

研究総務官就任に当たって



「中央省庁等改革」の中、独立行政法人化に向けて
進みつつある放医

研の研究総務官という大役を安易に引き受けてしまっ
たのかなと、反省

と焦燥の念に駆られています。何しろ私に残されてい
る1年余りの間

に、まず機関評価を受け、長期計画を策定しなければ
ならない。しかも

この長期計画は、次期研究グループの立ち上げと、中
央省庁等改革に伴

う研究所の独立法人化を睨んでの立案が必要です。焦
っても仕方がない

のですが、そのあるべき姿が見えてこないし、手探り
の状態です。

私個人について言えば、途中、国立がんセンターへ
出向した時期もあ

りましたが、放医研での在職期間は30年余になりま
す。放医研では入所

以来、医用原子炉の調査、バンデグラーフ、サイクロ
トロンを使った速

中性子治療、陽子線治療、そしてHIMACによる重イオ
ン治療に関連する

研究と装置開発に努めてきました。一貫して粒子線治
療の仕事が続けら

れたことは、私個人にとって本当に幸せであったと思います。最後は、

厳しい時期ではありますが少しでも放医研のために役に立てればと思っ

ております。研究総務官として、所員の皆様の研究内容を十分把握して

いるわけではありませんが、在籍期間の長かったことで多くの皆様との

お付き合いがあり、私の至らないところをご教示頂ければと思っていま

す。残りの期間は短いのですが、21世紀の新生放医研のために、少しで

も佐々木所長との間のパイプ役が務まればと思っております。

さて、放医研も開所以来40年余が過ぎ、色々な変遷がありました。し

かし、本質的な変化はありませんし、その目的も変わっていません。独

立行政法人化後も、放医研は当面他研究所との統合もなく一つの組織と

して考えることになっていますが、新生放医研を考えるに当たっては、

既に、実施された3部門の外部研究評価と、これから予定されている機

関評価の結果を基に、独立行政法人化後も十分外部評価に耐えうる組織

の改編と、長期計画の立案をしなければならないと思っています。

原子力長期計画も見直しの時期にありますが、原子力エネルギー政策

と同時に、生活に密着した放射線利用をもっと広く取り上げる意向で、

中でも放射線の医学利用は重要視されています。一般の人にも理解しやすい

く、病気の診断やがん治療に放射線は不可欠のものになっています。し

かし、一般の人が安心して放射線の恩恵に浴するためには、放射線の安

全性を高めると同時に放射線に対する信頼性を高めなければなりません。

ん。放医研の研究はまさに両方を受け持ち、放射線を利用する研究と安

全性を高める研究をしているといえます。環境科学部門や生物医学部門

における放射線の影響、障害という研究は極めて大切なことではありま

すが、言葉の使い場所によって、一般の人の不安を駆り立てているよう

な気がします。しかし、これらの研究の目指しているところは、放射線

の安全性を確認するための基礎研究であって、放射線利用に対する信頼

性を高める研究で、一般の人々が放射線を安心して、安全に利用するた

めではないでしょうか。また、一方では緊急時の医療に関する研究や体

制の整備も進めており、放医研が社会に対して前向きな姿勢を示すこと

は、放射線利用だけでなく、原子力全般に対してバランスのとれた正し

い理解を与えるものと思っています。皆様の協力を得ながら、残された

期間精一杯努力するつもりでいますので、よろしくお願いたします。

(研究総務

官 河内 清光)

● 研究最前線

高LET粒子による細胞致死効果： 計算と実験との比較

1. はじめに

マイクロビーム照射技術が急速に発展してきており、特定の細胞核に

当たった（通過した）数MeV領域の α 粒子数とその細胞の生物効果との

関係を直接調べるのが可能になりつつあります。最近、Pugliese(イタリ

ア) とHei (アメリカ) は、細胞致死に要する細胞核当たり平均粒子数は

Chinese hamster V79細胞の場合2.2（平均LET=105keV/ μ m）、

human-hamster hybrid (A_L) 細胞の場合3.7（平均LET=90keV/ μ m）である

と発表しました。これら二つの結果は細胞致死効果に関して今までに無

い価値ある情報を含んでいますので、従来研究・考察してきた我々のモ

デル計算との比較を思い立ちました。

2. マイクロビーム実験の特徴

昔から行われている通常の広い照射野において細胞集団に照射する方

法は、任意の細胞に何個かの粒子が当たるかという問題はポアソン分

布によって決まってしまう。つまり、「常に平均何個の粒子が当た

ったか」という点で議論する制約があります。マイクロビームはこの不

確定性を無くし個々の細胞に確実に粒子が当たることを確認しながら照

射できる点で画期的ですが、一方、実験技術上非常に小さい（10ミクロ

ン以下の）コリメータを用いるため低速粒子がここを通過する際のエツ

シ散乱により、また細胞実験上必要な各種の膜中と細胞自身中における

散乱により、単色で打ち込んだつもりの粒子の最終的エネルギーは一定

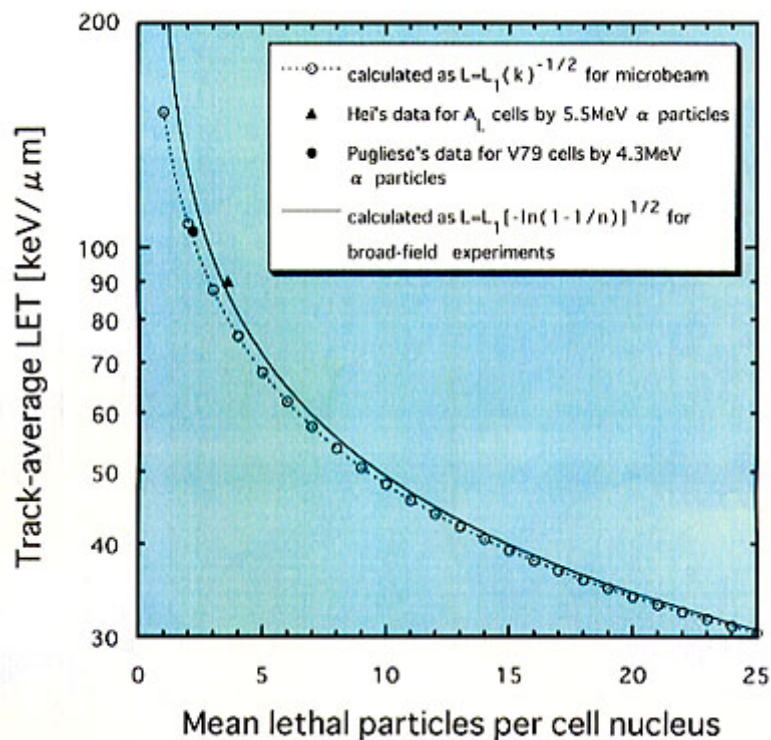
値とは言えません。さらに、一定のLETに注目して考えると、細胞核当た

り“明確なk個”の粒子を打ち込んだように観測しても、このkは細胞毎

におけるサイズと感受性の両方のバラツキを考慮しますと“ある幅”を

考える必要があります。

3. モデルの構築



20~30keV/μm以上の高LET領域（除1000keV/μm以上）では、細胞致

死効果（ヒット数）は第一次近似としては粒子数（k）とLET²に比例

{∝k (L/L₁)²} するという現象が観られます。ここでLは平均LET、L₁

は細胞核当たり1個の粒子通過で致死効果を生む条件でDNAの幾何学的

条件から決まり、単位はkeV/μmで細胞の種類等に依存する量です。マイ

クロビーム実験に対して細胞当たり平均1個のヒット（37%survivalに相

当）を与える条件は、ヒット数 = 1 と置くことにより、

$$L = L_1 (1/k)^{1/2} \quad (1)$$

が得られます。広い照射野実験の場合は前述のk (L/L₁)²項を、エネル

ギー付与課程における“ゆらぎ”と粒子が当たる課程での“ゆらぎ”の

両方（ポアソン分布）を加味して計算すると、survival = exp [-n (1-exp

{- (L/L₁)²})] となります。ここで、nは細胞核当たりの平均粒子数

です。37%survivalを与える条件はL = L₁ {-1n (1-1/n) }^{1/2}となります。

この式はn > 1に対してマクローリン展開できまして

$$L = L_1 (n^{-1} + 1/2 \cdot n^{-2} + 1/3 \cdot n^{-3} + 1/4 \cdot n^{-4} + \dots)^{1/2} \quad (2)$$

と変形できます。（1）式と（2）式の比較から、（2）式の第1項が

(1) 式に相当することが分かります。つまり、広い照射野実験は「細

胞を殺すという点では無駄が多い」ことがわかります。この傾向は、高

LET (粒子数が少ない時) 程顕著になります。

4. 実験とモデルとの比較

上記二つの式と二つの実験結果を図に示します。V79に対しては、

$L_1 = \sim 150 \text{ keV}/\mu\text{m}$ であることが別な検討から分かっています。モデル計

算によりますと、 $105 \text{ keV}/\mu\text{m}$ と $90 \text{ keV}/\mu\text{m}$ のLETの時V79に対して、

$k = 2.1 \pm 0.1$ 、 2.9 ± 0.2 となります。PuglieseのV79に対する実験結果

($105 \text{ keV}/\mu\text{m}$) は 2.2 ± 0.3 であり、良く一致しています。Heiの A_L に対す

る実験結果 ($90 \text{ keV}/\mu\text{m}$) は3.7ですが、計算から遠い値では無いでしょ

う。

5. 結論

以上の比較から、モデルの妥当性が言えます。もっと重要な事は、

「高LET領域においては細胞致死効果が LET^2 に比例する」ことは明らか

だと言う点です。このメカニズムの解明のために、新しい生物実験とト

ラック構造を解明する物理実験が重要と思われます。筆者は現在、後者

に取り組んでいます。本研究のモデル開発に関する部分はJ. Radiat. Res.

38, 103 (1997) に、またマイクロビーム実験との比較の部分はInt. J.

Radiat. Biol (印刷中) に発表されます。

医用重粒子物理・工学研究部にとっては「HIMACにおける臨床試行を

支え、治療高度化に向けて研究を行うことが最も重要」ですが、一方

HIMAC共同利用体制の円滑な運用と共に個々の研究者はその知的要求に

応じて加速器科学や医学物理、加えてこのような放射線生物物理、核物

理も含めた幅広い研究を行っています。

(医用重粒子物理・工学研究部 曾我文宣、佐藤幸夫)

炭素線照射による 腫瘍の早期再酸素化

がんは生体による調節から逸脱している。細胞の活動に必要な栄養を

供給する血管が適切に配備されている正常組織では恒常的機能を発現で

きるが、がんは血管誘導が不十分なまま自己増殖のみを目指す。赤血球

を介して細胞にもたらされる酸素もがんでは充分に行き渡らず、肉眼で

見える大きさに達したがんの内部では、その一部分は低酸素状態に陥っ

ている。細胞の活動エネルギー産生に必要である酸素は、同時にまた、

細胞の放射線感受性にも影響を与える。低酸素がん細胞では放射線感受

性が低下するが、このことは放射線治療における生物学的問題点となっ

ている。線エネルギー附与が高い重粒子線はこの低酸素がん細胞に対し

て強い致死効果を示すという特徴があり、HIMACがん治療研究を行う生

物学的根拠の一つでもある。

放射線治療では分割照射法を用いる。週単位の期間にわたり複数回数

で照射するが、この期間中に低酸素がん細胞は常酸素がん細胞へ変化す

る。以前は血管近傍にいて常酸素状態にあったが時間経過とともに低酸

素状態になった細胞が、照射により再び常酸素状態へ戻ることになるの

で、「再酸素化」と呼ばれている。細胞自身の変質するのではなく、照

射により酸素供給状態が改善されるためと考えられている。従来の光子

線（X線、ガンマ線）照射で起こる再酸素化は重粒子線照射でも起こる

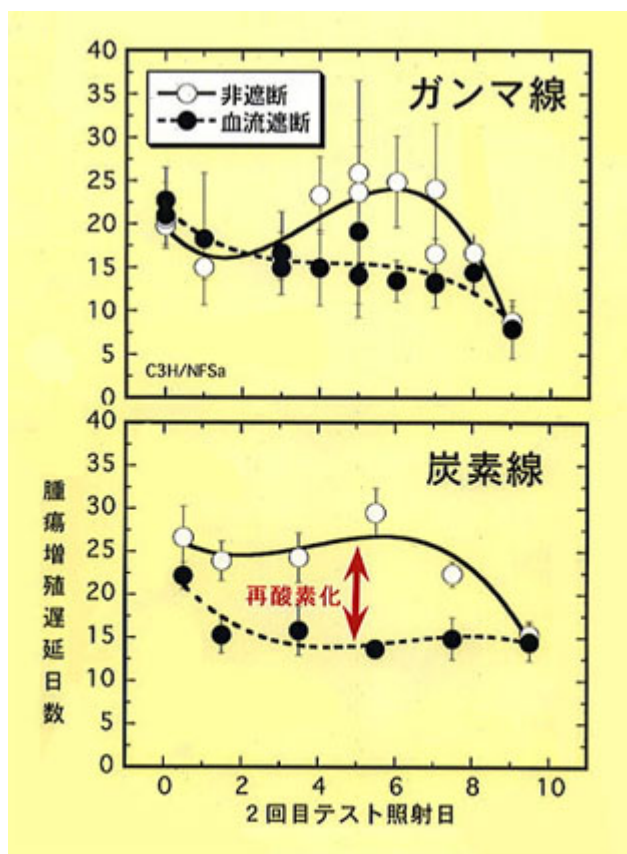
と考えられるが、その内容は果たして同じであろうか？ 酸素供給に及

ぼす効果はX線と重粒子線とで違いがあるのか、無いのか？ 我々は実

験により腫瘍の再酸素化を調べてみることにした。

1 cm弱の大きさのマウス移植がん（線維肉腫）をガンマ線ないし炭素

線（43keV/μm）で照射する。



2回目のテスト照射時に血流遮断処理をした場合（●）と、しない場合（○）の差（矢印）が再酸素化である。

中程度の線量なので、がんは消失しないが増大もしない状態が数日の間

続く。がんの中に在った大部分の常酸素細胞はこの照射により不活化さ

れ、抵抗性の低酸素がん細胞が主に残存する。生き残った細胞が再酸素

化することを調べるために、時間をおいて2回目の照射を行う。このと

き、がんには再酸素化して常酸素状態となった細胞が一部含まれてい

る。1回目の照射で10匹のマウス腫瘍を照射した場合には、2回目の照

射時ではその半数5匹の腫瘍の血流を遮断して、完全に低酸素状態にす

る。再酸素化していても全てのがん細胞が人為的に低酸素になっている

わけである。残りの5匹は血流遮断しないので、再酸素化して常酸素状

態となったがん細胞が含まれたまま2回目の照射を受けることになる。

2回目照射後に腫瘍の大きさを計測して、増殖遅延日数を調べると血流

遮断による2回目照射効果の違いが検出できる。図の白丸は非遮断群で

あり、黒丸の遮断群より上方へ位置しているものが多い。白丸の上方遷

移が腫瘍再酸素化である。図で明らかなように、ガンマ線照射された腫

瘍では照射後3日間は白丸と黒丸が重なっており、再酸素化はまだ起こ

らず、4日目以降にようやく再酸素化する。炭素線照射では1日後です

で白丸と黒丸の乖離が認められ、早く再酸素化が見られる。この早期

再酸素化がなぜ起こるのか、その理由に関して現在研究を進めている。

重粒子線臨床試行に対してこの実験は以下のことを示唆している。

再酸素化の遅いがんに対して炭素線を分割照射する場合には、光子線で

用いられている分割照射法よりも短期間で行うことが有効であろう。

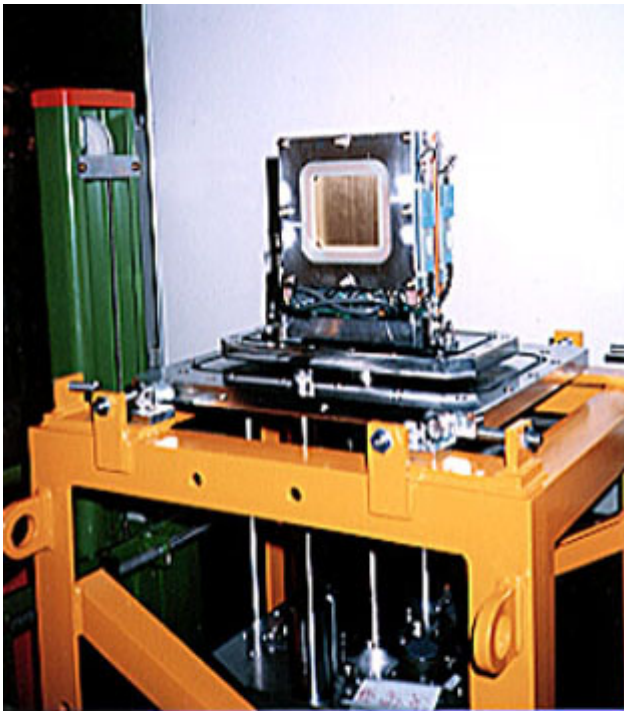
(第3研究グループ

安藤 興一)

イオンチェンバー<HIMACのビームモニタ>

イオンチェンバーは電離箱と訳され、身近な例では空間線量を測るための円筒型の電離箱サーベイメータがあります。

HIMACでは重粒子ビームの強度（単位時間当たりのビーム中の重粒子の個数）や照射線量を測定するために使用されています。動作原理は至って簡単で、ガスで満たされた空間に電場をかけておきます。この空間に電離放射線（X線やγ線、高速荷電粒子など）が入射すると、そのガスを電離します。その時生成されたイオンとその対となる電子は、電気力線に沿ってそれぞれ負電極と正電極まで導かれます。電極に集められたイオンや電子は、電流として電極から出力されますから、これを直接電流として測定する、または一定時間電流を溜め込んで電荷量として測定します。



HIMACの高エネルギービーム輸送ライン中に設置されている平行平板型イオンチェンバーを示します。茶色に見える部分が正電極（実際にはグラウンドレベル）、負電極はワイヤーで構成されているため、写真では見えません。

イオンとそ相手の電子のペアをイオン対と呼びますが、イオン対が生成

されるためには、当然原子や分子から電子を剥ぎ取る必要があります、この

ためにはその原子や分子に固有の一定のエネルギーを与えなければ成り

ません。例えばアルゴンガスの場合は、約26eVで1組のイオン対が生成

されます。空気の場合は約33~35eVです。この値をW値と言い、放射線

計測上、大変重要な値です。

高速重粒子はイオンチェンバーのガス中を通過する際、ガスの原子や

分子と衝突して、自分の持っているエネルギーを失います。エネルギー

損失量は計算で求められます。このエネルギー損失分は、ガス中でのイ

オン対生成に使われると考えると良いため、結局、高速重粒子がイオンチ

エンバーを通過すると、イオンチエンバーから出力が得られることにな

ります。例えば核子当たり290MeVの C^{6+} の粒子が1気圧のアルゴンガス

中を1cm通過すると、約0.164MeVのエネルギー損失が生じます。このた

めアルゴンガス中には $164000\text{eV} \div 26\text{eV} \approx 6300$ 個のイオン対が生成されま

す。電荷に直すと約 $1 \times 10^{-15}\text{C}$ です。すなわち1個の高速炭素粒子から

$1 \times 10^{-15}\text{C}$ の出力が得られます。いま、このイオンチエンバーから

$0.1\mu\text{A}$ の出力があったとします。すると、 1×10^{-7} (C/秒) $\div 1 \times$

10^{-15} (C/個) = 1×10^8 (個/秒)、つまり毎秒1億個の炭素粒子がイ

オンチエンバーを通過していることが分かります。これがイオンチエン

バーで重粒子ビームの強度を測るシナリオです。

HIMACの高エネルギービーム輸送ラインには、供給ビームの強度を計

測し、ビーム輸送の途中でビームをこぼしていないか、またビーム使用

目的に適った強度になっているかを確認する目的で、15台のイオンチエ

ンバーが組み込まれています。また治療室の各治療照射ポートには1台

ずつ備えられており、治療に必要な照射線量を測定します。これらのイ

オンチェンバーはいずれも平行平板型と呼ばれるもので、平板の正電極

と負電極を向かい合わせにしてその間にアルゴンガスや空気を充填した

だけの極めて簡単な構造です。原理的には簡単ですが、様々な注意点が

あります。重粒子ビームが貫通するイオンチェンバーのビーム窓や電極

を出来るだけ薄くし、ビームを乱さないようにする。強度などの測定精

度は、重粒子ビームが通過するガス層の厚さの精度に比例するため、ガ

ス層の厚さを十分正確に決める。微小電流をより正確に測るために、外

からの漏洩電流を防ぐ、等々です。写真には、ビーム輸送ライン中に設

置されているイオンチェンバーを示します。ビームの散乱を減らすため

に、負電極はワイヤー構成としています。通常はこれに気密のアルミの

蓋がかぶせられ、真空のビームダクトの中に入れられています。物理実

験などでは、照射したビームの総量を単独に測りたいことがあります。

このためには自由に設置できるイオンチェンバーも用意されています。

(医用重粒子物理・工学研

究部 取越 正己)



予算の増加は高い評価の現われと受けとめ 多忙な業務に取り組む………会計課の活動



会計課は、管理部に所属し、庶務課と同様放医研発
足の時からの歴史

を持っています。国の機関はもとより、一般的にどこ
にでもある組織で

しょう。

当会計課では予算係、監査係、契約係、物品係そし
て経理係の5係と

安全施設課の管財係が併任という形で業務を行って
おり、研究所が必要

とする研究機器等の調達から支払そして調達した財産
の管理等と研究所

全体の財務及び経理に関係するところを担当させて
いただいています。

それぞれの係の仕事を簡単にご紹介しますと、**予算
係**は、企画室とと

もに毎年度行われる予算要求の額をとりまとめたり、
その執行状況を把

握し報告したりすることが主な仕事です。監査係は予算係が併任し、会

計業務全体の監査を行っております。契約係は、名前のおり研究所が

必要とする物や役務の提供に対して適正と思われる価格で契約する係、

経理係はその契約した物等の代金等を支払うところと
考えていただいて

いいでしょう。そして、物品係は、調達した物の管理
を行うところ、管

財係は安全施設課と協力し、建物と設備の管理保全を
行うところでは

国の財産に関する仕事が主になるため、当然のこと
ながら多くの法律

やら政令等に従って業務を進めざるをえないため、融
通の利かないとこ

ろ、効率の悪いところのイメージをもたれているか
と思います。そこは

否定しませんが、法律等に加えて会計には、会計検査
院による会計検査

が義務づけられています。通常は書面検査な
のですが、年に一度、研究

所において実地検査が行われます。この会計実地検査
は、私たち会計課

員にとっても、非常に負担でして、検査が近づくと
会計検査院の担当副

長の顔を夢に見ることもあります。

また、研究所の予算は、これまで毎年増加して
きましたが、職員はこ

れまでとほとんど変わりません。そのうえ、国際入札
のように契約まで

に多くの手続きを必要とする制約の多い契約も増え続けております。そ

のためか、会計課員の業務量は増える一方で、一年中仕事に忙殺されて

いるような感じ です。

しかし、予算が増えるのは、研究所が成果を上げ、高い評価を受けて

いることの現れと頑張っているつもりなのですが…。

これから年度末を迎え、仕事の忙しさもピークになります。発注依頼

された物がなかなか手元に届かないというもどかしさがありかと思う

のですが、出来るだけご迷惑をかけないように努力いたしておりますの

で、ご協力をお願いいたします。

人事異動

| 年月日 | 氏名 | 異動内容 | 旧(現) |
|------------|-------|---|------------|
| 10. 12. 30 | 塩満 典子 | 配置換 長官官房付 | 企画室総括研究企画官 |
| " | 松本 恒弥 | 併任 企画室総括研究企画官 | 企画室長 |
| 11. 2. 1 | 稲葉 次郎 | 退職 | 研究総務官 |
| " | 河内 清光 | 研究総務官 放射線科学研究部長 事務取扱 放射線科学研究部第2研究室長 事務取扱 | 特別研究官 |

実用新案登録

ピペッティング器具

平成元年度から5カ年計画で実施した科学技術庁の
原子力基盤技術ク

ロスオーバー研究の染色体自動解析システム開発研究
で、我々は染色体

標本用の『リンパ球培養ハーベストロボットシステム』
(写真1)の開

発研究も行った。



写真1 リンパ球培養ハーベストロボットシステム

血液細胞は培養して水処理をするとお互いに付着しや
すくなり、遠心分

離時に塊を形成する。この塊があると、ピペットが詰
まり自動システム

がストップしてしまう。手作業ではピペット先端を目
で見ながら、注意

深く吸入を止めて排出することで解決するが、自動装
置ではそれが出来

ない。たとえ出来ても高価な補助システムが必要にな
る。

ピペットの先の細い穴から溶液を吸入排出

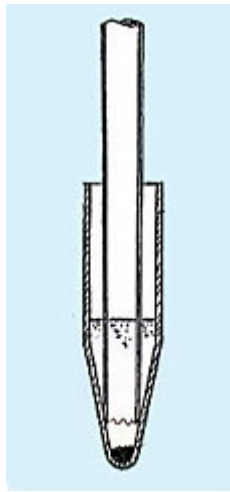


図2 遠心管と
ピペットの先端

することによって溶液に塊状の物質を溶かし

たり、塊をほぐしたりする技術は医学、薬

学、細胞学、分子生物学、化学、工学など広

い分野で日常的に利用されている。放医研障

害基盤研究部では放射線被ばく線量の推定

や、白血病の診断等のために染色体標本やそ

の解析法の改良研究を行っている。染色体標

本は血液細胞を培養して分裂細胞を集積さ

せ、水で膨張させて酢酸アルコールで固定

し、酢酸アルコール固定液中で細胞をほぐし

た状態にしてスライドガラス状に落とし、展

開させて作る。この一連の作業では遠心器を使って細胞を分離して再び

液体の中でほぐす、ということを繰り返し行う。ピペットの吸入排出で

細胞をほぐす技術は簡単そうであるが、実は上手下手の差が極めてはっ

きり出る技術である。

これらの問題を解決するために、ピペットの先端の口径を沈渣より大

きくし、先細りになった遠沈管の内壁とピペット先端に隙間がある位置

で止め、ピペット先端と遠沈管の内壁との間隙を利用し、溶液と混合攪

拌する方法（図2参照）を株式会社ニコンと共同で実用新案登録申請し

受理された（実用新案登録番号第2559079号、1997年9月12日）。

ピペット先端に凹凸を付けると先端を管壁に接触させても良くなる。こ

の実用新案の利点は、（1）ピペットが詰まることが無い、（2）攪拌

の効率が向上する、（3）ピペットの先端が沈殿物を損傷することが

無い、（4）安価な接触センサーで自動システムが出来る、ことにある。

各方面でピペット作業の精度と能率の向上に貢献するものと期待して

いる。

（障害基盤研

究部 早田 勇）

◆お知らせ◆

科学技術週間一般公開のご案内

放射線医学総合研究所では、4月18日の発明の日を含む一週間を「科

学技術週間」（閣議了解）として、その一環で毎年所内の施設公開、講

演等を行っています。皆様お誘い合わせのうえご来所ください。

テーマ：「どこまで知っていますか

放射線の科学、環境、医療 — その最先端」

= 本所 =

■と き：平成11年4月18日（日）10：00～17：00

■公開内容：各研究部の活動と成果をパネルと実物で紹介、

ビデオ、講演、体験コーナー「目で見ると
放射線コーナー

」、重粒子線がん治療装置等各施設見学

■問合せ先：放射線医学総合研究所 企画室

TEL 043-251-2111（内線233）

■お願い：団体でご見学の方は、当日の参加名簿をご持参ください。

= 那珂湊放射生態学研究センター =

■と き：平成11年4月18日（日）10：00～16：00

■公開内容：各施設の公開、ビデオ上映、各研究室の活動・研究内容を

パネルで紹介

■問合せ先：放射線医学総合研究所

那珂湊放射生態学研究センター 管理課

TEL 029-265-7141（内線15）

■お願い：団体でご見学の方は、当日の参加名簿を持参ください。

また、バス等でご来所の方は事前に駐車場の有無をご確認ください

ださい。