

ISSN 0916-3751



No.29 2000.11 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

## 卷頭言

### 「科学技術の諸相」

工学研究科長 中塚 勝人

第2次科学技術計画が、情報（IT）、環境、生命、材料（ナノテクノロジー）を重点分野とし、5年間で24兆円を投入して実施されることが明らかとなった。国民1人あたり年4万円である。

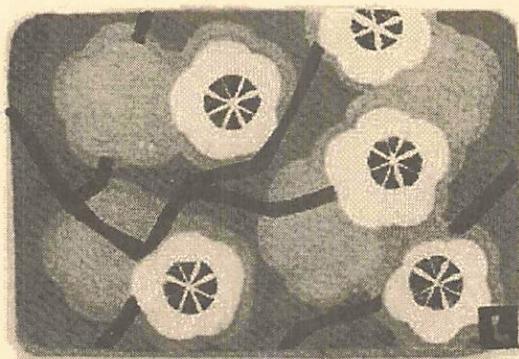
優れた重点分野の選択であると思う。理由は、それぞれの分野が個別に巨大産業の創出を期待させるという意味からでは必ずしもない。いずれも21世紀に必要なパラダイムの転換にとって重要な科学技術分野と思われるからである。これら重点分野が発展しその結果をうまく相互に結合することによって、20世紀に進んだ、大量消費による社会生活の向上と地球環境の疲弊の図式から脱却する新たな科学技術展開の方向が見えることを期待する。そのためには文理融合した総合的な学問の構築を強力に進めなければならない。

古来、社会的な諸機能は時代背景によって虚と実の両面をあらわしている。安土時代の境商人に代表される金融と物流の展開は信長の重用により新時代の幕開けをもたらしたが、江戸後期の豪商によるそれは封建社会の固着を助長したとして評判が良くない。平成の金融は虚な経済を演出し社会に大きなつけを残した。武力も、その初期と成長期には社会を混沌から統一に導く効用をもつたが、発達の極限に至って破綻したことは周知のとおりである。

科学技術はどうであろうか。産業革命以来の発展は人間を肉体労働から開放し現在では世界人口の2/3が豊かな生活を享受するようになったが、すでに人々は大量消費と環境問題に起因する社会の持続可能性に怯えはじめている。新しい時代にみあう科学技術の体系的想定と、これを生かすべき総合的な学問が求められている。

科学技術基本計画に話をもどすが、資金を投入すれば科学技術が急に発達するとは限らない。才能が金を得て、あるいは金が才能を集めて発達することもあれば、金に人が群がり無駄遣いとなることもある。人材の選別と育成にかかっている。この意味で大学、特に研究型大学に対する社会の注文はこれまでになく熾烈である。大学は元来、社会と自然の分野を問わず科学・哲学と、これら

を実地に応用して人間生活に利用する科学技術の両面を持ち、権力や宗教、あるいは民衆の理解と経済的庇護のもとに活動してきた。近年アメリカで生まれている経済的に自立性の高い有力大学とて社会の理解の下で存在が許されることに変わりはない。21世紀の国際社会の存続にかかる転換点で、大学が教育と研究を通じ、社会の要請に応えた発信ができるかどうかは大学の存続にかかっている。俗に言われる学齢人口の減少に伴う大学間の淘汰とは別の次元の、科学技術の諸相による大学の危機がここにあると思われてならない。



CYRIC ニュース No.29 目 次

- ・卷頭言 東北大学大学院工学研究科長 中塚 勝人 ..... 1  
・研究紹介

(1) 低酸素細胞の画像化

—<sup>18</sup>F 標識 RP-170([<sup>18</sup>F]FRP-170)による低酸素細胞画像化に関する基礎研究—

東北大学大学院医学系研究科量子治療学・診断学

高井 良尋, 金田 朋洋, 梅津 篤志

袴塚 崇, 奥本 忠之, 村田 隆紀

高井 憲司, 藤本 圭介, 山田 章吾

東北大学医学部附属病院循環器内科

加賀谷 豊, 山根 由理子

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

和田 裕明, 結城 雅弘, 船木 善仁, 井戸 達雄

東北大学大学院工学研究科 岩田 鍊

ポーラ化成工業 辻谷典彦 ..... 4

(2) 酸性土壌ストレス下での植物細胞の生理状態の可視化を目指して

—大気PIXEへの期待—

東北大学大学院農学研究科附属植物環境応答実験施設

横田 聰 ..... 9

・特集記事

新サイクロトロンの現状 センター 篠塚 勉 ..... 13

新サイクロトロンの制御系 センター 藤田 正広 ..... 15

・新しい機器の紹介

大型中性子検出器システム センター 寺川 貴樹 ..... 19

・共同利用の状況 ..... 22

・センターからのお知らせ ..... 22

・R I 管理メモ ..... 29

・分野別相談窓口 ..... 33

・人事異動 ..... 33

・C Y R I C百科 ..... 35

・編集後記 ..... 36

## 研究紹介（1）

### 低酸素細胞の画像化

#### —<sup>18</sup>F標識RP-170 ([<sup>18</sup>F]FRP-170) による低酸素細胞画像化に関する基礎研究—

東北大学大学院医学系研究科量子治療学・診断学 高井良尋、金田朋洋、梅津篤志、袴塚 崇

奥本忠之、村田隆紀、高井憲司、藤本圭介、山田章吾

東北大学医学部付属病院循環器内科 加賀谷 豊、山根 由理子

東北大学サイクロトロン・RI・センター 和田裕明、結城雅弘、船木善仁、井戸達雄

東北大学大学院工学研究科 岩田 錬

ポーラ化成工業 辻谷典彦

### 緒言

悪性腫瘍の放射線治療において、放射線抵抗性の原因の一つとして低酸素細胞があげられる。この低酸素細胞の克服にむけて、高圧酸素タンク療法や低酸素細胞細胞増感剤を初めとして、多くの治療法が工夫され試みられているが、これまで行われた低酸素細胞増感剤の多くの臨床試験が失敗に終わっている。しかしながら、低酸素細胞の量が治療前にどの程度含まれているかを予測できれば、低酸素細胞増感剤や特に酸素化細胞に比し20~100倍もの低酸素細胞に対する選択性を有する bioreductive agents(生体内還元物質)の臨床試験では、試験薬剤の有効性をより効率的に検出することができる期待される。

また、心筋の viability を正確に評価できれば虚血性心疾患の際、経皮的冠動脈形成術(PTCA)や冠動脈バイパス術(CABG)などの血行再建術の選択する際に決定的な情報となり得ると考えられる。

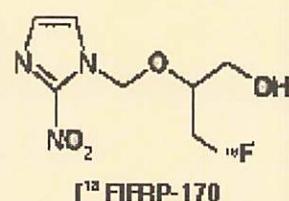
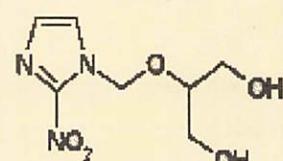
このような背景から、この度、著者らは将来的には臨床的に腫瘍内低酸素細胞の画像化・定量化と虚血性心疾患時の虚血心筋 viability の評価が可能になると予測される新しい低酸素細胞画像化剤を開発し、その低酸素細胞画像化に関する基礎データを得たのでここに報告する。

### 薬剤および実験方法

図 1 RP-170 と [<sup>18</sup>F]FRP-170 の構造式

著者らは昨年、ポーラ化成工業研究所において開発された低酸素細胞増感剤RP-170をポジtronエミッターである[<sup>18</sup>F]で標識した放射標識化合物[<sup>18</sup>F]FRP-170の合成に成功した。RP-170は2-nitroimidazoleの側鎖に2つの水酸基を有するが、それぞれをトシリ化、アセチル化し、その後相間移動触媒(Kryptofix222)の存在下、[<sup>18</sup>F]KFを反応させることにより得られた<sup>1)</sup>。図1にRP-170と標識化合物[<sup>18</sup>F]FRP-170の構造式を示す。

Biodistributionを調べるために、得られた標識化合物[<sup>18</sup>F]FRP-170の約20 μCiを、扁平上皮癌ないし線維肉腫を移植した担癌WHT/Ht albinoマウスの尾静脈より投与し、10、30、60、120、150分後に血液、各種臓器、腫瘍を摘出し、標識化合物の集積をオートウェル型ガンマカウンターによって測定した。



また、100～200  $\mu\text{Ci}$  の [ $^{18}\text{F}$ ]FRP-170 投与120分後の腫瘍を摘出、ドライアイスパウダーにて凍結し、クライオトームによって 20  $\mu\text{m}$  厚の凍結切片を作成し、Imaging plate に一昼夜コンタクトさせることによりオートラジオグラフィを行い、低酸素細胞分画の異なる扁平上皮癌と線維肉腫とで標識化合物の分布の違いを調べた。次に、血流製剤 [ $^{14}\text{C}$ -IAP] との 2 核種オートラジオグラフィの手法を用いて低酸素細胞と血流の分布の比較を行った。

心筋に関しては、東北大学医学部第一内科の協力のもとで心筋虚血モデルラットを作成し、同じく、2核種オートラジオグラフィの手法を用いて [ $^{18}\text{F}$ ]FRP-170 と血流製剤 [ $^{14}\text{C}$ -IAP] の集積様式とを比較した。さらに、脂肪酸代謝、糖代謝との比較も行った。

## 結果

図 2 に [ $^{18}\text{F}$ ]FRP-170 の腫瘍／血液比の経時的变化を示す。投与後 120 分で腫瘍／血液比はほぼ一定になることが示された。また、表 1 に [ $^{18}\text{F}$ ]FRP-170 投与 120 分後における Biodistribution (%Dose/g tissue) の 4 回の平均と、腫瘍／血液比の平均を示す。腫瘍／血液比は扁平上皮癌で 1.97 (1.36～2.90)、線維肉腫で 2.50 (1.72～3.60) であり、4 回の実験すべてにおいて低酸素細胞分画の大きい線維肉腫の値が高かった（表 1）。

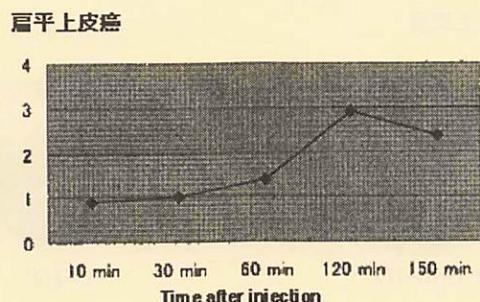
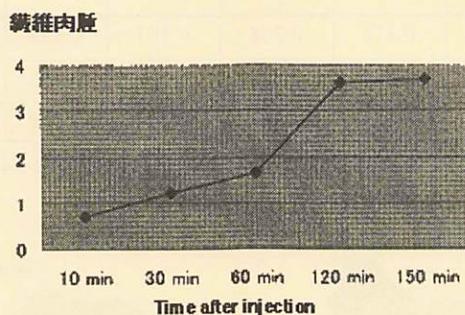


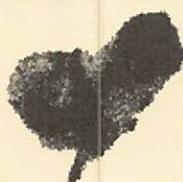
図 2. [ $^{18}\text{F}$ ]FRP-170 の腫瘍／血液比の経時的変化

表1. マウス組織における<sup>[18]F</sup>FRP-170 の Biodistribution(%Dose / g tissue)  
と繊維肉腫および扁平上皮癌の腫瘍 / 血液比

tissue	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Average	SD
brain	0.176	0.215	0.235	0.116	<b>0.19</b>	<b>0.05</b>
lung	0.487	0.486	0.568	0.353	<b>0.47</b>	<b>0.09</b>
heart	0.352	0.333	0.418	0.216	<b>0.33</b>	<b>0.08</b>
liver	1.017	1.254	1.117	0.730	<b>1.03</b>	<b>0.22</b>
kidney	2.000	0.950	1.239	0.699	<b>1.22</b>	<b>0.56</b>
muscle	0.213	0.196	0.293	0.139	<b>0.21</b>	<b>0.06</b>
bone	0.696	0.618	0.281	0.253	<b>0.46</b>	<b>0.23</b>
testis	0.293	0.261	0.315	0.412	<b>0.32</b>	<b>0.07</b>
intestine		0.409	2.360	0.560	<b>1.11</b>	<b>1.09</b>
blood	0.311	0.268	0.312	0.117	<b>0.25</b>	<b>0.09</b>
blood(fib. bearing mice)	0.304	0.218	0.312	0.117	<b>0.24</b>	<b>0.09</b>
Fibrosarcoma	0.603	0.590	0.538	0.421	<b>0.54</b>	<b>0.08</b>
<i>Fib/blood ratio</i>	<b>1.982</b>	<b>2.705</b>	<b>1.724</b>	<b>3.601</b>	<b>2.50</b>	<b>0.84</b>
blood(sqcc bearing mice)	0.311	0.268	0.483	0.133	<b>0.30</b>	<b>0.14</b>
SqCC	0.509	0.527	0.659	0.386	<b>0.52</b>	<b>0.11</b>
<i>SqCC/blood ratio</i>	<b>1.636</b>	<b>1.965</b>	<b>1.363</b>	<b>2.904</b>	<b>1.97</b>	<b>0.67</b>

図3.マウス繊維肉腫と扁平上皮癌の2核種オートラジオグラフィ

繊維肉腫

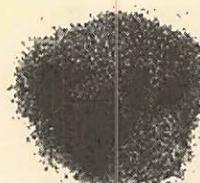


[<sup>18</sup>F]FRP-170



[<sup>14</sup>C]IAP

扁平上皮癌



[<sup>18</sup>F]FRP-170



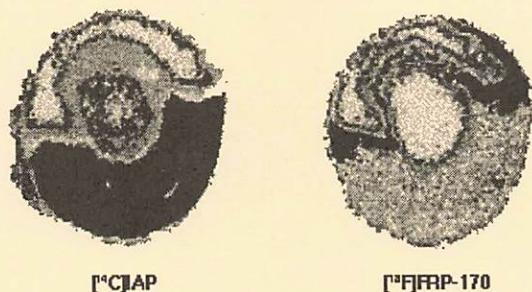
[<sup>14</sup>C]IAP

[<sup>18</sup>F]FRP-170と[<sup>14</sup>C]IAPがミラーイメージとなっており、血流の欠損部位に一致して低酸素腫瘍細胞が存在することを示唆している。

図3に扁平上皮癌と線維肉腫のオートラジオグラムを示す。低酸素細胞分画の異なるこの2つの腫瘍で低酸素細胞の分布に違いのあることが判った。低酸素細胞分画の小さい(16%)扁平上皮癌では腫瘍全体に散在することが多く、低酸素細胞分画の大きな(65%)線維肉腫では塊状に密に存在する領域を認めることが多かった。また、血流分布とはミラーイメージになっていることを認めた<sup>2)</sup>。

ラット虚血心筋の2核種オートラジオグラフィの結果、<sup>[18]F]FRP-170</sup>は著しく血流が低下しているものの未だviableであるareaに有意に強く集積することが判った(図4)<sup>3)</sup>。脂肪酸代謝との比較では、<sup>[18]F]FRP-170</sup>が強く集積する部位では脂肪酸代謝は低下していることを示した。脂肪酸代謝は好気性であるからこの結果は当たり前の様に思えるが、これを立証した報告はない。さらに糖代謝、deoxyglucose(DG)との比較では、正常域から虚血域への過程で、両者の集積はほぼ同時に上がり始めるが、<sup>[18]F]FRP-170</sup>の方がDGよりも重度虚血域寄りまで集積が見られた。つまり<sup>[18]F]FRP-170</sup>の方が集積亢進を示すareaが大きく、その領域が壊死組織寄りであることからDGよりもviabilityに関する感度が高いことが考えられた。

図4. ラット虚血心筋の2核種オートラジオグラフィ



黒い部分がアイソトープが強く集積している部位である。血流が著しく低下している壊死心筋周囲層 (<sup>[14]C]LAP</sup>でグレイの部分) でも、<sup>[18]F]FRP-170</sup>が強く集積していることが判る。

### 考察

今回我々が開発した<sup>[18]F]FRP-170</sup>は腫瘍内の明らかに血流の減少している部位において取り込みが増加し低酸素細胞に効果的に取り込まれると思われる。さらに、腫瘍／血液比が非常に高く腫瘍の低酸素細胞画像化の薬剤としてきわめて有望と思われた。また、各種組織の集積率から、肝臓、腎臓以外の臓器ではどこに発生した腫瘍でも画像化できると思われた。低酸素細胞の定量化が可能になれば放射線治療の適応のみならず、抗癌剤の選択が可能となり、癌治療の個別化に貢献するものと思われる。

また、虚血心筋イメージングに関しても、虚血生存域に対する感度の高さなど、<sup>[18]F]FRP-170</sup>による心筋虚血のviability評価に関しては、現在のgold standardである<sup>[18]F]FDG PETに替わる可能性を有した有用性の高い薬剤であると言える。</sup>

文献

- 1) Wada H, Iwata R, Ido T, and Takai Y. : Synthesis of 1-[2-[<sup>18</sup>F]fluoro-1-(hydroxymethyl)-ethoxy]methyl-2-nitroimidazole ([<sup>18</sup>F]FENI), a potential agent for imaging hypoxic tissues by PET.  
J. Labeld. Compd. Radiopharm. 43: 785-793, 2000.
- 2) Takai Y, Kaneta T, Hakamazuka T, Yamada S, Wada H, Iwata R, Ido T, Tujitani N and Sakaguti M. : Imaging hypoxia in tumors using a new <sup>18</sup>F-labeled 2-nitroimidazole analog, [<sup>18</sup>F]FRP-170.  
Radiotherapy Oncology 56:suppl(1)s40,2000
- 3) Kaneta T, Takai Y, KAGAYA Y, et al. : Assessment of ishemic viable myocardium using a new [<sup>18</sup>F]-labeled 2-nitroimidazole analog; [<sup>18</sup>F]RP-170.  
Eur. J. Nucl. Med. 27(8) p1040, 2000

## 研究紹介（2）

### 酸性土壌ストレス下での植物細胞の生理状態の可視化を目指して —大気 PIXE への期待—

東北大大学院農学研究科附属植物環境応答実験施設 横田 聰

#### 1. はじめに

私達は、環境ストレスの一つである「酸性土壌ストレス」による植物の根の成長阻害メカニズムの解明を目標に研究をすすめている。この研究の過程では、植物のありのままの姿を的確にとらえる非破壊分析の手法が重要なポイントとなる。

ここでは、酸性土壌ストレスに関する研究の背景・実情について概略を述べ、次に進行中である大気 PIXE による植物組織の元素分析・元素マッピングの試みについて紹介する。

#### 2. 酸性土壌ストレスとは？

酸性土壌とは文字通り pH の低い土壌のことで、一般には作物生産性の低い不良土壌とされている。現実には世界の農耕地の 30%以上は酸性土壌によって占められているが、地球規模での人口増加に見合った食糧を生産するためにはこのような不良な土壌をも耕地として積極的に活用していくことが望まれている。そこで、酸性土壌における植物の成育障害のメカニズムの解明が強く求められている。

では、なぜ酸性土壌では作物の成長が良くないのであろうか？その原因については、すでに今世紀初頭には、酸性土壌で可溶化しやすいアルミニウム (Al) イオンの根に対する毒性であることが指摘されていた<sup>1)</sup>。酸性土壌では、土壌の pH (土壌に対して一定割合の水を加えた懸濁液の pH) が 5.0 を下まわり、土壌溶液中の水素イオン ( $H^+$ ) 濃度が他の土壌に比べて高い。土壌条件を模した水耕栽培 (養液栽培) によるモデル系の実験においても、溶液の pH を 4 付近と非常に低く設定すると、Al イオンを加えなくとも  $H^+$  そのものによると考えられる根の成育障害が起こる場合もある<sup>2)</sup>。しかし、酸性土壌では pH が 5.0 付近でも成育障害が起きる場合がある。そこで Al イオンの毒性が重要視される。Al は地殻を構成する金属のなかではもっとも大量に存在する元素である。これは多くの土壌鉱物が構造中にケイ酸と Al を有するからである。しかし、必ずしも土壌溶液中に莫大な量の Al イオンが溶解しているというわけではない。土壌の pH が中性付近であれば、遊離の Al イオンの大部分は不溶性の  $Al(OH)_3$  となり、植物根にはほとんど影響を与えない (図 1)。

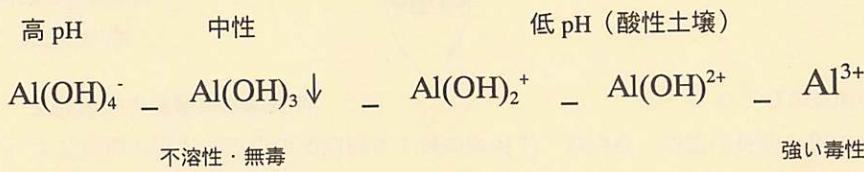


図 1 水溶液・土壌溶液の pH と Al イオンの形態・毒性の関係

しかし、酸性土壌の場合、pH が 5.0 以下と低くなるにつれて Al は  $Al(OH)_2^+ \rightarrow Al(OH)^{2+} \rightarrow Al^{3+}$  のような可溶性のカチオンとなり、特に pH 4.5 以下では  $Al^{3+}$  が大部分を占める。結論からいうと、これらの Al カチオン、なかでも  $Al^{3+}$  は際だって根に対する毒性が強く<sup>3)</sup>  $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ mol l}^{-1}$  のオーダーで

伸長阻害を引き起こし、酸性土壌における植物の成育障害の最大の要因となっている。ちなみに、ごく微量で植物の形態形成・成長・老化などに影響を及ぼす代表的な植物ホルモン（成長調節物質）であるオーキシン、ジベレリン、サイトカイニン、アブシジン酸およびエチレンの実験的な作用濃度も  $10^{-5}$  mol l<sup>-1</sup> 程度であり、Al イオンはこれらと同等のきわめて低い濃度で作用する、毒性の強いイオンであるといえる。

さて、超微量の Al イオンはどのようなメカニズムで根の伸長を阻害するのであろうか？ この課題のもとにこれまで多くの研究がさまざまな植物種を用いて行われてきたが、Al イオンの毒性が認知されて以来 80 年余りを経た今もなお、詳細は不明のままである。

### 3. 研究の障害となっているもの

では実際に Al は根のどの部分に作用しどのような生理的過程に影響を与えているのであろうか？ 「根が伸びる」という外見的には単純な現象も、複雑な生理的過程の結果である。根の構造は植物種や成育環境によって微妙に異なるが、おおまかに図 2 のように模式化される。根端の内部にある分裂域での細胞分裂によりそのち伸長する細胞群が生産され、伸長域では細胞が吸水成長という様式で鉛直方向に急速に伸長する。この過程では、細胞壁のゆるみ・合成・再構築により細胞の体積が増し、同時に液胞が水を取りこんで肥大しより大きな細胞を形づくる（図 3）。伸長を終えた表皮細胞の一部はその後、根毛という形で再び著しい伸長を示すが、これは根全体の鉛直方向への伸長にはつながらないが、やはり Al イオンによってその伸長が抑制される。

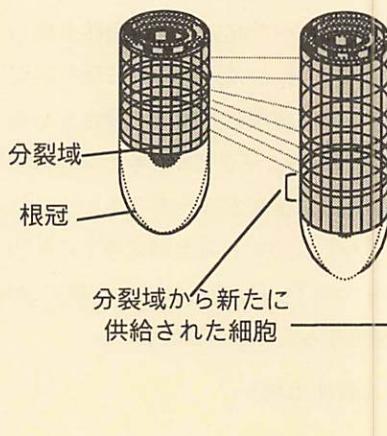


図 2 根の伸長のしくみ

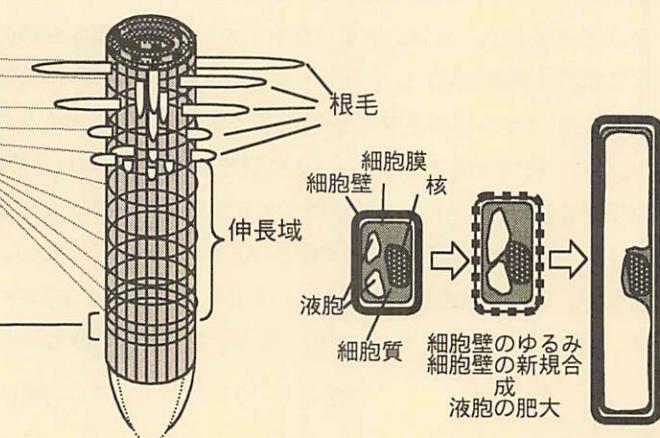


図 3 伸長域表皮細胞の吸水成長

したがって根の伸長阻害は、分裂域・伸長域に属する細胞群の生理的過程の阻害によって起こる可能性が考えられるが、Al イオンによる伸長阻害は主として伸長域の表皮細胞の吸水成長の阻害によるところが大きいとされている。

そこで、伸長域の表皮細胞は Al イオンに接触したときにどのような挙動を示すのか？ これが率直に知りたいことである。しかし、図 2・図 3 のように、まさに吸水成長が進行しているのはきわめて限られた領域の細胞に過ぎず、これらの細胞の生理的な状態を調べるには、細胞 1 個の分解能

を有する観察・分析法が必須となる。それが十分でなかった状況では、たとえば根端全体をすりつぶして成分の変化を調べる、特定の領域の細胞群のプロトプラスト（細胞壁を除去した細胞の中身）を調製して Al イオンに対する応答を調べる、Al の分布を化学的に固定された標本によって電子線やX線マイクロアーリシスで観察する、などの試みがなされてきた。しかし、それそれ特定の細胞からの情報が希釈される、組織から分離されしかも細胞壁のない細胞は本来の状態とはかけはなれている、試料の前処理等によって本来の姿が観察されていない、などの欠点のために細胞の生の姿が依然明らかにならなかった。また Al イオンは細胞の何らかの生体成分と結合すると想像されているが、容易に用いることのできる適当な Al の RI がないことや一般的な Al 検出法の感度が低いことなどから微量分析が難しく、研究の進展を遅らせる原因となってきた。

#### 4. 非破壊・高分解能分析法への期待

このような現状を打破するためには、非破壊かつ高感度・高分解能な観察・分析法が必須となる。私達はまず Al イオンストレス下での細胞膜の無傷性を反映する蛍光プローブを用い、Al イオンによる細胞の伸長阻害は細胞膜の破損や選択透過性の著しい変化によるものではないことを示した<sup>2,4)</sup>。蛍光プローブを用いた観察法は、共焦点レーザー顕微鏡（CLSM）を用いることにより高い分解能で個々の細胞の生理的情報を検出できる有用な方法である。しかしこの方法は、たとえば細胞中の多数の元素の組成を一度に調べたい場合などには向いていない。このような目的に対してはX線分析が適しているが、従来のX線分析装置では試料を真空中に置かねばならず、試料の原形をとどめた分析は不可能であった。私達も真空中での PIXE 分析を試みたが、分析は高感度ではあったが根の乾燥にともなう変形は避けられなかつた<sup>5)</sup>。

そこで私達は、Al イオンストレス下での根端の元素組成の変化を調べるために、非破壊的分析法のひとつとしてプロトンビームを用いた大気 PIXE 法を東北大学の大気 PIXE 装置にて利用することにした。測定にあたってもっとも注意すべき点は、細胞や組織の破壊を抑えるために照射ビームの電流をなるべく低くすること、および測定中の試料の乾燥・変形を防ぐことである。特に後者に対しては植物試料を純水で湿らせたろ紙上に置き常に水分を供給しながら測定する対策をとった<sup>6)</sup>。そしてアルファルファ (*Medicago sativa* L.、主要な牧草) では Al イオンストレス下、8 時間後にはカリウムの割合が大きく低下していることがわかった<sup>6)</sup>。カリウムイオンは植物細胞内では浸透圧の調節<sup>7)</sup>などを通じて細胞の吸水成長に深くかかわっている元素であり、ここで得られたカリウムの挙動は興味深い。また、その他の方法では検出することが難しいが遺伝子やタンパク質などの基本的な構成元素であるリンやイオウ、働きが今なお不明な点が多い塩素、伸長成長に大きくかかわる細胞壁成分であるカルシウムが同時に分析できることも今後の大きな助けになると考えられる。ただし、この段階では照射ビームの試料面での直径が 2~3 mm と細胞単位（およそ 0.01~0.1 mm）での元素組成をとらえられる分解能ではなかった。その後、東北大学の大気 PIXE システムはサブミリサイズのビームで平面スキャンすることができるようになって発展し、私達は現在、さらに狭い領域、最終的には細胞単位での元素組成のマッピング・可視化に期待を寄せている。

## 5. おわりに

非破壊分析法により生物のありのままの姿を可視化する方法は、近年夢から現実へと急速かつ着実に進歩している。これまでには、他分野に比べて植物や土壤に関する研究の分野にそれらの新しい手法が導入されるまでには比較的時間を要する傾向があった。しかし昨今の食糧問題や環境汚染問題の深刻さは研究に一刻の猶予も許さない。私達も大気 PIXE をはじめとする新しい技術を積極的に取り入れることによって、AI イオンによる根の伸長阻害メカニズムを解明し、酸性土壤問題の解決の糸口を見いださねばならない。また驚くべきことではあるが、植物の細胞壁はいかにして伸びるのか？という根本的な問題さえ未だ明らかではないのが現実である<sup>8, 9)</sup>。今後、非破壊分析法はこのような課題に対しても従来の方法では全くわからなかった情報を与える可能性も期待される。

## 参考文献

- 1) Hartwell, B. L. and Pember F. R. *Soil Sci.* **6**, 259 (1918)
- 2) Yokota, S. and Ojima, K. *Plant Soil* **171**, 163 (1995)
- 3) Kochian L. V. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **46**, 237 (1995)
- 4) Koyama H. et al. *Plant Cell Physiol.* **36**, 201 (1995)
- 5) Yokota S. et al. *Int. J. PIXE* **4**, 263 (1994)
- 6) Yokota S. et al. *Int. J. PIXE* **7**, 93 (1997)
- 7) Lindberg S. *Planta* **195**, 525 (1995)
- 8) Cosgrove D. J. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **50**, 391 (1999)
- 9) 横田聰, 化学と生物 **37**, 186 (1999)

特集記事

新サイクロトロンの現状

センター 篠塚 勉

平成 12 年度になり、センター新サイクロトロンの更新計画も終盤にさしかかっております。前号で紹介しましたように、本年 3 月の新サイクロトロン初加速、完成記念式典という区切りを過ぎ、計画は本格的な運転、利用に向けての作業に入りました。

作業計画は共同利用再開に向け、以下の作業が続いております。

- 1) サイクロトロン出射系、各ターゲット室（第 1 - 5 ターゲット室）のビーム輸送ラインの電磁石系の性能増強（エネルギーが 1.5 倍になることに備えた集束レンズ電磁石の補強、新設）。対応する電源、制御系の整備。
- 2) 本格運転に向けてのサイクロトロン棟の遮蔽増強（本体室、電磁石室、第 1 - 5 ターゲット室、サイクロトロン棟外壁増強）。
- 3) 新サイクロトロン本体の加速テスト。
- 4) 新実験装置の性能テスト及びサイクロトロンビームによるオンラインテスト。

など、実際の利用に備えた細かい作業が並びました。現時点におきましては（平成 12 年 12 月）、ほとんどの作業が終了しております。また、加速器使用施設としての放射線遮蔽増強に対する施設検査も 6 月末(第一回)、12 月初め(第 2 回)の 2 度の検査を終了しました。

加速粒子も陽子、ヘリウム 4 の加速テストをとうして、全てのターゲット室への輸送テストを終了しております。このような状況を受けて、2001 年 1 月からは試験的な共同利用再開が計画されました。新サイクロトロン本体及び新ビーム輸送系のテスト運転と合わせて、新実験装置（新中性子検出系、新ガンマ線検出器系、質量分離器、新 RI 製造用照射装置など）のテスト実験が開始される予定です。以下、共同利用再開に向けたお知らせの抜粋を添付し、「新サイクロトロンの現状」の報告とさせていただきます。

=====

### 共同利用を再開するにあたって（加速器の現状）

平成 10 年 4 月 9 日の旧 680 型サイクロトロンの停止から、2 年 9 ヶ月ぶりになります。長らくお待たせしました。新サイクロトロンは平成 12 年 12 月の最終施設検査を終了し、平成 13 年 1 月からの共同利用のはこびとなりました。関係者の方々の御協力感謝いたします。

930 型サイクロトロンは予定性能の 80%（陽子エネルギー 70MeV）まで達し、その最適パラメーター取得の為の Commissioning を行っております。また、各ターゲット室の最終ビームストップまでの輸送テストも終了しました。しかし、マシン及び実験装置関係もまだ 100% フル稼働の状態には至っておりません。このような状況から、今回の共同利用は利用者サイドの実験装置との取り合い等を含め、マシン側及び実験者側の新しいビーム、測定器等を含めたテスト実験的な性格になろうかと思っております。このことから、より柔軟性を持った共同利用を行う為にも、原則として、以下のような要領で行うこととします。

- 1) 1 - 3 月期の間で 6 - 8 週を共同利用週（火曜日 - 金曜日）とします。
- 2) 加速エネルギーは最高性能の 8 割を目安にします。（陽子 70MeV、ヘリウム 90MeV、重陽子 40MeV）
- 3) マシン側として未経験のエネルギーとなる場合は、調整の時間を考慮してください。

マシン側はこの間、新 ECR イオン源による重イオン加速テスト、ビームタイムシェリングテスト、負イオン源加速テスト、と Commissioning を進めていく予定です。従って、上記制約も状況に応じて変わるものと想定されます。実験計画の進展に合わせ、隨時、センター側にお問い合わせください。

小型サイクロトロン（HM12）はこれまでどおりに運転する予定です。

よろしくお願ひいたします。

センター加速器研究部

篠塚 勉

## 新サイクロトロンの制御系

センター 藤田 正広

センターの主力加速器であった 680 型 AVF サイクロトロンが、930 型 AVF サイクロトロンに更新されたのに伴い、その制御系も一新されました。旧 680 型を制御していた頃の制御室の風景をご存知の方が現状の制御室をご覧になったら、あまりの変わりように驚かれると思います。かつての制御室を我物顔で占有していた、ボタンやつまみのたくさんついた制御卓や、壁一面に取り付けられていた表示パネルなどは全て撤去され、数台のパソコンと大画面液晶プロジェクターなどがあるだけのすっきりとした部屋に様変わりしました。これまでの制御方式は、機器と制御卓との間を”ハードワイヤー”で結んだ、いわゆる”アナログ制御方式”でした。それを計算機を利用した”デジタル制御方式”に大改造した結果だと言えます。”アナログ”と”デジタル”という言い方をすると、”アナログ”は古臭くて時代遅れだというイメージがあるかもしれません、機器制御の信頼性から言うと、機器と制御盤をハードワイヤーで結ぶ方式の方が、途中に計算機をはさむよりも数段上だと思われます。しかし、機器の増設などに伴う改良が必要となったときなどの柔軟性の面では、圧倒的に今回の制御方式の方が有利になります。というのは、制御対象の機器からの配線が最小限になるように、機器の近くに制御用計算機を配置し、そこから制御室までは光ケーブルだけという形をとっているからです（図参照）。例えば、第 5 ターゲット室に新たな機器を増設した場合を考えます。以前のハードワイヤー方式だと、第 5 ターゲット室から制御室まで、100m 以上の長いケーブルを配線する必要がありました。それが今回的方式では、第 5 ターゲット室内のみの追加配線を行なえばいいことになります。さらに、機器専用の制御盤や制御卓ではなく、パソコン上で作成した制御パネルを使用していますので、機器の追加、改良などは全てソフトウェア上で対応できます。また、運転パラメータなどのデータロギングは計算機の最も得意とするところで、ここでも計算機制御は大いに役立っています。

新しい制御系の大きな特徴として、

1. 制御用計算機（PLC；Programmable Logic Controller）を利用したネットワーク分散制御
2. Labview を用いた GUI（Graphical User Interface）プログラム
3. WE7000 を用いたビーム電流計測

が挙げられます。ここでは、この 3 つに焦点を絞って、新しい制御系の大枠を解説していきたいと思います。

サイクロトロン及び入出射系を含むビーム輸送系の制御を考えた場合、次のような制御項目が考えられます。

- I. 電磁石用、RF 用などの各種電源
- II. 真空系（真空ポンプやバルブなど）
- III. ビーム診断系（電流読み取り用のプローブ類やスリットなど）
- IV. インターロック系（シールド扉や地下扉など）
- V. 機器用インターロック（冷却水フロースイッチやサーマルスイッチなど）

これらの制御対象は、設置箇所・機能ともにバラバラであるため、これら全てを一括制御するのは非常に困難です。しかし、互いに密接に関連している場合もありうるので、必要な情報は共有しなければなりません。例えば、本体室の扉が開いている場合にはビームを加速できないように入射系のバルブやビームストッパーを閉める必要があります。その為には、入射系の制御を行なうときに本体室の扉の情報を知る必要があります。これを実現するために、新制御系では PLC を利用したネットワーク分散制御方式を採用しています。PLC は工場の自動生産ラインなどで広く使われている装置で、CPU モジュールに加えて、制御に必要な機能を持ったモジュールを装着して使用します。リレーの駆動からモーターの制御や温度コントロールなど、必要な機能に特化した様々なモジュールが市販されています。これらのモジュールは、ラダー言語と呼ばれるシーケンス制御用の特殊言語で書かれたプログラムに従って動作します。

本体室・電磁石室・各ターゲット室・新旧電源室などの各部屋ごとに、機能に応じて数台のラック（ディストリビューター）を設置しています。このディストリビューターの中には、機器との配線用の端子台と PLC が組み込まれていて、各 PLC はディストリビューターを通じて配線された機器の制御を担当しています。各部屋のディストリビューターの中の PLC には、CPU モジュールや通信用モジュールは配置されておらず、これらのモジュールは制御室のディストリビューターに集められています。制御室と各部屋の PLC は専用の光ケーブルで結ばれていて、あたかも一台の PLC であるかのように機能しています。CPU モジュールと通信用モジュールを制御室に置くことによって、放射線ダメージの影響を避けることができました。また、リンクモジュールと呼ばれる特殊モジュールを使用することによって、PLC 間の情報共有も可能にしています。

PLC は、あらかじめプログラミングされた内容に従って動作しています。人がある動作を PLC にやらせようとした場合、毎回 PLC 内部のプログラムを変更するわけにはいきません。そこで、あらかじめ想定される動作の内容を PLC 内にプログラミングしておいて、その動作のトリガ信号を PLC に対して送信する必要があります。このトリガ信号の送信の仕方には様々な方法が考えられます。例えば、スイッチとリレーを用意して、電気信号を送信する方法もありますし、TTL 信号を送信する方法も考えられます。今回の制御系では、イーサネットを通じて TCP/IP 通信を行なうことによって PLC に対してトリガ信号を送信しています。また、PLC が収集した情報の読み取りに関する TCP/IP を通じて行なっています。そのため、人と PLC を仲介して TCP/IP 通信を行なうためのインターフェースプログラムが必須となります。今回はそのインターフェースプログラムを、National Instruments 社の Labview を用いて作成しました。Labview は主に計測・制御の分野で広く使われているプログラム開発環境で、その最大の特徴はソースコードがテキストベースではないということです。通常、C 言語などでプログラムを書く場合には、テキストでソースプログラムを記述してきます。しかし Labview 環境では、パーツを画面上に配置してその間を配線していくというやり方でプログラムを作成することができます。プログラミング言語特有の文法を覚える必要がなく、視覚的・直感的にプログラムを作成できるため、初心者でも簡単に始めることができます。

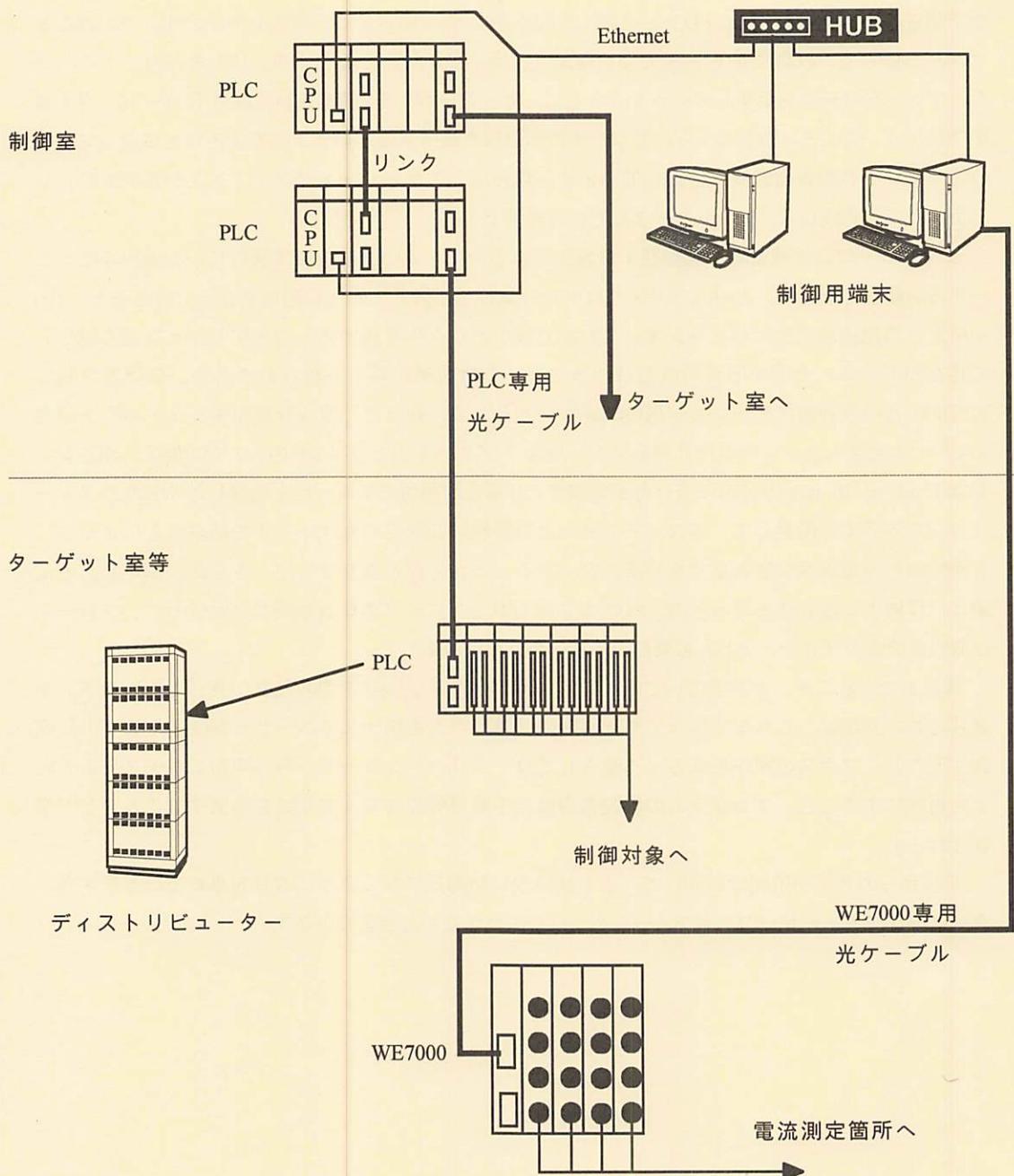
新しい制御系では制御・モニターに TCP/IP を利用しているため、ネットワークの混雑という問題が考えられます。これを解消するためには、PLC との通信量を極力少なくする工夫が必要となります。ユーザーが使用する端末の全てが PLC と常時通信したとしたら、かなりのネットワーク負荷

が予想されます。そのため、PLC と通信する端末を 1 台に限定する予定にしています。その端末をサーバーにして、PLC からの情報を他の端末（クライアント）と共有する、いわゆるサーバー・クライアントシステムを構築しています。さらに、サーバーが一定時間間隔で PLC にポーリングするのではなく、むしろ PLC 側から必要なときのみ情報を送信するという工夫をすることによって、よりネットワークの負荷軽減を目指しています。現在はこのサーバー・クライアントシステムのプログラムがほぼ完成して、テストを行なっている段階です。

サイクロトロンは荷電粒子を加速する装置であるため、その調整時には常にビーム電流をモニターする必要があります。入射系・サイクロトロン本体・出射系・ビーム輸送系を全て併せると、100ヶ所近くの電流測定箇所があります。これまでアナログの電流計の入力を切り替えながら測定してきたのですが、今回の制御系改造に伴ってビーム電流測定系も一新されました。横河電機製の WE7000 という計測ステーション用のモジュールとして、新たに”電流計測用モジュール”を開発していただきました。この電流計測モジュールは 1 スロット当たり 4CH の入力が可能で、測定レンジは 1 nA ~ 10 mA と非常に広いのが特徴です。電流計測用モジュールを装着した WE7000 ステーションを各部屋に配置して、各ステーションと計算機の間を専用光ケーブルで結ぶことによって、各測定箇所の電流値を制御室で常時モニターすることが可能となりました。さらに、測定した電流値は計算機上に取り込まれるため、PLC から得られるプローブの位置情報などと併せて、プローブ位置対電流値のプロットなども容易に得られるようになりました。

今までのところ、当初想定していた制御系改造計画のうち約 7 割程度まで進行しています。今後残された課題は、これまで作ってきた個々のプログラムを統一してユーザーが使いやすい形に改良すること、マウスの操作をなるべく減らしてロータリーエンコーダー等の専用デバイスによる入力を可能にすること、プログラムの解説書や操作手順書等のマニュアル類を整備することなどが挙げられます。

来年からの共同利用開始に向けて、より使い易い制御系になるように改良を重ねていきますが、実際に使用するユーザーの声もフィードバックしていきたいと考えています。



PLC 及び WE7000 の配置図

## 新しい機器の紹介

### 大型中性子検出器システム

センター・測定器研究部 寺川 貴樹

サイクロトロンの更新計画に伴いこの度センターの中性子飛行時間測定装置に大型中性子検出器が導入され、また  $K=110$  MeV 930 型サイクロトロンから得られる最高エネルギーのビームに対応するために新ビームスワインガーシステムの建設も行われています。これらの新しい実験装置と新サイクロトロンからの大強度陽子ビームによる中性子ビームを用いて、数十から百 MeV までの精密な中性子-原子核光学ポテンシャルを導出し、核力の荷電対称性の破れについて定量的な説明を目指す研究が計画されています。

以下、大型中性子検出器、新ビームスワインガーシステム及び新データ収集システムについて紹介します。

#### 大型中性子検出器

##### 検出器仕様

新中性子検出器システムは、シンチレーター寸法が直径 8 インチ、厚さ 5 cm の単体中性子検出器 32 台から成り、これらの単体検出器を縦 4 台×横 4 台で配列した 16 台の検出器群 2 セットで構成されています。新中性子検出器の全体図を下記に示します。新検出器システムの有効立体角は、旧検出器システムの 2 倍以上あり、検出器を標的から 40 m 程度に設置した場合約 0.5 msr 以上です。

シンチレータは BICRON 社製 BC-501A を用い、中性子-ガンマ線弁別特性及び時間分解能において旧検出器の NE213 と同等の性能を持っています。光電子増倍管には時間応答特性に優れた EMI 社製 9823KB 型を採用し、遠隔操作可能な独立 32 チャンネルの高圧電源によって、0~3 kV まで 1 V 単位でバイアス電圧供給が可能です。さらにすべての単体検出器には光ファイバーケーブルが組み込まれており、LED を使った光電子増倍管の光量調整・校正が可能となっています。

##### 性能確認試験

新検出器は時間分解能に重点を置いた設計となっています。ブリーダー回路について試作器段階で宇宙線等を利用した時間分解能の試験を重ねて設計されました。その結果、新検出器の時間分解能として約 450 ピコ秒程度の性能が得られており、旧検出器の約 700 ピコ秒を大幅に上回る時間分解能を達成しています。また、光電子増倍管の長時間安定度試験も 32 台すべての検出器について計数率を変えて行っています。

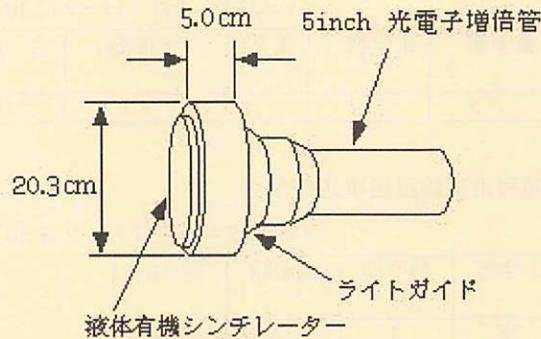
#### 新ビームスワインガーシステム

930 型サイクロトロンの導入によってビームスワインガーシステムも  $K=50$  MeV から  $K=110$  MeV

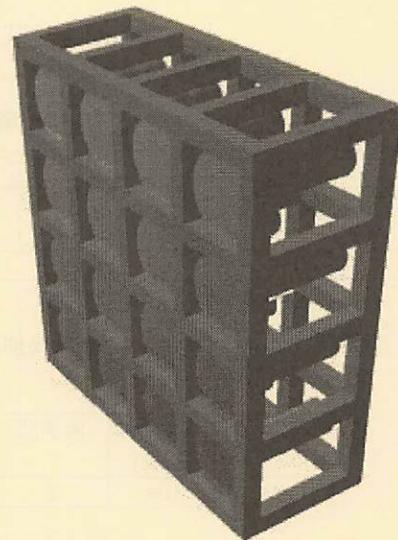
相当への対応が必要となります。最高エネルギーの重陽子やアルファ粒子では磁場剛性が 1.5 T•m 以上で、曲率半径が 0.7m の旧ビームスワインガーでは 2.1 T 以上の磁場が必要となり、電磁石の若干の改造や電源強化で対応するのは困難です。新ビームスワインガーシステムは、ビーム軌道曲率半径 1.1 m、最大磁場 1.5 T 以上とし、930 型サイクロトロンからのすべてのビームに対応可能です。ビームスワインガーの回転角度は、ビーム輸送系の軌道平面を  $0^\circ$  として  $-5^\circ \sim 150^\circ$  です。

#### 新データ収集系システム

最後に開発中の新検出器用データ収集システムについて説明します。センターの中性子検出器のデーター収集システムは NIM-CAMAC システムで構築され、ホストコンピューターには、PDP11、MicroVAX3500 が使われてきました。近年のパーソナルコンピューターの性能や環境を考慮し、新データ収集システムではホストコンピュータに Linux をオペレーションシステムとしたパーソナルコンピュータを採用して開発が行われ、さらに CAMAC-VME システムも検討しています。これは CAMAC モジュールのデータを高速データ収集可能な VME で収集するシステムです。将来、VME モジュールを徐々に充実させていくことで CAMAC の比重を減らし、CAMAC から VME への緩やかな移行を念頭に置いています。

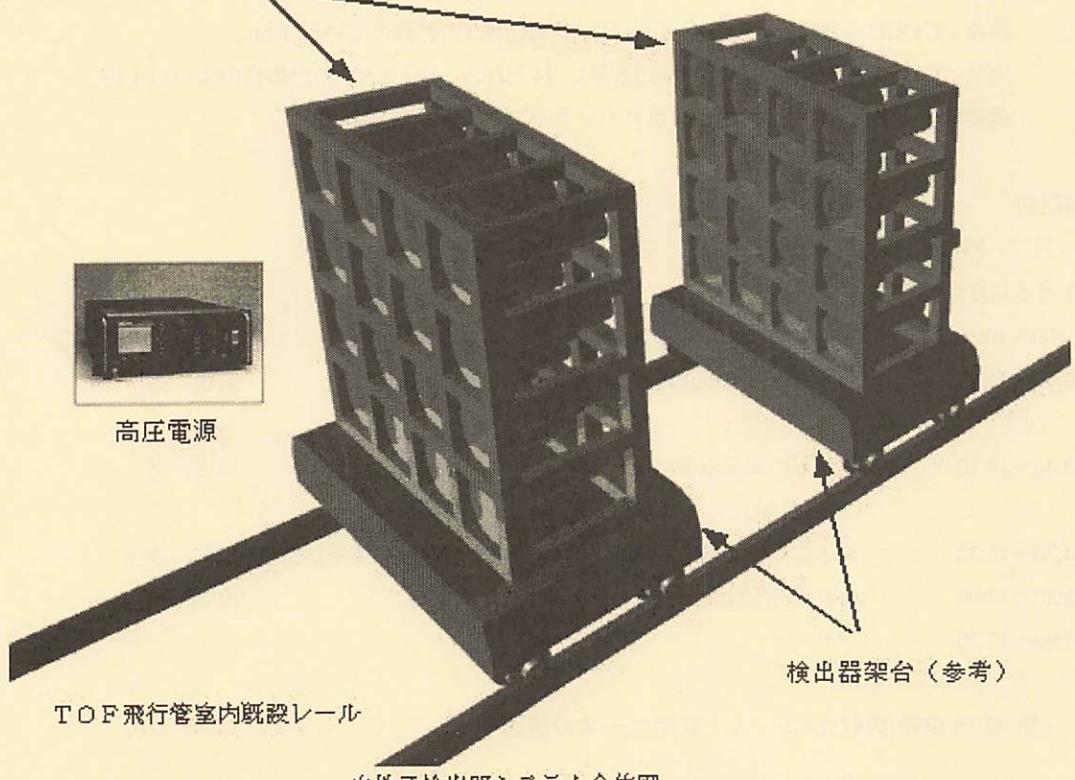


中性子検出器



中性子検出器システム  
(縦4台×横4台配置)

中性子検出器システム  
(検出器台数 縦4台×横4台×2セット、計32台)



中性子検出器システム全体図

## 共同利用の状況

### RI 棟部局別共同利用申込件数

(平成 12 年 4 月 1 日～9 月 30 日)

CYRIC	理学部	医学部 (病院)	歯学部	薬学部	工学部	農学部	加齢研	合計
1	1	5	3	5	1	1	1	18

### HM—12 部局別共同利用実験課題申込件数

(平成 12 年 4 月 1 日～9 月 30 日)

CYRIC	医学部 (病院)	歯学部	工学部	農学部	加齢研	合計
49	104	2	35	3	23	216

## センターからのお知らせ

### 〔放射線と RI の安全取扱いに関する全学講習会〕

#### ・第 49 回基礎コース：平成 12 年 11 月 6 日(月)～15 日(水)

講義：CYRIC 講義室 11 月 6 日(月)、8 日(水)の内都合のよい日 1 日

実習：CYRIC RI 棟 11 月 13 日(月)、14 日(火)、15 日(水) の内都合のよい日 1 日

講義場所：サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 講義室

#### 時間割

日 時	講 義 内 容	講 師
11 月 6 日(月)、 9:00～10:30	8 日(水) 放射線取扱に関する法令	工学研究科 中村 尚司
10:40～11:40	放射線の安全取扱(2) 「RI の化学」	理学研究科 関根 勉
12:40～14:10	放射線の安全取扱(1) 「物理計測」	CYRIC 馬場 譲
14:20～15:20	人体に対する放射線の影響	大学院医学系研究科 山本 政彦
15:30～17:00	放射線の安全取扱(3)	CYRIC 山寺 亮
17:00～17:20	小テスト	

#### ・第 12 回 SOR(放射光)コース：基礎コースの講義のみ

・第35回X線コース：CYRIC講義室 11月7日(火)

講義場所：サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター 講義室

時間割

日 時	講 義 内 容	講 師
11月7日(火)		
9:00 ~ 9:30	X線関係法令	CYRIC 山寺亮
9:40 ~ 11:10	X線装置の安全取扱い	医療短大 小原春雄
11:20 ~ 12:00	安全取扱いに関するビデオ	CYRIC 宮田孝元

〔運営委員会報告〕

第159回(平成12年7月17日)

- 平成11年度決算報告を承認
- 平成12年度実行予算を審議
- 第1専門委員会委員(田村・理、大槻・核理研)の追加を承認
- 利用者の会より推薦のあった課題採択委員(11名)を承認
- 客員研究員1名の受入を了承
- 外国人研究者1名の受入を了承
- 民間等共同研究員1名の受入を了承
- リサーチアシスタント2名(サイクロトロン核医学研究部、放射線管理研究部)の採用を承認
- 日本学術振興会外国人特別研究員の受入期間延長を承認

〔講演会報告〕

平成12年5月24日

Bhaskar Mukharjee(バスカール ムカジー)

「オーストラリア国立医用サイクロトロンにおける安全関連の研究開発について」

平成12年7月14日

Oleg A.Shcherbakov(オレッグ シエルバコフ)

「数100MeV中性子による核分裂の実験的研究」

平成12年7月26日

G. Colò(コロ)

「荷電スピニ混合に関するセミナー」

平成12年7月31日

Gustavo Siera-Gonzalez(グスタボ シエラ ゴンザレス)

「神経免疫学分野におけるガングリオンドの役割」

## 共同利用実験

### 第 21 回研究報告会プログラム

平成 12 年 11 月 9 日 (木)

はじめに (9:20~9:30)

<< あいさつ>>

センター長 織原彦之丞  
利用者の会々長 阿部 勝憲

#### 第 1 セッション 理工系 (PET・PIXE など) (9:30~10:45)

座長 中村 尚司 (工学研究科)

1-1. 3 次元収集 PET データの OSEM による画像再構成条件の検討

センター 四月朔日聖一

1-2. 3DPET のための画像再構成法の開発(1)

工学研究科 大石 幸弘

1-3. 脳磁波と脳波の簡易同時測定システムの開発

工学研究科 鈴木 敦郎

1-4. 粒子ビーム照射による発色技術の開発

工学研究科 遠藤 寛和

1-5. PIXE 分析法を用いた文化財における顔料の研究

埋蔵文化財センター

関根 達人

- 休憩 (10:45~10:55) -

#### 第 2 セッション 基礎医学・薬学 (10:55~12:10)

座長 荒木 勉 (薬学研究科)

2-1. 加齢による脳内ドーパミン代謝の変動

センター 赤坂 恵

2-2. Alzheimer 病モデルラット脳 CAT 活性に対するガングリオシド

センター 熊谷 寿彦

投与の効果

センター VALDES-

2-3. A kinetic approach to the characterization of the interactions of  
β-amyloid peptides with glycolipid receptors by surface plasmon  
resonance

センター GONZALEZ  
TANIA

2-4. NOS 阻害剤の錐体外路系運動障害に関する検討

薬学研究科 水谷 治央

2-5. MPTP 誘発パーキンソン病マウスモデルに対する各種薬剤の作用

薬学研究科 三上忠世志

- 昼 食 (12:10~13:30) -

第3セッション 臨床医学・脳関係 (13:30~14:30)

座長 伊藤 正敏 (センター)

3-1. 成人もやもや病における脳循環代謝

医学部附属病院 吉田 康子

3-2. Mild Cognitive Impairment の脳機能画像所見

医学部附属病院 岡村 信行

3-3. Imaging quantification of neuro-receptor function using positron emission tomography : a methodological approach

センター MEHEDI  
MASUD

3-4. Recal of embedded words from a story

医学系研究科 大竹 浩也

- 休憩 (14:30~14:40) -

第4セッション 臨床医学・その他 (14:40~15:40)

座長 福田 寛 (加齢医学研究所)

4-1. FDG-PET による頭頸部腫瘍の再発診断

加齢医学研究所 窪田 和雄

4-2. 同時係数回路を用いたガンマカメラによる positron 収集

医学部 金田 朋洋

4-3. FDG 経口投与法における kinetic analysis の試み

センター 山口慶一郎

4-4. 運動が消化管諸機能に及ぼす影響

センター 尾崎 郁

-FDG 経口投与法を用いた検討-

4-5. 聴覚刺激（音源定位）の PET Activation Study

加齢医学研究所 渡辺 丈夫

まとめ (15:40~15:45)

課題採択専門委員長 中村 尚司 (工学研究科)

利用者の会総会 (15:45~16:45)

## 新型サイクロトロンの共同利用プロジェクト検討会

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターでは、この度導入された新型サイクロトロンが完成し、現在 2001 年（平成 13 年）1 月からの共同利用開始を目指して加速器、ビーム輸送系の準備、調整が進められています。この共同利用を再開するにあたって、加速器、ビーム輸送系、実験設備などの状況をセンターから説明すると共に、ユーザーから新サイクロトロンを用いた研究プロジェクトの提案をして頂き互いに検討する会を第一専門委員会と課題採択委員会が共同主催致します。

本検討会では、関係者の皆様に研究プロジェクトを提案して頂き、集まった提案(目的、概要、必要機器、加速ビーム、ビームコース、提案者およびグループ)をもとに、プロジェクト検討会を行います。検討会では提案いただいた実験テーマの説明と同時に、それを実現する為の、加速器、実験設備の進行状況とのすり合わせの議論も行って頂きます。センター共同利用の成果があがるよう皆様のご協力をお願い致します。

東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター  
課題採択委員会委員長 中村尚司  
第一専門委員会委員長 橋本 治

### 検討会プログラム

11月10日（金）

はじめに（9：30～10：00）

あいさつ	第一専門委員長	橋本 治
センターの近況	センター長	織原彦之丞
マシンの状況	センター加速器研究部	篠塚 勉

第1セッション（10：00～12：00）

座長 橋本 治（理学研究科）

1-1. PET 核医学の新展開：新規ポジトロン放出核種の診断利用

工学研究科 岩田 錬  
センター 山口慶一郎

1-2. 高エネルギーイオン原子衝突とその応用

工学研究科 石井 慶造

1-3. 原子力用材料における材料の健全性評価および保守・保全技術の開発

工学研究科 長谷川 晃

1-4. 中性子場の開発と中性子断面積の測定

工学研究科 中村 尚司  
センター 馬場 譲

— 昼 食 (12:00~13:30) —

第2セッション (13:30~15:30)

座長 小林 俊雄 (理学研究科)

2-1. 陽子過剰不安定核ビームを用いた精密核物理

$p(^{10}C, n)^{10}N$  反応測定による  $^{10}N$  基底状態の探索 理学研究科 大津 秀曉

2-2. 高エネルギー光子及びパイ・エータ中間子発生でさぐる核内核子の協力現象

理学研究科  
原子核理学研究施設  
笠木治郎太

2-3. ガンマ線分光による核構造と天体核反応の研究 九州大学

イラスト・トラップと SD 探査と rp-process 上の核種の研究 理学研究科 郷農 靖之

2-4. RI ビームによる偏極生成と不安定核の電磁気モーメント測定

京都大学原子炉実験所  
谷垣 実  
新潟大学理学部 大矢 進

— 休憩 (15:30~16:00) —

第3セッション (16:00~17:30)

座長 工藤 博司 (理学研究科)

3-1. 低速偏極 RI ビームの開発

東京工業大学  
理工学研究科 旭 耕一郎

3-2. オンライン質量分離器を用いた不安定核の研究

センター  
新潟大学理学部 工藤 久昭

11月11日(土)

第4セッション (9:30~11:55)

座長 中村 尚司 (センター)

4-1. 特別講演

Forshungs zentrum  
Julich Prof.  
Detlif Filg

4-2. 数十～百 MeV 領域の核子-核間光学ポテンシャルと

原子核のスピン・アイソスピン励起の研究 センター 寺川 貴樹  
織原彦之丞

4-3. 中性子捕獲反応を用いた原子核内2体相互作用の研究

理学研究科

前田 和茂

4-4. 重元素への核化学的アプローチ：重元素の合成と崩壊特性そして化学的挙動

(主に1コースを用いた計画)

理学研究科

原子核理学研究施設

大槻 勤

まとめ (11:45~11:55)

課題採択専門委員長 中村 尚司 (工学研究科)

## 研究交流

新しくセンターにこられた共同研究者を紹介します。

氏 名 Imre Mahunka (JSPS客員研究員)

出身地 ハンガリー

所属機関 ハンガリー科学アカデミー原子核研究所 主任研究員

研究題目 サイクロトロンの医学利用に関する研究

受入教官 井戸達雄教授

研究機関 平成12年10月19日~11月8日

氏 名 Ferenc Tarkany (JSPS客員研究員)

出身地 ハンガリー

所属機関 ハンガリー科学アカデミー原子核研究所 サイクロトロン部長

研究題目 サイクロトロンの医学利用に関する研究

受入教官 井戸達雄教授

研究機関 平成12年10月19日~11月8日

氏 名 Csikai Gyura (JSPS客員研究員)

出身地 ハンガリー

所属機関 コーシュース大学実験物理学研究所 教授

研究題目 応用目的のための中性子生成および場の診断手法に関する研究

受入教官 馬場 譲教授

研究機関 平成12年11月15日~12月5日

## R I 管 理 メ モ

### ・放射線施設の検査

サイクロトロン930型完成に伴う施設検査と、定期検査が同時に6月27日～29日にかけて実施されました。その内容は別添（1）の通りです。

### ・自主点検について

平成12年度第1回目の自主点検を9月18日～20日にかけて実施しましたが特に異常は認められませんでした。

### ・核燃料物質の使用状況調査の実施について

平成12年10月18日標記調査が行われました。その内容は別添（2）の通りです。

### ・RI棟共同利用一時休止について

RI棟排気設備更新に伴って、RI棟の共同利用を平成12年12月23日（土）～平成13年2月26日（月）にわたって休止せざるを得なくなりました。尚各RI棟共同利用者にはお知らせを送付し協力をお願い致しました。

### ・放射性同位元素等の取り扱いに関する安全管理の徹底について（通知）

この程科学技術庁放射線安全課から11月2日付けで、上記の課長通知が出され、放射性同位元素等の使用・保管管理等状況の再点検とその報告が指示されました。

### <別添1.定期検査及び施設検査>

日 時：平成12年6月27日13:00～6月29日17:00

検査員：（財）原子力安全技術センター放射線安全部

　部長 近藤 龍雄、参事 坂元 思無邪、検査員 千坂 治雄

立合者：放射線管理研究部

　中村 尚司、馬場 譲、山寺 亮、宮田 孝元

施設検査と定期検査を区別しないで進めることとし、漏洩線量の測定を28日、インターロックのテストを29日に行った。経過は省略するが以下のような指摘とコメントがあった。

1. 施設の表面材料等の仕様が申請書と変わっていたら次回の変更承認申請時に直した方がよい。
2. フード及び流しの数をもう一度チェックして申請書と変わっていたら次回の変更申請時に変更した方がよい。
3. 930型サイクロの出力制限のチェック（第2TR、第3TR）（KW•h/week•μA）、6/28にチェックしたが、第2TRもチェックすること。
4. 漏洩線量は作業室、管理区域境界、事業所境界について、その結果を基にフルパワーで運転したときに換算して評価したが。多分大丈夫ではないか。
5. 有機廃液処理室の貯留槽に排水設備の標識、研究棟TOFガントリー室の天井板の割れ、サイクロトロン棟の2階ターゲット準備室1及び2のケーブルラック用の穴はラックを通さないのであればきちんとふさぐように。この3点について改善し写真を添えて提出せよ。

6. 電磁石室の補助遮蔽が普通コンクリートからポリエチレンと鉄に変更されているので次回変更承認申請時に訂正した方がよい。
7. 第5TRの遮蔽体の位置も申請時と変わっているので現実に合うように次回変更申請時に訂正した方がよい。

<別添2.科学技術庁核燃規制課による立入り検査>

日 時：平成12年10月18日（水）9：00～

場 所：研究棟会議室

検査官、基準係長 栗崎 博

塙部 輝之

立合者：放射線管理研究部

中村 尚司 教授

山寺 亮 助教授

宮田 孝元 技官

1) 初めに本センターの概要を中村教授が説明、平成12年10月18日（水）現在の核燃料物質の朋友リストを提出・資料（1）

2) 書類検査

- ・核燃取扱者の確認（核燃個人管理綴りより説明）
- ・被曝測定の確認、記録の確認、被曝の記録の写しの交付の確認  
(核燃個人管理綴りより説明) +入所前記録の確認
- ・教育訓練の確認（再教育受講確認票により説明）
- ・排気の測定記録の確認（排気口における放射能濃度測定記録日報グラフにより説明）
- ・排水の測定記録の確認（排水濃度測定報告書により説明）
- ・線量率測定記録の確認（線量当量率等測定報告書により説明）
- ・表面汚染密度測定記録の確認（ // ）

3) 現場確認（使用場所の確認）

1. RI棟、所員実験室（1）、（2）。2階測定室
2. 第3貯蔵室において核燃料物質の目視確認、資料（1）に基づき1個ずつ確認。  
容器より核燃物質を取り出し fission foil の枚数も確認
3. 第2ターゲット室、第3ターゲット室、第4ターゲット室、第5ターゲット室
4. 第2空調室及び屋上の排気設備の確認
5. 排水設備の確認

4) コメント

良く管理されているが他施設で foil がなくなるということがあったので foil の枚数の確認はきちんとやるようにとのコメントがあった。

## 放射線障害防止法関係法令の改正について

放射線管理研究部

山寺 亮

科学技術庁は、国際放射線防護委員会(ICRP)の1990年勧告(Pub.60)を受けて、同法の施行規則（総理府令第56号）および平成12年度科学技術庁告示第5号を公布した。平成13年4月1日より施行される。公布は、遅れに遅れてようやく10月23日であったが、施行は予定通りでありそれまでにかなりの量の作業をこなさなくてはならない。

主な変更点を表1にまとめる。詳細は官報号外第217号や科学技術庁のホームページ(<http://www.sta.go.jp>)にゆずるとして、ここでは、センターの現状もふまえて、かいつまんで紹介する。

### 1. 用語の変更

今まで、全身の被ばくは実効線量当量（具体的には1cm線量当量）で評価し、各組織は組織線量当量（例えば皮膚は $70\mu\text{m}$ 線量当量）で評価していたが、改正法令では、実効線量当量が実効線量に、組織線量当量が等価線量に、名称変更された。単位は今までと同じシーベルトであるが、放射線の吸収線量（物理量）から生物学的効果を評価する換算係数が変更されたので、数値としては放射線の種類とエネルギーによって、今までと10～20%違った値になることがある。

### 2. 職業被ばくに対する線量限度

改正法では、「実効線量で100mSv/5年を超えない、ただし、いかなる年度でも50 mSvを超えない」となったため、平均すれば今までの2/5に厳しく制限されたと言える。しかし、センター利用者には、これにかかるほどの被ばくを受けた従事者は最近はない。放射線作業の実質的な制限にはならないと推定している。

### 3. 女性の線量制限

女性の腹部の線量等量限度は、3ヶ月で13 mSv から 5 mSv に、妊娠を知ったときから出産まで10 mSv から2 mSv に大幅に減少した。しかし、女性腹部の線量等量限度については、妊娠する意志のない人には適用しないとか、細かく規定されているので、大量に被ばくしそうな女性従事者は主任者に相談すること。

### 4. 管理区域の基準

管理区域境界での線量が従来の1/3になった。さらに境界の外側に滞在する者については、1m Sv/年を超えないように配慮することになっていて、場所によってはさらに低線量におさえる必要がある。現実にはセンターでは現在でもこの数値を下回った管理になっている。

科学技術庁は、放射線障害予防内規を来年3月31日までに改訂するとともに、「・・・確認の結果、改正法令に適合しない場合には、変更許可申請または許可・届出に係わる変更の届出のうち必要な手続きを行うこと。変更の手続きは可及的速やかに行い、許可または届出受理後に行われる工事等が遅

くとも平成15年3月31日までに完了するようにすること（通知別添3(3)）を要求している。センターでは多数の核種について多量の承認を得ているので、書類上の見直し作業には大変な時間と労力が必要になろう。

#### 5. 健康診断

従来は省略規定があり、被ばく線量が低い場合には2年目から健康診断を省略することもできた。しかし新法では少なくとも問診は1年を超えない期間ごとに行うことになっている。さらに、人事院規則等が改正になると、大学全体としてその規制も受けるので診断項目が付加されることがあるかも知れない。

#### 6. その他

RIを吸入摂取したり、経口摂取して内部被ばくをした場合の計算が、従来法では極めてめんどうであった。改正法では、核種の化学形ごとに実効線量係数 (mSv/Bq) が与えられたので、全摂取量がBqがわかれば1年間の内部被ばくが容易に計算できることになった。

表 1 法令の主な改正事項

項目	旧 法	新 法
用語の変更	実効線量当量 組織線量当量	実効線量 等価線量
職業被ばく線量限度	実効線量当量 $<50\text{mSv}/\text{年}$	実効線量 $<100\text{mSv}/5\text{年}$ ただし、いかなる年度も $50\text{mSv}$ を超えない
組織の線量限度	組織線量当量 目の水晶体 $<150\text{mSv}/\text{年}$ その他の組織 $<500\text{mSv}/\text{年}$	等価線量 目の水晶体 $<150\text{mSv}/\text{年}$ 皮膚 $<500\text{mSv}/\text{年}$
女性の線量限度	腹部の組織線量当量 $<13\text{mSv}/3\text{月}$ 妊娠と診断～出産まで 腹部 $<10\text{mSv}$	実効線量 $<5\text{mSv}/3\text{ヶ月}$ 妊娠を知った時～出産まで 腹部表面 $<2\text{mSv}$ 内部被ばく $<1\text{mSv}$
管理区域の設定	実効線量当量 $<300\mu\text{Sv}/\text{週}$	実効線量 $<1.3\text{mSv}/3\text{ヶ月}$
健康診断	配置前の健康診断、以後1年を超えない期間毎の定期検査（但し書き有り）	配置前の健康診断、以後1年を超えない期間毎の定期検査（問診あり）

## 分野別相談窓口(ダイヤルイン)

理	工	系：	篠塚 勉	217-7793	FAX 217-7797				
ラ	イ	フ	サイ	エン	ス	系：	井戸 達雄	217-7797	FAX 217-3485
R	I	事	務	室：	馬場 譲	217-7909	FAX 217-7809		
R	I	棟	管	理	室：	専門職員	3479	FAX 217-7997	
					宮田 孝元	4399	FAX 217-7809		

### [人事異動]

下記の職員の異動がありました。

発令年月日	官 職	氏 名	異動内容
12. 10. 1	事務補佐員	阿部 享子	工学部に配置換

## ★★★「CYRIC ニュース」タイトルデザイン募集のお知らせ★★★

いよいよ次号が21世紀最初の号となり、またちょうど30号の発刊となります。これを記念して新規タイトルデザインを募集します。下の要項を御覧の上、皆様奮ってご応募ください。(薄謝進呈いたします)

- ・サイズ: 横16cm 縦8cm の枠内に必ず「CYRIC ニュース」の文字を入れること
- ・色は2色で
- ・ファイル形式はGIFまたはJPGで

### 応募方法

ファイルをメールに添付し、「koho@cyric.tohoku.ac.jp」まで。その際、subjectに「CYRIC ニュース タイトルデザイン」と明記のこと。〆切は平成13年3月31日

採用者にはこちらから改めて連絡いたします。なお、著作権はCYRICに帰属します。

## C Y R I C 百科

<p>宇宙が膨張しているという観測事実から、100 億年程度過去には宇宙は一点に集中していたと考えられます。そこで、宇宙は超高温のエネルギーのかたまりの大爆発（ビッグバン）で始まったとされています。高温の光子や素粒子からなるビッグバン直後の初期宇宙は、膨張につれて温度が下がり、クォークから陽子や中性子ができ、さらにヘリウムの原子核が作られました。現在の宇宙の水素とヘリウムの比率はこの考え方で説明できます。さらに膨張が進むと、陽子やヘリウム原子核は電子を捉え中性原子となります。</p>	<p>一般的にドーピングという言葉はスポーツ競技における不正な薬物使用のこととして認知されています。初期のドーピングには麻薬・興奮剤が使用されていましたが、1960 年代から筋肉増強剤である蛋白同化ステロイドが使われはじめ、それも合成ステロイドから天然ホルモンの使用へと進歩しています。その結果、現在では化学合成した薬物ばかりではなく、生体に元来存在する天然物質もドーピング行為の禁止対象に含まれるようになっています。</p>
<p>この時電子と相互作用ができなくなった光子は今も宇宙空間を漂っていて、絶対温度 3 度のスペクトルを持つ電波として観測されていますが、これがビッグバンの証拠です。しかし、なぜ、どのようにビッグバンが起こったかについては量子力学と一般相対性理論を用いて考察されていますが、まだよくわかつていません。</p>	<p>一方、半導体製造の場面では結晶に少量の不純物(キャリヤー)を添加することに対して、ドーピングという言葉を使います。不純物の種類とその量を変えることにより、半導体の性質を制御することができます。ドーピングには合金法、拡散法および加速器を利用したイオン注入法が用いられます。また、白川英樹博士が導電性プラスチックの</p>
<p>* 研究で今年のノーベル化学賞を受賞しましたが、この * 研究ではポリアセチレンにヨウ素をドーピングすることにより、導電性の制御を実現しています。</p> <p style="text-align: center;">* ビッグバン</p> <p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;">*</p> <p style="text-align: center;">*</p> <p>原発性の脳腫瘍の約半分は神経膠種 * グリオーマである。神経膠種は、神経細胞の支持的役 * 割を果たす膠細胞から発生する。発生母組織に * 応じて神経膠腫、神経上衣腫、乏突起神経膠腫、髓 * 芽腫などに分類される。また組織所見と臨床悪性度に * 応じて 4 段階に分類される。悪性度 1-2 度の神経膠種は * ゆっくりと増殖し良性な経過を辿る場合が多いが、悪性度 4 度の膠芽腫は外科治療のみでは無効であり、放射線療法と化学療法を併用しなければならない。最近、普及してきたガンマナイフ（ガンマ線を立体的に患部に照準する照射法で、焦点の組織を破壊する）は、腫瘍の種類を問わず有効であるが、治癒可能な腫瘍サイズは直径 3 cm 以下とされている。脳腫瘍の部位診断には MRI がもっとも有効である。従って、脳腫瘍臨床における PET の役割は、発見された脳腫瘍の悪性度の推定と治療後の再発診断である。しかし、正常脳組織の糖要求性が高いため、脳腫瘍の診断薬としては、FDG よりも <sup>11</sup>C-メチオニン等のアミノ酸製剤が有用である。</p>	<p>放射線帯 * 地球大気の高層に存在する強い高エネルギー放射線を帯びた領域で、発見者 * に因んでバン・アレン (Van Allen) 帯とも呼ばれる。地上 3,600 km 付近を中心とする内帯 * と 19,000 km 付近の外帯に分けられ、内帯は主に * 1 - 100 MeV の陽子、外帯は 0.05 - 5 MeV 程度の電子からなります。放射線帯は宇宙空間から飛来する帶電粒子が地球磁場に捕捉されてできたもので、荷電粒子が磁力線に沿って南北に往復運動しながら地球を周回しています。内帯の陽子は宇宙線によって生じた中性子が拡散の過程で陽子に崩壊して地球磁場によって閉じ込められたものと考えられています。従って、放射線帯は宇宙からの強力な放射線が直接に地上に降り注ぐのを防ぐ役割を果たしています。一方、南大西洋上空では地球磁力線が地球に引き寄せられて数 100km の高度でも放射線の強い領域（南大西洋異常 (SAA) と呼ばれる）が存在し、宇宙ステーションなどがこの領域を飛行する際強い被爆や機器の誤動作、損傷などをこうむる可能性があり、動的挙動の解明が重要となっています。</p>

## 編 集 後 記

海の向こうのスイス、ジュネーブでは、加速器を使用した研究で、これまで未確認だった素粒子の存在の確認がなるかと、注目を集めているようです。もし存在が確認できれば、世紀の大発見というところでしょうか、今後の推移を期待したいと思います。

さて、当センターにおいても 21 世紀の幕開けと同時に、新型加速器による本格的な研究が始まっています。関係者が、少ない予算と限られた時間の中で、苦労の末に作り上げた装置です。それだけに、関係者の 1 人として、この装置を使用した研究で、世界中をあつと言わせられる成果を、是非期待したいものです。

(Y. M記)

### 広報委員

篠	塚	勉	(CYRIC)
馬	場	護	(CYRIC)
井	戸	達	雄 (CYRIC)
谷	内	一	彦 (医学系研究科)
高	山	努	(理学研究科)
田	村	裕	和 (理学研究科)
山	口	慶	一郎 (CYRIC)
寺	川	貴	樹 (CYRIC)
船	木	善	仁 (CYRIC)
藤	田	正	広 (CYRIC)
三	宅	正	泰 (CYRIC)
水	戸	幸	憲 (CYRIC)
遠	藤	み	つ 子 (CYRIC)



CYRIC ニュース No. 29 2000 年 11 月 30 日発行

〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉  
東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター

TEL 022 (217) 7800 (代 表)

FAX 022 (217) 7997 (サイクロ 棟)

022 (217) 7809 (R I 棟)

022 (217) 3485 (研究棟図書室)

E-mail : koho@cyric.tohoku.ac.jp

Web Page : <http://www.cyric.tohoku.ac.jp/>