

Lhoto Yasuhiro Kirano

## Index

エックス線CTによる医療被ばくとその低減に向けて遠藤 啓吾	1
ゲーテ大学訪問について	6
第19回固体線量計測国際会議(SSD19)のご案内保田 浩志	11
図説 量子ビーム・放射線利用 一第2回 半導体を創るー	13
[泉涓涓として…] 原子力艦事始め(その7/完)青山 伸	17
「FBNews」総合目次 その46 (No.493~504) ·······	18
[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

しい課題とも言えよう。

# エックス線CTによる 医療被ばくとその低減に向けて



遠藤 啓吾\*

放射線の利用は病気の診断・治療に欠かせない。しかし、放射線利用による健康障害は、 古くから知られており、放射線の医学利用に伴 う患者の放射線被ばく;医療被ばくは古くて新

医療被ばく、特にエックス線CTによる被ばく は専門家でも難しい内容なので、ここではQ&A 形式でできるだけ分かりやすく医療被ばくの現 状と取り組みについて解説する。

## Q1 なぜ医療被ばくが注目されるのか

A1 2011年3月に発生した福島原子力発電所事故以降、放射線の健康影響に関する国民の関心はますます高くなった。原発事故による放射線被ばくは、住民にとって何の利益もないし、避けることができない。一方、医療被ばくは病気の正確な診断・治療に役立ち、放射線障害よりも利益の方がはるかに大きい。また嫌ならば断ることもできる。

医療被ばくによって国民が受ける放射線量は、原発事故によって多くの住民が受ける線量よりもはるかに多い。わが国の国民が受ける被ばく線量は、宇宙や大地から受ける自然放射線量が年間2.1ミリシーベルト、医療被ばくによる線量が年間3.87ミリシーベルト、合わせて年間約6ミリシーベルトとされ(環境省の資料による)、国民の受ける放射線被ばくのうち、60%以上は医療被ばくによる。

医療被ばくは放射線診断、一般X線撮影(胸部、骨のX線撮影、マンモグラフィなど)、X線CT、胃透視・注腸透視、血管撮影などの他、核医学(SPECT, PET)や癌の放射線治療、インターベンショナルラジオロジー(IVR)な

ど多岐にわたる。しかも医療の進歩によって、 放射線を使った診断・治療は現代医療に不可 欠となった。日本、欧米などの先進国のみなら ず新興国においても、医療被ばくの増加は大き な課題になっており、各国で対応が検討され ている。

## ©2 なぜエックス線CTによる被ばくが問題と なるのか?

A2 医療被ばくのうち圧倒的に多いのは、CT によるものである。胸部 X 線撮影 1 回の線量が0.06ミリシーベルトなのに対し、胸部CT 1 回で2.4~12.9ミリシーベルトと X 線撮影の40倍から215倍の線量に達する(図1)。腹部CTを行った患者の受ける線量(上腹部から骨盤を撮影した際の実効線量)は、胸部CTよりも多い。また造影剤を投与する造影CTでは、まず単純CTを実施した後、造影CTを撮影するので、単純CTの 2 倍の被ばく量になる。

さらにCT装置が進歩し、ごく短時間に頭から足まで全身を一度に撮影することも可能となった。撮影する範囲が広くなると、撮影範囲に比例してそれだけ患者の受ける線量は増えることになる。

平成28年10月、厚生労働省からNational Data Baseとして画像診断の検査件数が初めて公表され、検査数を正確に把握できるようになった。その資料によると、胸部や骨などの一般X線撮影が年間約1億3千万件に達する。平均して全国民が年1回一般X線撮影を受けている計算になる。CT撮影は年間約3千万件で、国民4人にひとりがCT検査を受けていることになる。CT検査数は一般X線撮影の1/4と検査件数

<sup>\*</sup> Keigo ENDO 京都医療科学大学 学長





図1 身の回りの放射線

(環境省 放射線による健康影響に関する統一的な資料 上巻 放射線の基礎知識と健康影響 平成29年度版)

は少ないが、国民の受ける線量はCTの方がはるかに多い。なおMRIの検査数は、年間約1千5百万件とCTの約半分の検査数である。

わが国のCT装置数は世界で最も多いことが知られており、2013年の資料によると日本では人口100万人あたり101.3台のCT装置が稼働しているのに対し、米国では41.5台、英国ではわずか7.9台とされている。しかし、CT検査数は米国では年間7千万件とわが国の2倍を超えており、人口補正すると米国と日本が世界の被ばく大国とも言えよう。

わが国のCT装置数は多いが、CT装置1台あたりの検査件数は諸外国に比し少ない。これはわが国では開業医や小さい病院でも低価格のCT装置を備えているためで、わが国独特の医療制度、診療報酬制度などを反映したものと思われる。ただCT装置台数、CT検査数が多いことは、一概に悪いことではない。すぐ近くの病院でCT検査を容易に、安価な費用で受けることができるという恵まれた医療環境は、国民にとっては便利で好都合で、わが国の長寿社会に貢献しているという一面もある。

米国でCTによる放射線被ばくが社会問題になったのは、2009年から2010年にかけてカリフォルニア州のある一流病院において発生した医療事故がきっかけである。CTを使って脳の

血流検査を行った際、放射線技師の操作ミスが原因で、CTの過剰照射により頭部に4グレイもの照射線量を来した結果、200人余りの患者の頭部に、CT撮影部位に一致して線状の脱毛を生じるという衝撃的な医療事故が起こった。その後、米国カリフォルニア州ではCT線量の記録などが義務化されることとなった。

#### Q3 CT検査を受けるとがんが増えるか

[A3] 「放射線は発がん物質である」ことに異論はない。しかし、単純X線やCTのような低い線量でも発がんを生じるか否か、100~200ミリシーベルト以下の低線量放射線でがんが増えるかどうか、これまで多くの研究が行われているが、現在に至るも結論が出ていない。

英国の有名な医学雑誌Lancet誌に「日本では癌の3.2%はCT検査によるものである」という衝撃的な論文が発表され、その引用記事が読売新聞1面トップに紹介された。また「放射線被ばく CT検査でがんになる」(近藤誠著)など、CTによる発がん増加が懸念されている。福島原発事故後の住民、特に18歳以下の子供への放射線の健康影響について議論になっているのと似ているのかもしれない。

英国における研究では、子供の頃に頭部 CT検査を受けると、脳腫瘍と白血病が増え たという(文献 1)。2つともまれな腫瘍で、CT検査1万例についてそれぞれ1例の増加である。英国はわが国よりもはるかにCT装置数が少ない国なので、頭部CT検査を受ける子供は、何らかの基礎疾患あるいは素因を有する可能性も否定できない。今後の研究が待たれる。

# ○4 医療被ばくの軽減のための正当化と最適化とは

A4 放射線被ばくの低減には、正当化と最適 化と線量限度の3つがポイントとなる。放射 線作業従事者と異なり、医療被ばくには線量 限度が設けられていない。

正当化とは、放射線を利用すべきかどうか判断することである。CTがどうしても必要な患者のみCT検査を行うことなので、検査を指示する内科医・外科医や小児科医など主治医の役割が大きい。どの病気にはどの画像診断が適しているというガイドラインは、世界各国で数多く公表されており、できる限り主治医はガイドラインに従って検査を指示する。しかし、現実にはガイドライン通りの診療は容易ではない。時に「絵に描いた餅」と言われたりする。

例えば、交通事故あるいは頭部打撲で来院した子供が、症状が軽くても、患者本人、家族が強く頭部CTの撮影を希望した場合に、主治医が「CT撮影は不要だ」と、簡単に断れるだろうか。頭部CTに代えて、放射線被ばくの無い頭部MRIを撮影できればよいのだが、MRI検査は予約で満杯のこともあり、また小児の頭部MRI撮影には麻酔が必要なこともある。

従って、検査の正当化には医療人への教育はもちろんのこと、一般公衆への教育も必要となる。システム上でも、検査をオーダーすると、その検査が本当に必要か否かの質問がコンピューター画面に表示され、もう一度チェックしなければならないようにしている病院もあり、一定の効果を上げている。

厚労省発表のNational Data Baseは、診療報酬支払いから得られた数値なのでこれまでで最も正確な資料となる。CT検査数は平成26年度には年間2.815万件(うち外来検査1.909万件。

入院患者906万件)だったが、平成27年度は年間2,914万件(うち外来患者1,994万件。入院患者919万件)、平成28年度は年間2,964万件(うち外来患者2,023万件。入院患者940万件)に増加している。

特筆すべきは入院患者のCT検査数で、DPC (診断群分類包括評価制度)を導入した病院 (2003年に始まった診療報酬支払制度だが、現在ではほとんど全ての主要1,730病院が加入)では、入院患者にCT検査を行っても診療報酬の支払いは無く、ほとんど無料で940万件もの CT検査が行われていることである。つまり世間で言われているような「病院の金儲けのためのCT検査」ではない。入院患者のCTは、病院の赤字を承知で患者のために必要だとしてCT検査している訳で、いかにCTが現代医療に欠かせないかを示していよう。

CT検査数はわが国のみならず世界的にも増加の一途である。わが国でも年々確実にCT検査数が増えている(図2)。世界的にCTによる医療被ばくの低減が叫ばれているのも当然かもしれない。

最適化とはできるだけ少ない放射線量で、

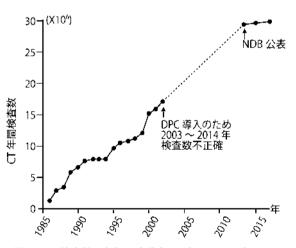


図 2 CT検査数の年毎の変化(2003年から2014年までは DPC制度のため検査数が不正確なので省略した)

わが国のCT検査数は、2000年から2016年の間に約2倍に増えた。西澤らは2000年のCT検査件数を年間3,600万件と推定し、わが国の放射線被ばく線量を求めた(文献2)。しかし、西澤らのデータは病院にアンケート調査を行って求めたもので、2000年のCT検査数は現在のほぼ半数の1,500万件程度だったと推定される。

(出典:総務省 統計局. 社会医療診療行為別調査及びNational Data Baseに基づき作成) 適切な診断ができる画像を得ることで、これ は診療放射線技師、放射線科医の責任で達成 することができる。次に述べるCTDIvol, DLP、 DRLという単語が最適化では使われる。

## Q5 CTDIvol, DLPとは何か

A5 CTDIvolはCTの線量指標として最も広く使われている。ボリュームCT Dose Indexの略で、その単位はミリグレイである。一方、DLPはDose Length Productの略で、CTDIvolに撮影された範囲を掛けて求められ、その単位はミリグレイ・cmとなる(文献3)。

例えば CTDIvolが15ミリグレイで、CT撮影範囲が80cmだとすると、DLPは1,200ミリグレイ・cmとなる。最近販売されているCT装置にはCTDIvol、DLPの表示が標準装備されており、その記録・保存が求められようとしている。このCTDIvolに照射された時界の組織加重係

このCTDIvolに照射された臓器の組織加重係数を掛けると、ミリシーベルトに換算され、実効線量を求めることができる。またWAZAARIという無料公開されているソフトを使うと、簡便にCT患者毎の実効線量を知ることができる(文献 4)。

## Q6 診断参考レベル(DRL)とは何か

A6CT線量の目安として、CTDIvol, DLPを指標とした診断参考レベル (DRL; Dose Reference Level)を使うと、最適化に役立つ。2015年6月関連学会・団体が合同で、わが国初の診断参考レベルが公表された。これは全国の主要712病院を対象にCT撮影の実態調査を行って得られた数値である (文献3、5)。

患者の体重、CT撮影した部位、CTDIvol, DLPを調査。頭部、胸部、腹部など撮影部位毎に、50kgから60kgの標準体重の患者のCTDIを求め、その75パーセンタイル値の線量をわが国の診断参考レベルとした(図3)。

もし自分の病院のCT線量が診断 参考レベルより高い場合には、もっ と線量を低くできないか、撮影条 件の変更を検討することになる。 著者の勤務していた群馬県では、 10年程前から県内の全ての病院を 対象にCT線量を毎年調査し、県内 で診断参考レベルを設けるととも

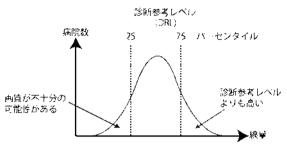


図3 診療参考レベルの求め方(文献5)

診断参考レベルは多くの病院のCT線量分布の75パーセンタイルの値に基づいて設定する。線量の高い病院と低い病院では、同じCT検査でも線量に10倍以上の開きがあることに注意。

に、自病院の線量と診断参考レベルとを一緒に送り返している。その結果、群馬県内の病院のCT線量が有意に低下したことより、診断参考レベル利用の有用性が明らかとなった(文献6)。

ただ、いたずらに線量が低くても、画質が 劣れば意味がない。画質と線量は相反する。 診断に適した画像をいかに少ない線量で撮影 するかが、放射線技師の技量といえるかもし れない。CT線量の低い病院では、画質が不十 分の可能性がないかどうか、検討することに なる。

わが国の診断参考レベルと欧米のものを比較し明らかとなったのは、頭部CTの線量が高かったことである(表1)。欧米では頭部CTのCTDIvolが、60あるいは75ミリグレイなのに対し、わが国では85ミリグレイと高い。急性期脳梗塞治療に血栓を溶かすrt-PA静注による血栓溶解療法が有用だが、発症4時間半以内にrt-PA静注しなければならない。またIVRの手法による血栓回収療法は発症6時間以内に実施することが勧められている。その結果、脳梗塞を疑われる超急性期の救急患者では、良い画質を求めて頭部CT線量が高くなるため、

表1 日本と欧米の診断参考レベル(DRL)の比較(文献5)

	日本 (2015)		ヨーロッパ (1999)		米国 (2005)
	CTDIvol*	DLP**	CTDIvol	DLP	$CTDI_{vol}$
頭部単純ルーチン	85	1350	60	1050	75
胸部1相	15	550	30	650	21
胸部~骨盤1相	18	1300			
上腹部~骨盤1相	20	1000	35	780	25

\* ミリグレイ \*\*ミリグレイ・cm

その他の患者でも頭部CT線量が高くなりやすいのではなかろうか。

## Q7 医療被ばく低減に向けた企業の取り組み

A7 CTによる医療被ばくを低減するには、CT装置製造メーカーの協力が不可欠である。CT装置はGE社、シーメンス社、フィリップス社の欧米3社とわが国の東芝(現キヤノンメディカルシステムズ社)、日立製作所の5社で、ほとんどの装置が製造販売されており、各社とも被ばく低減に向けた研究開発を加速している。例えばわが国で使用されているCT装置で最大のキヤノンは、「日本の医療被ばくを半減したい」と8年前からCT被ばく半減プロジェクトを行うなど、企業も懸命に活動しており、またそうしなければ欧米市場に参入できない状況となっている。

現在販売されているCT装置にはCTDIvol, DLP表示が標準装備されており、個々の患者が受ける線量を容易に知ることができる。ただし、装備されていない旧式のCT装置もまだ一部の病院で使われている。

患者の被ばく低減を目的に、最近のCT装置には自動露出機構が搭載されており、個人の体格差によって放射線量を自動的に調節できる。また画像再構成には逐次近似法が採用されるようになった。これらによって患者の受ける放射線被ばくの低減とCT画像の画質安定を高いレベルで実現している。

## |Q8| 医療被ばく低減に向けた国・学会の取り | 組み

A8 学会のガイドライン、診断参考レベルの利用は、CT検査の正当化、最適化に役立ち、不要な被ばくを減らすことができる。平成29年8月には日本学術会議から「CT被ばく低減に関する提言」が公表され、平成30年4月の診療報酬改定では、新しく「画像診断管理加算3」が設けられた(文献7)。わが国の医療では診療報酬を通しての管理が、最も実効性が高い。

画像診断管理加算3(3,000円/CT検査)の診療報酬を得るためには「関係学会(日本医学放射線学会)の定める指針に基づいて、適切な被ばく線量管理を行っていること。そ

の際、施設内の全てのCT検査の線量情報を電子的に記録し、患者単位及び検査プロトコル単位で集計・管理の上、被ばく線量の最適化を行っていること」が条件とされている。すでに日本医学放射線学会のホームページには認められた病院名が公表されている。

また厚生労働省は医療放射線による患者等の被ばくの低減を図ることを目的に、医療法施行規則を改正し各医療機関にCTの被ばく線量の記録を義務化することを検討している。医師に対しても不必要に放射線診療を行わないよう研修等を実施することになりそうである。

#### 参考文献 =

- Pearce MS, et al.Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. Lancet 2012;380:499-505.
- 2. 西澤かなえ、他. CT検査件数及びCT検査による集団実 効線量の推定. 日本医学放射線学会雑誌 2004;64:151-158.
- 3. 日本医学放射線学会 エックス線CT診断参考レベルQ&A 2015年 4 月
- 4. CT撮影による被ばく線量を評価するWEBシステム https://waza-ari.nirs.qst.go.jp/report.html
- 医療被ばく研究情報ネットワーク (J-RIME) http://www.radher.jp/J-RIME/report/ DRLkyotusiryou-2.pdf
- Fukushima Y, et al. Prefecture-wide multi-centre radiation dose survey as a useful tool for CT dose optimisation: report of Gunma radiation dose study. Radiat Prot Dosimetry 2015;167:519-24.
- 7. 日本学術会議 CT検査による医療被ばく低減に関する 提言 2017年8月3日

#### 著者プロフィール

昭和21年 香川県坂出市生まれ

医師、専門は放射線診断学、核医学

昭和45年 京都大学医学部卒業

昭和45年 京都大学医学部附属病院 放射線科 (研修医)

昭和47年 坂出回生病院(香川県)勤務 昭和53年 京都大学医学部核医学教室 助手

昭和53年 米国ハーバード大学医学部ベスイスラエル病院

留学

昭和56年 京都大学医学部核医学教室 講師、助教授を経て、 平成3年 群馬大学医学部核医学講座 教授、放射線部長

平成20年 群馬大学大学院医学系研究科放射線診断核医学 分野(名称変更)教授

平成23年 京都医療科学大学 学長、内閣官房原子力災害専 門家グループ、群馬大学 名誉教授 現在に至る

これまで第65回日本医学放射線学会 会長、日本医学放射 線学会 理事長、日本核医学会 理事長、日本放射線科専門医 会・医会 会長、JRC(日本ラジオロジー協会)代表理事を 歴任した。 

## ゲーテ大学訪問について



吉田 謙\*

2017年10月11-13日に、千代田テクノルの には低い線量しか付与されないのが大きな特

2017年10月11-13日に、千代田テクノルの 鶴明信氏とともに、ヨハン・ヴォルフガング・ ゲーテ大学フランクフルト・アム・マイン: Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main (以下、ゲーテ大学とし ます)に行ってきました。もちろんですが、 フランクフルト・アム・マイン (フランクフ ルト)にあって、ドイツの中央部やや西に位 置するヘッセン州の最大都市です。ルフト ハンザ航空が直行便を出しているので、飛行 機嫌いの私にも行きやすい街です。目的は、 日本で本当にたくさんのユーザーに愛され信 頼されてきたmicroSelectron(マイクロセレ クトロン)の後継機種であるFlexitron(フ レキシトロン)の見学でした。

マイクロセレクトロンに関わっている方には無用な説明ですが、両機器とも、高線量率小線源治療の装置です。高線量率小線源治療とは、主に癌患者さんに用いられる治療で、患部の中、周囲、表面に留置した治療用のアプリケータの中に、小さい粒状のアイソトープを挿入して疾患の近接から照射する治療です。外照射で用いるメガボルトレベルのX線と異なり、キロボルトレベルのガンマ線源(マイクロセレクトロンやフレキシトロンはイリジウム192を用いています)を使用するので、線源付近(腫瘍内もしくは腫瘍近傍)には高線量が投与され、少し離れた正常組織

には低い線量しか付与されないのが大きな特徴です。また、腫瘍内に直接留置されているため呼吸移動や心臓、腸管の動きに影響されないことから、最も3次元性の高い治療でもあります。関西では、総理大臣より有名な存在である間寛平さんが受けたことでちょっと知名度が上がりました。患者さんに説明するとき、「寛平ちゃんが受けた治療です」と言うと、患者さんの緊張感が一気にほぐれます。おそらくですが、「寛平ちゃんにできるんなら(失礼!)私にも/僕にもできるかな」みたいな事をお考えになられているようなのが面白く、僕の外来の楽しみになっています。

話を戻しますと、ゲーテ大学です。さて、ではなぜゲーテ大学なのか。それは、フレキシトロンの1号機が納入された大学だからです。我々は、現地で合流した通訳の根元氏と10月11日の朝、タクシーに乗り込みました。ゲーテ大学は、全学部を入れるとものすごく広いのですが、医学部のあるNiederrad(ニーダーラット)は比較的中央駅に近く、車で15分ほどで行けます。各診療科でビルがいくつも分かれていて、日本の大学病院のイメージと全く違います。一つ一つのビルに移動しなければいけないのは患者さんにとっては大変かな、とは思いますが、一つの巨大ビルディングに多くの機能性を追求して診療科や検査部門をぎちぎちに詰め込んだ日本式と違う、

<sup>\*</sup> Ken YOSHIDA 大阪医科大学 放射線医学教室 講師・診療准教授

良い意味での不合理性がヨーロッパらしくて嫌な感じはしません。放射線治療科はビルディングナンバー14B(根元氏の滑らかなドイツ語でフィアツェーンベーと発音するのが格好良くて、先月行った折には思い切り真似して発音していました)になります(図1)。

まずは、小線源治療のチーフである親友の Nikolaos Tselis先生(**図2**)と恒例のハグを し、彼の部屋に荷物を置かせてもらってから 朝のカンファレンスに向かいます。

そこでは、主任教授のRödel教授に再会のご挨拶をし、その後始まったカンファレンスに参加して、(ドイツ語なのでほとんど分かりませんが)治療患者さんのプレゼンテー



図 1 ゲーテ大学放射線治療科(ビルディング14)



図2 ゲーテ大学の小線源治療のチーフである Tselis先生。タトュースリーブ(遠目には一見 タトゥーに見える布地です)をつけておどけて います。

ションを聞きました。

その後は、ちょっとリラックスです。はっきり覚えていませんが、多分コーヒーを飲んだり、久しぶりに会うスタッフの皆さんに挨拶したり、鶴氏、根元氏と「あの時、あの人何て言った(英語、ドイツ語なので)の? |等々。

それから、小線源治療を見学です。ヨーロッ パはどこでもそうですが、小線源治療室に麻酔 の機械が完備しており、麻酔科の医師が(時 には手術室の看護師も) 来室して全身麻酔や 脊椎麻酔などをかけてくれます。日本では、 私が以前働いていた国立病院機構 大阪医療 センターが例外的に放射線治療科が独自の手 術室使用枠を持っていたくらいで、ほとんど の病院では放射線腫瘍医が自ら麻酔を行い、 同時に小線源治療のアプリケータ刺入術を 行っています。他の業務に振り回されて自分 の本業に打ち込めないという事は、どのよう な職種の方でもわかっていただけるのではな いかと思うのですが、集中がそがれるもの です。ですから、麻酔科医がわざわざ来診し てくれて、その処置の最後まで麻酔業務をプ ロフェッショナルとして対応してくれるシス テムを大変うらやましく感じました。

その後12日までの2日間で、小線源治療の4例(子宮体癌の術後腔内照射、腎細胞癌の鼠径リンパ節転移の組織内照射、食道癌の腔内照射、子宮頸癌の腔内照射)を見学しました。アプリケータ留置・治療計画・照射までの一連の流れを追うことができました。アプリケータを刺入するのに、超音波をガイにしたり、CTでモニターしたり、自由いではしながら刺入できるのがうらやましいです。CTも診療放射線技師が適切な範囲を適切にスキャンして、画像が出てくるまでの時間にスキャンして、画像が出てくるまでの時間にストレスがありません。サポートの若い先生(Tselis先生もその先生も同じギリシャ系ドイツ人なので、気心が知れています。ただ、英語、ドイツ語にギリシャ語も混じるので、

これはさすがの根元氏も翻訳できません)ともスムーズに打ち合わせて微調整を開始できます。看護師も、状況の変化に合わせててきぱきと器具や薬液を出してくるので時間のロスが少ないです。治療計画も、医学物理士が専任で行っています。物理士の叩き台のプランもかなり良いものですが、それを妥協なく納得いくところまで放射線腫瘍医が調整していきます。その過程はとても面白く退屈しません。

疾患のなかでは、鼠径リンパ節転移の刺入(図3)が面白かったです。厚みがある腫瘍であったので多平面の重層的な刺入になるのは分かっていたことですが、ある列は左右方向から、ある列は頭尾方向から、臨機応変にアプリケータを留置するのが素晴らしいです。

日本では、小線源治療の専任でない診療放射線技師が治療計画をすることが多いため、治療計画画像からアプリケータを読み込むのが大変にならないように、一つの方向から統一して刺入することが多いのですが、医学物理士が事もなげにアプリケータを一本一本計画装置に読み込み、慣れた手つきで計画していきます。スムーズで冗長感がなく、あっという間に叩き台の計画を仕上げて腫瘍医にバトンタッチする姿に大変な感銘を受けました。そもそも、日本では骨盤・鼠径領域のリンパ

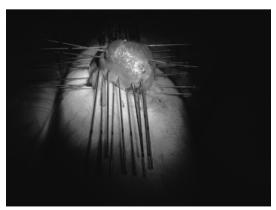


図3 鼠径リンパ節転移に対する組織内刺入

節転移への組織内照射は殆ど行われていません。6月の小線源治療部会で順天堂大学の 久能木先生がかなり深部の骨盤リンパ節転移 への組織内照射の経験を報告されていました が、ようやく日本にも若い世代による小線源 治療のブレークスルーが始まったようで大変 嬉しい思いです。

また、フレキシトロンの保管方法も見学しました。治療室の中に保管スペースが用意されていて、コロコロそこまで押していくと蓋のように扉をしめて鍵をかけられるようになっていました(図 4 a.b)。

現在日本で進められているテロ対策として の小線源治療装置の保管強化にも良いと思う のですが、予算的に単に鎖をつけるのと比べ て高くついてしまうのでおそらく普及しなさ



図4a フレキシトロンの保管庫(開扉時)



図4b フレキシトロンの保管庫(閉扉時)

そうなのが残念です。

海外の小線源治療を見たことのない方はご存知ないかもしれませんが、ドイツは法律の制限が日本ほど厳しくないため、一台のででの力口セレクトロンを用いて複数の治療室で照射を行うことが可能です。そのため、1つめの治療室で照射を行いながら、隣でアプがあると、マイクロセレクトロンを持ち出してからなのですが、日本のやり方に慣れていると最初がやおらマイクロセレクトロンの電源を抜いがやおらマイクロセレクトロンの電源を抜いて、ゴロと部屋の外に出してきます。線源が入っているのに!!!

それから、10月13日には線源交換が行われました。これは千代田テクノルの鶴氏が積極的に関与してElektaのスタッフ(Patrick氏)、医学物理士のジャネット氏の交換手技を見学していました(図5)。

鶴氏は一つ一つの工程を納得いくまで質問を繰り返し、道のない冬山を、一歩一歩雪を踏みしめながら頂上に向かっていくように学んでいました。初対面の外人さんに何回も同じ質問をするのは、なかなか勇気がいるものです。僕だったら気持ちが折れて、分からなくても分かったふりをしてしまいそうです。そんな鶴氏の真摯な姿勢のおかげで、線源交



図5 線源交換中のPatrick氏と、熱心に質問する鶴氏

換には無知な私もある程度理解することができました。Patrick氏も、辛抱強く丁寧に我々に指導してくださり、マニュアルを読んだだけでは分からないような細かい技術の工夫や便利な作業道具なども詳細に教えてくださいました。フレキシトロンは良くも悪くも細やかな構造なのだな、との印象でもありました。

午後には、ElektaのMarjolein氏とディスカッションを行いました。フレキシトロンのみならず、不均質補正のソフトウェアであるACEなどについても質疑を行いました。プロダクトマネジャーであるMajolein氏も非常に優秀で熱心な方で、分かる部分は適切に返答してくれるし、分からない部分についても後日誠意ある返事をしてくれました。今回の訪独では、お会いした全ての方々が真摯に対応してくださったことが印象深く残りました。

結論として、とても充実したフレキシト ロン見学になりました。これだけの理解を得 られたのは今回通訳を担当してくださった 根元氏の通訳によるところが大きく、感謝に 堪えない思いです。今まで、どんなにダメな 英語能力でも通訳を介さず直接接するのが良 い事なのだと思っていましたが、通訳の方の お力を借りてより良く理解すること、通訳の 方と気心を通わすことで、より深い質問がで きるようになったり、理解が早くなることで 次の質問時間を得ることができたりすること が分かりました。本当に勉強になりました。 根元氏とお別れする直前に、鶴氏と3人でド イツ料理を食べました(図6)。シュニッツェ ルやソーセージも食べたはずですが、 Apfelwein(リンゴワイン)が美味しく、その 酸味が別れの物寂しさ(図7)と重なって印 象に残っています。

さて、見学の結論として、フレキシトロンの日本導入には大きな問題はないと思われました。放射線障害防止法改正に伴うテロ対策もできるよう保管方法についても参考になっ



図 6 素晴らしいドイツ料理。右端の陶器に入っ ているのがApfelwein



図7 根元氏(右)と鶴氏(左)。フランクフルト 中央駅にて。

たと思われますが、この原稿を書いている時点で、既に千代田テクノルはかなり頑張ってくれています。あと、被曝事故については、日本では国民感情として非常にナーバスな状況なので、新しい機器の船出が順調に進むよう、鶴氏はじめ千代田テクノルのスタッフに全力を尽くしていただきたいと祈っております。もちろん、お願いするばかりでなく、我々病院側も、忙しい治療の日々に流されてうっかりミスを起こさないよう慎重に治療していきたいと思っております。

最後に個人的な思いですが、僕は、自分を 放射線科医とも思っておらず、放射線腫瘍医 とも思っていません。自分に肩書きをつける なら小線源腫瘍医だと思っています。それく らい小線源治療が好きですし、両親とも小線源治療をやっていて、小線源治療が両親を出会わせたこともあり、小線源治療をやるために生まれてきたとさえ思っています。そんな僕の今までの医師人生の殆ど全てと言っても過言でないマイクロセレクトロンが引退するのは非常に残念で、世界最後の1台を自分があります。でも、せっかく世界1台目のゲーテ大学の機器と出会ったという縁もあります、日本で早いうちからフレキシトロンを用いて患者さんのお役に立ちたいという思いもあります。

複雑な心境ですが、小線源治療という最高 の治療に携わることができ、千代田テクノルと いう良くも悪くも働くスタッフの顔が見える会 社さんともお付き合いさせていただけることに は変わりがないので、微力ではありますが、で きることを一生懸命やっていきたいと思います。 今回はこのような機会をいただきありがとうご ざいました。へたくそな文章ですし随分閉口 されたと思いますが、最後まで読んでいただ いた方には深謝したく存じます。

#### 著者プロフィール

昭和45年生まれ(愛媛県松山市)。父親(放 射線腫瘍医)の異動に伴い、芦屋、神戸、岡山、 などを転々。昭和57年愛光学園中等部入学。 昭和63年同高等部卒業および神戸大学医学部 入学。平成6年より大阪大学医学部附属病院 放射線科研修医となり、大阪府立成人病セン ター第五内科、大阪大学大学院医学系研究科 (放射線腫瘍学)を経て、平成12年より国立 大阪病院(現 国立病院機構 大阪医療セン ター) 放射線科 (現 放射線治療科) に勤務。 大阪医科大学放射線医学教室への異動が決ま りひた隠しにしていたが、訪ねてきた千代田 テクノルの凄腕幹部・丸山百合子氏が看護師 の不用意な一言を聞き漏らさなかったために ばれてしまう。平成24年より同大学講師、現 在、診療准教授。野球は日本ハムファン。昭 和56年に木田、真柴、江夏を擁しながら巨人 (ごとき) に負けたことが悔しく、巨人を破っ て日本一になるのが夢。

# 第19回固体線量計測国際会議 (SSD19)のご案内



浩志\* 保田

## 1. 固体線量計測国際会議(SSD)とは

広く「SSD」の愛称で呼ばれている固体線 量計測国際会議 (International Conference on Solid State Dosimetry) は、1965年に米国 スタンフォード大学で始まり、以後主に欧米 で3年ごとに開催されてきた由緒ある国際学 術集会です。

SSD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スペクトル等を正確に測 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報 告・討議を行います。会議で発表された研究 内容は、原著論文としての査読を経て、国際 学術誌の特集号として刊行されます。

本会議の前週には、大学院生や若手研究 者を主な対象にしたSSDサマースクール (Marko Moscovitch School) も開催されます。 線量評価分野で世界の第一線の専門家による 講義や演習を集中して受けることができ ます。

## 2. SSD19の日本開催について

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. http://www.ssd18.org/ssd18/index. html参照) におきまして、候補3カ国が次回会 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り日本(広島市) での2019年開催が決定しました。SSDのアジア 地域での開催は50年以上にわたる同会議の歴 史上初めてのことです。

本会議で得られる知見は、原子力施設や放 射線利用施設での安全管理、原発事故等で被 ばくを受けた人々の健康リスク評価、日本が リードしてきた放射線治療の効果判定などに役 立てることができ、我が国の研究者や技術者の みならず産業界にとってのメリットも非常に大 きいと言えます。

我が国において蓄積された科学技術やノウハウ をグローバルな規模で普及・展開させていく上で、 本会議は大きな足掛かりになると期待されます。

皆様、ぜひ、奮ってご参加ください。

## ∞∞∞∞∞∞ 会議の概要 ∞∞∞∞∞∞

[日 程] サマースクール 本会議

催場 「開 所]

サマースクール 本会議

2019年9月11日(水)~14日(土) 2019年9月15日(日)~20日(金)

広島大学広仁会館(広島市南区霞1-2) 広島国際会議場(広島市中区中島町1-5)

[参加者数※] 約300名(内訳:欧米豪他200名、アジア100名) ※過去の実績に基く見込み

山本 幸佳(大阪大学名誉教授/株式会社千代田テクノル)

[名 浩志 (広島大学原爆放射線医科学研究所) 「大 長] 保田 誠子 (広島大学) 「組 員] 暁、中島 覚、廣田

Eric Grant (放射線影響研究所)

[科 23ヶ国から32名 委

色]

[国内支援専門家] 21名以 F

[後 援 団 体] 欧州線量評価グループ、広島県、広島市、広島大学、 放射線影響研究所、日本放射線安全管理学会他

∞∞∞∞ 詳しくはホームページ(http://ssd19.org)をご覧ください。

<sup>\*</sup> Hiroshi YASUDA 広島大学原爆放射線医科学研究所 線量測定評価研究分野 教授/SSD19大会長

# Come to Hiroshima with a passion for radiation dosimetry Conference: 15-20 September 2019 Summer School: 11-14 September 2019 in Hiroshima City SSD19 19<sup>th</sup> International Conference on Solid State Dosimetry http://ssd19.org

#### 著者プロフィール

兵庫県神戸市生まれ。専門分野は環境放射線・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事故影響に係る報告書の作成にあたった。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

# 図説 量子ビーム・放射線利用 -第2回 半導体を創る-

大洗研究所 特別研究員 岡田 漱平



#### 1. はじめに

本シリーズの第1回では、そもそも「量子ビーム」とは何か、といった序論を述べた。 今回からは、いよいよ図を多用して、利用の 具体例を解説していく。最初に放射線利用の 経済規模が大きい半導体製造を取り上げる。

## 

半導体というのは、電気を通さない絶縁体と電気をよく通す金属との中間の物質である。

その中心となるのがシリコン(Si)である。 図1にSiの原子模型(原子核とそれを取り囲む電子の様子を模式的に描いたもの)を示す。 原子の内側(原子核に近い方)に電子が10個あり、外側の方に4個ある。原子の電気的な 性質や化学的な性質はこの外側の電子が受け 持っている。ついでに言うと、Siより電子が1 個少ない原子はアルミニウム $(A\ell)$ 、1個多い原子はリン(P)である。

Siの「外側の方の電子は4個」という性質には大きな意味がある。図2[a]に示すようにSi原子を立体的に隙間なく並べてみると(図では便宜上平面的に表現している)、四方の隣接する原子同士が電子を提供し合い、過不足なく電子を共有するため固く結合することができることがわかる。ただし、電子はすべて共有物になっているので自由に動けず、このままでは電気を運ぶ担い手(キャリアという)がいない。あまり純粋すぎると融通が利かないのだ。

## 3. チョイ悪(不純物)が役に立つ

いま純粋なSi結晶にP原子を紛れ込ませた 場合を考える。P原子の外側の電子は5個 だったから、P原子1個あたり1個ずつ電子 が余る(図2[b])。この余った電子は自由

に動けるので電気を運ぶことができる(これをN型半導体と呼ぶ)。このように紛れ込んだ原子のことを「不純物」というが、「不純」と呼ぶには可哀想なくらい役に立っているのだ。

ただし、ものには限度というものがあり、不純物が多すぎては駄目である。Si原子100万~1,000万個に対して1個くらいの割合が良い。極悪非道までは行かない「チョイ悪」程度が愛嬌があるのだ。

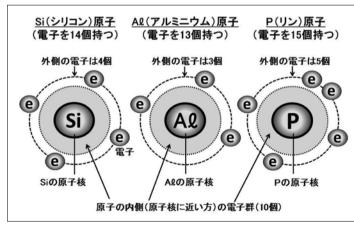


図1 シリコン、アルミニウム、リンの原子模型

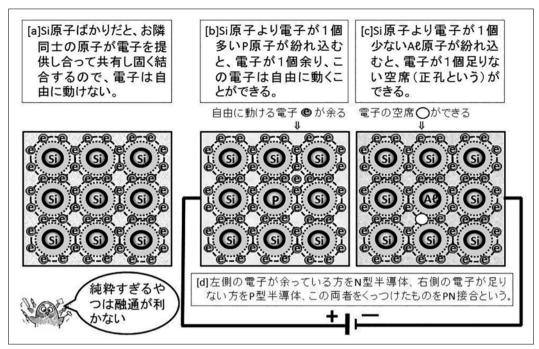


図2 純粋なSi結晶とそれにP原子及びAl原子を紛れ込ませた結晶の原子配列と電子の様子

## 4. 電気の流れ:まるで金融の世界

次に、Siに比べて電子が1個少ないAℓ原子を紛れ込ませた場合を考える(図2[c])。このときは電子が1個足りない空席ができる(「正孔」と呼んでいる)。正孔があると、隣のSi原子から電子を1個借りてきて穴埋めをするということが起こる。電子を現金にたとえると借金のようなものだ。すると今度は貸主のSi原子の

電子が足りなくなるのでさらに隣から 借金をする。これが繰り返されると、 実際は右から左に電子が渡されてい るのだが、まるで正の電荷を持った 正孔が左から右に動いているように 見える。このようにして、電子が足り ない場合も電気が運ばれるのである。 借用証が商品として流通する金融の 世界のようだ。

以上のように正孔が電気を運ぶ場合、これをP型半導体と呼んでいる。 P型とN型をいろいろ組み合わせるこ とによって、我々の周囲を埋め尽くしている半 導体製品ができるのである。

## 5. どうやって不純物を導入するのか ーイオン注入法一

半導体を機能させるには不純物を紛れ込ませる(「ドープする」という)必要のあることがわかった。このためには主として量子ビームが

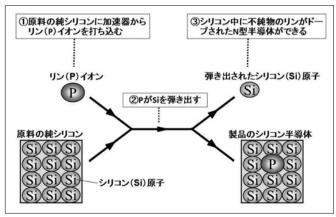


図3 イオン注入法によるドーピング

使われる。その代表的な方法である「イオン注入法」を図3に示す。プロセスは以下の通り。 ①不純物であるPのイオンを加速器で加速し、 原料である純Siに打ち込む。②Pイオンは原料 中のSi原子を弾き出す。③弾き出されたSi原子 がもと居たところにPが収まる。このようにしてP原子がSi原子の群れの中に紛れ込むことが できるのである。これをドーピングと呼んでいる。

## 6. 量子ビーム利用の原理や方法を簡単な 図形で説明する

ーファインマン図形による統一的な理解ー

スを簡単な矢印の流れで表して いる。これをもっと一般化する と図4のようになる。このよう な図は、素粒子物理などの世界 では「ファインマン図形」とし て知られたものであるが、筆者 はこれをいろいろな量子ビーム 利用の原理や方法の説明に使っ ている。なにやら小難しそうに 思われるかも知れないが、以下 の通りルールはいたって単純で、 その割には情報量が多い。**①**横 方向は「時間の経過」、縦方向 は「空間の広がり」を表す。ま たプロセスの流れは矢印で表す。 ●最初に原因となる A と B が ある。これらは量子でもいいし、 原子や分子、あるいは材料でも よい。②AとBが出会う。破線 のマルで囲んだ部分を「頂点| と言い、必ず3本の線が出入り する。 3 中間状態を経由する。 **4** A'とB'として別れていく。 **⑤**最後に結果としてA'とB'が 残る(A'とB'もAとB同様い

ろいろな形をとり得る)。

## 7. 中性子ドーピング法

イオン注入法では加速器を用いるので、イオンの加速エネルギー、すなわち打ち込み深さには限度があるため比較的薄いデバイスの製造に向いている。厚い半導体材料をつくるには、物質の深くまで透過できる中性子の利用が向いている。これを中性子ドーピング法という(図5)。

**図4**と**図5**の対応を記すと、A:原子炉からの中性子、B:純Si(原料)、A':最終的に放出されるベータ線、B':PがドープされたN型半導体(製品)である。中間状態(②まあいろいろあって)ではガンマ線と反ニュート

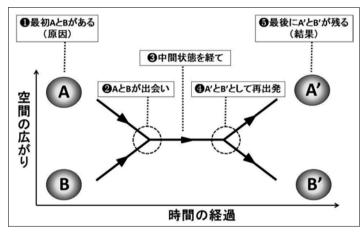


図4 量子ビーム利用の原理や方法を説明するファインマン図形

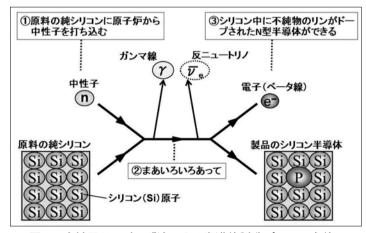


図 5 中性子ドーピング法による半導体製造プロセス全体の ファインマン図形

リノが放出されるが、これは本プロセスが次に 示す 2 段階で起こるためである。つまり、第 1 段階が図 6 に示す $^{30}$ Si( $n,\gamma$ ) $^{31}$ Si 反応、第 2 段階が図 7 に示す $^{31}$ Si のベータ崩壊である。

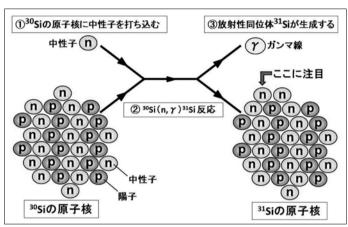


図 6 30Siの中性子吸収による31Si生成反応

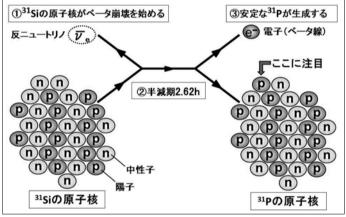


図7 <sup>31</sup>Siのベータ崩壊による<sup>31</sup>P生成反応

## ところで、ベータ崩壊はふつう、

 $n \rightarrow p + e + \overline{\nu}_e$ 

と表され、反ニュートリノ veは「原因(過去)」 側ではなく「結果(未来)」側にあるはずなのに、

図7では逆になっている。これは間違いではない。ふつう物質は空間的には前後左右上下方向に自由に動けるが、時間的には過去から、これは下方通行である。これは下のような「反物質」は、図になるで、反物質が「未来に向かって出ていく」場合には「過去に向かって出ていくように図を描く」というふうにルールを決めているわけである。

## 8. 便利なファインマン図形の活用

「反物質」なんて難しい言葉が出てきたが、ルールさえ飲み込んでしまえば、ファインマン図形は物理的なプロセスの根本を統一的に理解するうえでとても便利である。

本稿で述べてきたプロセスも、 図4と次の表1だけで説明できて しまうのだ。

表1 図4の各要素A、B、A'、B'と実際のプロセスとの対応表

応用分野	A	В	A'	B'	備考
半導体製造 (イオン注入法)	リン(P)などの不 純物のイオン(加 速器から)	シリコン(Si)など の半導体材料(原 材料)		P型、N型などの 半導体材料(製品)	不純物原子がリン(P)の 場合はN型、アルミニウ ム(Aℓ)やホウ素(B)の 場合はP型になる
半導体製造 (中性子ドーピン グ法) 【プロセス全体】	中性子(原子炉から)	シリコン(Si)など の半導体材料(原 材料)		不純物である リン(P)がドー プされたN型半 導体(製品)	2段階のプロセスから なる
【第1段階】	中性子	Si -30の原子核	ガンマ線	Si -31の原子核	<sup>30</sup> Si (n,γ) <sup>31</sup> Si 反応
【第2段階】	反ニュートリノ	Si -31の原子核	電子 (ベータ線)	P −31の原子核	Si -31のベータ崩壊 (半減期 2.62時間)

# 泉涓涓として・

## 原子力艦事始め (その7/完)

WAY.

原子力潜水艦ノーチラス(SSN-571<sup>i</sup>)と2番艦シーウルフ(SSN-575)が建設に入ったのは、それぞれ1952年、1953年であったが、翌1954年に建設計画に組み込まれたのは発電炉であった。当時、原子力委員会(AEC)は、海上艦用原子炉、プルトニウム生産炉、発電炉を検討していたが、1953年、新たに大統領に就任したアイゼンハワーは、発電炉を選んだ。原子力の平和利用(Atoms for Peace)を実現するシンボルである。

朝鮮戦争後の非常に厳しい財政状況であっても、潜水艦能力の向上は喫緊の課題であった。1955年には、初の量産型であるスケート級潜水艦のスケートとソードフィッシュが、1956年には同型のサーゴ、シードラゴンと初めて涙滴型船殻を採用したスキップジャック、レーダー哨戒潜水艦で原子炉2基搭載のトライトン、弾道ミサイル搭載潜水艦のハリバットが建設計画に組み込まれた。

原子力潜水艦は、さまざまな未踏の記録を作った。1958年8月のノーチラスによる北極点の通過、1959年3月のスケート(SSN-578)による北極点浮上、1960年5月のトライトン(SSRN/SSN-586)による83日9時間54分の世界一周潜航などである。内燃機関と違い給気が不要という原子炉の特徴が活きた。現在就役している原子力潜水艦は、攻撃型潜水艦(SSNs)53隻、巡航ミサイル搭載潜水艦(SSBNs)4隻、弾道ミサイル搭載潜水艦(SSBNs)14隻となっている。攻撃型では、2004年から投入され現在15隻就役中のヴァージニア級が、弾道ミサイル搭載では、現在開発中のコロンビア級が、それぞれ順次投入されることとなっている。

初の海上原子力艦である巡洋艦ロング・ビーチ (CGN-9)は、1961年9月に就役し、翌1962年10月には、駆逐艦ベインブリッジ (DLGN-25/後に CGN-25) が加わった。航空母艦に伴走し、また、敵艦を掃討するため高い航行能力が求められ、全部で9隻建造されたが、運用経費の高さから、冷戦終了後の1990年代にすべて廃艦となった。

航空母艦では、エンタープライズ (CVN-65) が、原子炉8基(2基1ユニットで4ユニット構成)

を搭載して1961年11月から2012年12月まで就役した。ニミッツ (CVN-68) は、1975年5月から就役している現役最古参。同型艦が9隻造られ、全部で10隻就航している。さらに、昨2017年7月には、最新鋭のジェラルド・R・フォード (CVN-78)が就役し、同型艦のジョン・F・ケネディとエンタープライズが建造中である。

原子力艦の健全性は、航行中ではこれまでに 衝突事故を除き潜水艦2隻しか失っていないと いう事実に現れている。1963年のスレッシャー (SSN-593) と1968年のスコーピオン (SSN-589) である。前者は、遭難当時、機関室で配管のろう 付けが破断したことによる浸水がもとで原子炉が 停止し、バラスト排水も不能で沈没したとされて いたが、事故から50年後に公開された音響データ を解析したブルース・ルールは、分電盤の故障で 主冷却ポンプが停止したことによる原子炉緊急停 止と圧縮空気配管内の氷結によるバラストからの 排水不能で沈没したとしている。スコーピオンに ついては、1993年に公表された事故調査報告では 投棄した魚雷が命中したこととされているが、や はり音響データを解析したルールは、バッテリー が原因で発生した2つの爆発が原因としている。

冷戦が終わり、かつて程投資できない情勢の中で、原子力推進という全ての面で卓越した技術・品質の水準を求められるシステムを、今後ともより向上する信頼性をもって展開できるだろうか。スペースシャトル・チャレンジャー号の事故をはじめ、宇宙開発が困難に直面したとき、原子力海軍は、常に手本として新しいシステムの設計、開発、運用に助言を与え、事故の克服と新たな挑戦に貢献してきた。90年代に著しく活動を縮小した影響が既存システムの維持の遅れと費用拡大に現れているとの指摘がある中で、どのように優位性を確保し続けられるだろうか。米国以外で原子力潜水艦を保有しているのは、ロシア、英国、フランス、中国、インドで、ブラジルが開発中とのことである。

i 米国の艦船番号は潜水艦、巡洋艦、航空母艦などの艦種で 通し番号が付されている。ノーチラスは571番目の潜水艦。

## 「FBNews」総合目次 その46 (No.493~504)

2018 1.1 No.493		[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	使用者変更のご依頼をされる際は・・・	19
長崎大学・川内村復興推進拠点の避難指示解除後の活動について…福島 芳子	2		
液体シンチレータ・フレキシブル放射線検出器の開発の勧め…野村 貴美	8	2018 7.1 No.499	
[泉涓涓として…] ませい (3.0.0.)	40	研究会「放射線検出器とその応用」33年の歩み佐々木慎一	1
原子力艦事始め (その3)	13	植物科学における放射性トレーサーイメージングの最前線 田野井慶太朗、河地 有木、古川 純	6
医療用サイクロトロン放射化領域の可視化の試み			0
	14	蝶と蛾の違い・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
[サービス部門からのお願い]			
ガラスバッジを使用しなかったのに報告書が送られてきた?!	19	"ACE GEAR NEO" リリース開始のご案内······	12
2018 2.1 No.494		[書評] 「放射線計測学」·····	17
IAEA 新放射線安全指針 DS453		ガラスバッジWebサービスのご紹介	18
(Occupational Radiation Protection) に関する		(サービス部門からのお願い)	
国際ワークショップの大洗開催について鈴木 敏和		平成29年度「個人線量管理票」のお届けについて	19
日本保健物理学会若手研究会の活動紹介	6	2010 21 11 500	
[泉涓涓として…] 原子力艦事始め(その4)青山 伸	11	2018 8.1 No.500	
原子核乾板を用いた宇宙線ミューオンラジオグラフィ森島 邦博		今井 裕·甲斐 倫明·草間 朋子·佐々木康人·杉浦 紳之	
ガラスバッジWebサービスのご紹介	17	高橋 明男・高橋 浩之・中澤 靖夫・畑澤 順・松田 尚樹	
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	_ 山下   孝	1
(サービス部門からのお願い)	10	[こころの散歩道]	40
変更連絡方法についてご協力お願いします	19	1 年の月の話中村 尚司 「JIS Z 4345:2017 X・γ線及びβ線用受動形個人線量計測装置	10
2018 3.1 No.495		並びに環境線量計測装置」に対応したガラスリング改良のご紹介	11
福島第一事故 7 周年に思うこと	1	図説 量子ビーム・放射線利用-第1回 序論岡田 漱平	
放射線事故後の迅速評価における緊急時線量測定技術の最新動向		平成30年度放射線安全取扱部会年次大会(第59回放射線管理研修会)	18
~第13回放射線モニタリングに係る		(サービス部門からのお願い)	40
国際ワークショップにおけるパネルディスカッション〜 	6	ガラスバッジの装着について	19
「第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ	O	2018 9.1 No.501	
(The 13th International Workshop on Ionizing Radiation		ICRP/ICRUによる新しい実用量の提案について黒澤 忠弘	1
Monitoring: IWIRM13)」が開催されました!		平成29年度 個人線量の実態	6
表面汚染サーベイメータのJCSS取得に向けて・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	14	第13回テクノル技術情報セミナーを開催いたしました	
ラディエーションモニタリングセンター青森 開設紹介 第三種放射線取扱主任者講習会	1/ 10	公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ 保物セミナー2018開催のご案内	
「サービス部門からのお願い」	10	「サービス部門からのお願い」	10
ご使用者の変更連絡はお早めに	19	測定依頼票が見当たらないときは…?	19
<b>2018 4.1 No.496</b>   放射線治療用線量計の分離校正清水 森人	1	2018 10.1 No.502    「原子力の日」に思う   高橋 浩之	-1
「施設訪問記⑩」 - 公益社団法人 日本アイソトープ協会 川崎技術開発センターの巻 -		がん化学放射線治療新規RNAバイオマーカー確立における	'
(施設訪問記⑩) - 公益社団法人日本アイソトーブ協会川崎技術開発センターの巻 - 新天地から更なる安定供給へ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6	新知見 (RNA: ribonucleic acid) ·························宫川 隆	
【泉涓涓として…】		医療で用いられる放射線の適切な利用に向けて山口 一郎	8
原子力艦事始め(その5) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11	放射線利用振興協会創立50周年を迎えて ・・・・・・・・・・・大森 和之	
- 版社 山 法 人 日本原 ナ 川 佳 未 励 云 量子 放射線 利用 普 及 連絡 協議 会 の 活動 紹介 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	12	医療放射線管理講習会の開催について 医療放射線防護連絡協議会年次大会	10
放射線審議会	12	「高橋信次記念講演・古賀祐彦記念シンポジウム」	18
「放射線防護の基本的考え方の整理-放射線審議会の対応-」をとりまとめ …	17	[サービス部門からのお願い]	
放射線安全技術講習会		ご相談ください!!!	19
第61回放射線取扱主任者試験受験対策セミナー・開催のお知らせ 「2018国際医用画像総合展出展」のご案内	1/ 1Ω	2018 11.1 No.503	
「サービス部門からのお願い〕		放射線個人線量測定機関に対する認定制度小□ 靖弘	1
4月1日はガラスバッジ、ガラスリングの交換日です。	19	[泉涓涓として…]	
			6
<b>2018 5.1 No.497</b>		(施設紹介) 放射線に対する熱い想いを持ち地域社会に貢献している	
~ 施設・画像評価から見た平均乳腺線量の推移 ~堀田 勝平	1	医療法人双峰会 大久保歯科医院を訪ねて	7
放射線防護はFUKUSHIMAから何を学ぶか・・・・・・・・多田順一郎		平成29年度 一人平均年間被ばく実効線量0.20ミリシーベルト…中村 尚司	
原子力機構 大洗研究開発センター(北地区)燃料研究棟における		平成29年度 年齢・性別個人線量の実態	12
プルトニウム被ばく事故について原子力規制委員会が評価と		軟X線向け高輝度3GeV級放射光源プロジェクト始動	
今後の対応をとりまとめ		公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ FBNews 新編集委員のご紹介	18 19
ガラスバッジ測定6,000万件を達成しました!		「サービス部門からのお願い」	10
2018年 製薬放射線研修会(第20回製薬放射線コンファレンス総会)		返信用封筒はセロハンテープで確実に封をしてください	19
[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	2018 12.1 No.504 エックフ線CTによる医療体げくとその低速に向けて	4
2018 6.1 No.498		エックス線CTによる医療被ばくとその低減に向けて遠藤 啓吾 ゲーテ大学訪問について	6
株式会社千代田テクノル創立60周年		第19回固体線量計測国際会議 (SSD19) のご案内保田 浩志	
-感謝のことば細田 敏和・山口 和彦		図説 量子ビーム・放射線利用-第2回 半導体を創る岡田 漱平	
個人線量測定サービス・60年間の足跡 松本 進		[泉涓涓として···] ませい (スのス (ウ)) ませい (カ	۷-
3.11を振り返って… 各事業部門から			17
ラディエーションモニタリングセンター青森 稼働開始福本 善巳 韓国における放射線安全管理		「FBNews」総合目次 その46 (No.493~504) ·······	
ファイエーションヤニタリングセンター育森 稼働開始 値本 善ビ 韓国における放射線安全管理 一個人被ば、線量モニタリングの現状 — 雪井 忠廣 平成30年度 放射線取扱主任者試験施行要領	12 14		18

## 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して、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ときは、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、最寄りの弊社営業所にご相談 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ときは、測定依頼票の通信蘭に「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

- ●9月6日深夜3時7分、北海道を襲った最大震度 7の地震は、道内全域をブラックアウット (停電) に陥れた。295万戸が停電し、発生から丸1日たっ ても約131万戸しか電源は回復しなかった。震源地 に近い苦東厚真火力発電所(165万キロワット)が 大きなダメージを受け、一時停止せざるを得なかっ たからである。この火力だけで道内の電力の約半 分を担っていた。泊原子力発電所(泊村)の3基 の原子炉の総出力は207万キロワット。今回の地震 で泊村の最大震度は2であった。この震度2程度 の揺れでは、何ら影響を受けずに運転を続けてい たはずである。北海道電力の泊原発は、他の電力 各社のPWRと歩調を合わせるかのように新規制基 準に合わせるべく追加的な安全対策を進めてきた。 ところが、2017年4月になって、規制委員会から泊 原発のある積丹半島西岸の海底に「活断層の存在 を否定できない」という判断が下された。北海道電 力に「活断層がないことを証明してみよ」と迫って いるのである。事業者はその対応に苦慮し、多大 な労力と時間を費やすことを強いられているのが現 実である。
- ●京都医療科学大学の遠藤啓吾先生に「エックス線 CTによる医療被ばくとその低減に向けて」と題し て、Q&A形式で分かりやすく医療被ばくの現状と 取り組みについて解説いただいた。診断参考レベル とは何か、など分かりやすく書かれている。
- ●大阪医科大学の吉田 謙先生には、「ゲーテ大学訪問について」と題して、マイクロセレクトロンの後継機種であるフレキシトロンの1号機が納入された大学の訪問記をお願いした。小線源治療に、放射線科医と麻酔科医、医学物理士、看護師が一体となって協力しているドイツの実態を紹介している。
- ●広島大学の保田浩志先生には、来年9月に開催される第19回固体線量計測国際会議のご案内をいただいた。本会議は、1965年に始まり、日本(広島)では、初めての開催で、研究者や技術者に大きなメリットになると期待される。
- ●大洗研究所の岡田漱平アドバイザーに、「図説量子 ビーム・放射線利用-第2回半導体を創る-」をお 願いした。イオン注入法、中性子ドーピング法をファ インマン図形を用いて分かりやすく解説している。

(M.K.)

## FBNews No.504

発行日/平成30年12月1日 発行人/山口和彦

編集委員/今井盟 新田浩 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 片桐和真 小口靖弘 髙橋英典 和田卓久 発行所/株式会社千代田テクノル

所在地/電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/株式会社テクノルサポートシステム