

## ヒール効果補償フィルタの開発と256列CTを用いた基礎性能評価

本誌3月号(放医研NEWS-No.112)で最新CTの2~3倍の撮影範囲を可能にした256列CT-1号機のボリュームデータを用いたパフュージョンCT(VCTP)の初期臨床評価について報告した。この号では、256列CTにHECフィルタを搭載して基礎性能の評価を行ったので報告する。

### ■ はじめに

CT技術のめざましい発展は、空間解像力やコントラスト分解能をはじめとする画質の向上に大きく貢献し、それに伴い画像診断の精度が向上している。しかし、その反面、CT検査の患者被ばく線量は、この数十年で大きく増加している<sup>1)</sup>。特に、近年、コーンビームCT (CBCT) は、画像診断領域と放射線治療領域の両方において注目されているモダリティであり<sup>2~5)</sup>、その臨床利用は今後さらに増加するであろう。一方で、CBCTはさらに撮影領域が広がるため、被ばく線量の増加が問題となる。放医研では、0.5mmの検出器を256列搭載した256列CTを開発し<sup>6,7)</sup>、現在臨床評価が進められている<sup>8~12)</sup>が、このCTは、1回転で128mmの撮影範囲が取得可能である。

一方、X線分布の特性から、X線管球の陽極側が陰極側よりもX線強度が大きくなる現象が生じ、これをヒール効果と呼んでいる。一般撮影や透視装置など、コーンビームを使用するX線装置でもみられる。256列CTでも、体軸方向へのビーム幅が大きいことから、ヒール効果の影響を無視できない。体軸方向端のスライスには、異なる線量が照射されていることから、得られる画質は同じではない。故に、256列CTでは、陰極側の画質を、診断可能なレベルにするように線量を決定している。つまり、陽極側は、必要以上の線量を照射していることとなる。画像診断可能レベル以上の画質を提供できることは、診断上問題はないのだが、防護の立場からすれば不必要な線量となる。

そこで、我々は、画像診断可能な画質を保ちつつ、不必要な線量を低減するヒール効果補償フィルタ(Heel effect compensate filter : HEC)を作成した。従来フィルタでは、スライス面内において被者体が円形に近似できることから、商用CTでは検出器に入力されるX線吸収を横断面内の中心と端で均一にするために、[図-1\(a\)](#)のようなフィルタをX線管球に付け、CT撮影を行っていた。このように従来フィルタでは、横断面方向のみ考慮されていた。HECフィルタでは、[\(図-1\(b\)\)](#)<sup>13)</sup>、横断方向と体軸方向の両方を考慮にいれており、そのX線強度分布を詳細に測定し、形状を3次的に決定している。

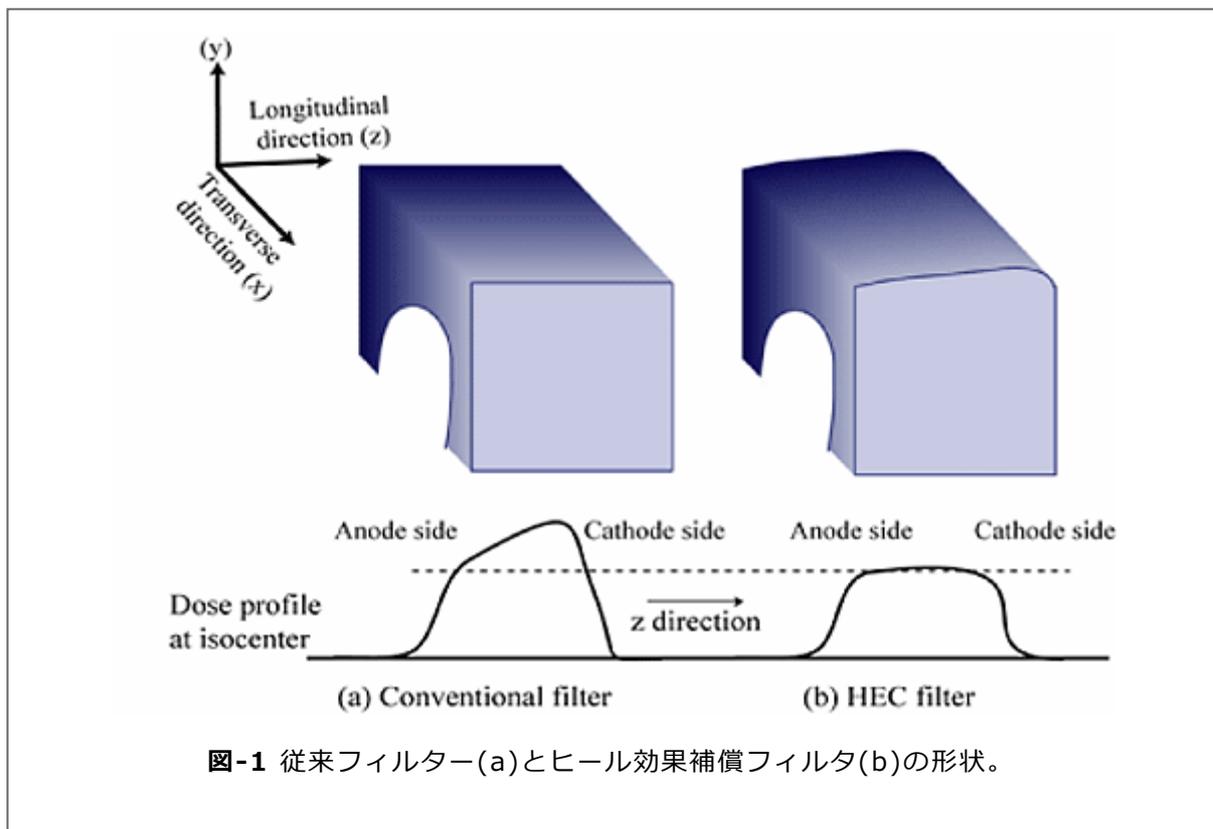


図-1 従来フィルター(a)とヒール効果補償フィルタ(b)の形状。

ここでは、256列CTにHECフィルタを搭載し基礎性能評価を行ったので、報告する。

## ■ 評価

ヒール効果補償フィルタを256列CTに搭載し、基礎性能評価を行った。評価項目は、(i)実効エネルギー、(ii)線量プロファイルとDPI、(iii)画像ノイズ、そして(iv)コントラスト検出能である。

## ■ 実効エネルギー

実効エネルギーは、X線強度の減弱曲線から算出した。X線管球を真下(6時の位置)に固定し、その上0.6mlイオンチャンバーを設置し照射した。このとき、X線管球とイオンチャンバーの間にアルミ板の厚さを変えながら線量を測定し、半価層を求める<sup>14)</sup>。そして、Hubbellの関係式から実効エネルギーを算出した<sup>15)</sup>。実効エネルギーの測定箇所は、アイソセンタから横断面方向に0, 50, 100, 150 mm、体軸方向に-40, -20, 0, 20, 40 mmである。

このようにして実効エネルギーの2次元分布を測定したところ、従来フィルタは、体軸方向に実効エネルギーの不均一性がみられるが、HECフィルタでは、均一になっていることがわかった。また、HECフィルタによって、実効エネルギーが平均6keV上昇することがわかった。

## ■ 線量プロファイルと線量プロファイル積分値 (dose profile integral: DPI)

線量プロファイルを2次元で取得するために、フィルム(X-Omat V:コダック)をアイソセンタに置き、X線管球を上方(12時の位置)に固定し照射した。線量プロファイルを測定するために、ピンフォトダイオードセンサーを用いた。DPIは、イオンチャンバーを用いて測定した。300mm長イオンチャンバーと300mm長

CTDI(computed tomography dose index)ファントム<sup>16)</sup>を用いて測定した。

FDA推奨の線量測定ファントムの長さは、せいぜい140mmであった<sup>17)</sup>。しかし、ビーム幅20-138mmの範囲では、300mm長CTDIファントムを使用すると、全照射線量の90%以上を測定できることから、本件でも300mm長CTDIファントムを使用した<sup>16)</sup>。

フォトダイオードまたはイオンチャンバは、ファントムの中心または端に入れて測定した。線量プロファイルとDPIの測定は、アキシヤルスキャン方法(1回転撮影)で行い、撮影条件は、120kV、400mA、1.0秒照射、名目的ビーム幅は10、32,64,96,128mmとした。

ここで、測定範囲±150mmにおけるDPIを次のように定義した。

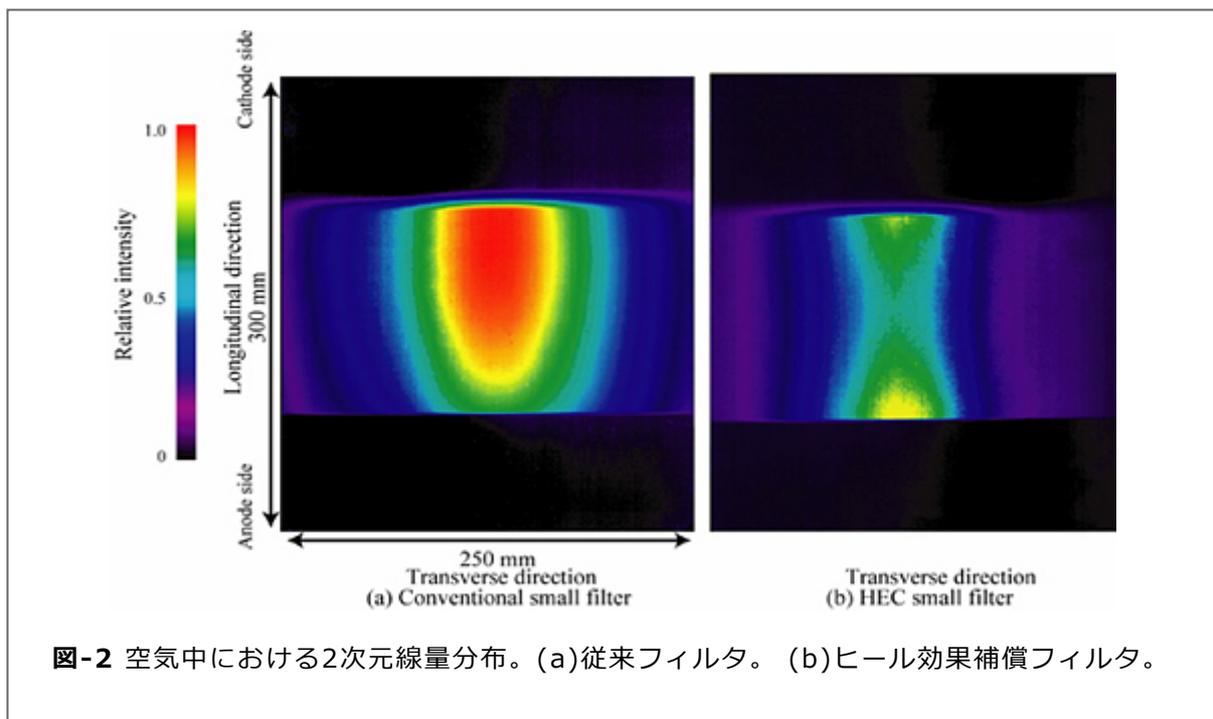
$$DPI(b) = IC(b) \text{ [mGy}\cdot\text{mm]}$$

IC(b) (mGy mm)はビーム幅b mmにおけるイオンチャンバの出力値である。ファントムの中心と端におけるDPIの荷重平均値を次のように定義した。

$$DPI_{ave} = \frac{1}{3} DPI_{center} + \frac{2}{3} DPI_{periphery} \text{ [mGy}\cdot\text{mm]}$$

DPI<sub>center</sub>とDPI<sub>periphery</sub>はそれぞれファントム中心と端におけるDPI値を示す。

フィルムを用いて従来フィルタとHECフィルタの2次元線量分布を図-2に示す。従来フィルタでは、体軸方向に沿って陽極側の線量が大きくなり、ヒール効果の影響が大きく現れているが、HECフィルタでは均一な分布に近づいている。また、HECフィルタのDPI<sub>ave</sub>は従来フィルタに比べ、ファントム中では20%減少し、空気中では、25%減少した。



## ■ 画像ノイズ

画像ノイズとCT値均一性は、水ファントム(直径200mm、長さ250mm)を用いて測定した。5個の円形ROI(region of interest)(直径25mm)を38mm間隔でアキシャル断面に直線上に並べた。測定位置は、体軸方向に $z = -40\text{mm}$  から $40\text{mm}$ まで10mm間隔で、スライス厚は1.0mmとした。

従来フィルタの画像ノイズは、10.6 HU(Hounsfield unit)( $z = 40\text{mm}$ :陽極側)、10.8 HU( $z = 0\text{mm}$ :中心)、11.1 HU( $z = -40\text{mm}$ :陰極側)であり、陰極側に向かうほど画像ノイズが増加していた。一方、HECフィルタの画像ノイズは、11.6 HU ( $z = 40\text{mm}$ :陽極側)、12.1 HU ( $z = 0\text{mm}$ :中心)、11.9 HU ( $z = -40\text{mm}$ :陰極側)であり、体軸方向に均一な分布となっている。また、HECフィルタは、従来フィルタ装着時の陽極側のX線強度にあわせるように設計したため、陽極側では約9.7%、陰極側でも約4.0%の画像ノイズの増加がみられた。

## ■ 低コントラスト検出能

低コントラスト検出能は、商用CT評価ファントム(Catphan 500, CTP515)を用いた。評価位置は、体軸方向に $z = -40, 0, 40\text{mm}$ とした。低コントラストファントムは、バックグラウンドとのコントラスト差0.3,0.5、1.0%が同心円状に並べられている。コントラスト1.0%とは、バックグラウンドとターゲットの平均CT値差が10HUのことを意味する。

従来フィルタとHECフィルタを用いた低コントラストファントムの画像を図-3に示す。陽極側ではHECフィルタは通常のフィルタよりも検出能が劣っているといえる。これは、陰極側の線量にあわせているからであり、ヒール効果により陰極側の線量が低くなり画像ノイズが増加することからも説明ができる。それ故、陰極側におけるHECフィルタの性能は、陽極側よりも劣っているといえるが、HECフィルタは、すべての位置において同じ性能であることがいえる。

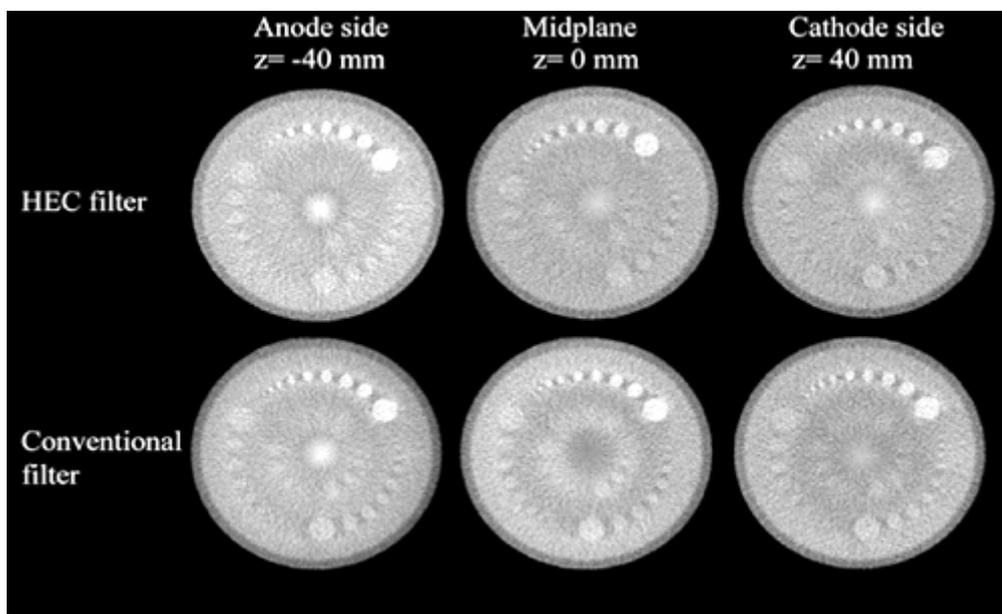


図-3  $z = -40\text{mm}$ ,  $0\text{mm}$ ,  $40\text{mm}$ の位置における低コントラストファントムのCT画像。上段:ヒール効果補償フィルタ。下段:従来フィルタ。

また、帯状アーチファクトは、低コントラスト検出能を低下させる原因の一つであるが、HECフィルタでは、同じ画像処理を行っているにもかかわらず、アーチファクトが軽減でき、低コントラスト検出能を向上させている。これは、ヒール

効果による無駄な線量を低減させるために、アルミフィルタを厚くし、その結果、実効エネルギーが高くなり、体軸方向に均一になったからである。アーチファクト軽減処理は、すべてのスライスに対して同じパラメータで行っているため、従来フィルタでは、陽極側と陰極側でアーチファクト処理が同じ結果にならなかったが、HECフィルタにより、体軸方向に同じアーチファクト処理が可能になったことが考えられる。

## ■ まとめ

本件では、コーンビームCT用ヒール効果補償フィルタの開発並びに、基礎性能評価を行い、従来フィルタよりも次の2点において有利であることを明らかにした。まず1つ目は、体軸方向へのヒール効果を補正し、CTDIファントムを使用した線量測定において、最大20%(ファントム中)の線量低減が可能になった。これは、通常のCT検査に加え、同一部位で連続撮影を行う4次元撮影においては、大きく貢献する。2点目は、HECフィルタにより、体軸方向に均一な実効エネルギーの分布を可能にしたことである。これにより、どのスライスにおいても均一な画質を提供でき、アーチファクト補正に有利となる。また、HECフィルタにより、実効エネルギーが高くなったことから、ビームハードニングの影響も低減することができた。

ここでは、256列CTを使用して、HECフィルタの評価を行ったが、さらに撮影領域が広いフラットパネル検出器搭載コーンビームCTでは、このフィルタの効果は大きくなり、被ばく低減と画質向上の2点から、HECフィルタの必要性が高まることは間違いない。

## ● 謝辞

本研究は放射線医学総合研究所の関係者、4次元CT研究班、東芝メディカルシステムズとの協力により行われたものであり、関係各位に深く感謝いたします。

(森 慎一郎<sup>1)</sup>、遠藤 真広<sup>2)</sup>、西澤 かな枝<sup>1)</sup>、大野 真理<sup>1)</sup>、

1) 医学物理部、2) 研究推進部)

## < 参考文献 >

1. International Commission on Radiological Protection. Managing patient dose in computed tomography: ICRP. Publication. 87, Annals of the ICRP, Pergamon Press, Oxford; 2000.
2. Saint-Felix D, Troussset Y, Picard C, Ponchut C, Romeas R, Rougee A. In vivo evaluation of a new system for 3D computerized angiography. Phys Med Biol 1994;39(3):583-595.
3. Endo M, Yoshida K, Kamagata N, Satoh K, Okazaki T, Hattori Y, et al. Development of a 3D CT-scanner using a cone beam and video- fluoroscopic system. Radiat Med 1998;16(1):7-12.
4. Ning R, Kruger RA. Image intensifier-based computed tomography volume scanner for angiography. Acad Radiol 1996;3(4):344-50.
5. Sonke J, Zijp L, Remeijer P, Herk M. Respiratory correlated cone beam CT. Med Phys 2005;32:1176-1186.
6. Mori S, Endo M, Tsunoo T, Kandatsu S, Tanada S, Aradatte H, et al. Physical performance evaluation of a 256-slice CT-scanner for

- four-dimensional imaging. Med Phys 2004;31:1348-1356.
7. Endo M, Mori S, Tsunoo T, Kandatsu S, Tanada S, Aradate H, et al. Development and performance evaluation of the first model of 4D CT- scanner. IEEE Trans. Nucl. Sci 2003;50:1667-1671.
  8. Kondo C, Mori S, Endo M, Kusakabe K, Suzuki N, Hattori A, et al. Real-Time Volumetric Imaging of Human Heart Without ECG Gating by 256-Detector Row Computed Tomography: Initial Experience. J Compt Assist Tomogr 2005.
  9. Mori S, Endo M, Obata T, Murase K, Fujiwara H, Susumu K, et al. Clinical Potentials of the Prototype 256-Detector Row CT-Scanner. Acad Radiol 2005;12:148-154.
  10. Mori S, Kondo C, Suzuki N, Yamashita H, Hattori A, Kusakabe M, et al. Volumetric Cine Imaging for Cardiovascular Circulation Using Prototype 256-Detector Row Computed Tomography Scanner (4- Dimensional Computed Tomography) A Preliminary Study With A Porcine Model. J Compt Assist Tomogr 2005;29:26-30.
  11. Mori S, Obata T, Kishimoto R, Kato H, Murase K, Fujiwara H, et al. Clinical Potentials for Dynamic Contrast-Enhanced Hepatic Volumetric Cine Imaging with the Prototype 256-MDCT Scanner. Am J Roentogenol 2005;185:253-256.
  12. Mori S, Obata T, Nakajima N, Ichihara N, Endo M. Volumetric Perfusion CT Using Prototype 256-Detector Row Computed Tomography Scanner: Preliminary Study With Healthy Porcine Model. Am J Nuroradiol 2005.
  13. 森 慎一郎, 遠藤 真広, inventors; ヒール効果補正フィルタおよびX線照射装置並びにX線CT装置. 2004-95887, 日本. 2005.
  14. Edyvean S, Lewis M, Britten A. CT scanner Dose Survey: measurement protocol Ver. 5; 1997.
  15. Hubbell J, Selzer S. Tables of x-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients.; 1996.
  16. Mori S, Endo M, Nishizawa K, Tsunoo T, Aoyama T, Fujiwara H, et al. Enlarged longitudinal dose profiles in cone-beam CT and the need for modified dosimetry. Med. Phys. 2005;32:1061-1069.
  17. U.S. FDA. Code of Federal Regulations. Diagnostic x-ray systems and their major components: Govt. Printing Office,; 1984.

## [<sup>18</sup>F]FDG製剤の実用的な品質検査法を構築

### ■ はじめに

2002年4月に[<sup>18</sup>F]FDG(2-[<sup>18</sup>F]フルオロ-2-デオキシ-D-グルコース)製剤を用いたPET診断法が健康保険診療として悪性腫瘍やてんかん、虚血性心疾患に適用となって以来、PET検査を行う施設が飛躍的に増加しています。昨年9月より医薬品製造業者による[<sup>18</sup>F]FDGのデリバリーが開始されましたが、<sup>18</sup>Fの放射能半減期が110分と非常に短いために、施設内にサイクロトロンや[<sup>18</sup>F]FDG用の合成装置を設置し、PET検査に供している場合がほとんどで、現在このような施設は国内で100にも及びます。

施設内で製造した[<sup>18</sup>F]FDGは、PET検査に利用される前に品質や安全性を保証するため、速やかに品質管理試験を行う必要があります。比放射能、化学的異物や放射性異物の試験は、日本核医学会や日本アイソトープ協会が定めたガイドラインに示され、欧米ではすでに医薬品の公定書である薬局方に収載されています。その試験法としては、陰イオン交換クロマトグラフィーと電気化学検出器を組み合わせた方法が規定されていますが、コストやメンテナンス面、再現性が乏しいなどの理由で利用されているところが少ないうえに、放射性異物の測定が一部できないため、ラジオ薄層クロマトグラフィーによる試験を追加する必要があります。

このような背景のもと、実用的で迅速な[<sup>18</sup>F]FDG製剤の品質試験方法を構築しました。

### ■ HPLC/UV/放射能検出法の適用

糖分析で広く用いられる示差屈折検出法は、FDG製剤中に存在する微量の分析対象物(<数十ppm)の測定には不十分です。また、FDG等の糖類は、UV波長領域において吸収が非常に低いため、UV検出法による直接の測定が困難です。そこで、アルデヒド基に対する発色試薬である2-シアノアセトアミド(2-CA)を用いてオンラインで誘導体化しUV検出する方法を考案しました(図-1)。液体クロマトグラフィー(HPLC)により[<sup>18</sup>F]FDG製剤中の成分を分離した後、2-CA溶液と混合し、反応オープン中に設置されたコイルを通った後にUV検出器により検出します(図-2)。

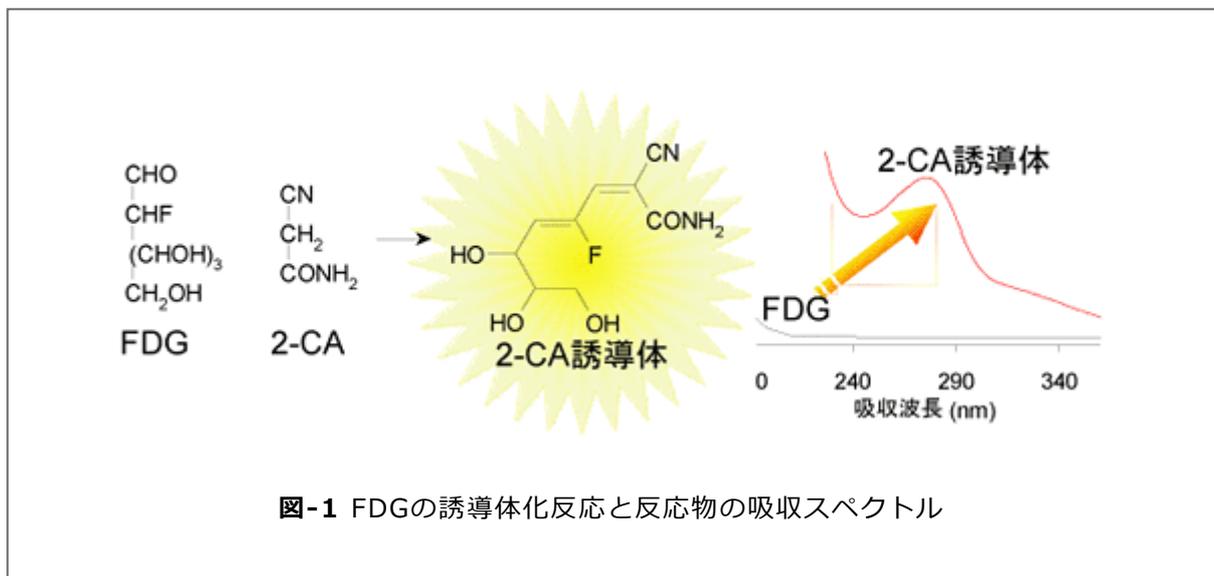


図-1 FDGの誘導体化反応と反応物の吸収スペクトル

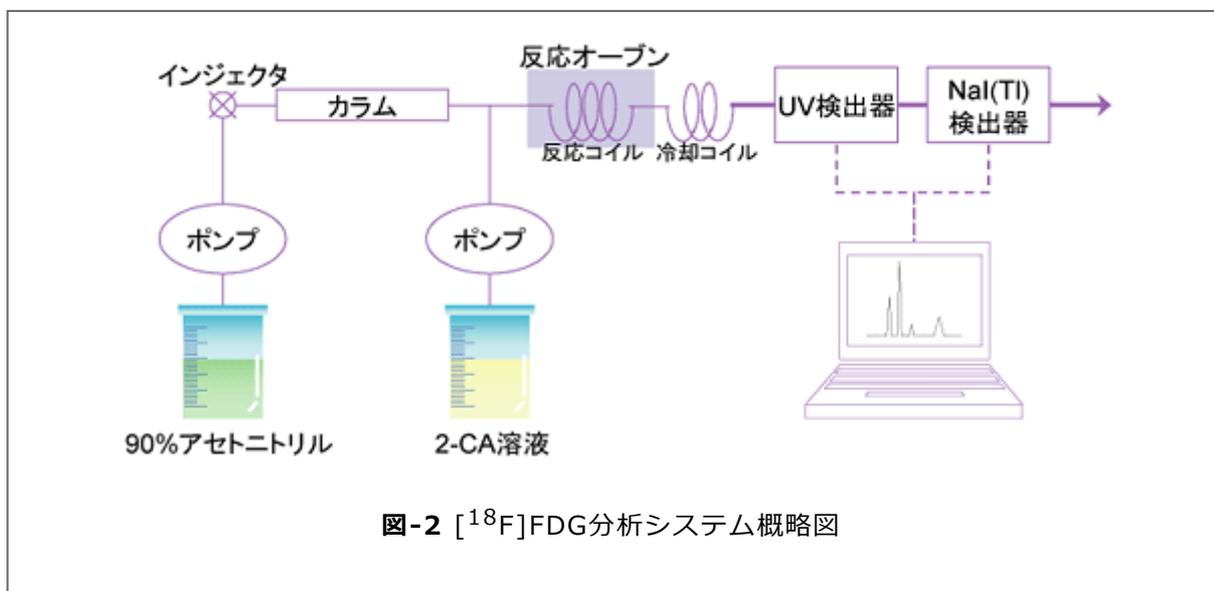


図-2  $[^{18}\text{F}]$ FDG分析システム概略図

この方法では、 $[^{18}\text{F}]$ FDG 製剤に含有する非放射性のFDG及び反応副生成物で国内ガイドラインや米国薬局方等で試験が規定されているCIDG(2-クロロ-2-デオキシ-D-グルコース)を十分な感度で検出することが可能であり(図-3)、従来法の陰イオン交換クロマトグラフィー/電気化学検出法での欠点である再現性も解消しました。

NaI(Tl)検出器で放射能を同時にモニタリングすることにより、従来法では検出不可能であった放射性の不純物で $[^{18}\text{F}]$ FDG の製造工程で存在し製剤に混入する可能性のある $[^{18}\text{F}]$ F-や $[^{18}\text{F}]$ FDGのアセチル体を同時に測定することができました(図-3)。

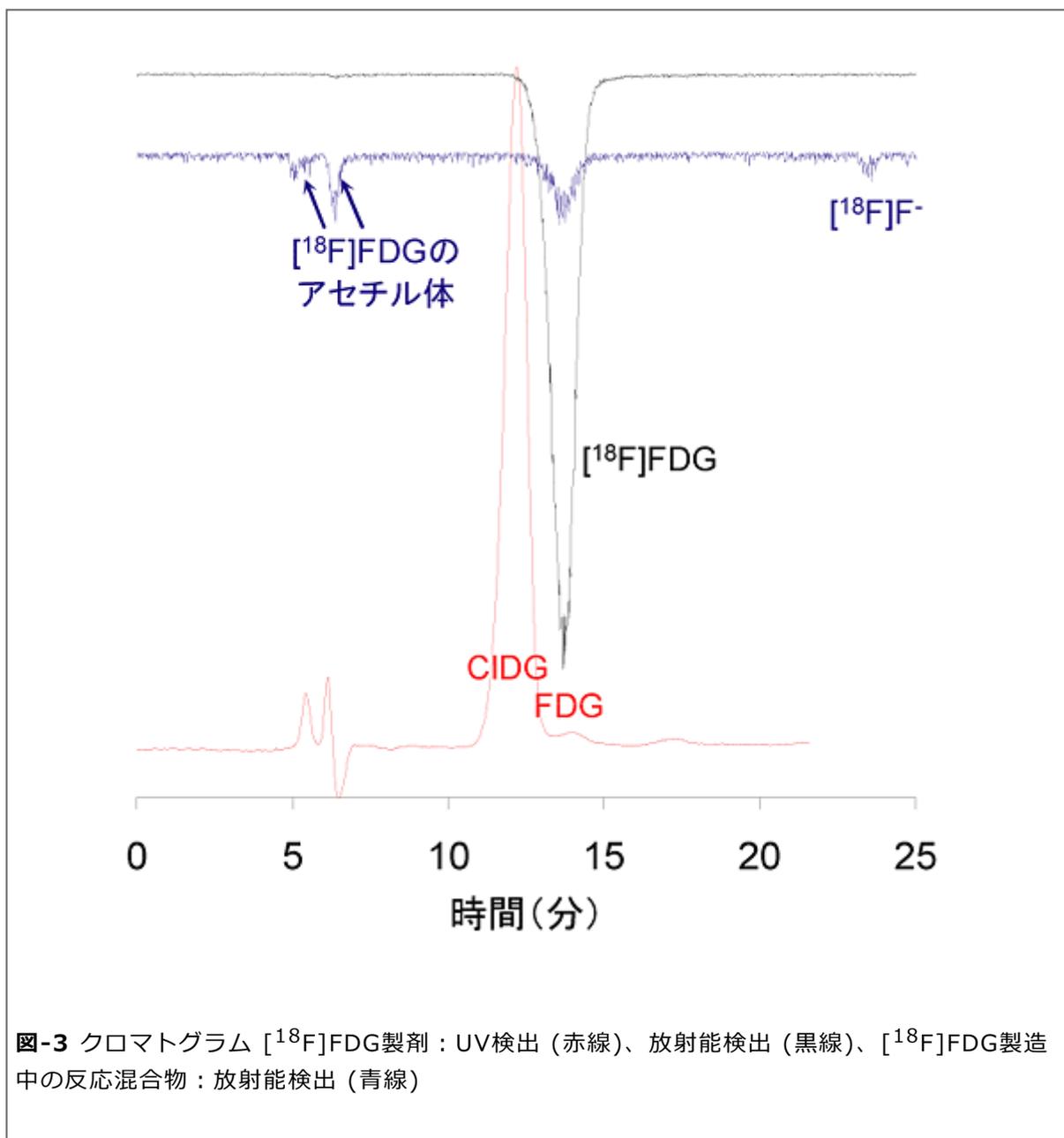


図-3 クロマトグラム  $[^{18}\text{F}]$ FDG製剤：UV検出（赤線）、放射能検出（黒線）、 $[^{18}\text{F}]$ FDG製造中の反応混合物：放射能検出（青線）

本法は、1) 取り扱いが容易で安価なUV検出器を使用する、2) 30分以内に分析可能である、3) 再現性が良好である、4) ひとつの測定で非放射性や放射性の異物の試験が可能である、という特徴を有していますので、より多くのPET施設で適用できると考えられます

(画像医学部 放射薬剤製造・開発室 薬剤師中尾 隆士)

## 欧米10カ国以上の参加を得て開催した オーストリア・インスブルックでの 「放医研-MedAustron合同シンポジウム」

放医研の重粒子線治療装置(HIMAC)は、医療用重粒子線加速器としては世界初の装置で、すでに10年以上にわたり2,600人以上に対して治療実績があり、高度先進医療としても承認されている。一方、インスブルック医科大学は、オーストリアに重粒子線治療センターを設立すべく、MedAustronと名付けたプロジェクトを推進している。そこでこの両者が共催で、2月25、26日の2日間、インスブルック医科大学の大講堂で「NIRS-MedAustron Joint Symposium」を開催した。シンポジウムでは、放医研での治療実績とともに、ヨーロッパで進められている粒子線治療施設の現状、ならびに粒子線の生物学・物理学的特性などが紹介され、活発な討議がくりひろげられた。

オーストリアでは現在、インスブルック医科大学他4大学により、MedAustron Project と呼ばれる粒子線治療施設の建設計画が進行中である。同大学では、今後、医師や医学物理士、技師等の放医研での研修、ならびに放射線物理・生物学分野での共同研究を希望していた。一方、放医研では、これまで10年以上にわたり2,600人以上の患者に対して重粒子線治療を実施し、光子線抵抗性がんに対する治療や短期照射法の開発などで、世界でも注目される成績が得られているが、この成果を、国内に止まらず国外でも宣伝・普及に努めるよう勧告されていた。そこで、欧米の関係者に研究集会開催の可能性を打診したところ、今回のインスブルック大学以外にも、ドイツやイタリアからも開催希望の意向が伝えられた。放医研内で検討した結果、インスブルック医科大学が独自のプロジェクトを推進する上で、最もわれわれの成果を必要としていると判断し、今回の「NIRS-MedAustron Joint Symposium on Carbon Ion Therapy in Cancer」を開催する運びとなった。

本シンポジウムは、インスブルック大学としても絶好の機会ととらえたようで、開催前日には記者会見が行われた。これには放医研の参加者も同席し、理事長声明が読み上げられた。また、放医研とインスブルック医科大学との間では、本シンポジウム開催を機に、重粒子線治療に関する研究協力のための覚書を締結することとなり、同日夕方、そのための記念式典が行われた。ここにも、プロジェクト推進に向けた大学側の意気込みが感じられる。

シンポジウムの出席者は約120名で、参加国は欧米の10カ国以上に上った。放医研からは、講演者、座長、事務局の合計14人が派遣された。事前予測では、数カ国からせいぜい60人前後の参加であろうとしたことを考えると、大変盛会であったといえる。最初の計画では開催日を1日だけとする予定であったが、サテライトシンポジウムも加えて2日間にしたことも、出席者数の増加に繋がったものと思われる。

出席者の中には、重粒子線治療施設を建設中のハイデルベルグ大学やイタリア CNAOグループ、建設計画推進中のリヨン大学、建設案作成のための情報収集が

目的のメーヨークリニックグループ、あるいは現状をビジネスチャンスととらえた企業など、さまざまな立場のものが含まれていた。

1日目の25日(土)は、午前中が放医研の成果発表に当てられ、午後はEU諸国の粒子線治療プロジェクトの現況についての報告に当てられた。放医研の臨床成績については、いずれの疾患も高い関心を集めたが、内容の詳細をプロシーディングとして当日配布したこともあり、参加者の満足度は高いものがあったと思われる。最後に行われた総合討議では、回転ガントリーの是非が取り上げられ、賛否両論、活発な意見交換がなされた。2日目のサテライトシンポジウムでは、主に線量分布計算法とか治療計画法が取り上げられたが、これはインスブルック医科大学が特に関心の高いテーマであった。なかでも治療計画法は、ブロードビーム法をとるか、スキャンニング法をとるか、全く別のものになり得る位に重要であり、活発な意見交換があった。

以上、本シンポジウム開催の目的は十分に果たすことができたと思うが、そのかいあって、イタリアのCNAOグループや、フランスのリヨン大学、あるいは米国メーヨークリニックなどから、同様のシンポジウムを開催したいとの希望があり、検討を約束した。

(重粒子医科学センター 辻井 博彦)



インスブルック医科大学



記者会見の会場



会場風景

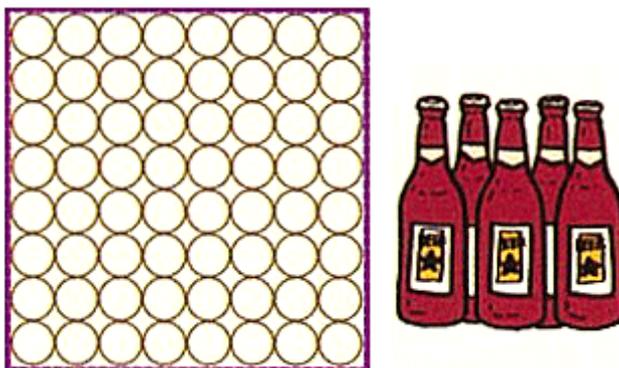


集合写真

## 頭の体操

## ビール瓶の箱詰め

下の図は、ビール瓶が正方形の箱に64(8×8)本びっしり詰まっているのを、上から見た図です。



さて瓶を並べ変えることによって、同じ箱に同じ瓶をこれ以上多く詰める事ができるでしょうか。ただし同一平面上に水平に詰めてください。

**お詫びと訂正：3月号の頭の体操、答えの左段下の数式**

$$\text{誤： } P a a = \left(\frac{1}{2}\right)^n \times \left\{ 1 + \frac{1}{8} + \left(\frac{1}{8}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{8}\right)^n \dots \right\}$$

$$\text{正： } P a a = \left(\frac{1}{2}\right)^2 \times \left\{ 1 + \frac{1}{8} + \left(\frac{1}{8}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{8}\right)^n \dots \right\}$$

(加速器物理工学部 藤澤 高志) (答えは[最後のページ](#))

## お知らせ

**平成18年度 科学技術週間「施設公開」**

- 公開日：平成18年4月23日（日）
- 公開時間：10:00～17:00

**静電加速器棟「施設公開」**

- ★ 静電加速器棟の微量多元素同時分析装置を公開します。
- ★ 小型の加速器の利用方法、PIXE分析方法を紹介합니다。

**緊急被ばく医療施設「施設公開」**

- ★ 緊急被ばく医療施設を公開します。
- ★ ホールボディカウンタによる、体内放射能測定やビデオの放映も行います。
- ★ 体験コーナーでは、放射線測定の実際を体験できます。
- ★ 放射線の安全管理とは何かをパネルで紹介します。
- ★ 緊急時に活躍するモニタリングカーを展示公開します。

**重粒子線棟「施設公開と医療相談」**

- ★ 重粒子線がん治療装置(HIMAC)を公開します。イオン源室、主加速器室、治療室などの施設を見ることができます。
- ★ 医師によるがんの放射線医療に関する相談を行います。
- ★ 病院の概要、重粒子線治療についてパネルで紹介します。

**画像診断棟「ようこそ!分子イメージングの世界へ!」  
「放射線治療の品質管理について」**

- ★ 新しい研究分野である分子イメージング、および研究センターの紹介をします。
- ★ 次世代PETやPET・CT装置の見学ができます。
- ★ がんや脳神経疾患の画像診断法の概要をパネルやパソコンで紹介します。
- ★ 放射線治療の品質管理についてパネルで紹介します。

**サイクロトロン棟「施設公開と重粒子線治療普及のための研究」**

- ★ サイクロトロンの主加速器を公開します。
- ★ 重粒子線がん治療の普及に向けて開発した小型加速器の試作機を公開します。

**研修棟**

- ★ 放射線測定、化学実験教室などの体験コーナーがあります。
- ★ 放医研の研修コースについてパネルで紹介します。
- ★ 小中学生のための理科実験コーナー

**研修棟「放医研の国際活動と研究推進」**

- ★ 国際的研究活動及び協力事業をビデオや展示で紹介します。
- ★ 産官学連携と研究推進の活動をパネルや展示物で紹介します。

## 講堂「放射線とのかかわり-ヒト、生物、環境-」

- ★ 実験動物の展示
- ★ ミニミニ実験室
- ★ 環境放射線の実演
- ★ 缶バッジ制作

平成18年度 科学技術週間

# 一般公開

## マイクロから宇宙まで!放射線の世界

平成18年4月23日(日)  
午前10時から午後5時00分まで

- 施設の見学 (重粒子線機・サイクロトロン機等)
- 講演会  
午前10時～11時 重粒子線によるがんの治療—その原理と展望—  
午後2時～3時 放射線による脳卒中と認知症の予防対策
- がんの医療相談 (無料)
- ミニミニ実験教室・動物とのかかわり缶バッジ作り

〒277-8565 千葉県浦安市木更津 1-1-1  
TEL: 0476-229-0000 FAX: 0476-229-0001  
URL: <http://www.aist.go.jp> E-mail: [info@aist.go.jp](mailto:info@aist.go.jp)

独立行政法人  
放射線医学総合研究所  
〒265-0292 千葉県千葉市中央区美玉町1-1-1  
TEL: 043-296-0000 FAX: 043-296-0001  
URL: <http://www.nirs.go.jp> E-mail: [info@nirs.go.jp](mailto:info@nirs.go.jp)

## お知らせ

## 海外からの来所者

平成18年2月～3月

来所期間/用務	所属	国籍
<b>● HIMACを用いた原子核反応の精密測定</b>		
2月1日～ 18日	米国 コロラド州立大学	米国
<b>● 低線量放射線被ばく者の染色体研究方法について情報交換</b>		
2月4日～ 24日	ロシア X線学・放射線学 ロシア科学センター 細胞 遺伝学研究所	ロシア
<b>● 共同研究実験</b>		
2月6日～ 13日	米国コロラド州立大学	米国
<b>● 重粒子線治療に関する施設見学および関係者との会合</b>		
2月6日～ 7日	ロシア Budker Institute of Nuclear ロシア Chanty-Mansyisk Institute of Onformatics ロシア Khanty-Mansi Public Health Minister	ロシア
<b>● IAEA コラボレーションセンター記念セレモニー出席</b>		
2月7日～ 10日	IAEA 人間健康部	オーストリア
<b>● フロンティア研究センター、先端遺伝子発現研究センターの見学および質疑応答</b>		
2月8日	台湾中央 研究院ゲノムリサーチセンター	台湾
<b>● 重粒子線施設見学</b>		
2月10日	米国 CMS Inc.	米国
<b>● イギリスにおける放射線防護剤開発の現状を知る</b>		
2月11日～ 18日	英国 オックスフォード大学	イギリス
<b>● 体内除染薬剤等の投与法等の標準化</b>		
2月13日～ 17日	中国科学院上海薬物研究所	中国
<b>● バインダー作用に基づく放射線障害における防護薬剤の評価及び使用方法に関する考察</b>		

2月14日～ 中国 復旦大学 中国  
18日

● 細胞遺伝学的手法を用いた宇宙放射線被ばくの生物学的線量推定

2月14日～ ロシア X線学・放射線学ロシア科学センター 細胞 ロシア  
19日 遺伝学研究所

2月17日～ ロシア ネスメヤノフ有機混合物質研究所 ロシア  
24日

● PET、緊急被ばく医療棟他の施設見学および質疑応答

2月17日 フランス ピティエ・サルペトゥリエール病院 フランス  
フランス大使館 フランス(日本)

● 放射性核種の環境移行パラメータ及び移行モデルの研究

2月20日～ 韓国原子力研究所 韓国  
26日

● 緊急被ばく医療における早期線量評価における防護剤と治療剤の研究現状についての情報交換

2月28日～ 米国 シカゴ大学 米国  
3月4日

## 紹介コーナー

## 緊急被ばく医療研究センターの研究・業務

- ▼ 2月13日（月）～15日（水）被ばく医療機関等の医師、看護師等の受講生20名に対し、第21回緊急被ばく医療セミナーの開催。
- ▼ 2月14日（火）神奈川県で原子力安全研究協会が主催した平成17年度第2回神奈川県「緊急被ばく医療ネットワーク調査検討会」に出席。
- ▼ 2月14日（火）日本原子力研究開発機構東海研究開発センター及び茨城県が水戸赤十字病院で開催した平成17年度緊急被ばく医療措置訓練を見学し評価を行った。
- ▼ 2月15日（水）静岡県浜岡原子力防災センターで静岡県が主催した平成17年度静岡県原子力防災訓練に参加。
- ▼ 2月16日（木）青森県主催の青森県緊急被ばく医療検討委員会に委員として出席し、緊急被ばく医療体制について検討した。
- ▼ 2月16日（木）青森県で日本原子力文化振興財団が主催した講演会「放射線・放射能について考える」で講演等を行った。
- ▼ 2月16日（木）成田国際空港で開催された成田NBCテロリズム対策研究会に出席し、テロ対策合同訓練に関する打ち合わせを行った。
- ▼ 2月20日（月）宮城県主催の原子力防災緊急時医療活動マニュアル研究会に出席。
- ▼ 2月21日（火）～23日（木）アルゼンチンのブエノスアイレスでIAEAが主催したIAEA Assistance Work Group (AWG) and Expert Groups (EG) meetingに Assistance Work Group Memberとして参加し、放射線災害の医療対応について議論した。
- ▼ 2月24日（金）原子力安全技術センターが開催した平成17年度原子力防災研修事業第4回共通基礎講座教材検討サブグループに委員として出席し、講座テキスト並びに原子力防災ポケットブックについて検討した。
- ▼ 2月27日（月）千葉市消防学校の救急標準課程に講師として参加し、急性放射線障害に関する講義を行った。
- ▼ 2月28日（火）茨城県の平成17年度緊急被ばく医療関連情報連絡会幹事会に出席し、平成18年度緊急被ばく医療に関する年間活動計画(案)について検討した。

- ▼ 2月28日 (火) 茨城県において、緊急被ばく医療に関する机上演習を実施、医療の関係機関相互の機能・役割を共有して対応方針を確認した。
- ▼ 2月28 (火) 原子力安全技術センターの平成17年度第2回原子力防災研修部会に出席、18年度実施予定について検討した。
- ▼ 3月3日 (金) 放射線事故医療研究会の平成17年度「放射線事故医療研究会幹事会」に委員として出席し、会報誌JAMMRA等について検討した。
- ▼ 3月3日 (金) 原子力安全研究協会の第2回「被ばく医療関係者実務研修調査専門委員会」に委員として出席、平成17年度事業のとりまとめについて検討した。
- ▼ 3月6日 (月) 原子力安全技術センターの平成17年度原子力防災研修事業 第3回教材作成ワーキンググループに委員として出席。
- ▼ 3月7日 (火) 千葉県の原子爆弾被爆者健康管理手当等認定委員会に委員として出席し、健康管理手当等の審査を行った。
- ▼ 3月7日 (火) 放医研で平成17年度染色体ネットワーク会議技術検討会を開催し、線量効果標準曲線、染色体分析マニュアル作成に関する報告と検討を行った。

(緊急被ばく医療研究センター 調整管理室)

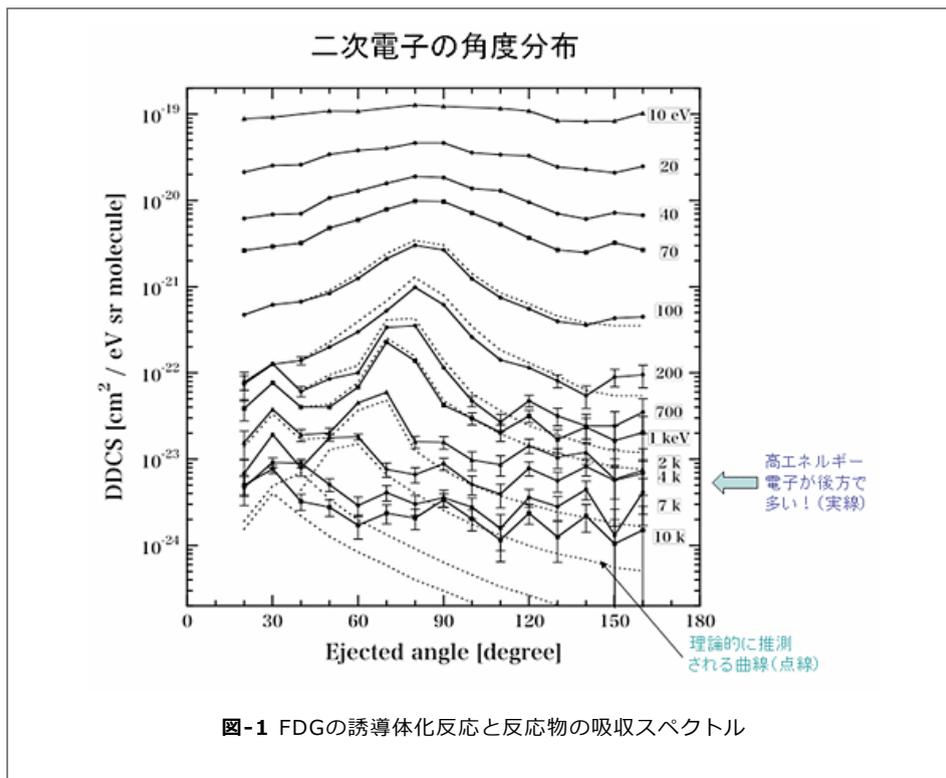
## 二体衝突・理論では考えられない 原子衝突過程で生成される高エネルギー電子を発見

### ■ はじめに

放医研/京大/理科大との共同により、重イオン衝撃による水分子からの二次電子放出を実験的に求め、得られた二重微分断面積(DDCS)からBragg peak領域における重イオンのトラック構造(重イオンの飛跡に沿って生じるエネルギー付与の空間分布)を解析する研究を続けています。最終目標は、DNAへのダメージ付与(局所的な分子間結合の損傷)がどのようにして細胞不活性化(分裂停止)へ移行していくかを解明することです<sup>1)</sup>。この二次電子計測の過程において、従来のRutherford散乱(二体衝突)理論では考えられない高速電子の存在を見つけました。原子物理上の興味ある問題です。

### ■ 実験装置

鉄製チャンバ、水蒸気ジェット発生・捕獲装置、電子線分析・検出装置(平行平板静電型マイクロチャンネルプレート:MCP)等からなる測定系を開発し、水分子への6.0、10.0 MeV/u  $\text{He}^{2+}$ 衝撃により放出される二次電子線のエネルギー(7 eV-12keV)及び角度分布(20-160°)の測定に成功しています<sup>2)</sup>。得られたDDCS(系統誤差 $\pm 13\%$ )は、中～高速電子(>200 eV)に対して後方における異常放出を示しました、(図-1)。



これは放出電子の一部が自身のターゲット核との強い相互作用によりターゲット核に一旦近付いた後に後方散乱していることを示唆するものです。図-2に、その基本的考え方を示します。

Ferimi-shuttle acceleration  
のメカニズム

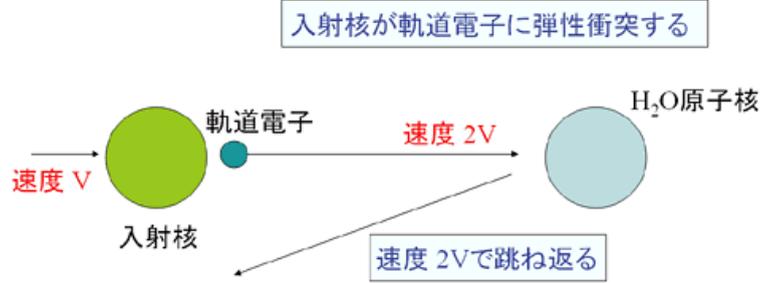


図-2 FDGの誘導体化反応と反応物の吸収スペクトル

一方、放出角度について積分して得られる微分断面積(SDCS)と二体衝突近似をベースに $H^+$ 衝撃での実験断面積値による補正を加えた半経験的解析式の1つであるRuddモデルとの比較では、中速領域  $\{0.1-1.1 (3.5) \text{ keV}\}$  での減少、高速領域  $\{>1.1 (3.5) \text{ keV}\}$  での異常増加を確認しました<sup>3)</sup>、(図-3)。

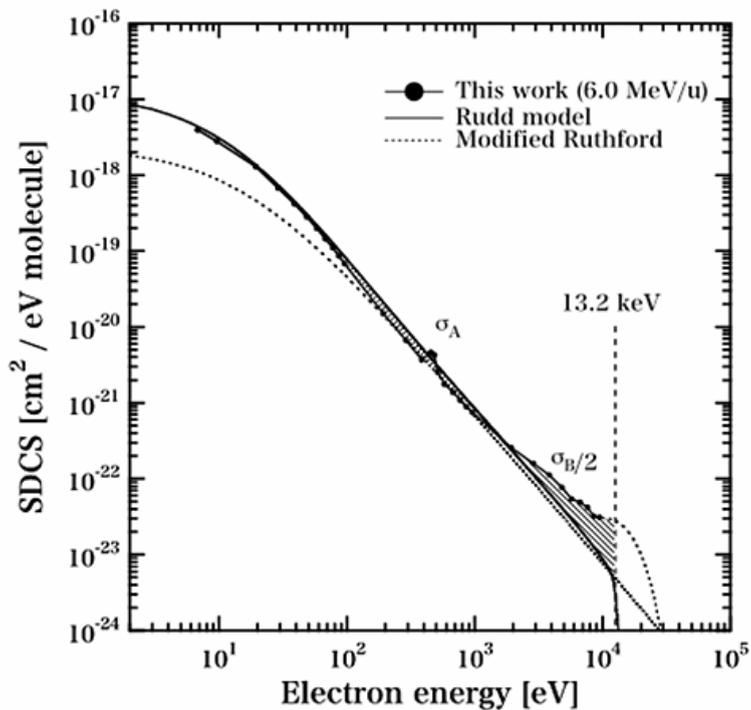


図-3 FDGの誘導体化反応と反応物の吸収スペクトル

この結果は、入射イオンとの二体衝突で獲得し得る最大速度 $2V$ ( $V$ は入射イオン速度)を大きく超える電子放出が有意に存在することを示すものであり(Appendix参照)、軌道電子の運動量分布(Compton profile)を考慮しても説明できない現象です。モデルとの不一致領域の解析から、本測定では放出電子の一部が入射イオン-ターゲット核間での繰り返し衝突により $V$ の2倍ずつ運動エネルギーを獲得(+ $2nV$ )していく"fermi-shuttle加速"(50年以上昔、核物理研究で有名なFermiが宇宙線研究の中で見出した現象で、これが原子衝突にも応用できるという点が興味深い)と呼ばれる現象が発生し、中速領域の減少分がこれにより加速され高速領域の増加分として移り込んでいる可能性が高いと考えています<sup>4)</sup>。

我々はFermi-shuttle加速現象が本質的にattraction(ターゲット分子内の軌道電子の入射イオンへの引き寄せ、 $\sim 2V$ への加速)とtrap(放出電子の入射イオン-タ

ーゲット核間での繰り返し衝突、～4Vへの加速、後方散乱もtrapの一種と見なせる)の2つのプロセスから成ると考えています。

## ■ Appendix

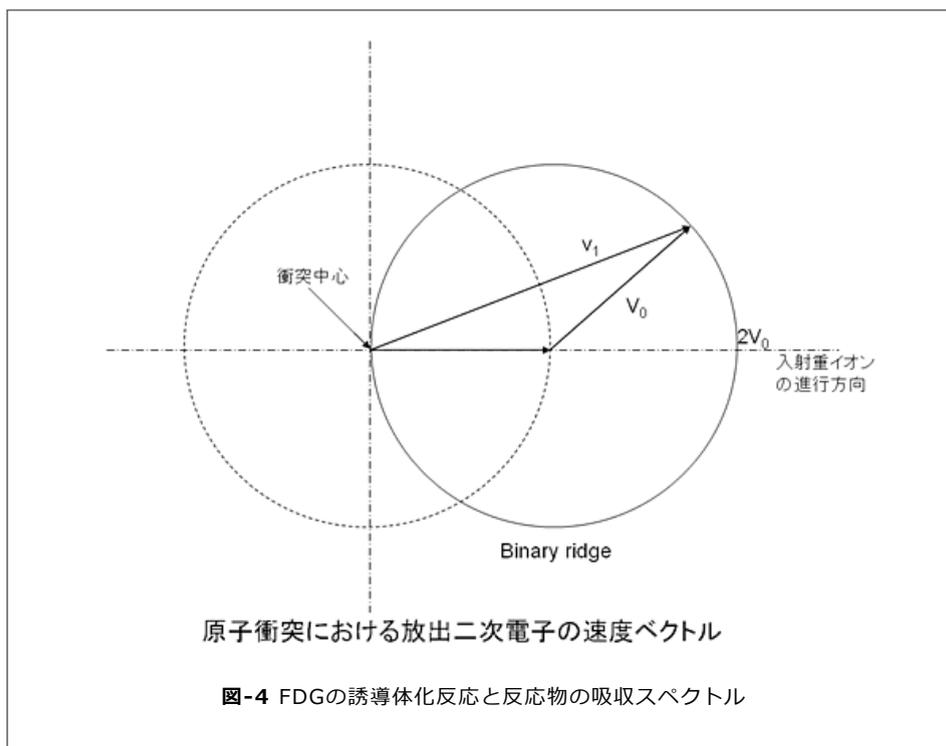
質量Mの入射粒子(速度 $V_0$ )が静止している質量mの粒子に弾性衝突した時の質量mの粒子の速度ベクトル $v_1$ がどうなるかを考えます。これは、重イオン等の重い粒子が軽い電子に衝突する事を想定しています。今、衝突後の質量Mの粒子の速度を $V_1$ とすると、運動量保存則とエネルギー保存則から、次の二式が成り立ちます。

$$MV_0 = mv_1 + MV_1$$

$$M|V_0|^2 = m|v_1|^2 + M|V_1|^2$$

ここで、 $m/M < 1$ の条件の下に $V_1$ を消去すると

$|V_0| = |v_1 - V_0|$  を得ます。これは図-4に示すように、質量mの粒子の速度 $v_1$ は前方0度方向の速度( $2V_0$ )を最大とする円状に分布することを意味します。



(群馬大学、重粒子線医学研究センター 佐藤 幸夫)

### <参考文献>

1. Y.Sato and F.Soga, Int.J.Radiat. Biol.75 (1999) 1015.
2. D.Ohsawa and Y. Sato et al., Nucl. Instrum. and Meth., B 227 (2005) 431.
3. D.Ohsawa and Y. Sato et al., Phys. Lett. A, 342 (2005) 168.
4. D.Ohsawa and Y. Sato et al., Phys. Rev. A. 72 (2005) 062710.

## エッセイ・ばるす NO.52 "光と狸"宇宙からの壮大なアート

わが家のコンピュータが死んだ。電源を入れて10数分後、暗黒のモニター画面左上に「OS not found」と宣告される。寿命だ。仕方がない。それで、なけなしの資金を投じてDELLの最新型ノートパソコンを購入、ついでにと旧来のISDNから光ファイバーケーブルへ接続することを検討した。その結果、月々の費用が、自分のと東京在住の娘のネットワーク代(私が負担)を含めてもこれまでなら4,000円弱で済むところ、NTTの光の基本料金5,400円にプロバイダー料金を加算した7,000円弱の2名分、計14,000円の出費になることが判明した。定年後も技術の進歩の恩恵にあずかり、世間の動向と歩調を合わせて残り少ない人生を意義あるものにしようとするとなれば、資金がいる。それができない老人は、朽ち果てるしかないことを悟ったのだった。

そしてある日の早朝、ウチのおくさんから公園前のいつもの場所にゴミ捨て行きを示唆されて寝ぼけ眼で玄関口を出た。そこで、いつもとちがう気配を背中に感じた。ゴミ袋を左手に振り返ると狸が私を見上げている。やあ、おはようと口に出さずに云い、そのまま階段を下りる途中で立ち止まった。なんのへんてつもなさそうだが、ちょっとちがう。狸が何かいいような気がした。そして理解した。これは、珍なる現象といってよいであろう。なぜなら、狸は[写真下](#)のような事態を楽しむために自らここに立っているのではない。今までずっと庭にいて同じ風景に飽きただろうと思った主人が玄関に連れて来たのだ。もちろん、セットポジションや角度はそのときの気まぐれである。そこに、久しぶりの朝日が、狸のそこへ集中した。光源は、探求写真が示すとおり、最近わが家の玄関前の電柱に取り付けられたケーブルに付いてる箱だ。これはすごい。偶然か。いやちがう。狸のそこと箱の表面の角度と太陽の緯度、経度がぴたりと一致した必然だ。宇宙の創始者が私のためにしてくれた壮大なるアートだ。宇宙からのメッセージだ。感動する。そして、宇宙の神秘の兆候に即座に応答し、積極果敢、冷静沈着に真理を探究した自分をほめてやりたいくらいだ。いや、宇宙からキャッチした信号を私の網膜に投影し、さらに「むふふふふふふ....」と笑ってその意味するところを主人に覚らせた狸のおかげかもしれない。二人の連携プレーの成果だ。そうに違いない、と確信する間もなくスポットライトは消え失せ、まだ金曜なのにサンデー毎日の世界が忽然と復元したのだった。

翌朝の同時刻、筆者は期待して玄関口に立った。しかし、あいにくの雨、次の日も雨、今日も雨である。もう見られないのかと心配しつつ、あの箱を見上げて気が付いた。あれ、光ファイバーケーブルの一部じゃないか?狸が光ケーブルを活用して私をからかったのか、光ケーブルが狸に協力を依頼してBフレッツ検討中の私にその存在をアピールしたのか。奇跡を再現できない今となっては「真理はnot found」。

(重粒子医学物理部 客員研究員 松本 徹)



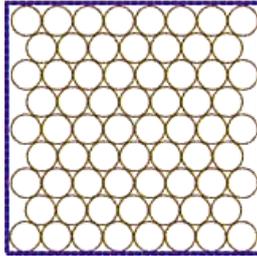
10数秒後、なにごともなかったかのように  
狸は普段の涼しい顔に戻った。

◆ 答え ◆

下の図の様に詰めれば68本詰められます。可能かどうかは検証してみてください。なお、蜂の巣の各個室がこのような配置になっているのは皆さんもご存じと思います。

出典： 忘れました。

応用： もし49(7×7)本の瓶の詰まった同様の正方形の箱の場合  
はどうなるでしょうか？



Copyright (c) 2006 National Institute of Radiological Sciences.