それまで20年以上勤務した独立行政法人放射線医学総合研究所(当時)を辞めて広島大学へ移りました。その異動を契機に、積年の夢であったSSD会議の日本招致について具体的な検討と行動を始めました。そして、2016年7月3～8日にドイツ国ミュンヘン市で開催された第18回固体線量計測国際会議(SSD18)において、小職を含む3ヶ国の候補者が次回会議(SSD19)の誘致に向けたプレゼンを行い、会議運営メンバーの投票によって、我が国広島市での開催が決定しました。SSD会議はそれまで主として欧米で開催されており(表1)、アジア地域での開催は50年以上にわたる同会議の歴史上初めてとなる快挙でありました。

朗報を手にもミュンヘンから帰国すると、すぐに会場に予定していた広島国際会議場(広島市中区)を訪れ、使用するホール等を予約しました。その2か月後の2016年9月には、会場で第1回の組織委員会を開催し、(公財)放射線影響研究所のHurry Cullings氏とEric Grant氏、広島大学の中島覚氏、遠藤暁氏および小職の5名で、会場内の施設設備を見学するとともに、プログラムの策定に着手しました。2016年12月にはSSD19のウェブサイト(<http://ssd19.org>)を立ち上げ、当時千代田テクノル社の大洗研究所長でいらっしゃった

* Hiroshi YASUDA 広島大学原爆放射線医科学研究所教授／SSD19大会長

表1 これまでSSD会議が開催された年および場所；このたびの第19回会議はアジアで初めてのSSD会議となった

回	開催年	開催地	回	開催年	開催地
1	1965	Stanford, USA	11	1995	Budapest, Hungary
2	1968	Gatlinburg, USA	12	1998	Burgos, Spain
3	1971	Riso, Denmark	13	2001	Athens, Greece
4	1974	Krakow, Poland	14	2004	New Haven, USA
5	1977	Sao Paulo, Brazil	15	2007	Delft, The Netherlands
6	1980	Toulouse, France	16	2010	Sydney, Australia
7	1983	Ottawa, Canada	17	2013	Racife, Brazil
8	1986	Oxford, UK	18	2016	Munich, Germany
9	1989	Vienna, Austria	19	2019	Hiroshima, Japan
10	1992	Washington, USA			

表2 SSD19の開催を支援していただいた同僚や団体；ここに示していない多くの同僚の方々にも会議の宣伝等にご協力を賜った

同僚（委員等、敬称略）	団体（スポンサー・展示企業等）
[名誉議長] 山本 幸佳（大阪大学） [組織委員] Harry Cullings（放影研） Eric Grant（放影研） 中島 覚（広島大学） 遠藤 暁（広島大学） 廣田 誠子（広島大学） [科学助言委員] Anatoly Rosenfeld（Australia）- Chair Adrie J.J. Bos（Netherlands） Claus E. Andersen（Denmark） Clemens Woda（Germany） Eduardo Yukihiro（Switzerland） Elena Bakhanova（Ukraine） Filip Vanhavere（Belgium） Francesco d'Errico（Italy/USA） François Trompier（France） Gabriel Sawakuchi（USA） Helen Khoury（Brazil） Ian Bailiff（UK）	[ホスト] 国際固体線量計測機構（ISSDO） 広島大学 [プラチナスポンサー] 株式会社千代田テクノロ [ブロンズスポンサー] DOSImetrics RadPro Internatoinal GmbH テクノヒル株式会社 長瀬ランダウア株式会社 [その他のスポンサー] 広島県 広島市 広島観光コンベンションビューロー dosilab Paul Scherrer Institut [展示・広告団体] ThermoFisher Scientific Rotunda Scientific Technologies Mirion Technologies Jan Dlugosz University in Czsestochowa

José Fernando Chubaci (Brazil)	株式会社アドフューテック
José M. Gómez-Ros (Spain)	富士電機株式会社
Jungil Lee (South Korea)	MEASURE WORKS株式会社
Makaiko Chithambo (South Africa)	未来科学ホールディングス株式会社
María-Ester Brandán (Mexico)	[後援・協賛団体]
Mark Akselrod (USA)	欧州線量評価グループ (EURADOS)
Mayank Jain (Denmark)	アジア線量評価グループ (ARADOS)
Michael Hajek (Austria)	放射線影響研究所
Mukund Kulkarni (India)	日本放射線安全管理学会
Pawel Bilski (Poland)	日本医学物理学会
Pawel Olko (Poland)	日本原子力学会
Reuven CHEN (Israel)	応用物理学会
Saveta Miljanic (Croatia)	日本保健物理学会
Sergey Nikiforov (Russia)	日本宇宙生物科学会
Steffen Greulich (Germany)	
Steffen W.S. McKeever (USA)	
Takayoshi Yamamoto (Japan)	
Vadim Chumak (Ukraine)	
Yigal Horowitz (Israel)	

山本幸佳先生（大阪大学名誉教授）に名誉議長就任をお願いしてご快諾いただきました。そして、チラシやポスター、葉などを作成・配布したり、学会のmailing listsを利用して会議の開催を周知するなどして、会議やスポンサーシップの宣伝に努めました。その過程では、表2に示すような多くの同僚や団体から支援・協力を賜りました。

3. 会議の概要

SSD19は、国際固体線量計測連合（International Solid State Dosimetry Organization、略称ISSDO）と広島大学をホストとして、2019年9月15日（日）から20日（金）の6日間にわたり、広島国際会議場で開催しました。

SSD19は、国際固体線量計測連合（International Solid State Dosimetry Organization、略称ISSDO）と広島大学をホストとして、2019年9月15日（日）から20日（金）の6日間にわたり、広島国際会議場で開催しました。

初日（15日）の夕刻には、会議で質疑応答をする前に参加者の交流を深められるよう、受付とウェルカムカクテルを提供しました。2

日目には、開会セッション、2つの口頭セッション（Monitoring and detection 1 & 2）、1回目のポスターセッション、歓迎会（Reception）を執り行いました。3日目には、3つの口頭セッション（Instrumentation and detectors 1 & 2 およびBasic physical process 1）、2回目のポスターセッション等を行い、4日目には、午前中は2会場で4つの口頭セッション（Basic physical process 2, Dating & dose reconstruction 1, Clinical dosimetry 1 およびRadiation safety & security）を、午後には宮島へのツアーを執り行いました。なお、radiation safety & security（放射線安全とセキュリティ）のセッションを設けたのは、SSD会議で初めてのことです。5日目には、2つの口頭セッション（Dating and dose reconstruction 2 およびClinical dosimetry 2）と3回目のポスターセッションに加え、若手科学者賞（Young Scientist Award）の応募者によるショートプレゼンテーション、

そして同賞の表彰式を含む晩餐会(Conference dinner)を執り行いました。最終日には、2つの口頭セッション(Material characteristicsおよびClinical dosimetry 3)と閉会セッションを行いました。

招待講演は、各セッションに関連する分野において第一線で活躍されている9名の専門家: Prof. Anatoly Rosenfeld (オーストラリア)、Dr. Saveta Miljanić (クロアチア)、高橋浩之先生(東京大学)、山本幸佳先生(大阪大学)、Dr. Alessio Parisi (ベルギー)、Prof. Makaiko Chithambo (南アフリカ)、Prof. Ian Bailiff (英国)、Prof. Gabriel Sawakuchi (米国)、Dr. Eduardo Yukihiro (スイス)にいただきました。いずれのセッションでも興味深い発表と活発な質疑がなされ(写真1および2)、多くの参加者から有意義であったとの感想をいただけたのは嬉しいことでした。

SSD19の参加者数(運営スタッフや企業展



写真1 口頭セッションの風景

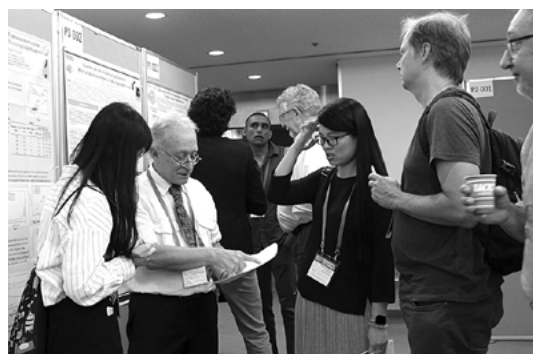


写真2 ポスターセッションの風景



写真3 晩餐会の風景

示担当者等は除く)は333名で、そのうちの日本人は3割弱(約100名)で、残りの7割以上が外国の方々でした。参加者の国籍は45ヶ国を数え、国際色豊かな会合となり、晩餐会も華やかな雰囲気となりました(写真3)。

晩餐会では、優れた研究発表をした40歳以下の参加者に与えられる若手科学者賞に7名の研究者や大学院生が選ばれ、ISSDO議長のProf. Anatoly Rosenfeldから賞状と副賞(宮島彫りのお盆)が授与されました。残念ながらアジア地域の受賞者はいませんでした。また、SSD19では、新たに「山本賞(Yamamoto Award)」を設け、①これから40年間SSD Communityの発展に貢献してくれると期待される科学者1名と②既に40年以上貢献してくれた科学者1名を表彰することとし、①Eduardo Yukihiro博士(スイス)と②Reuven



写真4 若手科学者賞と山本賞を授与され方々ならびに授与者である山本幸佳先生、Prof. Anatoly Rosenfeldおよび小職

Chen教授（イスラエル）がそれぞれ選ばれ、山本幸佳先生から賞状と副賞が手渡されました（写真4）。

なお、SSD19で発表された研究内容は、原著論文としての査読を経て、国際学術誌（Radiation Measurements誌）の特集号として2020年内に刊行される予定です。

4. サマースクールについて

会議の前週（9月11～14日）には広島大学霞キャンパスにおいてSSDサマースクール（7th Marko Moscovitch School）を開催しました。同スクールには20ヶ国から約80名が参加してください、歴代最高の規模となりました。受講者の多くはポストドクや大学院生等の若手研究者で、線量測定評価の専門家15名による充実した内容の講義を熱心に聴いていました。最終日には、受講者全員がスクール組織委員会のAdrie Bos委員長から修了証を受け取り、みんな満足した様子でした（写真5）。



写真5 サマースクール参加者の集合写真

5. さいごに

アジア初のSSD会議となったSSD19は、これまでにない国際色豊かな会議となり、多くの参加者から好意的な感想をいただき、主催者の一人として胸をなでおろしています。特に、スクールの開始から会議の終了までの約10日間、全く雨に降られず晴天に恵まれたことは、台

風の多い9月としては奇跡的で、ほんとうに有難く幸運なことでした。きっとこれからも、線量測定評価分野の研究開発やその成果の普及が、天の恵みを受けながらさらに進展していくに違いない、と感じています。我が国には、放射線測定や線量評価に係る優れた技術やノウハウが蓄積しています。これらを基にして、様々な国や団体の研究者や技術者がお互いの強みを持ち寄って協力することにより、より高次の実用性にも優れた技術を生み出し、グローバルな規模で新たな市場を拓いていってほしいと願っています。SSD19がそれに少しでも貢献できたようでしたら幸いです。

次のSSD20は、2022年9月に、Prof. Francesco d'Errico大会長による指揮のもと、イタリアのピサ市で開かれる予定です。

謝 辞

SSD19の開催にあたっては、多くの団体や同僚からご支援や励ましをいただきました（表2参照）。特に株式会社千代田テクノ（細田敏和・代表取締役会長兼社長）にはブラチナスポンサーとして多大なお力添えを賜りました。ここに記して深謝申し上げます。

著者プロフィール

兵庫県神戸市生まれ。専門分野は放射線・放射能の線量評価。京都大学工学部衛生工学科卒、工学博士。1992年4月放射線医学総合研究所（当時、現在は量子科学技術研究開発機構）に研究員として入所、同所で主任研究員、チームリーダー、企画室調査役、文部科学省で研究振興局専門官等を務め、東京電力福島第一原子力発電所事故の発生後は県民健康調査の一環として住民線量評価を担当。2011年12月からはオーストリア国ウィーン市にある国連科学委員会（UNSCEAR）事務局でプロジェクトマネージャーとして福島第一原子力発電所事故影響に係る報告書の作成に従事。帰国後2015年10月より現職。趣味は絵を描くこと。
E-mail : hyasuda@hiroshima-u.ac.jp



ー 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 筑波宇宙センターの巻 ー



我々FBNews編集委員会一行は2019年10月下旬に茨城県つくば市へ向かいました。

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 筑波宇宙センターで行われている宇宙放射線に関する研究の現状を取材するためです。

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（以下「JAXA」と云う）にはロケットを発射する種子島宇宙センターや航空技術分野の研究を行っている調布航空宇宙センターなど全国各地に施設があります。その中でも筑波宇宙センターは

- ・人工衛星の開発・運用およびその観測画像の開発
- ・「きぼう」日本実験棟を用いた宇宙環境利用や、宇宙飛行士養成と活動推進
- ・ロケット・輸送システムの開発と、技術基盤確立のための技術研究推進

を行っており、日本の宇宙開発の中核センターとしての役割を果たしています。

(JAXAホームページより引用)

今回、JAXAの宇宙放射線に関する研究について主にご説明してくださった、研究開発部門第一ユニット宇宙環境計測領域の永松愛子研究領域主幹は、宇宙放射線、帯電、デブリ等の宇宙環境計測を担当されています。宇宙環境計測領域は、宇宙放射線の計測、スペースデブリの計測、それらを計測するためのセンサー・機器開発・運用・データ解析、計測器をロケット等へ搭載する方法の検討など幅広い研究項目を担当している領域だそうです。

永松主幹は、JAXA入社前までは、農学・

遺伝子工学を専門として学んでこられたとのこと。JAXAに入社後、現在の所属部署に配置されたことがキッカケで宇宙放射線計測分野の研究に携わり、現在に至っておられます。

早速、研究についてお話をお聞きました。

宇宙放射線とは



低地球軌道から静止軌道を飛行する人工衛星、国際宇宙ステーション（以下「ISS」と云う）の日本宇宙実験棟「きぼう」の船内・船外の線量計測支援、将来の有人探査にむけた惑星（月・火星）探査機に搭載する放射線計測器の研究開発を行っているそうです。

宇宙放射線は、大きく3つに分類されます。

① 銀河宇宙線

超新星爆発などによって放出された太陽系外から到来する粒子線等

② 太陽粒子線

太陽表面の爆発現象（太陽フレア）に伴って放出される高エネルギー粒子線、陽子線および放射線

③ ヴァンアレン帯粒子

地球磁場に捕捉された陽子線等

もちろん、皆様ご存知のとおり地球には大気層があり、大気層で遮へいされているため宇宙放射線が直接地上に到達することは、ほとんどありません。

宇宙と地上での放射線環境の違いは以下のとおりです。

① 宇宙放射線は、生物影響が高い高LET放

射線を多く含む。

②360度あらゆる方向からに入射する。

③地上に比べて線量率が数百倍大きい。

このように宇宙では地上と比べ大きく放射線環境が異なります。その為、宇宙放射線を計測できる検出器の開発と軌道上環境の評価、宇宙飛行士の被ばく管理手法の検討が必要になっています。

宇宙飛行士の被ばく管理

ISSに搭乗する宇宙飛行士の被ばく管理について詳しく教えていただきました。

宇宙飛行士は、搭乗期間中、宇宙放射線による被ばくを受け続けます。宇宙放射線は自然放射線です。国内の法令は人工放射線が発生する管理区域内における作業を前提として制定されていますので、宇宙飛行士が該当する関連法令が無い状況です。

そのため、JAXAでは国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告「ISS搭乗宇宙飛行士放射線被爆管理規定」(2013年改定)を作成。生涯実効線量制限値・組織等価線量制限値(線量制限値)を設け、宇宙飛行士の年齢によって線量制限値による管理をしています(表1)。

ISSには様々な国の宇宙飛行士がいらっしやいます。放射線防護に関する法律も国により異なります。宇宙飛行士は出身国の宇宙機関の定めに基づいて被ばく管理が行われています。

ただし、米国放射線防護審議会(NCRP: National Council of Radiation Protection and Measurements)で大まかな指針が示されており、その内容を各国が使用し、指針としてい

るため、線量管理基準は各国ほぼ近い内容となっているようです。

線量計PADLES

被ばく管理を行うには、まず、対象となる実験試料や個人の被ばく線量を測定する必要があります。

JAXAでは受動積算型宇宙放射線線量計PADLES(Passive Dosimeter for Lifescience Experiments in Space)と地上に回収したあとの専用解析システムを開発し、ISS軌道上の宇宙放射線環境の計測を実施しています。

PADLESはTLD-MSOを7本とCR-39のシート4枚を組合せたパッケージタイプの線量計で大きさは2.5cm×2.5cm×0.6cmです。使用可能温度が広い(-80℃~37℃)という特徴もあります。

ちなみに、他の国々でも線量計にTLDを使用していることが多いそうです。

PADLES線量計は、1998年に早稲田大学名誉教授 道家忠義先生(故人)らによって最初に提案された積算線量計の解析技術を導入し、スペースシャトル実験およびISS日本実験棟「きぼう」への搭載を開始しています。

「きぼう」の打ち上げに向けた技術開発として、技術導入以降、JAXAではPADLES線量計の特性データを、重粒子加速器HIMAC等を使った照射試験により取得してきました。温度依存性、エネルギーLET依存性、角度依存性0~90°等の角度・温度を変えての照射、保管温度によるフェーディングなどのデータ取りを行いデータベース作成などが、2007年まで継続して行われました。これらの成果により、PADLESは、ISSに搭乗している線量計の国際比較実験において、もっとも測定精度が高い受動積算型線量計として評価された実績もあります。

なお、PADLESによる計測結果は以下に公開されています。

ISS宇宙放射線環境計測データベース

ISS宇宙放射線環境計測データベース

<http://iss.jaxa.jp/spacerad/index.html>

表1 JAXAの定めるISS搭乗宇宙飛行士の生涯実効線量制限値

初めて宇宙飛行を行った年齢	男性の制限値	女性の制限値
27~30歳	0.6Sv	0.5Sv
31~35歳	0.7Sv	0.6Sv
36~40歳	0.8Sv	0.65Sv
41~45歳	0.95Sv	0.75Sv
46歳以上	1.0Sv	0.8Sv

※Sv:シーベルト

出典: JAXAホームページ国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士被ばく管理規程 ©JAXA



PADLES線量計



金井宇宙飛行士が実際に使用されたCrew PADLES

宇宙飛行士の被ばく線量測定

宇宙飛行士用の線量計はCrew PADLESと呼ばれ、2007年からのこれまでの約10年間で延べ14人のアジア人宇宙飛行士に使用されました。大体は胸部ポケットに入れて装着されています。連続して身につけてもらうことが最優先なので、装着部位は特に指示していません。

国際宇宙ステーション（ISS）日本実験棟「きぼう」の船内・船外の宇宙放射線環境

ISSは飛行高度約400kmで地球を周回しています。

ISSの船壁は、はじめから放射線の遮へい効果を考慮して設計されたものではありませんが、船内の研究ラックや船壁は強度を担保するため厚みを持たせています。各モジュールの大きさや船壁厚は、ISS建設当時、輸送で使用していたスペースシャトルに載る大きさであることが1つの判断基準となっています。

ISSの船外では様々な粒子が飛び交っているため、エネルギー分布は広がっています。それらが船内に入ると船壁や精密機器、搭載物

との相互作用により2次粒子を発生させ、非常に複雑な挙動を示します。船内では、高エネルギーの領域が下方方向にシフトし、低エネルギーの成分が増える傾向があります。

「きぼう」の運用が開始してから、Area PADLESと呼ばれる定点放射線環境計測用の線量計を17箇所（2016年以降は9箇所）に設置・交換（6ヶ月～8ヶ月毎）し、「きぼう」船内の定点測定が継続して行われています。これまでに約11年間のデータを取得しています。

スペースシャトルが退役後、ISSの高度を350kmから400kmにあげた結果、ヴァンアレン帯に近づくことで、線量が約30%上昇したそうです。また、計測場所や太陽の活動によっても線量が変動します。

「きぼう」船内では船壁厚（平均遮へい厚約27g/cm²）を透過した宇宙放射線しか測定できません。そのため、船壁の遮へい効果を測定するために、「きぼう」船外の宇宙環境計測実験も実施されました。

「きぼう」に設置されているロボットアームの先端に、Free-Space PADLESと呼ばれる線量計を11個（3個は遮へい無し、8個はアルミで遮へい（0.3～4.0mm）厚を変えたもの）を並べ、2週間宇宙空間中にさらして測定しました。船外では、PADLES線量計自身の温度環境が制御できないため、太陽からの輻射がなく、温度変動が激しくない座標や期間をあらかじめ計算により評価し、ロボットアームの先端を固定する計測ポイントを決めました。

実験時のロボットアーム操作は、地上管制室から制御して運用が行われました。

PADLESによる実際の測定結果と、「きぼう」の船壁厚などを再現したデータを作成し被ば



曝露環境に設置されたFree-Space PADLES線量計
©JAXA/NASA

く線量をシミュレーションしたデータを比較する研究が、原子力研究開発機構と共同で行われています。ほとんどの実測とシミュレーションの比較結果は、平均±10%で一致しています。

この結果は、将来の地磁気圏外の国際宇宙探査で使用するビークルの厚さや搭載物がどれくらい被ばくするかを予測する際に使用されます。

また、シミュレーションと放射線医学総合研究所のHIMACでの照射実験を比較し、遮へい材料や遮へい材料の最適な厚さを評価することも行われています。宇宙放射線はプロトンが多いため、遮へいには水素原子が多く含まれている水やポリエチレンが効果的という結果が得られました。

生物試料の被ばく線量測定

「きぼう」では無重力空間や宇宙放射線が生物に与える影響を調べる研究も行われています。これまで行われたライフサイエンステーマ32テーマのうち7テーマが宇宙放射線影響に関する実験テーマです。「きぼう」に搭載される各生物試料の近傍には、その試料が受けた線量を計測するための線量計Bio PADLESが設置されています。宇宙飛行士用のCrew PADLESは14人の計測を行いました。生物試料へは延べ500以上の線量計が使用されました。

得られたデータは、宇宙放射線に対する生物影響を予測する地上実験の立案や影響評価のためのシミュレーションに利用されています。

今後の国際宇宙探査計画

ISSの運用は2024年度以降の予定は決まっておらず、民営化を推進していく方向とのこと。

各国の宇宙機関は、それ以降は国際宇宙探査に移っていく方針で、月から火星へと段階を踏んで宇宙探査を進める予定です。

現在の計画は次のとおりです。

月の探査計画

2021年 SLIM (Smart Lander for Investigating Moon) 計画

将来の月惑星探査に必要なピンポイント着陸技術を研究し、それを小型月着陸実証機で月面にて実証する計画。

2023年頃～ 月極域探査ミッション

2026年頃～ 月離着陸実証ミッション

月周回拠点計画

上述のミッションを進めるため2022年以降、月周回拠点を米国主体で月軌道に有人拠点(Lunar Orbital Platform-Gateway:通称“Gateway”)を作る計画。2026年の完成を目指す。

ISSとGateway間で人と物資の移動が可能となる。

火星の探査計画

2024年 火星衛星探査計画 MMX (MMX : Martian Moons eXploration)

火星の衛星であるフォボスとダイモスと呼ばれる衛星の観測および衛星上のサンプル採取を行い、採取したサンプルを地球に持ち帰る計画。

JAXAではMMXの帰還モジュールにIREM (Interplanetary Radiation Environment Monitor) と呼ばれる放射線環境モニタを搭載し、打上げから帰還までの約5年間計測を行う予定。主に太陽フレア及び銀河宇宙線の高エネルギー荷電粒子のエネルギースペクトルを計測する予定です。



MMXのイメージCG ©JAXA

出典：MMXホームページ <http://mmx.isas.jaxa.jp/>

今後予定されている計画ではISSよりも遠い月や火星への探査となります。

まず月を考えた場合、地球からの距離はISS：400km、月：38万kmと大きく異なり、地磁気圏外であることから、放射線防護の観点では以下の点を考慮する必要があります。

①放射線の影響が (ISSよりも) 大きくなる

- ②太陽フレアおよび太陽粒子線を直接受ける
- ③月表層物質（レゴリス）からの宇宙放射線の反射による影響

その為、文科省の諮問委員会でも検討されている4つの宇宙滞在技術（生命維持・環境制御技術、熱制御技術、放射線防護技術、基盤技術）のうちの放射線防護技術の向上のため、計測を積算型とリアルタイム型の両方で行い、今後の被ばく線量の予測精度を上げていく研究を進めていく予定です。

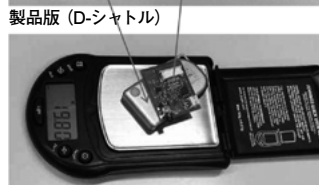
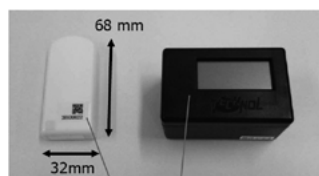
月面に着陸を目指す小型衛星 (OMOTENASHI)

JAXAが開発中のOMOTENASHI (Outstanding MOon exploration TEchnologies demonstrated by NAno Semi-Hard Impactor) はNASAが2020年に打上げ予定のSLS (Space Launch System) EM-1mにピギーバック衛星（主衛星を飛ばす際に相乗りで飛ばす小さな衛星）として搭載し、月面着陸を目指します。

大きさが非常に小さく（12×24×36cm）約14kgの超小型探査機（CubeSat）です。成功すれば世界最小の月面着陸機器となります。

またOMOTENASHI内には、JAXAが搭載しているD-Spaceと呼ばれる小型線量計が入っており放射線計測を行います。D-Spaceは産業技術総合研究所と弊社が共同開発したD-シャトルを宇宙機搭載用に改良したものです。

※我々FBNews編集委員一行は心踊りながら話をお聞きしておりました！



製品版 (D-シャトル)
搭載版 (D-Space) : 読取機の光モジュール (シリアル通信) 部と線量計の一体型に改修

D-Spaceでは、主に陽子線の変動を1分ごとに計測します。月の周回期間（6日間）の変動データを取得予定です。データ取得が成功すると日本として初めての地磁気圏外の宇宙放射線

データ取得となります。

D-シャトルがこのような活躍できることをとても嬉しく思います。ぜひ、成功していただきたいと思います！

展示館

お話を伺った後、JAXA広報部のご厚意でロケット広場にあるH-IIロケットと展示館「スペースドーム」を案内していただきました。

正門を入ってすぐに見えるH-IIロケットは、予備パーツや計画の変更で使われなかったパーツでできている実機です。



H-IIロケット実機

「スペースドーム」には人工衛星の試験モデル（実物とほぼ同じ!!）や実物大の模型、実際に中に入ることができるISS日本実験棟「きぼう」の実物大モデルなどが展示されています。

「スペースドーム」の見学は無料で、説明員による展示館ガイドも1日に何回も行われています。お伺いした日にも貸し切りバスが何台も止まっていました。個人で見学する場合、事前予約や当日受付は必要ないので、FBNews編集委員もプライベートで訪れたいと話していました。

今回はFBNews編集委員の加藤、青山、高橋、廣田、澤井がお伺いさせていただきました。お忙しい中、取材に応じてくださった研究開発部門第一研究ユニット永松愛子技術領域主幹、研究開発部門の宮沢直子主任、広報部報道メディア課 藤本信義主任、および関係者の方々に深くお礼を申し上げます。貴重なお時間をいただき誠にありがとうございました。

（文責：高橋 英典）

書 評

医療関係者のための放射線安全利用マニュアル

ー 放射線安全管理のプロが語る60章 ー

監 修 大学等放射線施設協議会 発行年月 2019年 9 月
発 行 株式会社アドスリー ページ数 140ページ

目 次

- | | |
|-----------------------|------------------|
| I. 医療施設での放射線利用と放射線管理 | IV. 医療関係者のための法令 |
| II. 医療関係者のための放射線の基礎知識 | V. 医療関係者のための安全取扱 |
| III. 放射線の医療利用 | |



本書は、医療に携わる、あるいはこれから携わろうとする関係者の中で、特に放射線に対する初心者に向けた解説書である。5編構成で、記載内容を分かりやすくするために、各編に関する種々の重要項目を60の章とし、それぞれの章に図、表、イラストなどを入れ、見開き2ページにまとまるよう工夫されている。そのため、読者の興味、理解の程度に応じてどこから読み始めても役立つ。

もちろん章内の文章にしても分かりやすさの工夫が凝らされている。例えば、福島原子力発電所事故の際、1 mSv/年という数値が独り歩きして、それを超えて被曝をしたらとんでもないことになるという風評で大騒ぎになったが、これは規制値が生物学的な影響を示す値と混同されたためであると言える。本書第Ⅱ編には、これらを規制科学的モノサシと

生物学的モノサシとしてそれぞれについてどのような意味合いを持つものかを平易に解説しており、混同を解かなければならない立場の者（医療関係者）にとって、非常に整理が付きやすい。

また、第Ⅲ編では放射線診断や放射線治療に関係する機械、薬剤、手技等が解説されている。どの章においても基礎的な定義や仕組みなどが簡潔だが分かりやすく丁寧に解説されるとこ

ろから始まり、その臨床的な各ケースにおける使われ方や特徴、注意点などについてテンポ良く絶妙の配置で記載されているため、臨場感あふれる表現となっており、初心者にもイメージがつかみやすいよう工夫されている。

法令や安全取扱に関する事項は、医療関係の施設ではそれ以外の施設に比べて複雑で、多くのことに同時に気を配る必要がある。例えば患者体内に投与された放射性医薬品の規制はRI規制法ではなく医療法になるが、そこからの放射線による医療従事者の被曝はRI規制法、電離則／人事院規則で規制され、患者の着けていたオムツ等の感染性廃棄物は廃棄物処理および清掃に関する法律により規制され、放射線が検出された場合は業者に引き取りを拒否されることになる。第Ⅳ編ではこれら関係法令と放射線管理上必要となる規制に関し、具体的に理解しやすくまとめられ解説されている。また、ではどうすればよいのかという実際の対処法は、そのマニュアルが第Ⅴ編として記載されている。医療現場ならではの防護や被曝対策、装置や小線源の取扱方法について過不足無く記載されており、正に現場で役立つ本となっている。

本書は、一義的には医療関係者に向けたものであるが、最新の治療技術や在宅医療などの医療現況にも紙面が割かれており、プロの執筆・編集の賜物であろう。私のような放射線関連の仕事をしているが臨床の現場のことは知らないような者にとっても、大変興味深く読め参考になる。

(東京医科歯科大学 原 正幸)

公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ

★講習会について★ (令和元年12月10日現在)

※最新情報についてはHPをご覧ください。

講習名／月	2 月	3 月
放射線取扱主任者定期講習※ 1	14 : 大阪 (医療)	3 : 東京 5 : 大阪 7 : 東京 (医療)
医療機関の放射線業務従事者のための 放射性同位元素等規制法講習会※ 2	15 : 大阪 29 : 東京	
核燃料物質の安全管理講習会	21 : 東京	

※1「放射線取扱主任者定期講習」について

- ・時間を増やし、事故等の報告義務の強化、放射線障害予防規程及び特定放射性同位元素の防護など放射線取扱主任者が理解すべき主な改正点について詳細に解説します。
- ・テキストは項目ごとに整理、待望のカラー版となり、よりわかり易くなりました。

※2「医療機関の放射線業務従事者のための放射性同位元素等規制法講習会」について

- ・医療機関における放射性同位元素等規制法の管理の基礎の修得を目的としています。
- ・公益社団法人日本診療放射線技師会生涯教育カウント及び日本放射線治療専門放射線技師認定機構の講習認定単位が付与されます。

★講習・出版物のお申込み等最新情報については、公益財団法人原子力安全技術センターのHPをご参照ください。

URL : <https://www.nustec.or.jp/> メールアドレス : kosyu@nustec.or.jp 電話 : 03-3814-5746



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

運

がんは増殖に関する遺伝子に変異が積み重なって細胞が不死化することが原因です。そして、細胞分裂の際に、この突然変異がもっとも起こりやすくなります。

細胞の分裂に先だって、遺伝子の複製が行われますが、ここでDNAが不安定となり、遺伝子の「コピーミス」が起こります。この突然変異が、たまたま、発がんに関連する遺伝子に起こるとがん細胞ができやすくなります。

遺伝子のコピーミス自体を完全に避けることはできませんから、長生きをして細胞分裂の回数を重ねていけば、がん細胞が発生する確率も高くなっていきます。がんが年齢とともに増えていくのは当然です。日本男性の3人に2人、女性の2人に1人がこの病気に罹患するようになった理由は急速な高齢化にあります。

また、喫煙、飲酒などの生活習慣や感染症などの環境因子は遺伝子の複製ミスの確率を大きく左右します。

がん関連の感染症として重要なのは、胃がんの原因の98%とされるピロリ菌や子宮頸がんの原因のほぼ100%といわれるヒトパピローマウイルス、肝臓がんの原因の約8割を占める肝炎ウイルス（C型、B型）などです。なお、遺伝の影響は環境因子よりずっと少なく、発がんの原因全体の5%にすぎません。

しかし、環境因子に全く問題がなくても、ミスを100%排除することはできません。遺伝子の偶発的なコピーミスが、がん発生の背景にありますから、がんができるかどうかには「運」の要素もあると言えます。たばこを吸わない私が膀胱がんになったのも「運が悪かった」ということになります。

米国の研究者が17年に米科学誌サイエンス

に発表した論文では、発がんをもたらす遺伝子変異の3分の2は、偶然起きたDNAの複製エラー、つまり「不運」によるものだと結論づけています。発がんの最大の要因は「がんに関連する遺伝子に起こる偶発的な損傷」、つまり運だというわけです。

喫煙や飲酒などは遺伝子にできるキズの発生頻度を高めます。運動やカロリー制限は損傷の頻度を下げますが、どんな立派な生活をしていても、生きているだけで遺伝子には「経年劣化」が起こります。年齢とともに、がんができやすくなるのはこのためです。

ヘビースモーカーで大酒飲みでもがんにならない運のよい人もいます。逆に、完璧な生活習慣でもがんになることがあります。検診もすべてのがんを見つけることは不可能です。がんには運の要素もあることは確かです。

がんだけでなく、人生には運・不運がつきものです。仕事でも、出世でも、実力だけで決まるものではありません。私生活も同様でしょう。もちろん、個人の努力も大切ですが、運の要素を否定することはできません。

がんは人生の他のほとんどの出来事と同じく、運に左右される病気です。しかし、がんにまつわる運・不運は知識や行動である程度までコントロールが可能です。

生活習慣を整えることで、がんのリスクを大きく減らすことができます。さらに、運悪く、がんになっても、がん検診で早期に発見すれば、9割以上完治します。がんの運・不運は、交通事故や天災といった不可抗力とは別だと言えるでしょう。

何事も「人事を尽くして天命を待つ」ことが大切ですが、がんとの向き合い方も同様だと思います。

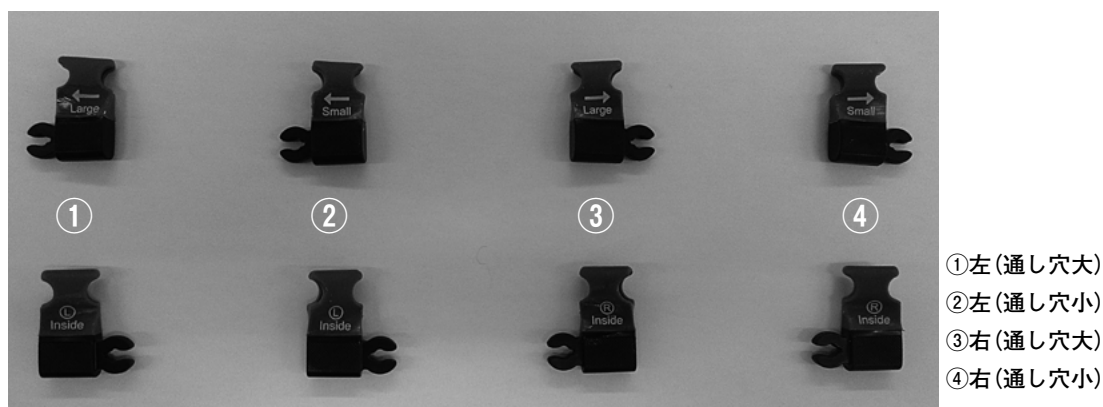
男性の3人に2人、女性でも半数が、がんになります。「人生100年」に立ちはいかかるこの壁を、知識と行動で乗り越えて頂きたいと思います。



日頃は弊社ガラスバッジサービスをご利用いただきありがとうございます。今回水晶体用線量計DOSIRISを防護メガネに直接取り付けるためのアタッチメントをご紹介します。

これまではIRSN（フランス）製ヘッドバンドをご利用いただいておりましたが、アタッチメントをご利用いただくことで防護メガネに直接DOSIRISを取り付ける事ができるようになります。左用、右用の2タイプをご用意しましたので、放射線の被ばく状況に応じ選択してください。さらにメガネのテンプレの太さに応じて通し穴も大小2通りをご用意しました。市販の大抵の防護メガネに装着が可能です。

2020年4月よりサービス開始予定です。



「Inside」とある方が内側（顔側）になります。矢印の方向にメガネのテンプレを通してください。



▶DOSIRISの白い検出部がちょうど目尻に来るように角度をご調節ください。

DOSIRISサービスやアタッチメントについてご不明点がございましたら、ガラスバッジ担当地区または線量計測事業本部（TEL：03-3816-5210）までご連絡ください。

図説 量子ビーム・放射線利用 —第6回 陽電子で表面構造の謎を解く—

大洗研究所 特別研究員 岡田 漱平

1. はじめに

前回、量子ビームの「観る」働きのうち、人体から火山のような比較的大きなものまで、その中味を透視する方法について解説した。今回は、一転して原子や原子の抜けた孔など、うんと細かいものを観察することができる量子ビーム、陽電子（ポジトロン）を使って、これまで謎とされてきた物質表面の構造を知る分析技術（反射高速陽電子回折）を紹介する。

2. 反射高速陽電子回折は日本発の分析技術

量子ビームを使った物質表面構造観察技術としては、1914年にX線、1937年に電子線、1994年に中性子線を、それぞれ回折法に適用し、その有用性を実証した研究者たちにノーベル賞が授与されている。これらはすべて国外の研究者の手になるものである。

一方わが国では、1 keV～10 keVの陽電子を物質表面すれすれの角度で入射し、反射してくる陽電子の回折像を観察する反射高速陽電子回折（Reflection High-Energy Positron Diffraction; RHEPD）が、1992年に名古屋大学の一宮によって提唱され¹⁾、1998年に日本原子力研究所（当時）高崎研究所の

河裾と岡田（私です）によりその有用性が実証された²⁾。彼らを原研高崎グループと呼ぶことにする（一宮は高崎研究所の客員研究員でもあった）。

ところで陽電子というのは、質量やスピンなどの性質が電子と同じで、電荷が電子とは逆にプラスであるという点^{だけ}が異なる粒子である。世の中にふんだんにある電子と違って、その反粒子である陽電子はなかなか手に入りにくい。そのような陽電子をわざわざ使うのは何故なのか？おいおい説明していきたい。

3. まずは回折の解説（一般論）

量子ビームを結晶性の固体の表面に入射した場合の回折の一般論を図1に示す。こ

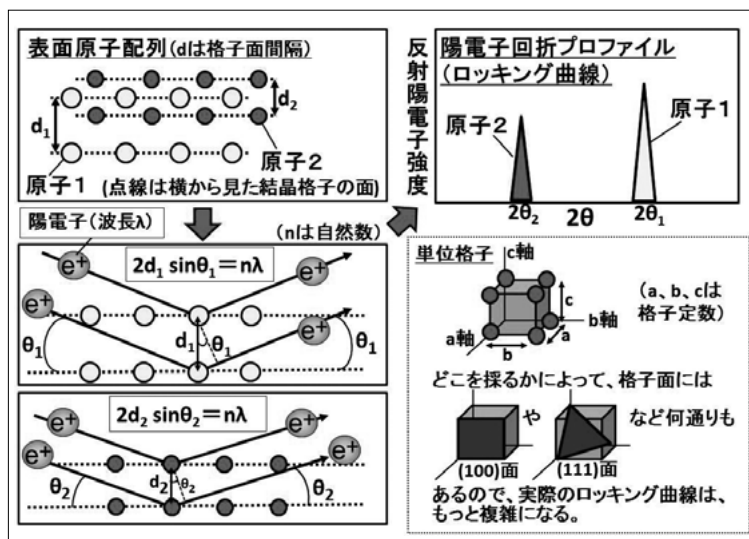


図1 結晶の格子面とBraggの回折条件およびロッキング曲線の関係（陽電子の場合；他の量子ビームでも同じ）。

では陽電子を例にとっているが、他の量子ビームでも状況は同じである。

結晶内では、原子が格子状に並んでいる。障子を思い浮かべていただきたい。障子の棧と棧との交点、これが原子だ。そして棧によって囲まれた障子紙、これを格子面と呼ぶ。図の左の方は、原子たちが形作る格子面を横から見たものである。ここで、この結晶格子の面と面との間隔を d 、陽電子ビームの波長を λ 、ビームの入射方向と結晶面の成す角度(これを視斜角という)を θ 、自然数を n とすれば、 θ が、

$$2 d \sin \theta = n \lambda$$

を満たすとき、反射ビームが強め合って回折が起こる。これをBraggの回折条件といっている。

図には2種類の原子からなる結晶表面に陽電子を入射した場合の回折条件が描かれている。ビームの入射方向(θ)を変化させていくと、それぞれの原子についてBraggの回折条件が満たされると、反射陽電子強度にピークが現れる。これをロッキング曲線(図の右上)と呼んでいる。我々は、この曲線から、物質の結晶構造について多くのことを知ることができる。

実際には、図の右下に描いているように、格子を形作っている原子のうち、どれとどれとどれを選んで面を作るかによって、格子面は何通りも存在する。このため、ロッキング曲線はもっと複雑になるが、それに応じて得られる情報量も増える。

このように、量子ビームを用いた回折法は、物質表面の分析のためには不可欠の手法となっている。では、その中で陽電子にはどんな出番があるのだろうか？

4. 産業にも重要な表面構造が実はよくわかっていない

[illegible]

指を見てください。ものをつまんだり、キーボードを叩いたり、実に多くの働きをする。一方、指の表面には指紋があり、いろいろな認証に使われている。表面を濡らしてスーパーのレジ袋を開くのに使ったりもする。このように、表面には表面の、中身には中身の役割がそれぞれあり、どちらか一方だけというものは存在しない。

半導体デバイスなど産業用の材料も同じである。中身がなければ構造体として成り立たないが、一方、最も外側の表面を使って別の物質を重ねていったり、表面で他の物質を捕まえたり、いろいろな機能を持たせることができる…はずである。

ところが、そうは問屋が卸さない。いや、卸している問屋もたくさんあるのだが、先端的な技術がどんどん進化してくると、この「最も外側の表面」（以後、表面第1層あるいは最表面という）の構造がわからないため壁にぶち当たるのだ。それは何故か？

図2に、あくまでイメージだが、結晶性固体の表面近傍の原子配列がどのようになっ

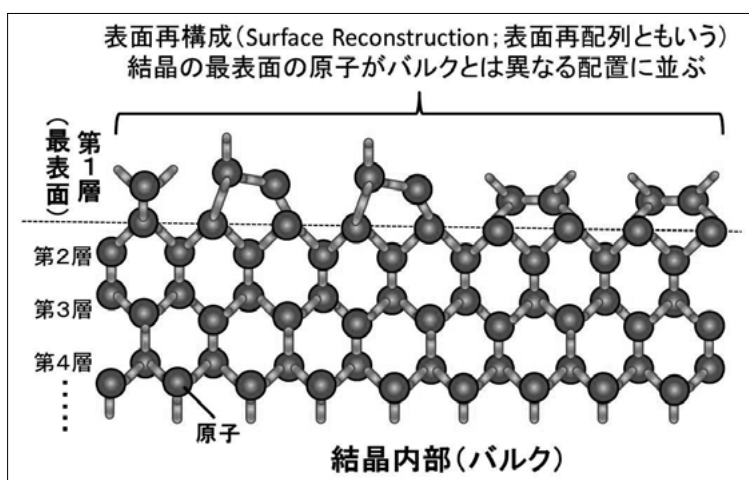


図 2 結晶性固体表面の模式図(側面から見たイメージ)。
結晶の表面第 1 層(最表面)の原子の配列は、結晶内部の原子の並び方とは異なる(表面再構成)。

結晶内部（表面に対してバルクという言い方をすることもある）では、原子が周期的に規則正しく整列している。ところが最表面ではこの規則性が崩れるのである。これを表面再構成（Surface Reconstruction；表面再配列ともいう）と呼んでいる。「再び構成する」というくらいなので、規則性が完全に崩れるわけではなく、バルクとは別の規則性を持ったり、いろいろな規則性を持った配列が混在したりするのである。

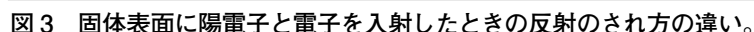
どうしても、最表面より下の第2層、第3層…の情報が混ざってしまうのが普通だからだ。

5. 岡目八目、陽電子

このバリアは、電子に対しては内部に閉じ込めておこうとする働きをする。まあ、そうじゃないと物質から電子がどんどん逃げていって、もはや物質としての態を成さなくなる。逆に外から入って来る電子に対しては内部に引きずり込むように働く。図では、あくまでイメージだが、この静電ポテンシャルを表面側がN極、内部側がS極の磁石、電子をSの磁極にな

一方、陽電子は正電荷を持つため、事情は正反対で、Nの磁極がバリアの磁石のN極によって跳ね返されるみたいに、物質の最表面で反発を受ける。そして、表面にすれすれの角度で（小さな θ で）入射した場合には、内部に入り込むことなくすべて反射される。これを全反射といい、陽電子に特徴的な性質である。

原研高崎グループが、LEED (Low-Energy Electron Diffraction; 低速電子回折) のアナログであるLEPD (Low-Energy Positron Diffraction; 低速陽電子回折)ではなく、最初からRHEPDに挑戦した理由もそこにある。このような背景から、最近では本手法をTRHEPD (Total-Reflection High-Energy Positron



Diffraction；全反射高速陽電子回折）と呼んでいる。

6. 全反射高速陽電子回折TRHEPDの“すご技”

52

TRHEPDを表面分析にどのように使うのかを説明する^{3,4)}。図4に示すように、物質最表面の原子配列について、理論的に候補の予想はできるが(たとえば図のAとB)、どれが正しいのか、表面物理の謎とされている問題が多くある。その解決法としては、原子間力顕微鏡が威力を発揮してきた。しかし、下の方の図の配列予想Bのように原子同士が近づきすぎている場合、原子間力顕微鏡では×印の位置にあたかも原子が1個あるかのように捉えてしまう可能性がある。

そこで、配列 A と B のそれぞれに対して、陽電子の全反射がどのように起こるかを動力

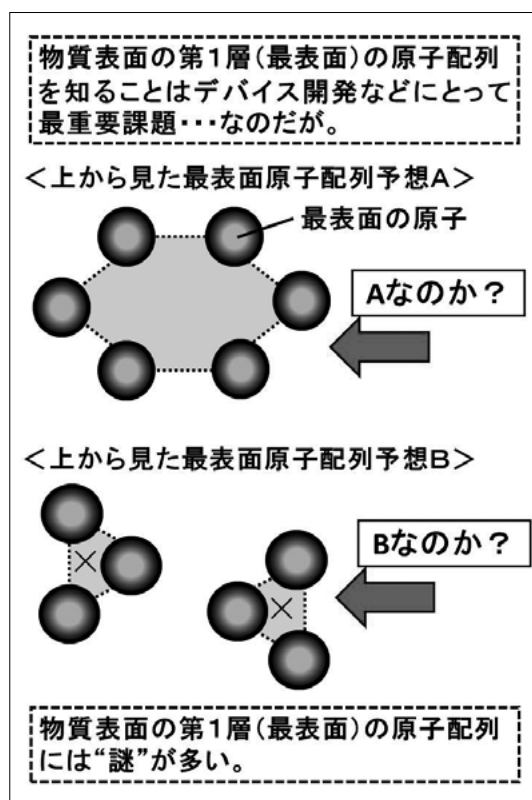


図4 物質最表面の原子配列の予想。

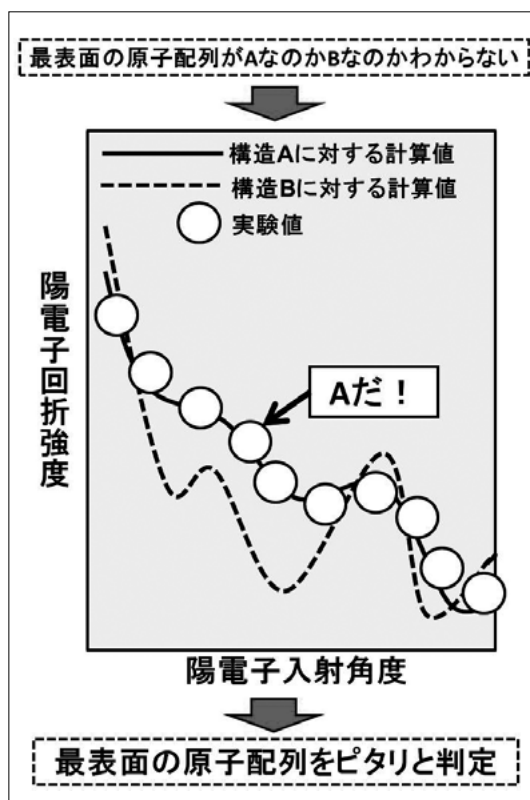


図5 理論的な最表面原子配列の候補に対する
ロッキング曲線の計算値と実験値の照合。

学的計算で求めてみる。陽電子入射角度（視斜角 θ ）に対して陽電子回折強度を計算すると図5の実線と破線のようになる。これに実験値を当てはめてみれば、どちらが正しい予想だったのか（この場合は配列A）一目瞭然でわかるのである。

今後高強度の陽電子ビームが広く使われるようになれば、学術と産業の両分野へのTRHEPDのさらなる貢献が期待される。

参考文献

- 1) A. Ichimiya: Solid State Phenom., 28 & 29 (1992) 143.
- 2) A. Kawasuso and S. Okada: Phys. Rev. Lett., 81 (1998) 2695.
- 3) 岡田漱平: 放射線と産業, No.137 (2014)
- 4) Y. Fukaya et. al.: Surf. Sci. 602 (2008) 2448

サービス部門からのお願い

ガラスバッジやガラスリングを洗濯しないようご注意ください

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださいます、誠にありがとうございます。「ガラスバッジを洗濯してしまった」とご連絡をいただくことがございます。白衣や作業着などを洗濯される時は、今一度ガラスバッジがついていないかご確認をお願いいたします。

ガラスバッジやガラスリングを洗濯してしまった場合は、必ず**自然乾燥してください**。

急激な加熱乾燥は、避けてくださいますようお願いいたします。誤ってドライヤーの熱風を当てたり、乾燥機にかけてしまったときは、最寄りのガラスバッジ担当地区にご相談ください。状況によっては、ガラスバッジやガラスリングを交換する必要があります。

洗濯してしまったガラスバッジやガラスリングを測定依頼される時は、測定依頼票の通信欄に「お客様コード」「整理番号」「お名前」と洗濯した旨を明記してください。

お客様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。



編集後記

- 今月は、令和初の天皇誕生日を迎えます。お祝いにあたり、新たな時代を寿ぎ清々しく事にあたりたく存じます。
- 本誌では、50年以上の長い歴史を持つ固体放射線計測の国際会議（SSD）の広島開催を終えられた保田浩志先生が、同会議をレビューされています。300名以上の参加者のうち海外からの方が7割以上というまさに国際会議の様相が活き活きと紹介されています。
- 保田先生は、また、放射線医学総合研究所に勤務されていた時に、放射線審議会による航空機乗務員の被ばくに関する検討でも中心的な役割を果たされました。今回の施設訪問では、地上からさらに離れた宇宙空間で人

類が活動する際に課題となる宇宙放射線について、その最前線を宇宙航空研究開発機構（JAXA）の筑波宇宙センターで学んできました。この課題は、米国の放射線防護計測委員会（NCRP）でも今年の年次大会の主要テーマとして取り上げられています。人と放射線のかかわりもいよいよ多様化して来ると考えられます。

- 原正幸先生による書評、中川恵一先生のコラム、岡田漱平研究員の技術紹介も興味が尽きません。また、眼の水晶体の線量については、新たな限度が設けられますが、その測定を確実にするアタッチメントを紹介しています。是非、ご高覧の程を。

（青山 伸）

FBNews No.518

発行日／2020年2月1日

発行人／細田敏和

編集委員／新田浩 小口靖弘 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 河村弘

谷口和史 岩井淳 高橋英典 中本由季 廣田盛一 四方田章裕

発行所／株式会社千代田テクノ

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

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

— 禁無断転載 — 定価400円（本体364円）