

- トップコラム／量子科学技術研究開発機構
放射線防護情報統合センター長 神田 玲子
- イッテルビウム光格子時計を用いた長期運転の実現と国際原子時の校正／
〔シリーズ2〕光格子時計の原理
- 水晶体の評価方法やそのガイドラインについて／〔その1〕
わが国の水晶体の等価線量限度に関する法令見直しに向けて
- お願い／コントロールバッジについて
- お知らせ／令和2年度 放射線安全取扱部会年次大会開催中止のご連絡
- 製品紹介／眼の水晶体被ばく線量測定〈ビジョンバッジ〉

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム
224



神田 玲子

進化のカギはダイバーシティ

放射線防護人材の不足は国際的な課題です。もちろん我が国も例外ではありません。10年以上も前から行政レベルでの議論も開始され、東電福島第一原発事故を経験してその重要性が社会的に認識されつつも、人材不足の深刻度は増す一方です。その理由として「放射線」や「原子力」という言葉を含む大学の学科や研究室が減ったから、という方もいます。それでは放射線防護人材というのは、どのくらい「放射線」や「原子力」の研究室の出身者なのでしょう。

昨年、放射線防護に関連する4つの学会が会員に対して共同のアンケート調査を実施しました。目的は、放射線防護関連人材の育成や確保に向けて、実態や意識を把握するためです。専門分野や業務内容、資格やバックグラウンドなどを伺いました。比較的研究者人口が多い「放射線実験生物学」「放射線計測・線量評価」分野では、学生時代に放射線研究歴がある方は大体6割程度でした。ということは、4割の会員は社会人になってから放射線業界に入ってきた方々です。

実は、私自身も放射線とは無関係の分野からの転入組です。30年も前のことになりますが、大学院での研究テーマは「なぜサケやウナギは川でも海でも生きられるのか」でした。魚の体液の塩分濃度は、ほ乳類同様、0.9%の食塩水と等張ですが、淡水でも水ぶくれすることなく生きられるのにはプロラクチンというホルモンが関与しているからです。これは哺乳類では、母乳を作るホルモンです。ホルモンの進化がテーマです、という聞きえがいますが、実際に私がしたことといえば、毎日ウナギ屋さんにいらなくなった頭だけをもらいに行き、合計5000匹の頭から米粒より小さい脳下垂体を集め、ホルモンを精製するなど、極めて泥

臭い研究でした。血液中や脳下垂体中のホルモンを測定するのにRIを使っていましたが、正直、放射線は怖くて嫌いでした。しばらく民間の研究所に籍を置いたのち、公務員試験を受けて、放射線医学総合研究所に転職し、30年近く放射線の業界にいます。しかし、未だに「転入組」だという自覚があるところを見ると、研究者のライフサイクルにも「刷り込み」の時期があるのかもしれませんが。ただし転入組であることをネガティブに思ったことは一度もありません。

例えばですが、放射線業界に入って7年目に、高線量被ばくの簡単な線量評価手法を開発しました。JCO事故の際にも使った手法です。放射線が形成したと思わしき異常染色体をすべてカウントする通常法と異なり、簡便法では、丸くなった異常染色体だけを数えますので、簡単ですし、新人でも分析できます。そういう「手抜き」方法を思いついたのも、門外漢だったからだと思っています。またリスクコミュニケーションの活動でも「放射線は怖いから嫌い」は十分理解でき、共感も極めて自然な感情でした。

さて、学会の共同調査の話に戻りますが、以上の経歴から、「学生時代の研究と業務の関係」の結果にも大変興味がありました。会員の専門性によって傾向は変わるのですが、「放射線実験生物学」や「放射線計測・線量評価」分野では、4～5割の方が学生時代の研究と今の業務には大いに関係がある、と回答していますが、2割の方はほとんど関係ないと回答しています。

このダイバーシティの適度なバランスが、放射線防護業界にはとても重要だと思っています。放射線防護人材の育成が喫緊の課題ですので、即戦力となる人材を量産したくなりますが、同じバックグラウンドで同じ考え方の研究者だらけになってしまうと、発想の転換や他分野との融合の機会が失われてしまいます。特に、新型コロナウイルスは社会のリスク観を大きく変えています。この新時代のリスク観にフィットするように放射線防護を進化させるために、人材のすそ野を広げ、ダイバーシティのバランスを保ちつつ、同じ目標を持つ次世代のプロフェッショナルを増やすお手伝いができればと思っています。

かんだ れいこ（量子科学技術研究開発機構
放射線防護情報統合センター長）

プロフィール●東京大学理学部生物学科動物学教室、同大学院修了。理学博士。住友金属工業(株)バイオメディカル事業部を経て放射線医学総合研究所に入所。2019年4月からは、高度被ばく医療センター副センター長。1995年日本放射線影響学会奨励賞、2014年日本保健物理学会論文賞、2016年日本放射線影響学会女性研究者顕彰を受賞。現在は、放射線審議会委員。

イッテルビウム光格子時計を用いた長期運転の実現と国際原子時の校正

(シリーズ2) 光格子時計の原理

産業技術総合研究所 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門 時間標準研究グループ 小林 拓実



1. 光格子時計の原理

光格子時計は光時計と呼ばれる原子時計の仲間です。これは前号で説明した通り、レーザー光の振動を数えて1秒を決める時計です。光時計を作る上で、まず考えなければならないのは原子の準備です。例えば、イッテルビウム原子の場合、常温では固体のため、約400℃に熱して蒸気になっています。このとき原子は音速で動いているので、これでは時計の基準として使うには不便です。というのも、ドップラー効果により、原子から見たレーザー光の周波数はずれてしまうからです。そのため、原子の動きを止めることが重要になるのですが、光時計では、**図1**に示すように

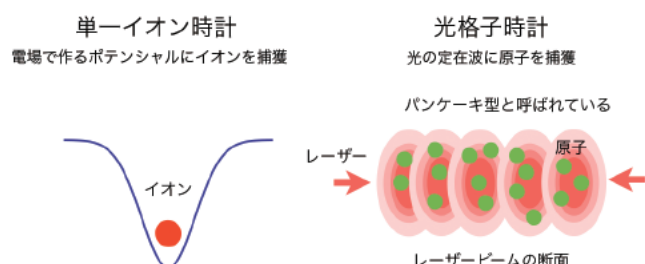


図1 2種類の光時計

主に2つの方法が研究されています。1つは、単一イオン時計と呼ばれるもので、1個のイオンを電場で作るポテンシャル中に捕獲する方法を採用しています。

もう1つが光格子時計です。光格子時計では、2本の対向するレーザーによって作られる定在波に原子を捕獲します。この定在波を光格子と呼びます。**図1**は、光格子の断面を表したのですが、パンケーキのような形をしています。パンケーキの中心に向かうにつれてレーザー強度が強くなっていますが、原子はレーザー強度の強い場所に引き寄せられる性質があります。光格子時計は、単一イオン時計と異なり、一度に多数(1000個程度)の原子を捕獲することが可能です。これは統計不確かさを短時間で小さくすることを可能にするため、光格子時計の大きな利点になります。

たくさんの原子を捕獲できる光格子は便利ですが、気をつけて扱わないと時計の精度を低下させます。通常、レーザー光の作る電場によって、原子の遷移周波数は変化することが知られており、「シュタルクシフト」と呼ばれています。シュタルクシフトは時計の基準を変化させる厄介なものです。幸いにも、光格子時計では、「魔法波長」と呼ばれる波長に、光格子のレーザーの波長を調整することで、シュタルクシフトを消すことができます。魔法波長は東京大学

の香取教授により提案、実証されたもので、光格子時計のコア技術になります。

2. 光格子時計のハードウェア

光格子時計ではこういった装置を使っているのか、具体的に説明します。**図2**に光格子時計の装置概略図を示します。光格子時計はレーザー、原子、光周波数コムで構成されていますが、ここでは原子を準備する装置について説明します。まず、音速で飛び回る原子をすぐに光格子に捕獲することは難しく、レーザー冷却と呼ばれる手法を用います。レーザー冷却とは、光の圧力を使って原子の動きを封じ込める方法で、短時間に原子を絶対零度付近まで冷やすことができます。原子オープンから蒸気で飛び出してくる原子に対し、399nmのレーザー光を照射、減速させ、さらに三方向から対向するレーザー光を照射して、原子を1ヶ所に集めて冷却します。イッテルビウム原子の場合、399nmと556nmの2色の光を使って冷却を行います。その後、魔法波長である759nmのレーザーを使って光格子を作り、原子を捕獲します。この段階で、振子に相当する578nmのレーザーを照射し、原子の共鳴周波数に振子の周期を合わせます。

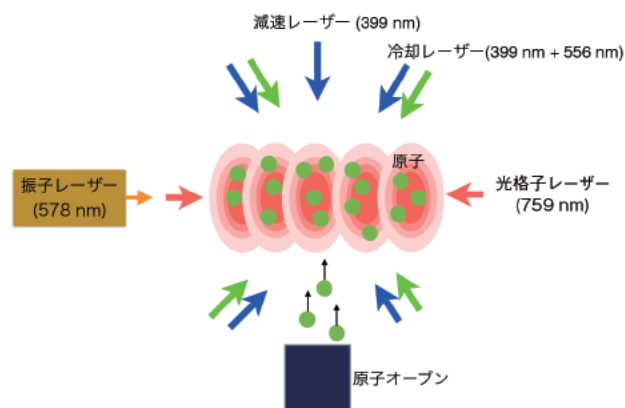


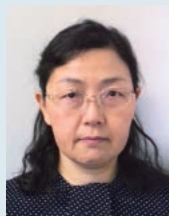
図2 イッテルビウム光格子時計装置概略図

このように、光格子時計を動かすには、多数のレーザーが必要になります。実は、これが光格子時計の長期連続運転を難しくしています。一般的に、レーザーを長期間安定に発振させ続けるのは容易ではありません。さらに、レーザー装置が複数台必要になりますので、人によるメンテナンスが絶えず必要になり、長期運転は大変です。一方で、現在の秒の定義であるセシウム原子時計は無人連続運転が可能な装置です。秒の定義改定に向けて、産業技術総合研究所では、光格子時計の長期間運転の実現を目標にしています。これは次号でお話する国際原子時の校正を行うために重要です。

水晶体の評価方法やそのガイドラインについて

〔その1〕わが国の水晶体の等価線量限度に関する 法令見直しに向けて

藤田医科大学 横山 須美



2011年4月に国際放射線防護委員会(ICRP)が組織反応に関する声明を発表し、眼の水晶体に対しては、吸収線量でのしきい線量が0.5Gyであると考えられることから、計画被ばく状況における職業被ばくについて、定められた5年間の

平均で20mSv/年、かつ、いずれの1年間においても50mSv/年を超えないとする眼の水晶体の等価線量限度を勧告した¹⁾。

わが国では、2016年1月に原子力規制委員会が、国際原子力機関(IAEA)の総合規制評価サービスを受け入れたが、その際に、明らかとなった課題の一つとして、IAEAの国際基本安全基準²⁾に取り入れられたICRPの新たな眼の水晶体の線量限度が取り入れられていないことを示した。この対応として、2017年、放射線審議会に眼の水晶体の放射線防護検討部会(水晶体部会)を設置、わが国の眼の水晶体の放射線防護基準等の検討を開始した。検討の結果、わが国の規制に、新たな眼の水晶体の等価線量限度を取り入れることは適切であること、個人の外部被ばくに係る測定において、水晶体の等価線量の算定については、1cm線量当量及び70μm線量当量に加えて3mm線量当量を位置づけ、算定を可能とすべきとした。また、現行法令では、定められていないが、頭頸部の測定では水晶体の等価線量を過少または過大評価となるおそれがある等の場合、眼の近傍での測定を追加してもよいとした。さらに、医療分野の事業者による放射線防護の最適化の取り組みが円滑に進むように関連学会によってガイドラインが策定されることを期待するとした。2018年3月、放射線審議会は、関係行政機関に対して、水晶体部会がとりまとめた「眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について」³⁾を参考にして所要の措置を講ずるよう具申した。これを踏まえ、2019年12月、関係行政機関(一部機関を除く)は、放射線審議会に眼の水晶体の線量限度の変更に係る諮問を行い、一部、線量管理の徹底等の付帯条件がついたものの、改正案は妥当である旨の答申を得た。厚生労働省医政局は、2020年4月1日に「医療法施行規則の一部を改正する省令等の公布について」⁴⁾の文書を各都道府県知事等に対して発出し、眼の水晶体の線量限度に係る改正法令の公布と2021年4月1日からの施行を通知した。当該法令では、外部被ばくによる線量の測定に対して、実効線量及び等価線量の別に応じて、1cm線量当量と70μm線量当量の他に

3mm線量当量を使用可能とすることについて、2021年4月1日から施行することとした。一方、「放射線診療従事者等のうち、遮蔽その他の適切な放射線防護措置を講じてもおおその眼の水晶体に受ける等価線量が5年間につき100mSvを超えるおそれのある医師であって、その行う診療に高度の専門的な知識経験を必要とし、かつ、そのために後任者を容易に得ることができないもの(以下「経過措置対象医師」という)については、2021年4月1日から2023年3月31日までの間、眼の水晶体における等価線量限度を、1年間につき50mSvとする。」経過措置を設けた。なお、経過措置対象医師の特定及び対応すべき具体的な事項については追って発出予定の通知を参考とされたいとしているが、該当医師はかなり限定的となるであろう。

関連の研究の面では、原子力規制委員会が平成29年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業の重点テーマのひとつとして、「水晶体の等価線量限度の国内規制取入れ・運用のための研究」を設定した。この一環として、著者が主任研究者を務めた「原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか?～水晶体被ばくの実態から探る～」では、文献や実測による原子力発電所や原子力研究施設の水晶体等価線量の実態調査やファントム実験を実施するとともに、インターベンショナルラジオロジー(IVR)のスタッフをはじめ、一般X線撮影や歯科領域等のスタッフの水晶体等価線量の実測や空間線量分布、防護メガネの遮へい効果に関する実験や不均等被ばく管理に関するアンケート調査等を実施した。さらに、これらの結果を踏まえた水晶体の線量管理及び防護に関する提案を行った。

眼の水晶体の線量限度に係る法令改正も現実味を帯びてきた中、原子力規制委員会は、2019年度の放射線安全規制研究戦略的推進事業の重点テーマとして放射線規制関係法令の運用に係る共通的課題の調査研究を設定した。とりわけ重要な課題として、眼の水晶体の新たな等価線量限度の取り入れを挙げ、線量限度が円滑に運用されるためにはガイドラインの作成が喫緊の課題であるとされたのである。

〔参考文献〕

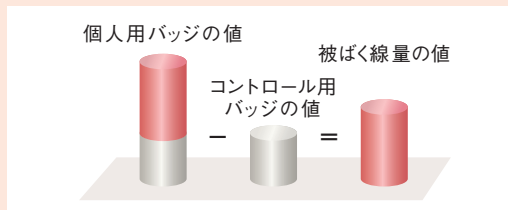
- 1) ICRP, ICRP Publication 118, Ann. ICRP 41(1/2), (2012).
- 2) IAEA, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3(2014).
- 3) 放射線審議会、眼の水晶体に係る放射線防護の在り方について(2018).
- 4) 厚生労働省、厚生労働省医政局、医療法施行規則の一部を改正する省令等の公布について、医政発0401第8号(令和2年4月1日)

お願い

コントロールバッジについて

(お問い合わせ: お客様サポートセンター)
Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8440

コントロールバッジは、個人用バッジの値から自然放射線等による影響分を差し引き、放射線業務に起因する被ばく線量を正確に算出するために用いるバッジです。



自然放射線は地域や季節などにより変動します。コントロールバッジは、必ず放射線発生装置やRIからの放射線の影響がない場所で保管してください。また、着用期間が終了したコントロールバッジは、同一着用期間の個人用バッジと一緒にご返却くださいますようお願い申し上げます。

※コントロールバッジが同一着用期間の個人用バッジと共に返却されなかった場合、当社基準に基づいて個人の被ばく線量を算出いたします。

お知らせ

令和2年度 放射線安全取扱部会年次大会 開催中止のご連絡

放射線安全取扱部会では、新型コロナウイルス感染拡大防止のためこれまでに収集した情報を基に、年次大会開催の可否について慎重に検討を重ねて参りました。

参加者の皆様および実行委員会委員の健康と安全を最優先に考慮した結果、今年度熊本県熊本市で開催予定であった年次大会を来年度へ延期することといたしました。

年次大会としては中止いたしますが、部会総会関係(事業報告・計画、各支部・各委員会報告等)および放射線安全管理技術の情報交換の場を確保するためのポスター発表等はwebでの開催を予定しております。詳細は日本アイソトープ協会ホームページにてご確認ください。
(<https://www.jrias.or.jp/seminar/cat11/>)

【連絡先】

(公社)日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会事務局
〒113-8941 東京都文京区本駒込2-28-45
Tel.03-5395-8081 Fax.03-5395-8053
E-mail gakujutsu@jrias.or.jp

製品紹介

眼の水晶体被ばく線量測定

ビジョンバッジ



ビジョンバッジは防護メガネによる遮へいの効果を反映した眼の水晶体の3mm線量当量を測定するために開発された個人線量計です。検出素子にはリングバッジと同じTLDを採用しており、小型・軽量で視界を邪魔せず、防護メガネへの取付け・取外しを容易に行うことが可能です。

注) 新しい眼の水晶体の等価線量限度は、2021年4月から法令が施行されます。

ビジョンバッジサービスのお問い合わせ
営業課 Tel.029-839-3322

編集後記

最近、秋に鳴く虫が夏の時期から鳴き出します。何年前、どうせなら家でも聴こうと、息子と捕獲作戦を決行。鳴き声を頼りに場所を特定し、そおーっと近づき、みごと「アオマツムシ」を捕獲。ところが、生の葉っぱしか食べ

ないらしく、飼育は大変。しかも鳴き声はやかましく、夜中に目が覚めることもしばしば。翌年からは捕獲をやめようと思いましたが、この時期がくると息子に「また捕まえに行こう!」とニコニコ顔で誘われ、ついつい行ってしまいます。(H.K.)

8月のバッジデザイン



花火大会の掛け声と言えば、「たまや〜」「かざや〜」が有名ではないでしょうか。江戸時代、「鍵屋」が隅田川で花火を打ち上げていましたが、その後鍵屋から暖簾分けをした「玉屋」も加わり、見物客は気に入った方の屋号を呼ぶようになりました。花火見物でおなじみのかけ声はここから始まったようです。

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<https://www.nagase-landauer.co.jp>
E-mail: mail@nagase-landauer.co.jp

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は

本社 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8440
大阪 Tel.06-6535-2675 Fax.06-6541-0931

NLだより No.512
2020年(8月号)

毎月1日発行 発行部数: 40,200部

発行 長瀬ランダウア株式会社
〒300-2686
茨城県つくば市諏訪 C22 街区 1
の場 洋明