

- トップコラム／筑波大学 陽子線医学利用研究センター 教授 榮 武二
- 非破壊検査／[シリーズ1] 非破壊検査とは
- 暮らしと放射線 あれこれ／宇宙線〈1.その正体〉
- お願い／ご連絡の際は、まず事業所番号を！
- ご案内／クイクセルWebサービス

ト  
ッ  
プ  
コ  
ラ  
ム

104



榮 武二

## 陽子線治療施設における放射線場

陽子線治療、重イオン線（炭素線）治療は、少ない照射門数で腫瘍標的に対する線量の集中を良くできるという特徴を持ち、国内の施設数が10か所を超えるのもまぢかになりつつあります。世界的に見ると、日本の陽子線治療・重イオン線治療施設の建設計画の増加は突出しています。新しい計画も進行しており、この治療法の将来的な位置づけを確立するためには、様々な課題の検討を行わなければならない大事な時期にきていると言えます。ここでご紹介するのは、筑波大学の陽子線治療施設の放射線場に関わる課題です。

筑波大学の陽子線治療施設の建屋は、最大厚2.5mの中性子遮蔽コンクリート壁で囲まれたビーム使用領域を持つ4階建てで、前段加速器（3.5MeV-RFQ型ライナック、7MeV-ドリフトチューブライナック）、最大エネルギー250MeVのシンクロトロン、ビームラインと治療室等は2階に設置されています。加速エネルギーとして、155、200、230、250MeVの4つを使用しています。取り出されるビームは約0.3秒の幅を持つパルスで、パルス内の電流は変動しています。出射の周期は標準で2秒であり、呼吸同期照射を行う場合は、フラットトップを維持する時間が可変となり同期信号を待つことができます。つまり、この加速器は患者の呼吸に合わせて動きます。この間欠的な時間構造は、積算型の線量計において計数ロスを起こす原因となる場合があります。また、高周波を使用する機器には共通の問題ですが、放射線検出器の電子回路に対して影響があり、ビーム使用領域での放射線場の測定ができない場合があります。

治療室が2室あり、加速器室内の振分け磁石によりシンクロトロンからのビームが供給されます。治療室には、患

者への照射角度を変えるための巨大な回転照射装置（回転ガントリー）があります。回転ガントリーは直径10mで重量は200トンを超えます。

医療用加速器ですから、同じ加速エネルギーを使う場合、加速器、ビームラインの磁石の設定は、基本的に同じ条件を使い、微調整を行わないのが普通です。これは、ビーム位置が常にダクトの中心を通っていることを意味しており、ビームロスほとんど発生しません（シンクロトロン固有の特徴）。つまり、加速器・ビームラインでの放射化と中性子の発生は非常に小さくなります。ただし照射室では考慮すべき問題が発生します。

照射室では、散乱体により広げられたビームを使います。この方法は、患者から見てビーム上流側に各種のフィルターが挿入され、放射化と二次放射線発生が起こります。遮蔽や、患者への影響が考えられるのは主に中性子で、そのエネルギーは、熱領域から100MeVを超える領域まで広がっており、特殊な放射線場と言えます。関連する問題は、遮蔽、機器影響、患者影響、従事者への影響、機器・建屋の放射化など様々です。

時間構造が間欠的であること、多種の二次放射線が混在し、高速中性子のエネルギーが非常に高いことにより、計測が困難になる場合があります。中性子のエネルギー情報を得るために場を乱してしまうことも避けたいことです。これまで試みた実測では、これらの問題を完全には払拭できていないのが現状です。モンテカルロ法による評価も試みていますが、いずれにせよ実測との関係を調べなければなりません。

患者のペースメーカー等への中性子影響、高度化した照準用機器への影響など評価を急がなければならない課題がある中で、患者周りの放射線場を乱すことなく線種ごとの強度分布を測定する方法を確立することが課題になっています。関係する計測技術の課題は、この他、治療ビームの線質測定に関するもの、治療の線量分布評価に関するもの（特に実時間測定、臓器の動きへの対応）等が残されています。全て、この分野で先進的な計測技術が駆使されていると評価されるには乗り越えるべきものと言えます。

さかえ たけじ（筑波大学 陽子線医学利用研究センター 教授）

プロフィール●1958年鹿児島生まれ。1983年九州大学総合理工学研究科修了。工学博士。1983年九州大学工学部助手、1991年同助教授、1998年筑波大学臨床医学系助教授、2006年より現職。専門は放射線計測学、医学物理学。陽子線治療の施設管理、がんプロフェッショナル養成プラン等で大学院での医学物理学分野の人材育成に従事。特技は加速器の修理。



## 非破壊検査

### [シリーズ1] 非破壊検査とは

ポニー工業株式会社 技術本部 副本部長 笹倉 繁

非破壊検査とは、物を壊さずに良品か否かを検査することをいう。最も簡便な非破壊検査は目でみてその良否を判断する方法(外観検査または目視検査ともいう)だが、検査対象物によってはこの方法を正確かつ高速で行うにはかなりの熟練度が要求される。しかし、いくら熟練していてもこの方法では検査対象物の表面しか検査することはできない。

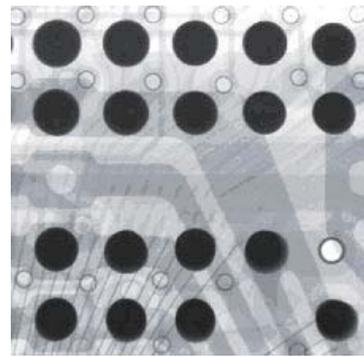
1895年ドイツの物理学者ヴィルヘルム・コンラート・レントゲンが、真空放電管の電極から目に見えない光のようなものが出ていて、それが物体を透過する性質をもっていることを発見し、X線と名づけた。これによって、目でみることができない物の内部を壊さずにみるができるようになり、この方法が医療分野に取り入れられ、工業分野の非破壊検査でもX線を用いて物の内部を透視する方法として用いられている。X線と同じ放射線の一種であるガンマ線(放射性同位元素から放出される電磁波)を用いて、物の内部をみる方法も非破壊検査に用いられている。

この他、人間の耳には聞こえない周波数の高い音である超音波の反射、電気伝導体に電流を流したときの抵抗の変化、強磁性体を磁化させたときの磁場の変化、毛細管現象、波長の長い電磁波、光、赤外線、レーダー、音などが非破壊検査の有効な手段として利用されている。

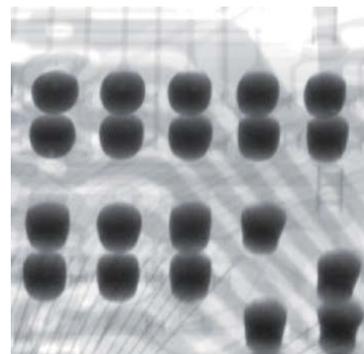
非破壊検査の対象となる材料は、鉄、アルミニウムなどの金属、セラミックス、コンクリート、プラスチック、複合材料などと様々なものがある。非破壊検査の対象となる構造物も多種多様で、原子力及び火力発電、石油精製及び石油化学などのプラント、ビル、橋梁などの土木建築構造物、船、飛行機、自動車などの輸送機器、電気、ガス、上下水道、道路、鉄道、通信設備などのインフラストラクチャーなどの社会資本といわれるあらゆるものに対して非破壊検査が適用されている。また、半導体、LSI、コンデンサーなどの電子部品の検査、バッテリーなどの正極-負極の巻ずれ検査、電子基板上のBGA(Ball Grid Array)やCSP(Chip Size Package)などの接合部の評価にも非破壊検査が用いられ、コンピュータや携帯電話などの電子機器の品質評価にも大いに寄与している。

一方、非破壊検査は適用する時期により、製造時の検査と保守検査に大別される。前者は製造中または製造後出荷前(供用前)に品質管理の手段として行われるものであって品質評価を目的としており、後者は使用開始後のある期間を経過した後(供用期間中)、定期的に対象物の健全性を確認し、寿命評価を目的としている。いずれの場合でも、非破壊検査は破壊検査との比較検査であるので、

破壊検査によって裏付けされた非破壊検査結果を得ていること、検査結果は定められた時期に同じ非破壊検査方法で得られたものを用いて比較することが重要である。



電子基板上のBGA接合部のX線透視画像(基板を真上から透視)  
黒い円がハンダボール、白い円がスルーホール、画面下の細い線がボンディングワイヤー、画面全体のグレー模様が基板のパターン。



電子基板上のBGA接合部のX線透視画像(基板を斜めから透視)  
ハンダボールの形状が球状や筒状のものがわかる。

一般的な非破壊検査方法は、放射線や超音波を用いて内部のきずを検出する方法と、磁気、毛細管現象、渦電流などを用いて表面のきずを検出する方法に分類される。

**\*それらの原理は以下のとおり。**

**放射線透過試験:** 健全部ときず部の透過線量の差によりきずを検出する。

**超音波探傷試験:** 超音波を送信し、きずから反射された超音波を受信し、きずを検出する。

**磁粉探傷試験:** 漏えい磁束が生じ、きず部に磁粉が吸着する。

**浸透探傷試験:** きずに液体が毛細管現象によって浸透し、現像処理により表面の現像被膜(微粉末)に、きずに入っていた液体が浸透し広がる。

**渦流探傷試験:** 渦電流がきずにより変化し、その結果、磁界が変化して、検出コイルのインピーダンス(交流に対する抵抗)を変化させる。

この他にも非破壊検査方法の種類は多くあるが、次号では放射線透過試験について述べることにする。

# 暮らしと放射線 あれこれ

## 宇宙線〈1.その正体〉

独立行政法人 放射線医学総合研究所 保田 浩志



### 1. 宇宙の歴史

現在の宇宙は、140億年近く前に、容積が無限に小さい物体の爆発、いわゆる“ビッグバン”で始まったと考えられている。爆発で生じた火の玉は瞬間に膨張し、ごく短い時間に、1つだった力が4つに分かれ、物質の根源を成す素粒子が現れ、物質と反物質の消滅反応が終わった後、水素の原子核である陽子が生まれた。

宇宙が冷えるにつれ、より重い原子核が合成され、原子核の多くは電子を捕らえて原子となり、原子同士が結合して分子になる化学反応も起きだす。そして、長い時間をかけて、原子や分子は多くの集合体を形成し、10億年後には最初の銀河や恒星が誕生した。地球を含む太陽系ができたのは約46億年前とされている。

恒星は、水素を原料とする核融合反応によって燃え続ける。太陽もその1つであり、燃えている恒星からは、水素やヘリウムの原子核や電子、いわゆるプラズマが定常的に放出されている。

恒星のうち、質量が太陽の4倍以上ある巨大な星は、原料を燃やし尽くすと、自らの重力で収縮して高密度の超新星となり、大爆発を起こす。この超新星爆発に伴い、大量の物質が宇宙空間に放出され、高速で広がっていく。ヒトの目には見えないが、宇宙空間には、これらの爆発等で生じた粒子が飛び交っている。

### 2. 宇宙線とは？

宇宙から地球に降り注いでいる放射線、いわゆる“宇宙線”の1つが、この超新星爆発等に伴って発生した高速の粒子である。その主要な成分は高エネルギーの原子核で、銀河系や他の銀河から飛来する粒子であることから、“銀河宇宙線 (Galactic cosmic rays: GCR)”と呼ばれる。

GCRは、太陽系近傍では比較的均一に分布しており、その組成は、98%が原子核で2%が電子、原子核のうち87%が陽子で12%がヘリウム、残りの1%が更に重い粒子 (Li~) となっている。エネルギーは広い幅を持ち、光速の50%を超えるものが多くの割合を占める (図1)。

すなわち、GCR粒子は、フルエンス率(密度)は小さいものの、有するエネルギーが非常に大きい。そのため、大気圏に入射したGCR粒子により、窒素や酸素の原子が衝突で破碎され、雪崩状に多量の二次粒子(陽子、中性子、中間子等)が発生する“カスケード反応”が起きる。その一部は分厚い大気を透過して地上まで達し、地上に居る私たちにも被ばくをもたらす。

一般に、GCRのように宇宙空間を飛び交う粒子は“一次宇宙線”、一次宇宙線を起源に大気や宇宙船壁等で二次的に発生した粒子は“二次宇宙線”と呼ばれる。

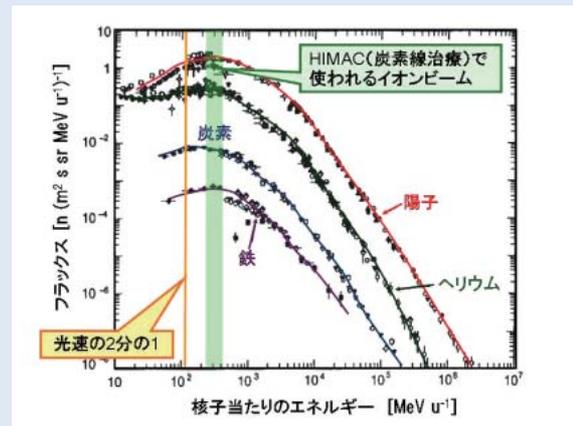


図1 銀河宇宙線 (GCR) の主要な核種のエネルギー分布: Simpson (1983) のデータを基に作成

一次宇宙線には、GCR以外にも、太陽から定常的に出ている太陽風粒子と、地球磁場に捉えられている捕捉放射線帯の粒子がある (図2)。どちらもほとんどが陽子で、ヘリウムの原子核が少し含まれる。ただし、どちらの粒子も比較的エネルギーが低いため、大気圏内に侵入して二次宇宙線を生じる割合はごく小さく、通常は地上や航空機での被ばくにはほとんど寄与しない。

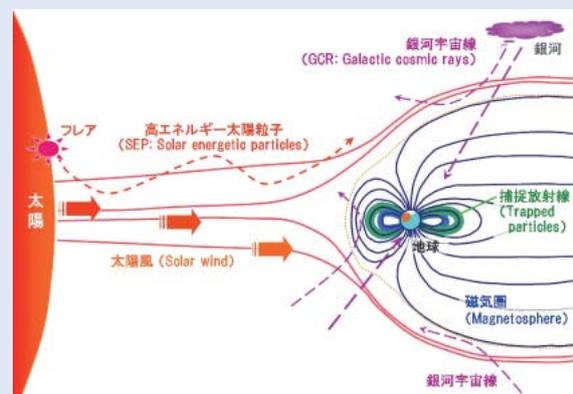


図2 地球近傍の宇宙線環境: 太陽からのプラズマ粒子は銀河宇宙線粒子をはじく効果を持つ

一方、宇宙空間では、GCRのみならず、捕捉放射線帯粒子や太陽風粒子による被ばくも無視できない。こうした大気厚の薄い特殊な環境における被ばくについては、本シリーズ (全6回を予定) の後半で説明したい。

# お願い

カスタマーサービス課より

## ご連絡の際は、まず事業所番号を！

バッジの追加や取消などをお電話で依頼される場合には、最初にお客様の**事業所番号**をお教えてください。

当社では、お客様の情報は「**事業所番号**」を、ご着用者の情報は「**個人番号**」をキーとして管理しております。事業所番号がわかりますと検索時間が少なく、お客様をお待たせすることなくスムーズにお問い合わせやご依頼事項に対応できます。

また、ご着用者を取り消す場合や以前着用されていた方を復活する場合にも、個人番号がわかりますとミスを防ぐことができ、より正確なバッジサービスをご提供することができます。

事業所番号は「**登録変更依頼書**」、「**外部被ばく線量測定報告書**」の**左上**に記載されております。ご連絡の際には、今一度ご確認くださいませようお願い申し上げます。

## ご案内

# クイクセルWebサービス

クイクセルWebサービスは、お客様ご自身がインターネットでバッジの追加、変更等ができるサービスです。専用ソフトをインストールするだけで、使用することができます。また、サービスは無償で提供しています。(通信料はお客様負担)

### 主な内連

- ・バッジの追加、変更、取消など
- ・バッジ登録された方全員の氏名、積算線量の確認
- ・電離放射線健康診断個人票の記入に役立つ、被ばく線量集計表の印刷
- ・外部被ばく線量測定・算定記録の印刷
- ・外部被ばく積算線量証明書の印刷
- ・外部被ばく線量測定報告書(PDFファイル)のダウンロード
- ・当社内でのバッジ測定状況の確認
- ・個人一括登録(CSVファイルのアップロード)

なお、セキュリティ面におきましてはクライアントソフトを利用したSSL-VPN接続を採用しています。ご興味をお待ちのお客様は当社カスタマーサービス課までご連絡ください。詳しい資料をお送りいたします。

対応OS: Windows2000 SP4/XP/VISTA/7  
推奨ブラウザ: Internet Explorer6.0 SP1 以上



お問い合わせ: カスタマーサービス課 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8440

## 編集後記

今月から宇宙線のシリーズが始まりました。宇宙と言えば鉄腕アトムを連想する方もまだ多いかと思えます。古い話ですが、10年程前の21世紀を迎える頃、あるTV番組の中で教師が生徒に「鉄人28号ではなく、鉄腕アトムになれ!!」と教えていたのを記憶しています。両者とも同じロボットですが、鉄人28号はリ

モコンで動き、鉄腕アトムは人工知能を持ち自ら考え・悩み、成長していきます。教師の意図はまさに他人やルールに従うだけではなく、自発的に考え行動せよということに他ならず、現代のような管理社会の中では尚更必要とされることだと思います。わくわくするような宇宙線の記事を読ませていただきながらも、あらためて自らの行動を反省した次第です。(根岸 孝行)

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<http://www.nagase-landauer.co.jp>  
e-mail: [mail@nagase-landauer.co.jp](mailto:mail@nagase-landauer.co.jp)

■ 当社へのお問い合わせ、ご 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.392 平成22年(8月号)  
毎月1日発行 発行部数: 32,500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  
発行人 中井 光正