



Photo H.fukuda

## Index

生活の中の放射線利用 -工業利用-	伊藤 久義	1
〔施設訪問記〕日本医科大学千葉北総病院		7
「アジア原子力協力フォーラム」大臣級会合		
温暖化抑止の切り札-原子力発電の拡大を議論	町 末男	11
五感に訴えない放射線のニュースをオオトリの六感で捉えるカレント・トピックス		
反陽子の対消滅	鴻 知己	11
初級放射線教育講座①		
「場所の管理」	森 厚文	12
第3回 個人モニタリングに係る国際ワークショップが開催される!		17
〔加藤和明の放射線一口講義〕		
ファノ因子(その2)	加藤 和明	18
〔サービス部門からのご願い〕		
ご使用者登録時のご願い(英文字)		19

# 生活の中の放射線利用

## － 工業利用 －



伊藤 久義\*

### はじめに

放射線は医療、農業、工業等の幅広い分野で利用され、放射線を直接的、間接的に使ってつくられた製品や技術が広く普及し、今では私たちの暮らしの中に深く浸透しています。特に工業利用は、経済規模で見ると放射線利用全体の8割に当たるほど盛んに行われてきました。自動車を例に挙げると、ボディー鋼板、エンジン、ラジアルタイヤ、座席シート、ドア緩衝材、耐熱・耐油性電線、エアコン用断熱材、カーエレクトロニクス用半導体等、非常に多くの部品や部材が、放射線を加工や計測のツールとして使って作られているのです(図1)。本稿では、放射線の工業利用に的を絞って、使われている技術の概要を説明するとともに、私たちの生活にどう役立てられているかについて紹介します。

過力等の特長を活かして、検査・治療・分析技術として利用が広がっていきます。1897年のトムソンによる電子の発見後、1911年にラザフォードにより原子核が発見されると、原子核構造の究明を目指して加速器が発明されました。この1930年前後の数年で行われたコッククロフト・ウォルトン型、バン・デ・グラーフ型等の異なるタイプの加速器の発明は、放射線利用にも大きな影響を及ぼします。つまり、それまでのラジオアイソトープから発生する放射線の利用から、加速器でつくられるエネルギーや方向の揃った放射線が使えるようになり、応用の幅が格段に広がったのです。



図1 放射線を利用した自動車部品・部材

### 高分子の加工・改質への応用

放射線による高分子の加工・改質は、1952年にチャールスビーがポリエチレンの放射線橋かけを見出したことが契機となり大きく発展しました。橋かけ技術を用いて、高分子の放射線加工の研究開発が盛んに行われ、1957年には米国のベンチャー会社レイケム社が橋かけ電線の実用化に成功しました。日本では、1961年に住友電工が電力ケーブル、1966年に積水と東レがポリエチレン発泡体を実用化させています。その後、放射線橋かけに加え、グラフト重合等の技術開発も進み、ラジアルタイヤ、ボタン型電池用隔膜等の製品が産み出され、現在に至っています。

### 放射線利用のはじまり

振り返ると、放射線の利用が始められたのは100年以上も前になります。1895年のレントゲンによるX線発見の翌年には、X線の医療応用が開始されました。その後、放射線の強い透

実用上、最も盛んに行われているのが、放射線橋かけです。電子線やガンマ線等を高分子に当てると、分子間の結合が切れ、ラジカルと呼ばれる活性種が発生します。これらのラジカル同士が結合することを「橋かけ」といい、これ

\*Hisayoshi Ito (独)日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 環境・産業応用研究開発ユニット長

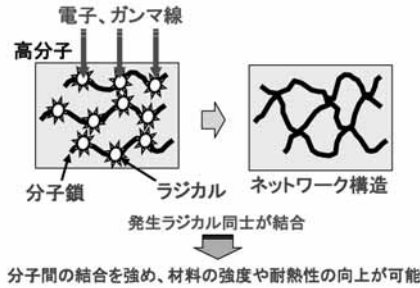


図2 放射線橋かけの作用

により分子間の網目（ネットワーク）構造が形成され、結合が強まり、材料の強度や耐熱性を向上できるのです（図2）。

橋かけで製造されている製品の代表例が、ラジアルタイヤ、耐熱性電線・ケーブル、発泡プラスチック、熱収縮チューブです。ラジアルタイヤは、電子線でゴムの粘着性を制御し、強度を上げて空気漏れ等を防止しており、国産タイヤの9割は放射線を用いて作られています。耐熱性電線類は、前述した自動車の他、テレビ、電子レンジ、冷蔵庫等の電気製品にも使用され、故障が少なく安心して使えるようになりました。発泡ポリエチレンや発泡ポリプロピレン等は、材料に発泡剤を混ぜて放射線を照射し、加熱して内部に細かい気泡を作ることで形成されています。このような発泡プラスチックは、自動車の天井断熱材、ソフトタイプのインストルメントパネル、ドアの緩衝材の他、風呂用マット、医薬品容器等の蓋のパッキン材、サーフボードに加え、冷暖房機の配管材、建築用断熱材等の産業資材として、私達の身近なところで応用されています。

変わった実用化の例としては、宇宙航空機材料やガスタービン材料に応用可能な炭化ケイ素（SiC）繊維が挙げられます。SiC繊維は、高強度、耐熱性、柔軟性を有するセラミック長繊維で、ポリカルボシランと呼ばれる有機ケイ素系高分子を原料として作られています。具体的には、原料を溶かして糸状にした後、不活性ガス中で電子線を照射し、橋かけにより不融化します。その後、非酸化雰囲気中で焼成すると、1700℃の耐熱性を持つSiC繊維ができていくのです（図3）。

放射線加工プロセスを検討する中で、これま



図3 超耐熱性炭化ケイ素繊維

で放射線で分解すると考えられてきた高分子でも、照射条件を適切に設定すると橋かけできることも見出されています。ポリビニルアルコールやカルボキシメチルセルロースが、これに該当します。ポリビニルアルコールは、水溶液にして電子線を照射すると橋かけしてハイドロゲルができます。このゲルは透明で保水性にも優れることから、傷の治癒に適した湿潤環境を維持し、新生皮膚の成長を促進する創傷被覆材（図4）として実用化されました。今では全国の病院で処方され、治療に役立てられています。

また、植物由来のカルボキシメチルセルロースも水と混合したペースト状で照射すると橋かけしてゲルになります。このゲルは、良好な保温性、優れた体圧分散性から床ずれ防止ができる手術用マットの充填材として実用化されました。また、生分解性を持つ上、大量の水を吸収することから、砂漠の緑化にも役立つ可能性があります。極く最近では、和紙の用途拡大を目指し、高い強度と収縮しにくい性質を持たせるため、カルボキシメチルセルロースゲルを用いた和紙の改質が進められています。

環境にやさしいと注目されているポリ乳酸の名前はご存知の方も多いと思いますが、ポリ乳酸の欠点は変形温度が60℃と低いことです。実用化を目指すためには、耐熱性を改善すること



図4 創傷被覆材

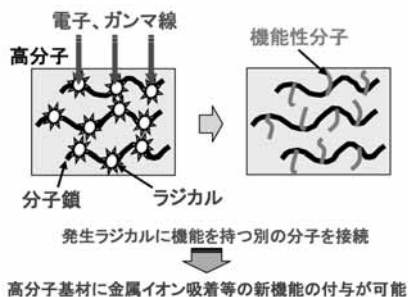


図5 放射線グラフト重合の作用

が不可欠です。このため、助剤を用いて放射線橋かけを行う研究が進められ、先ごろ200°Cでも熔融しないプラスチックが作製できるようになりました。今後更に研究開発を重ねることで、植物由来の材料で、従来の石油系プラスチックに代わる優れたプラスチックが開発されるものと期待されます。

放射線グラフト重合は、放射線照射で高分子内に発生したラジカルに機能を持つ別の分子を接続する技術で、基材高分子の形状や性質を保持したまま、導電性や金属イオン吸着等の新たな機能を付与できます。基材として、フィルム、繊維、布等の多様な形状のものを利用できるのも特徴です(図5)。

この技術を利用して実用化されているのが、ボタン型電池用隔膜です(図6)。これは、ポリエチレンフィルムを基材膜に用い、アクリル酸をモノマーとして添加し、導電性を持たせたもので、自然放電が少なく、耐久性が高いボタン電池が製造できることから、放射線利用の割合は100%となっています。

この技術を発展させ、最近では燃料電池用膜(導電性高分子膜)の開発が精力的に進められています。燃料電池は、水素やメタノールを燃

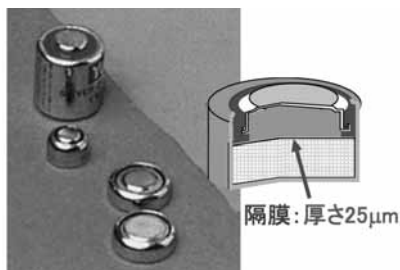


図6 ボタン型電池隔膜

料として発電します。例えば水素燃料電池の場合、燃料側の電極に埋め込まれた触媒で水素がプロトン(水素イオン)と電子に別れ、プロトンのみが膜内を移動して反対側の電極で酸素と結合し、水になります。発生した電子は電池外に取り出され、自動車のモーター等を動かす電力として使われるのです。燃料電池膜で大切なのが、良好なプロトン伝導性や耐久性です。このような燃料電池膜の開発にも放射線橋かけとグラフト重合の技術が適用され、橋かけで高分子膜の耐熱性や耐久性を改善し、グラフト重合で高いプロトン伝導性を持たせることで、性能の高い膜ができるようになりました。将来的には、放射線を利用して作られた燃料電池が家庭用コージェネレーションシステム(電気と熱の両方を発生して供給するシステム)や自動車に搭載されるものと期待されます。

グラフト重合の手法を用い、導電性の代わりに金属イオンを捕まえる特性を持つ分子を高分子基材に付けると、金属捕集材が作れます。その代表例が、ウラン捕集材です。グラフト重合で製作した金属捕集材は、低濃度の金属イオンを高効率で吸着できる特長を持っています。ウランは海水1トンに僅か3.3mgしか溶存していませんが、この捕集材を用いて実海域試験を行った結果、ウラン1kg(イエローケーキ換算)の捕集に成功し、その有効性が立証されています。

最近では、この技術を応用して、温泉水から希少有用金属を回収する試みが進んでいます。温泉水は地殻中の希少な金属を抽出して地表に達するため、鉱石として採掘されない希少金属も含有されているのです。例えば、群馬県の草津温泉では、我が国では鉱物資源として産出されない希少金属スカンジウムが温泉水1トン当たり40mg溶存しています(図7)。グラフト重合で製作したリン酸型捕集材を温泉水に浸漬したところ、1日で捕集材1kg当たり1.5g(ウクライナの地下1,000mから採掘された鉱石の濃度の15倍に匹敵)のスカンジウムを回収することができ、現在実用化に向けた検討が進められています。

希少金属の代わりに有害金属を捕集する機能を付与すると、工場排水等をクリーンにする環境浄化材として応用可能です。これと同じ原理で、グラフト重合で製作したイミノ二酢酸型捕集材を用い、青森県特産のホタテの加工残渣を

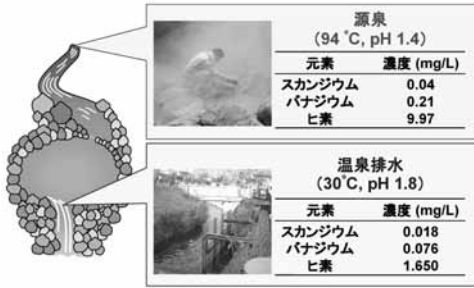


図7 草津温泉での金属捕集試験

らカドミウムを除去する技術が開発され、これまで焼却処分にされていた残渣が肥料や飼料として有効利用される見通しが得られています。また、ガス状の物質も吸着できることから、グラフト重合によりアンモニア除去機能を付与した半導体クリーンルーム用フィルタが実用化され、多くの半導体工場で採用されています。

### 半導体の製造への応用

高分子の放射線加工の実用化から遅れること20年で放射線が本格利用され始めたのが半導体の分野です。1949年にショックレーとピアソンが接合型トランジスタを発明後、1958年にキルビーが集積回路(IC)を発明すると、IC 特性制御技術としてイオン注入が注目されました。半導体に異種原子をイオンとして打ち込み、打ち込んだ部分の電気特性を制御しようとしたのです。イオン注入技術については、1962年頃から加速器を利用した研究が始められ、1970年代後半に IC の駆動電圧制御法として実用化に至りました。その後、半導体分野では、電子ビームや X 線等をリソグラフィと呼ばれる微細化・集積化技術に応用するなど、放射線利用が拡大し、半導体製造の経済規模は工業利用全体の約6割を占めるほどになっています。

そもそも何故半導体をつくるのに放射線が必要なのかを説明しましょう。半導体は、シリコン (Si) やガリウム砒素 (GaAs) 等の素材をもとに作られています。素材から機能を持った道具(素子)を作るためには、細かい細工を施す必要があります。具体的には、整流作用を持つダイオードや信号増幅作用があるトランジスタ等の素子を半導体基板(ウェハ)の中に沢山作り込み、これらを組合せて、記憶や計算を

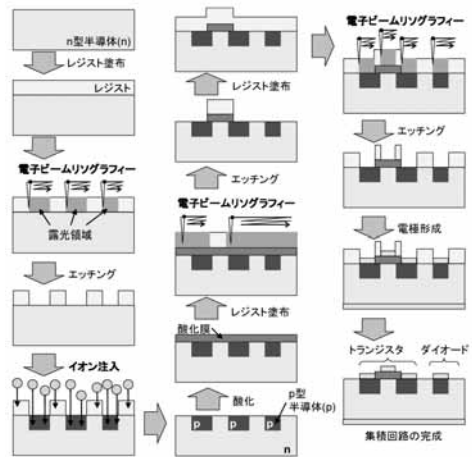


図8 半導体の微細加工(半導体の断面を表示)

行わせているのです。一つ一つの素子を小さくして、沢山の素子を組合せれば、それだけ記憶する量や計算の速度が上がります。このような素子の微細化・集積化により、半導体は進歩してきました。この結果、現在私達が使っている IC には、約 1 cm 四方の半導体チップにダイオード、トランジスタ等の素子が 1 千万個以上も作り込まれているのです。

イオン注入は、微細加工技術の中でも中核的な技術です。イオン注入により、半導体ウェハの任意の位置に添加したい元素を導入でき、半導体の伝導性を制御してダイオードやトランジスタが作り込めるのです(図8)。イオン注入と比肩するほど重要な微細加工技術が、マスク上に形成された設計パターンを半導体ウェハ上に転写する技術で、リソグラフィ技術と呼ばれます(図8)。リソグラフィでは従来、光が使用されてきましたが、パターン転写に必要な露光の解像度を上げるため、近年、電子ビームの利用が進められています。また、次世代リソグラフィ技術として、軟 X 線を利用した X 線リソグラフィと極短紫外光を利用した縮小 X 線リソグラフィが注目されています。前者は、軟 X 線の粒子性(直進性)を利用してマスクパターンを等倍露光するもので、マイクロメカニクスへの応用が近年進んでいる技術です。後者は、極短紫外光の波動性を利用して結像光学系でマスクパターンを縮小露光するもので、量産化に向いていることから、将来のナノ構造デバイス製作への応用を目指した開発が精力的に進めら

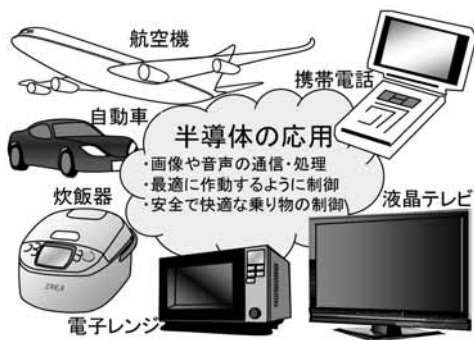


図9 暮らしに役立つ半導体

れています。

この他にも、放射線は半導体の特性改善にも利用されており、原子炉の熱中性子を用いた中性子転換ドーピング、電子ビームやイオンビームを用いたキャリア寿命制御が実用技術として広く使われています。

このように放射線を駆使して製造された半導体は、コンピュータや電卓だけでなく、家庭用電気製品にも数多く組み込まれています。炊飯器、電子レンジ、エアコン、冷蔵庫、洗濯機等は半導体によって最適に作動するように制御されています。これに加え、テレビ、携帯電話等の通信システム、自動車、電車、航空機等の運輸システムにも多種多様な半導体が使われており、私達の生活を支えているのです(図9)。

### 非破壊検査・分析への応用

検査・分析技術は、X線発見以降継続的に開発が進められ、長い歴史を持っています。計測器として応用された例としては、煙探知器、厚さ計、密度計、水面計等が挙げられます。これらは、放射線が物質を透過する前後の強度比が物質の密度に依存することを利用したものです。これらの計測器は工業用で、一般家庭で使う訳ではありませんが、私達の使う紙やプラスチックシート、自動車ボディー等に用いられる鋼板等の生産現場では、厚さ計測、成分分析等に放射線が利用され、厳格な検査により品質の高い製品が製造されているのです。自動車エンジンの開発段階でも磨耗度やオイル消費等の試験に放射線が使われています。

また、土木工事も放射線が活躍しています。一例として、東京湾アクアライントンネルの掘

削工事を挙げますが、シールド工法と呼ばれる工事で、トンネルを両側から掘削してくるシールド機同士の相対位置を検出するのにコバルト60ガンマ線が使われました。この計測技術のおかげで貫通した時のトンネルの誤差は5mm以下になったのです。

この他にも、鉄道、ダム建設現場での盛土工事の品質管理や高速道路の安全管理(土・水分状態計測・管理)にもラジオアイソトープを用いた放射線計測技術が応用されています。

最近では、X線、ガンマ線、中性子、イオン、陽電子等の放射線を用いた計測技術に加え、取得したデータをコンピュータで可視化する技術開発が盛んに行われており、これらの新技術が工業製品の更なる品質向上やビル等の大型構造物の健全性診断技術の高度化等につながるものと期待されます。

### 滅菌・殺菌への応用

高分子加工と時期を同じくして実用化が進んだのが、滅菌・殺菌技術です。放射線の殺菌効果自体はX線発見の翌年には見出されていたのですが、実用化が始まったのは1956年で、縫合糸の電子線滅菌が最初の実用例になります。米国で始まった滅菌技術は、その後欧州にも拡がり、日本では、1971年に使い捨て注射針、注射筒のガンマ線滅菌が認可されました。1988年には日本でも電子線滅菌が可能になり、現在では医療用具、実験動物用飼料、食品包装材、理化学器材等の滅菌に電子線やガンマ線が使われています。

放射線滅菌の特長は、非熱処理であり材料劣化が少ないこと、透過力が高く滅菌の確実性や信頼性が高いこと、連続して多量の物品が処理できること、複雑な形状の製品でも梱包したまま処理できることが挙げられます。このような特長を活かし、現在ではチューブ・カテーテル、手術・整形材料、人工透析器、注射器、採血用具・血液バッグ、血液浄化器等の滅菌に放射線が利用されるようになりました(図10)。

モルモット、ハツカネズミ等の医学用実験動物は無菌状態で飼育されており、外部からの菌の侵入には細心の注意を払っています。このような実験動物には無菌の飼料が要求され、現在は高圧蒸気滅菌法が主流ですが、栄養成分の変



図10 医療用具の放射線滅菌

化が少ない、変色や臭いの発生が少ない、動物の嗜好性に悪影響を及ぼさない、飼料が硬くならない等の長所があることから、放射線滅菌が利用されています。しかし、コストが高いため、その割合は全処理量の10～20%に留まっているのが現状です。

また、放射線は薬剤やガスのような残留性が無いことから、食品の無菌充填包装材の滅菌に最適です。バリア性の高いフィルムやアルミ箔を含む積層フィルムでも処理が可能です。残留毒性の問題が無いことから、シャーレをはじめとする理化学機材の滅菌で今後益々利用が拡大すると予想されます。

北米や欧州等では、医薬品や化粧品原料が放射線処理されています。日本では、2001年に動物用医薬品のガンマ線滅菌が認められ、2006年には点眼薬の滅菌処理が承認されましたが、本格利用はこれからです。このような医薬品の滅菌は今後大幅に伸びていくと推測されます。

### 環境保全への応用

火力発電所、ごみ焼却施設からの燃焼排煙や化学工場の換気ガスに微量含まれる硫黄酸化物、窒素酸化物、ダイオキシン、揮発性有機化合物等は、酸性雨や光化学スモッグの原因となる上、地球温暖化等の環境破壊を引き起こします。このような環境汚染物質を分解し、浄化するにも放射線が役立っています。

例えば、火力発電所の燃焼排煙にアンモニアを噴霧しながら電子線を照射すると、排煙中の窒素酸化物や硫黄酸化物が酸化し、アンモニアと反応して硝安や硫安等の肥料が作れます。こ

の技術は日本で開発され、中国や欧州で実用化されています。また、ごみ焼却施設の排煙に含まれるダイオキシン類も電子線で分解除去できることが証明されています。同様に、放射線は排水処理にも威力を発揮します。

広範な普及のためにはコスト面の課題をクリアする必要がありますが、環境汚染物質を分解除去する技術として非常に有力な技術であることは間違いありません。

### むすび

私達の身の回りに目を向けると、そこには放射線を利用した製品や技術が沢山あることを紹介してきました。これらは皆、放射線の特長を活かして開発されてきた、あるいは開発されているものです。また、近年は、加速器の大型化・高性能化に伴い、従来と比べ高密度・高性能で多様な放射線をより高い制御性を持って取り出し、利用することができるようになり、「量子ビームテクノロジー」という新しい技術領域が構築されつつあります。今後も、生活の向上や産業の振興への貢献を目指し、多様な量子ビームをうまく組合せ、うまく使いこなすことで工業利用の新たな世界が切り拓けるものと期待されます。

### プロフィール

- 1959年 茨城県生まれ。
  - 1982年 筑波大学第三学群基礎工学類卒業。
  - 1987年 筑波大学大学院博士課程工学研究科修了(物質工学)工学博士。
  - 1987年 日本原子力研究所入所。
  - 1996年 ドイツ Erlangen-Nuremberg 大学 客員研究員 (Humboldt リサーチフェロー)。
  - 現在 日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 環境・産業応用研究開発ユニット長。
- 専門は材料科学、特に半導体材料。原研入所以降は、主に半導体材料・素子の耐放射線性評価・強化に関する研究に従事。現在は、量子ビーム(イオンビーム、電子ビーム、ガンマ線)を利用した新機能材料、先端材料評価、環境保全技術の研究開発を総括。



－日本医科大学千葉北総病院の巻－

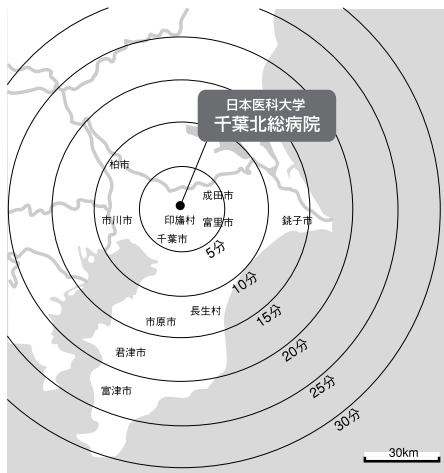
ころざしは雲よりも高く



今回訪れた日本医科大学千葉北総病院（以下「北総病院」と略す）は千葉ニュータウンの中に広大な敷地を持った自然と共有している病院であるというのが第一印象でした。北総病院がある「印旛日本医大」駅を降り立つと、正面は大規模な工事現場、左手はすでに整われた町、右手奥には病院が小さく見えるといった複雑な景色が広がっていました。千葉ニュータウンは1966年に3市1町1村をまたがって町を造る計画が始まってから、見直しや変更が続いており現在も開発途中にあります。そんな中、北総病院は1994年1月に開院されました。1996年には「災害拠点病院」の指定を受けられ、2001年10月からドクターヘリ事業が導入されました。

ドクターヘリは、消防機関や医療機関の要請から3分以内に出動が可能です。時速は200km、半径50kmが通常の運行エリアで、約15分で到着することが出来ます。基本的に救急車との併用方式（ランデブー運行と言うそうです）で、消防機関からの出動要請とともにドクターヘリが出動する一方で、救急車はあらかじめ設定してある救急現場に最も近い臨時ヘリポート（公共の運動場、公園や小中学校の校庭）へ向かいます。その間、救急車から飛行中のドクターヘリへ患者情報とヘリポートの場所を無線で連絡し、臨時ヘリポートで落ち合います。まず、

医師は救急車内で診療を開始し、ヘリ内へ患者を収容します。搬送先は北総病院を中心に11施設あり、東方の場合は国保旭中央病院、南方の場合は亀田総合病院へ向かいます。また、2004年からは千葉県のみならず茨城県と協定を結び茨城県南部地域までを飛行の範囲としています。図①



図① 運行エリアと時間

要請基準は4つあります。

- 生命の危険が切迫しているか、その可能性が疑われるとき
- 重症患者で搬送に長時間を要することが予想されるとき
- 特殊救急疾患の患者（重症熱病、多発外傷、指肢切断等）で搬送時間の短縮を特



に図るとき

○緊急現場で緊急診断処置に医師を必要とするとき

「千葉県ドクターヘリ運行基準」では消防機関は出動要請後に、患者が比較的軽症であることが判明した場合（オーバートリアージ）にはヘリの出動をキャンセルすることが出来ます。オーバートリアージは世界的にも救急ヘリコプター出動件数の20～30%あり、「防ぐことが出来た死亡」を減少させるために重要であると考えられています。

運行管理室で救命救急センター長である益子先生のお話を聞いていると「そろそろ、ヘリが帰ってきます」と言う声がかかり、さっそくヘリポートにご案内いただきました。その日は江戸川河川敷で交通事故にあった方が搬送されてきました。**写真②**

ヘリには機長、操縦士、医師、看護師の4名が搭乗しています。救急現場や搬送中に速やかに医師の診断や適切な治療が受けられます。ドクターヘリと一般のヘリコプターとの外見で一番違うところは、機体の後部にも扉がついていることです。その扉



写真② 搬送される患者様

からストレッチャーの出し入れをします。ストレッチャーは救急車と同じ脚が折りたためるタイプをヘリコプター用に改造しています。機内にはメディカルキャビネットが設置されており、酸素系統・吸引系統・電源系統・無線機・照明・換気ファン・各コンローラー・医療器材・医薬品が収納されています。**写真③**



写真③ 益子先生と機内の様子

出動は多い日で7、8回になるそうです。2001年10月の始動から2007年3月までの全出動は3,123件、診療人数は3,128例になります。その傷病の内容は交通事故などによる外傷が1,502（48.0%）で最も多く、脳血管疾患（484例）、心大血管疾患（385例）、その他（757例）と続きます。益子先生はセンター長でありながら30回以上の出動を経験されています。「一番印象に残っている患者様は？」とお聞きすると、父親が運転していたトラクターから落ちた子供がそのトラクターに引かれた事象だとおっしゃっていました。もちろん、その子は元気になり退院されています。

運行管理は朝日航洋株式会社が行っています。ドクターヘリの出動の判断は機長が行っています。その基準は雲の高さが300m以上、視界が1.5km先まで見えることだそうです。これらを踏まえた運行時間は現



写真④ 運行管理室

在では8時30分から日没30分前までとなっているそうです。天候調査は運行管理室で随時行われており、天候不良の場合は飛行不能と判断し、通常の救急車による搬送に切り替えられるそうです。医療行為を行うドクターヘリには安全確保は最も大切なことであると実感しました。運行管理室には研修中の朝日航洋株式会社の方がいらっしゃいました。写真④

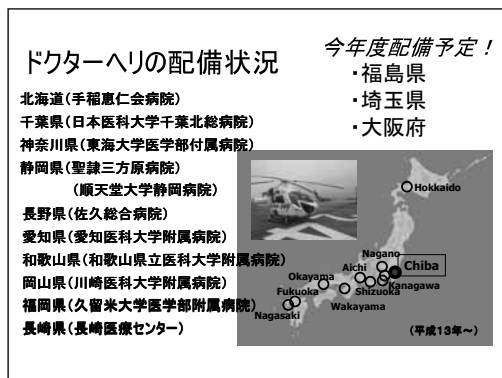
指導員である横田様とお2人のお話を聞いていて印象に残ったのは、とても責任の重い重要な自分の仕事に誇りを持っていらっしゃることでした。「私はまだまだです」と謙虚にお話している目がとてもキラキラして見えました。誇りを持って仕事を



写真⑤ スタッフ

されているのは、北総病院の皆様も同じです。スタッフの方全員が息の合った「チーム医療」をされていたりすることを感じました。写真⑤

ドクターヘリは1999年から1年6ヶ月にわたり、当時の厚生省の試行的事業として東海大学（神奈川県）と川崎医科大学（岡山県）において運行されました。この結果「高い救命効果と後遺症の軽減」が得られたとして、2001年から正式に厚生労働省における「ドクターヘリ導入促進事業」が開



図② ドクターヘリの配備状況

始されました。運行に要する費用は年間約1億8千万円で、国と都道府県が負担することになっています。すなわち、救急車と同じ扱いになるので患者は治療費を支払うだけで済みます。現在、日本では北総病院の他に1道9県11箇所まで事業が展開されています。平成18年度には総計で4,444件出動がありました。北総病院はこの中でも出動件数が一番多いそうです。図② 4,000件と言うと多いように感じますが、日本は先進国に比べて約30年も遅れているそうです。ドクターヘリの配備が進んでいる欧米の中で、ドイツはモデル国となった国でもあり、その歴史は1970年にさかのぼります。高速自動車道「アウトバーン」



写真⑥

での事故死を少しでも減らそうとドイツ自動車連盟が中心となってスタートしました。現在では78拠点あり平均すると病院のヘリポートから事故現場までの標準的な飛行時間は8分、患者の状態に最も適した受け入れ病院まで10分という早さです。さらに「15分ルール」と呼ばれる規制があり、どの州でもヘリが15分以内に現地へ到着できるようになっているそうです。なお、アメリカやスイスでは救急専用ヘリを24時間運行しているそうですが、イギリスやドイツでは運行していないそうです。安全確保が第一ではありますが、もし、北総病院において日没後の運行が可能になったとしたら大変画期的なことになるでしょう。また、日本で今後、ますますドクターヘリの発展することに対して北総病院は大きな役割を担っていると感じました。

搬送された患者様の声に「ドクターヘリは天から舞い降りた天使に見える」とあり

ました。私もヘリポートに着陸するヘリを見た時には大変感動しました。

事故や病気がゼロになることはありません。そうだとしたら、事故や病気になったひとりでも多くの人が助かることを願わずにはられません。そのためにも、北総病院のドクターヘリとスタッフの皆さまのご活躍を心から祈念いたします。

最後に、お忙しい中取材に応じてくださった北総病院の益子邦洋救命救急センター長、川村義彦技師長、渡辺典男副技師長、朝日航洋株式会社の横田英己様に誌面を借りてお礼申し上げます。どうもありがとうございました。

FBNews 編集委員の久保寺、小迫、柚木、丸山、千葉営業所から岩瀬がお伺いしました。写真⑥

資料提供：北総病院殿  
(文責 丸山百合子)

## 「アジア原子力協力フォーラム」大臣級会合 温暖化抑止の切り札—原子力発電の拡大を議論

前・原子力委員 町 末 男



国連のバン・ギムン事務総長も出席して、気候変動の危機にどう取組むかを議論した COP13 がバリ島で終了したその次の週12月18日に、アジア原子力協力フォーラム (FNCA) の第8回大臣級会合が東京で開かれ原子力利用の政策、地域協力のあり方について活発な議論が展開された。

特にこの会議で各国代表が、今後原子力発電を京都議定書の「クリーン開発メカニズム」(CDM) の中に位置づけることを検討すべきであるとする「共同コミュニケ」を採択したことが、画期的な出来事である。コミュニケにサインした後、各国代表の大臣及び副大臣はそれぞれ

スピーチし、各国が急速な発展を続ける中で、「必要なエネルギーの安定確保」と「地球温暖化の抑止」にどう取り組むのかが最も重要な課題であると述べ、その中で原子力発電の果たす役割の重要性を強く主張したのが印象的であった。

これだけの国の代表がまとまって、深刻な状況になりつつある「気候変動の抑止策としての原子力発電の重要性」を世界に発信したのは初めてである。

今後この共同コミュニケを関連の国際会議や国際機関に提示していく事によって、COPでの検討を促していくことが必要である。

(07年12月21日記)

五感に訴えない放射線のニュースをオオトリの六感で捉えるカレント・トピックス

## 反陽子の対消滅

鴻 知己

本誌2006年5月号のこの欄で、反陽子を長時間溜め込むことのできる“容器”が開発されつつあり、反陽子を遠隔の地まで運んで実験を行う日が近づきつつあること、そしてそのことは、新しいタイプの“放射線源”の出現を意味するものであり、放射線防護にとって新しい課題となる、といった趣旨のことを書いた。陽子の質量が電子のその1,836倍あることから、電子の対消滅で生じる  $2 \times 511 \text{ keV}$  の1,836倍、すなわち1.87 GeV のエネルギーが放出されると見込んでいる。

ところが、最近、陽子と反陽子の衝突においてはエネルギーが保存しない(ように見える)かも知れないという説があることを知った(横山広美著「よくわかる素粒子の基本と仕組み」

秀和システム、2006年刊)。

陽子と反陽子が正面衝突すると、クォークと反クォーク(パートンともいう)がコーン状のジェットになるが、衝突のエネルギーが十分に高いときには重力子 graviton の発生を伴い、その graviton は4次元時空の外にある“余次元”の世界に移るので、graviton が担ったエネルギーは我々の住む4次元の時空から消え、エネルギー保存則は成立しないように見えるのだという。

熱反陽子の消滅においては1.87 GeV のエネルギーが放出されるようにも思われるのだが、如何であろうか?ともあれ放射線防護屋がこの新顔の放射線源を考えるのはまだ早すぎるのかも知れない。

## 初級放射線教育講座⑪

### 「場所の管理」



森 厚文\*

#### 1. はじめに

放射線管理は、線源管理、場所の管理（環境管理）、個人管理の3つに大別されます。これらの中で線源管理が最も放射線防護の効果が大きく、場所の管理は線源管理が確実に行なわれていることを確認するために必要です。また、個人管理は教育訓練をはじめ、被ばく線量の評価、健康の保持などのために重要です。

場所の管理には、外部放射線の管理と汚染の管理があります。前者は外部放射線の防護のためであり、全ての放射線源を取扱う施設が対象です。一方、後者は汚染のおそれのある施設（密封されていない放射性同位元素（RI）あるいは放射化物を生成する放射線発生装置を取扱う施設）が対象となります。なお、汚染には、床・壁・実験台などの表面汚染、水の汚染、空気の汚染の3種類があり、主に内部被ばくの原因となります。

場所の管理の主要な業務は、「作業環境及び放射線施設周辺」の外部放射線と汚染状況の測定（モニタリング）です。本稿では、場所の測定を中心に放射線防護上の措置について簡単に説明します。

#### 2. 外部放射線管理

##### 2.1. 空間線量（率）の測定

外部放射線（空間線量）の測定場所は、

管理区域内の使用施設、貯蔵施設、廃棄施設の各部屋、管理区域の境界及び事業所の境界等です。通常は、定時定点方式で、1 cm 線量当量率又は1 cm 線量当量について測定・評価します。

測定器として、通常は可搬式のサーベイメータを使用します。サーベイメータにはいくつかの種類があり、それぞれの特徴に合わせて使用します（測定器の特性等の詳細については11月号の「測定の目的と測定器の選び方」を参照）。また、サーベイメータは、経年変化に伴い変化する可能性があるため、正常に動作していることを日常点検するとともに定期的に校正する必要があります。

管理区域の境界や事業所の境界における管理の期間は3月間（法令で定める線量限度はそれぞれ実効線量で3月間あたり1.3ミリシーベルト、250マイクロシーベルト）です。そこで、サーベイメータによる1 cm 線量当量率の測定だけでなく、必要に応じて積算型の線量計による1cm 線量当量の測定が行なわれます。積算型線量計には、熱蛍光線量計（TLD）、蛍光ガラス線量計、光刺激蛍光（OSL）線量計などがあります。

その他、連続モニタ（野外モニタ、エリアモニタ）は、放射線レベルを連続監視するとともに、異常に放射線レベルが高くなると警報を発生し、迅速に対応するために用

\*Hirofumi MORI 金沢大学学際科学実験センター 教授

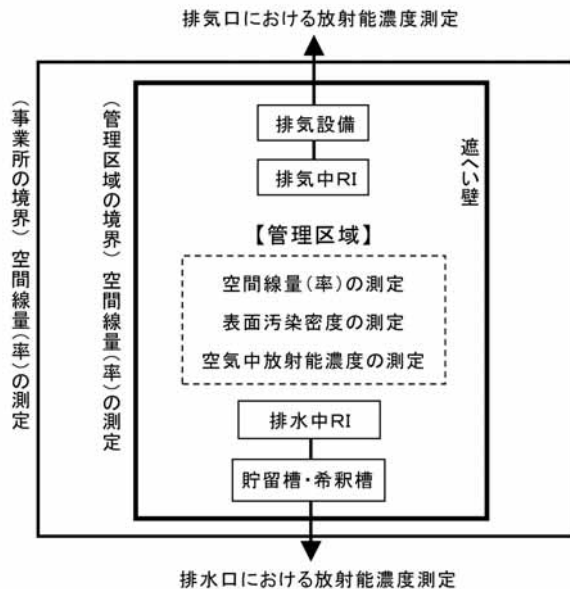


図1. 場所の測定

いられます。

## 2.2. 外部放射線管理

空間線量（率）測定は、作業環境における作業者の外部被ばく線量をできるだけ低く抑えとともに公共の安全を確保するために行ないます。RIの出入庫状況・保管状況の把握、作業時の異常の有無の確認あるいは想定外の放射線漏洩検出のための有効な補助手段です。普段より高い値を示した場合は、原因追及と適切な改善措置を行ないます。また、定期的に放射線施設・設備の遮へい能力の劣化（壁の亀裂など）がないかどうか点検することが大切です。

## 3. 表面汚染管理

### 3.1. 表面汚染（密度）の測定

表面汚染には、とれにくい汚染（固定性汚染）と、とれやすい汚染（遊離性汚染）があります。前者は外部被ばくだけを問題にすればよいのに対し、後者は汚染物質が

舞い上がり室内の空気を汚染するため内部被ばくのおそれがあり、また汚染が拡大しやすいので、より注意が必要です。

汚染検査には、直接法と間接法があります。直接法は固定性と遊離性の表面汚染の両方を評価するのに適しており、作業手順を確認しながら作業する作業時モニタリングや汚染の範囲を調べるのに（定期的モニタリングで汚染が見つかったときや汚染事故時に）用いられます。測定器としてGMサーベイメータが最も広く用いられていますが、取り扱うRIの種類（放射線の種類、エネルギー）によって最適のサーベイメータを選ぶ必要があります。

一方、間接法はスミア法（ふき取り法）と呼ばれ、遊離性の汚染の評価ができ、定期的モニタリングに用いられます。スミア法は市販のスミアろ紙（直径約2cm、円形）を用いて、床などの表面をふき取り、RIの種類に応じた測定器で測定します。 $\alpha$ 、 $\beta$ 線核種の測定には $2\pi$ ガスフローカウン

タ（自動計測装置）があると好都合です。この測定器がない場合は、液体シンチレーションカウンタを使用しますが、液体シンチレータ廃液が発生し、その処理が面倒です。 $\gamma$ 線核種の測定には、NaI シンチレーションカウンタ（ガンマカウンタ）を用います。なお、施設ごとに定めた基準を超える汚染が見つかった場合は、 $\beta$ 線核種は液体シンチレーションカウンタ、 $\gamma$ 線核種はGe 半導体検出器による核種同定を行い、汚染源の特定をします。

なお、表面汚染の程度は表面密度（ベクレル/cm<sup>2</sup>）で評価します。直接法（サーベイメータ法）は、測定値、バックグラウンド（BG）値、対象核種の測定効率、測定器の有効窓面積から表面密度を算定します。一方、間接法（スミア法）は測定値、BG 値、対象核種の測定効率、ふき取り効率、ふき取り面積から算定します。汚染核種が不明の場合は、最も計数効率の低い核種を代表核種として算定します。

物品を管理区域から持ち出す際の汚染検査はサーベイメータ等を用いることが多いですが、備品等を廃棄する場合はスミア法を併用して汚染がないことを確認します。また、各室の出入口の床に粘着シートを貼っておくと、微弱な汚染の発見や汚染の広がりの防止に有効です。

### 3.2. 汚染の除去

汚染を検出した場合は、効率的・効果的に汚染を除去（除染）する必要があります。除染の原則は、①早期除去（早いほど除去が容易であり汚染の拡大が小さい）、②汚染拡大防止（汚染箇所を正確に把握するとともに、汚染部分の面積を極力拡大しない）、③通報（作業者が汚染させ、あるいは汚染を検出した場合は、付近にいる者、管理担当者に通報し、秘密に処理しないように周知徹底を図る）、④湿式操作（汚染

が空気中に舞い上がる操作は、吸入による体内摂取の恐れがあり、また湿式の方が除染効率が高いので湿式で除染する）、⑤適切な除染法の選択（RI の種類、数量、物理化学的性状及び除染対象の性状により除染法が異なる。はじめは化学的に活性度の弱い除染剤から使用する）です。

たとえば、作業員から床汚染の通報を受けた場合の手順を以下に列挙します。

①RI 溶液を床にこぼした場合は、ろ紙、ペーパータオルなどで吸い取った後に、汚染が拡大しないように汚染区域の外側から中心に向かってふき取ります。粉末の場合は粘着テープやぬれタオルなどでできるだけ回収します。その際、不必要に動き回らないようにし、必要に応じて作業室への立入を制限し汚染の拡大を防止します。②サーベイメータで汚染の広がりを明らかにし、汚染箇所の周囲に水溶性マジック等で印を付けます。ただし、<sup>3</sup>H（トリチウム）のように軟 $\beta$ 線のみを放出する RI の場合は、スミア法で検出することになります。場合によっては汚染が拡大しないようにその部分にビニールテープ等（範囲が広い場合は、ろ紙を敷く）をはりつけます。短半減期の RI で外部被ばくの危険が少ない場合には、減衰を待った方が効果的な場合もあります。③最初は床表面を傷つけないように水や温湯、それに中性洗剤を使って湿式除染を試みます。除染状態を確認し、除染が不十分の場合は、汚染した RI 化合物の物理化学的性状等に応じた除染剤を使って汚染除去を試み、除染されていることを確認します。

## 4. 空気汚染管理

### 4.1. 空気汚染の測定

空気汚染の測定には、作業室内の空気中放射能濃度測定と排気口放射能濃度測定の 2 種類があり、それぞれ測定法が異なりま

す。また、空気汚染には粒子（ダスト）状と気体状の汚染の2種類があります。

#### 4.1.1 空気中放射能濃度測定

作業室等の空気中放射能濃度測定は、作業者の内部被ばくの原因となる室内の空気汚染がないことを確認するために行ないます。この測定は放射線障害防止法では規定されていませんが、電離放射線障害防止規則で義務づけられており、作業環境測定法に基づき作業環境測定士により行なわなければなりません。国の機関の場合は人事院規則10-5で空気中放射能濃度測定が規定されています。

粒子状の放射能濃度の測定は、作業室等の空気中に浮遊している粒子状のRIを可搬型ダストサンプラーで捕集してから、天然に存在するラドン及びトロンの崩壊生成物が測定に影響するため、減衰を待って3～4日後に測定します。放射能測定はRIの種類に応じて、表面汚染と同様の放射線測定器を用います。一方、気体状の放射能濃度測定の前処理として、まず気体状のRIを捕集する必要があります。いくつかの方法があります。たとえば、トリチウム（トリチウム水）の捕集法として、①直接捕集法（可搬式の電離箱式ガスモニタ装置を使用して測定）、②冷却凝集捕集法（簡便法として、ドライアイスなどを入れたガラス容器を使う方法や除湿器を使う方法がある）、③その他（蒸留水を使った液体捕集法、シリカゲルを使った固体捕集法等）があります。放射性ヨウ素の場合は、固体捕集法（活性炭を捕集剤として使用）で捕集します。放射能測定は粒子状の場合と同様です。

#### 4.1.2 排気口放射能濃度測定

排気口の放射能濃度測定は、公共の安全を確保するために行ないます。排気モニタ

はダストモニタとガスモニタに大別され、連続測定・記録し、設定レベルを超えると警報が鳴るシステムとなっています。核種によっては、法令の濃度限度レベルを測定できず、また複数の放射能を用いる場合は排気口の放射能濃度の測定・評価は困難なことも多いですが、放射能濃度の上昇を迅速に検知でき、その発生量を確認できる方法は排気モニタがなくてはできません。排気モニタを設置するか否かは施設のRIの使用状態、条件等によって決まってきます。いずれにしても、RIごとの使用量、飛散率、排気能力から3月間の平均放射能濃度を算定・記録する必要があります。

#### 4.2. 空気汚染管理

室内の空気中放射能濃度あるいは排気口の放射能濃度が通常のレベルより高い場合は、その汚染経路・原因などを追及する必要があります。排気設備は、排気管、排風機、排気浄化装置、排気口から構成され、空気の流れは管理区域の入り口（汚染検査室）では管理区域内へ、廊下から作業室内へ流れるようになっており、汚染した空気が作業室外に逆流したり、管理区域外へ漏出することがないように排気設備の点検・保守管理が重要です。定期的に管理区域内の空気の流れ、作業室における風量調整ダンプの作動状況、フードの面速度、フィルタの日詰まり、排風機のモーターのベルトのたるみなどを点検・修理（交換）し、当初の性能を維持するようにします。

### 5. 排水管理

#### 5.1. 排水中放射能濃度測定

排水中放射能濃度測定は、排気と同様に公共の安全を確保するために行ないます。連続監視する場合は、水モニタで測定・記録し、設定レベルを超えると警報が鳴るシステムとなっていますが高価です。そこで、



水モニタを設置しない場合は、貯留槽が満水となった時点で採水し、 $\beta$ 線核種は液体シンチレーションカウンタ、 $\gamma$ 線核種はガンマカウンタあるいはGe半導体検出器で測定します。 $\beta$ 線核種の場合、一定量の水を蒸発乾固し、その残渣をGMカウンタやガスフローカウンタで測定を行なうこともあります。放射能濃度は貯留槽の上下で異なるので、攪拌してから採水・測定します。

## 5.2. 排水管理

貯留槽が満水時に測定・評価し、法令に定める排水濃度限度以下の場合は、希釈槽を介して一般排水に放流します。排水濃度限度を超えた場合は、希釈槽に移送し水で希釈し、再度測定して濃度限度以下になったことを確認してから一般排水に放流します。短半減期核種の場合は減衰を待って排水することもあります。排水設備は、排水管、貯留槽（2槽以上）、希釈槽（1槽）から構成されており、現在は貯留槽・希釈槽は地上据え置きタンクになっている施設が多いですが、古い施設では地下埋設型のものもあります。タンクの場合は、点検時にタンク内部の腐食、排水管の腐食、漏水の有無を確認します。埋設型では定期的に水張りテストで漏水がないことを確認するとともに内部から亀裂や塗装の剥離の有無を観察します。

## 6. おわりに

場所の管理は、放射線作業を行なっている作業者の安全はもちろんのこと、公共の安全を確保するために行ないます。そのために、上記の様々なモニタリングを行ない、法令で定められた線量限度以下であることを確認するだけでなく、放射線施設・作業場所ごとに定めた基準値（たとえば、法令の基準値の10分の1）を超えていないことを確認します。すなわち、場所の管理は線源管理あるいは施設・設備の不備を早期に発見し、すみやかにその対策を講じることにより放射線施設ごとに定めた安全基準レベルを確保するために重要といえます。

### プロフィール

1968年3月金沢大学医学部医学科卒業。  
1972年7月金沢大学に医学部助手として着任。その後、同講師、医学部附属病院講師、アイソトープ総合センター助教授、同教授を経て学際科学実験センター教授。現在は学際科学実験センター長。専門はアイソトープ総合センターに勤務する前は臨床核医学、その後は基礎核医学と放射線安全管理学。脳疾患・癌診断の核医学分子イメージング並びに癌のアイソトープ内用療法に関する基礎研究に取り組んでいる。

### お詫びと訂正

FBNews No.372（2007年12月号）13頁 初級放射線教育講座⑨におきまして、誤りがありましたので、お詫びして訂正いたします。

①（誤） 科学技術庁長官 →（正） 文部科学大臣

②（誤） 予防規定 →（正） 予防規程

なお、②につきましては、平成17年6月1日より用語が変更になりました。

## 第3回 個人モニタリングに係る 国際ワークショップが開催される！ (The 3rd International Workshop on Individual Monitoring of Ionizing Radiation)

第3回 個人モニタリングに係る国際ワークショップが、12月3日から4日の2日間に亘り、弊社の大洗事業所にて、アメリカ、インドネシア、ウクライナ、韓国、クロアチア、台湾、チェコ、中国フィリピン、フランス、ブラジル、ベトナム、マレーシア、日本の世界14カ国から、総勢95名の皆様にお集まりいただき開催されました。初日は12件の講演、2日目はガラスバッジ比較試験の結果に関する7件の発表があり、活発な質疑・応答、意見交換が行われました。また、3件のポスター発表もありました。ご講演者およびタイトルはプログラムをご覧ください。また、「個人線量計国際ワークショップと大洗研究所」(山本 幸佳：FBNews 1月号)でも、このワークショップの詳細をご紹介します。講演、発表の内容については、折を見て、いくつかを本誌でご紹介する予定です。

### プログラム

日 程	内 容
<b>12月3日(月)</b>	
9:20~9:30	スポンサー企業 挨拶 千代田テクノル 代表取締役社長 織田 敏和
9:30~9:40	セミナー開催の挨拶 国際組織委員会 委員長 山本 幸佳
9:40~10:40	【講演Ⅰ】 Induced Luminescence for Dosimetry : Recent Advances and Applications Prof. Stephen W. S. McKEEVER
10:40~11:40	【講演Ⅱ】 Development of individual dosimetry methods for mixed radiation fields, accidental dosimetry included: Individual monitoring of occupational exposure in Czech Republic Prof. Frantisek SPURNY
11:40~12:25	【講演Ⅲ】 Solid state dosimeters in environmental monitoring Dr. Maria RANGAJEC-KOMOR
13:15~14:00	【講演Ⅳ】 Assessment of Effective Dose Based on Results of Individual Monitoring (Conversion from Dosimeter Readings to Effective Dose) Dr. Vadim CHUMAK
14:00~14:30	【講演Ⅴ】 TL and RPL detectors in mixed field dosimetry Dr. Saveta MILJANIC
14:30~15:00	【講演Ⅵ】 Overview of EURADOS activities for individual monitoring Dr. Branko VEKIC
15:00~15:20	【講演Ⅶ】 Biological effects and solid state dosimetry in X-ray diagnostic of children Dr. Durdica MILKOVIC
15:40~16:10	【講演Ⅷ】 Present Status of Individual Monitoring in Brazil Prof. Jose F. D. CHUBACI
16:10~16:40	【講演Ⅷ】 An overview of the personal dosimetry monitoring in France Dr. Jean-Francois BOTTOLLIER-DEPOIS
16:40~17:00	【講演Ⅸ】 Occupational Exposure Monitoring in the Philippines Ms. Elvira Z. SOMBRITO
17:00~17:30	【講演Ⅹ】 Wide-range personal neutron dosimeter using PADC track detector Mr. Hiroyuki OHGUOHI
17:30~18:00	【講演Ⅺ】 Precise measurement of characteristics of radiophotoluminescent glass dosimeter Prof. Toshiyuki IIDA
<b>12月4日(火)</b>	
9:00~9:20	【発表Ⅰ】 Comparison of Dosimetric Properties between GD-300 Series of RPLGD and GR-200 Series of TLD Prof. Weihai ZHUO
9:40~10:00	【発表Ⅱ】 The Current Status of Personal Dose Monitoring Services in Indonesia Dr. Nur ROHMAH
10:00~10:20	【発表Ⅲ】 Dosimetric Quality Assurance in Individual Monitoring Dr. Noriah Mod ALI
10:30~10:50	【発表Ⅳ】 Clinical Application of Radiophotoluminescent Glass Dosimeter in Taiwan Prof. Wei-Li CHEN
10:50~11:10	【発表Ⅴ】 The Procedures for the Irradiation of GBs in the Intercomparison Held by Chiyoda Technol Corporation, Japan and Setting Up the Radiation Reference Field for Cs-137 OB6 to Calibrate Dose Rate Meters at Vietnam SSDL Dr. Vu Minh KHOI
11:10~11:30	【発表Ⅵ】 Overview of the Radiological Calibration Activities of KAERI Dr. Bong-Hwan KIM
11:30~11:50	【発表Ⅶ】 Summary of the Result of Comparative Test GB Mr. Daisuke MAKI
11:50~12:00	閉会挨拶 国際組織委員会 委員 Dr. Maria RANGAJEC-KOMOR



## ファノ因子 (その2)

自然界にはさまざまな放射線があり、これもさまざまに存在する物質・物体に作用して、さまざまな影響を齎す。これらの現象は、全て、放射線が物質系に与えるエネルギーが“引き金”となって惹起され、その多くは物質系へのエネルギー付与により生成される（中性原子の）電離を介して出現する、というのが、放射線の影響に関する科学・技術者の暗黙の、そして共通の、理解である。

放射線の特徴の一つは本性の粒子性・量子性である。放射線の構成要素は素粒子（およびその結合体である原子核）であり、物質系も同じく素粒子を構成要素とする。運動状態にある素粒子である放射線が物質系に入射し、量の多寡に拘らず何がしかのエネルギーを物質系に与えたとき「放射線は（物質系と）衝突した」と見做す。しかし、すべての衝突が電離を引き起こすことにはならない。中性原子の抱える核外電子は、それぞれ何がしかのエネルギーでもって核に結合しているからである。原子を電離させるのに要するエネルギーの平均値、 $I$ 、（通常「平均励起ポテンシャル」と呼ばれるが、筆者は「平均電離ポテンシャル（エネルギー）」と呼びたい）は原子ごとに異なり、原子量の大きな原子程大きな値となる（集められた  $I$  の実験データからいろいろの実験式がつけられている。1例を挙げる（久保武史：広島大学へ提出の学位論文）、 $Z > 1$  に対し  $I = 16Z^{0.9}$  [eV]）。

放射線検出器の有感部分にある時間放射線が入射したとき  $N$  個の衝突があり、 $M$  個の電離が生成されたとする ( $M \leq N$ )。衝突のそれぞれに電離生成有無のどちらかが対応しているので、衝突による電離生成はベルヌーイ過程となり確率分布関数が二項分布となる。すなわち、 $N$  の衝突が  $M$  の電離をもたらす確率  $P(N, M)$  は  $P(N, M) = {}_N C_M p^M (1-p)^{N-M}$ 、 $M$  の平均値（無限回の試行の平均値＝期待値  $\langle M \rangle$ ）と分散  $V$  は、それぞれ、 $\langle M \rangle = pN$ ； $V = p(1-p)N$  となることが知られている。ここで  $p$  は衝突あたりに電離が生ずる確率を表す。それ故、ファノ因子  $F$  の定義（前講参照）から、

$$F = V(N) / \langle M \rangle (N) \\ = p(1-p)N / pN = 1-p$$

となる。

つまり、ファノ因子とは「ベルヌーイ過程に従う電離現象のバラツキの測度である分散の、生成電離数の平均値に対する比率」を意味するものであり、同時に「全衝突に対する“電離ナシ衝突”の割合」に他ならないのである。因みに  $p \ll 1$  のときには  $F = 1$  となり、過程はポアソン型に移る。

ファノ因子の本質が、ベルヌーイ過程に関係しているということは森千鶴夫先生が3年前に指摘しておられる〔森千鶴夫：放射線 30, 103-108 (2004)〕。その後、道家忠義、井口道生両先生との討議が、同誌上で展開されている。

サービス部門からのお願い

## ご使用者登録時のお願い（英文字）

外国の方のお名前の場合は、アルファベットとカタカナでお申し出いただくと、アルファベットを優先にして、ファーストネーム、ファミリーネームの順番で登録させていただきます。また、ミドルネームがある場合は前後にスペースを入れ、区別できるように登録のご依頼をお願いします。

登録にはスペースを含め、半角英文字15文字の制限があります。オーバーすると超えた文字分は登録できませんので、ご了承ください。（ケースラベルには別途文字数の制限があります）

ご使用者名は、弊社サービスにおける検索の際の重要なキーとなりますので、ご協力をお願いします。  
(測定センター 米山)

## 編集後記

●2月です。新しい年になって、もう2月目。今年も有意義な一年を過ごさないといけないと、自ら引き締めています。何しろ、怠け者の私はきっかけがないと動かない性格です。幸いなことに、今年の子年、十二支の最初の年ということできかけとしては最高です。

●でも、ねずみが十二支の最初になった理由は、神様が十二支を決めるレースを行った際、用意周到な牛が早く起きて歩き出し、最初に着くはずだったのですが、レースに寝過ごすことを恐れたねずみが、一番頼りになる牛の背中であぐらをかいて、ゴール直前で目が覚め飛び降りて、一位になったためと聞きます。そういう意味では、今年は、頭を使って成果を出さないといけない年なのかもしれません。

●今回、編集後記を担当させていただきましたが、実は以前、このFBNの編集後記を一年間書いていた時代があります。その当時はFBNの取材の

お手伝いもしていて、そのころ始まったのが施設訪問記です。その際は私も、いろいろな施設を見せていただきました。その施設訪問記も今回で65回目です。これだけ長く続けているということは、それだけ、放射線を利用されているお客様、私どものサービスをご利用くださっているお客様が多いということです。感謝、感謝です。今回の北総病院のドクターヘリ事業を読ませていただき、医療の最先端の緊迫した空気を感じて感動しました。

●今月の巻頭は伊藤久義先生の「生活の中の放射線利用ー工業利用ー」です。多少の予備知識はあったのですが、あらためて放射線の多岐にわたる活躍を実感しました。自動車は放射線を利用していないパーツは無いと聞いていましたが、本当なんだと納得しました。

●今号もいろいろ読み応えのある記事が満載です、楽しんでいただければ幸いです。

(T. Y)

## FBNews No.374

発行日/平成20年2月1日

発行人/細田敏和

編集委員/佐々木行忠 小迫智昭 中村尚司 久保寺昭子 金子正人 加藤和明

壽藤紀道 畑崎成昭 福田光道 藤崎三郎 丸山百合子 柚木正生 米山高彦

発行所/株式会社千代田テクノロ 線量計測事業部

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

— 禁無断転載 — 定価400円（本体381円）