

理研ニュース

No.179 May 1996

理化学研究所

2●研究最前線

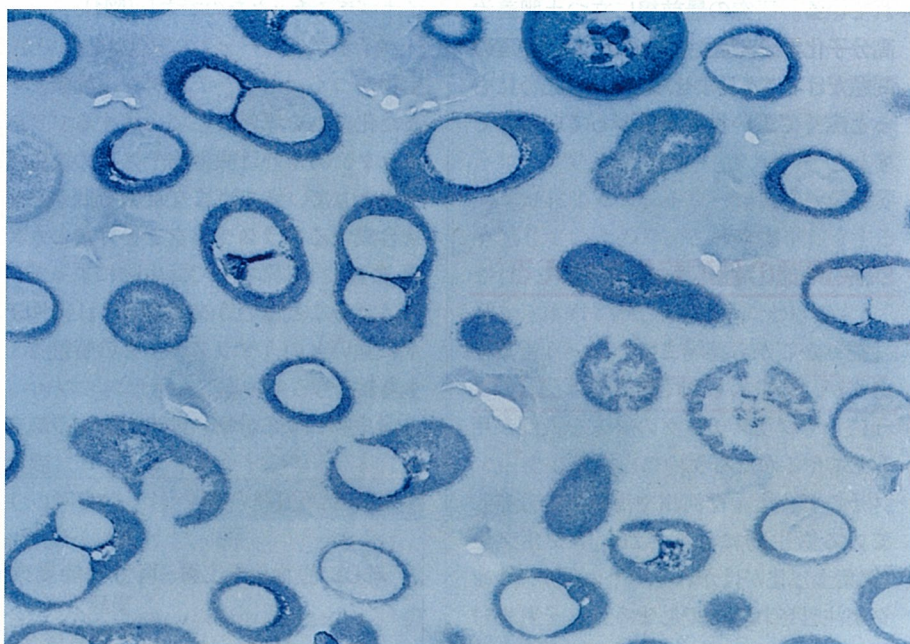
バイオプラスチックから化学工業革命がはじまる

6●TOPICS

- ・科学技術館新展示オープン記念式典
- ・科学技術週間、各所で開催
- ・科学新聞の紹介記事

8●SPOT NEWS

- ・平成9年度建設開始を目指して
RIビームファクトリー



バイオプラスチックの研究開発より (記事は2ページ)

バイオプラスチックから 化学工業革命がはじまる

全世界で年1億トン、日本だけでも1300万トン生産されるプラスチック。熱にも水にも強く、腐ることのないこの材料の立派さが、後片付けの段になると問題を引き起こす。埋め立て地を満杯にし、焼却炉をいため、野生動物の生態系を乱す。その解決策のエースとして、微生物で分解されるバイオプラスチックが注目されている。研究の最前線に立つ土肥義治高分子化学研究室主任研究員は、「処理の問題だけではありません。その向こうにもっと広くて深い世界が広がっているのです」と……。

炭素資源の輪廻転生を考える

「揺りかごから墓場まで」という言葉があるが、今求められているのは、どのようにしてプラスチックの終末を人間が用意してやるかだろう。

「そこで、土中や河川や海に広く分布している微生物に分解され、コンポスト(腐葉土)化がはかれるバイオプラスチックが注目されるのですが、それだけだと思ってほくはないのです」と土肥主任研究員はきっぱり言う。

ゴミ問題の解決は人間の活動圏と自然環境圏をきちんとわけるということ、「リサイクルのクローズドシステム」をいかにつくるかにあると語った上で、

「プラスチックの元々の原料である炭素を考えれば、これは人間界、自然界といった区別をこえ地球規模で循環している。21世紀をにらめば、われわれが考えなければならないのは、炭素資源の地球規模のサイクルでしょう」と結んだ。

ここ40年ほど人間は膨大な石油資源を消費して、プラスチックなどの石油化学製品を産み出してきた。地球規模で考えれば、30億年余の生命史において、生物が固定し自然環境の作用によって地中に溜まった炭素資源を、循環など考えずに一方的に使いまくっていることになる。

循環を無視すれば、大気中の炭酸ガス濃度が増加するのも、石油資源が枯渇するのも当たり前だ。

「ですから、われわれの研究の最大の目的は、”炭素循環を可能にする新しい化学工業の技術確立”をはかること。つまり、大気中の炭酸ガスを直接あるいは間接的に固定して有用な材料をつくる、そのためのバイオプラスチックなのです」(図1)

バイオプラスチックの定義は難しいが、生物がつくった糖、デンプン、乳酸といった化合物を原料として合成するプラスチック、あるいは微生物そのものを生産工場として、さまざまな炭素資源から生物合成するプラスチックということができよう。自然環境中で微生物によって分解されることはいうまでもなく、透明で水に強いというプラスチックの特性をももちろんもっている。

「微生物による分解、すなわちプラスチ

ックに寿命をもたせることも、地球規模の炭素循環を考えると、ゴミ問題の解決というだけでなく、もっと大きな意味のあることに気がつきます」

そのよい例が人間の存在そのものだと土肥主任研究員は言う。生命史のなかで、生きとし生けるものはすべて死を免れることはできない。しかし、その屍が分解されて次なる生命の材料となり、そのサイクルの中で進化が生じた。生命に死がなければ、人間の存在もありえない。

「この炭素資源の輪廻転生の輪の中に有機材料、プラスチックもいれようというのがわれわれの課題です。ただし、その寿命は人間にとってあらまほしきもの、人間がコントロールできるものでなくてはならない。そこが人工物の要です」

まさに「揺りかごにいたる道から墓場の先まで」をカバーする壮大な構想の下に、どんな研究が進められているのだろうか。

図1 炭素資源の循環

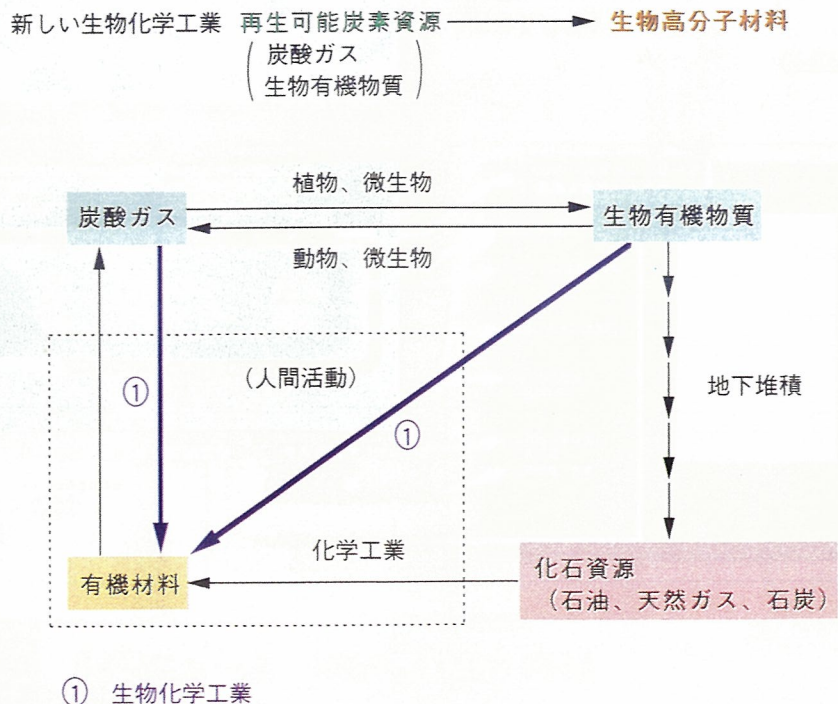
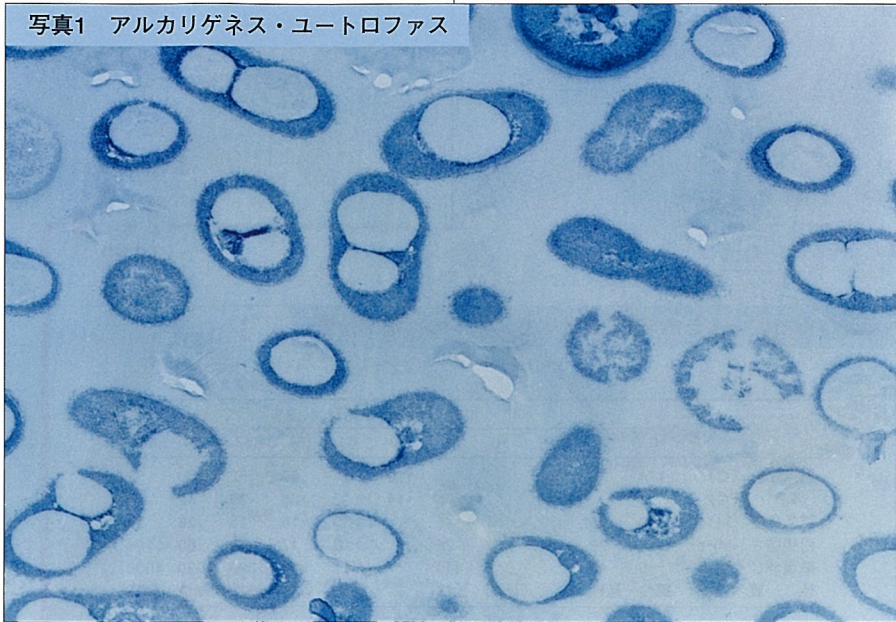


写真1 アルカリゲネス・ユートロファス



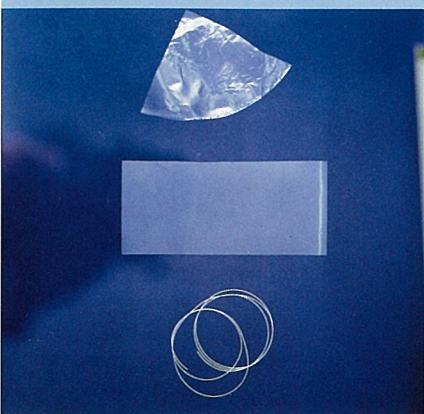
微生物でポリエステルをつくる

ぱんぱんにお腹を膨らませた微生物、名前はアルカリゲネス・ユートロファス (*Alcaligenes eutrophus*) とややこしいが、写真で白く写っているお腹の中身はポリエステルである。(写真1)

この微生物に糖と1,4-ブタンジオールという2種のエサを与えると、2種のユニット (R-3-ヒドロキシブタン酸と4-ヒドロキシブタン酸) が連なったポリエステル (エステル結合したポリマー) ができる。

微生物にとってのポリエステルは、われわれ動物にとっての脂肪、植物にとってのデンプンのようなもの。エネルギー生産とアミノ酸合成後に余った栄養分はすべてポリエステルの形で蓄えられ、いざというときの備蓄資源となる。こういう微生物は、(R)-3-ヒドロキシブタン酸 (モノマー) をつくり、これを重合してポリエステル (ポリマー) とする酵素

写真2 バイオポリエステルを使用したフィルム・糸



をもっているのだ。

「この微生物の場合、ユニットの一つが結晶性で、他方が非結晶性なのです。ユニットの比をかえれば、硬いものから柔らかい素材まで自在につくることができ、これらをフィルムや糸に成形できます。その素材の組成調節は2種のエサの配合の仕方で行います」。

1987年に土肥主任研究員たちが発見した新しいバイオポリエステルを使って、実際にフィルムや糸などがつくられており (写真2)、材料としての性能や生分解性も確かめられている。

数年前に見つけたのが、アエロモナス・キャバエ (*Aeromonas caviae*) という微生物によるポリエステル合成のシステム。この場合はエサは1種類、パーム油など

の植物油である。エサが1種類にもかかわらずこの微生物は、2種のユニット (R-3-ヒドロキシブタン酸とR-3-ヒドロキシヘキサン酸) からなる共重合ポリエステルをつくる。(図2)

「両ユニットとも結晶性ですが、片方が構造的に結晶化を阻害するのです。ただしエサが1種類ですので組成コントロールが難しい。でも材料屋からみたら、非常に魅力的な物性をもっている」

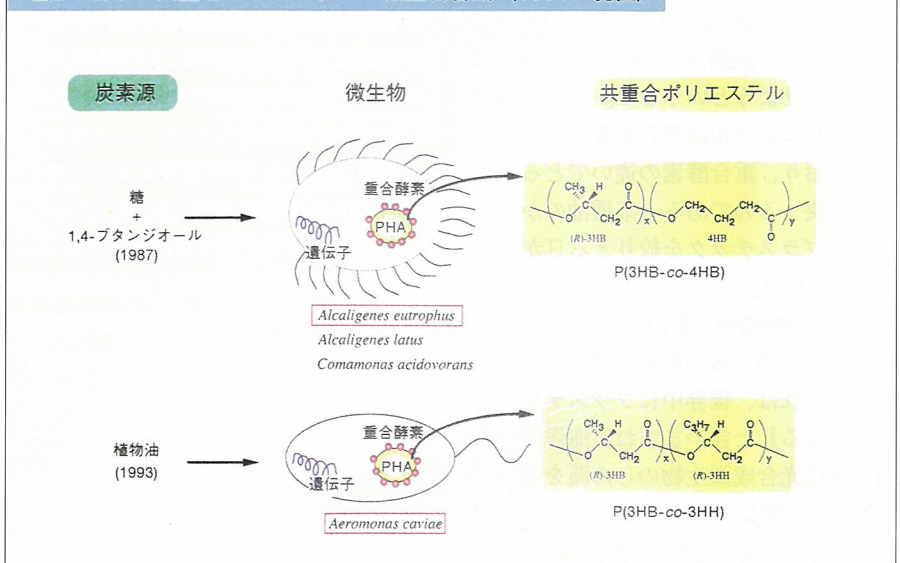
結晶化を阻むユニットの効き目がすごく、ほんの少量でもきちっと物性をコントロールできるのだ。

「エサによるコントロールに技術的限界を感じていたので、この難物をどうするかはいい機会でした。当然、酵素の遺伝子から攻めていこうとなったわけです」

ポリエステル畑でコストを下げる

前出の微生物の中でポリエステルをつくるために働いている酵素は、1種類だけではない。モノマーユニットをつくる2種の酵素 (3-ケトチオラーゼとリダクターゼ) と、モノマーを重合してポリエステルをつくる重合酵素 (PHAポリメラーゼ) の合わせて3種類の酵素がかかっている。

図2 新しい共重合ポリエステルの微生物合成 (1984~現在)



アルカリゲネス・ユートロファスの場合、都合のよいことに一つのオペロン（遺伝子配列の単位）に3種の酵素の遺伝子が並んで入っている。

「この遺伝子の発見そのものはわれわれではありませんが、並んだ酵素の遺伝子を切り出して、成長速度のはやい大腸菌などに入れ、効率よくポリエステルをつくる方法を追究しています」

アエロモナス・キャバエについては、土肥研究室が重合酵素の遺伝子を見つけ、そのアミノ酸配列を決定した。この重合酵素の場合は、遺伝子の研究を通してポリエステルの組成をコントロールする方法を見いださねばならない。

「そのためには、重合酵素の構造と機能を見極め、遺伝子との対応をとり、次には遺伝子操作という段階にまでもっていかねばなりません。道をつけているところです」

さて、生産コストの問題はバイオプラスチックの大きなネックだ。石油プラスチックと競合するにはキロ当たり200～300円といった価格設定が必要だが、微生物ポリエステルの場合1桁大きい千数百円のオーダーとなっている。しかしこの問題に対しては、大腸菌の利用だけでなく、まことにユニークな試みがはじまりつつある。

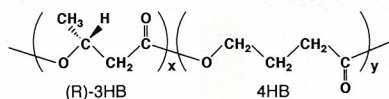
米国で考えられているのは、ポリエステル生合成系酵素の遺伝子を植物に入れて、光と水と炭酸ガスからポリエステルをつくらせようというもの。じつは植物油とポリエステルは同じ中間体からつくられており、重合酵素の違いでどちらになるか決まるのである。菜種油のかわりに菜種プラスチックを絞り取る日がくるかもしれない。

「米国の研究者は、『イリノイ、アイオワにもう後一州くらい加えてポリエステル畑をつくれれば、世界中にプラスチックを供給できる』と言いますね。海洋国のわれわれは光合成微生物のらん藻を使おうとしています」。

そのうち日本の浅海にポリエステル生

図3 P(3HB-co-4HB)共重合ポリエステルの物理的性質

	4HB分率 (モル%)										
	0	3	7	10	16	30	44	64	82	90	100
融点;T _m (°C)	174		172			110		50	52	50	53
T _g (°C)	4		-2			-14		-35	-39	-42	-48
結晶化度 (%)	60	55	50	45	45		20	15	18	28	34
引張強さ (MPa)	43	28		24	26		10	17	58	65	104
破壊伸び (%)	5	45		242	444		511	591	1320	1080	1000
性質	脆性	延性		延性	延性		弾性	弾性	弾性	弾性	弾性



産工場ができるのだろうか。

ポリエステルを食べられ方

こわす側、つまり分解する微生物の研究もバイオプラスチックには欠かせない。ポリエステルはミクロンオーダーの繊維状微結晶からなり、このままでは大きすぎて微生物には食べられない。そこで微生物は体外に分解酵素を出す。この酵素がポリエステルの材料表面に結合すると、ついたところからポリマーの鎖をどんどん切って、もっと短いオリゴマーやモノマーにしていく。こうして微生物はエサにありつく。

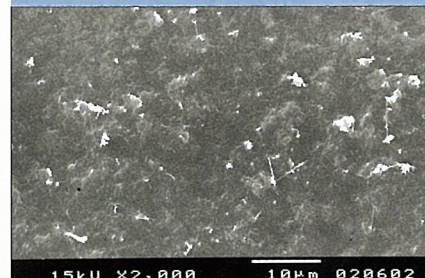
「全体のストーリーはわかっていますが、どういう構造の場合に分解されやすいのか、あるいは分解されにくいのか、を精緻に調べなければ材料の寿命コントロールはできません」。

そのためには、分解酵素とポリエステル材料表面の各々の構造と性質、さらには両者の相互作用を調べなければならない。

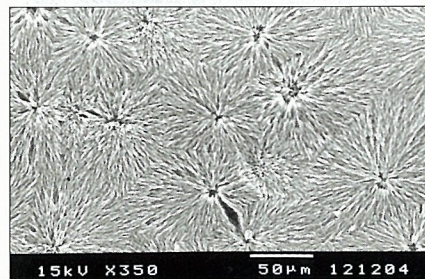
分解酵素のほうは精製してその構造と性質を調べ、さらに遺伝子を取りだして解析している。ポリエステルのほうは単結晶をつくって表面構造を調べている。(図3)

そして単結晶表面に酵素をくっつけて、「どういう場所につきやすいのか」、「どうやって分解されていくのか」などが、透過型電子顕微鏡や原子間力顕微鏡を使ってナノメ

写真3 バイオポリエステルの酵素分解性 P[(R)-3HB]フィルムの電子顕微鏡写真



酵素分解前



酵素分解後

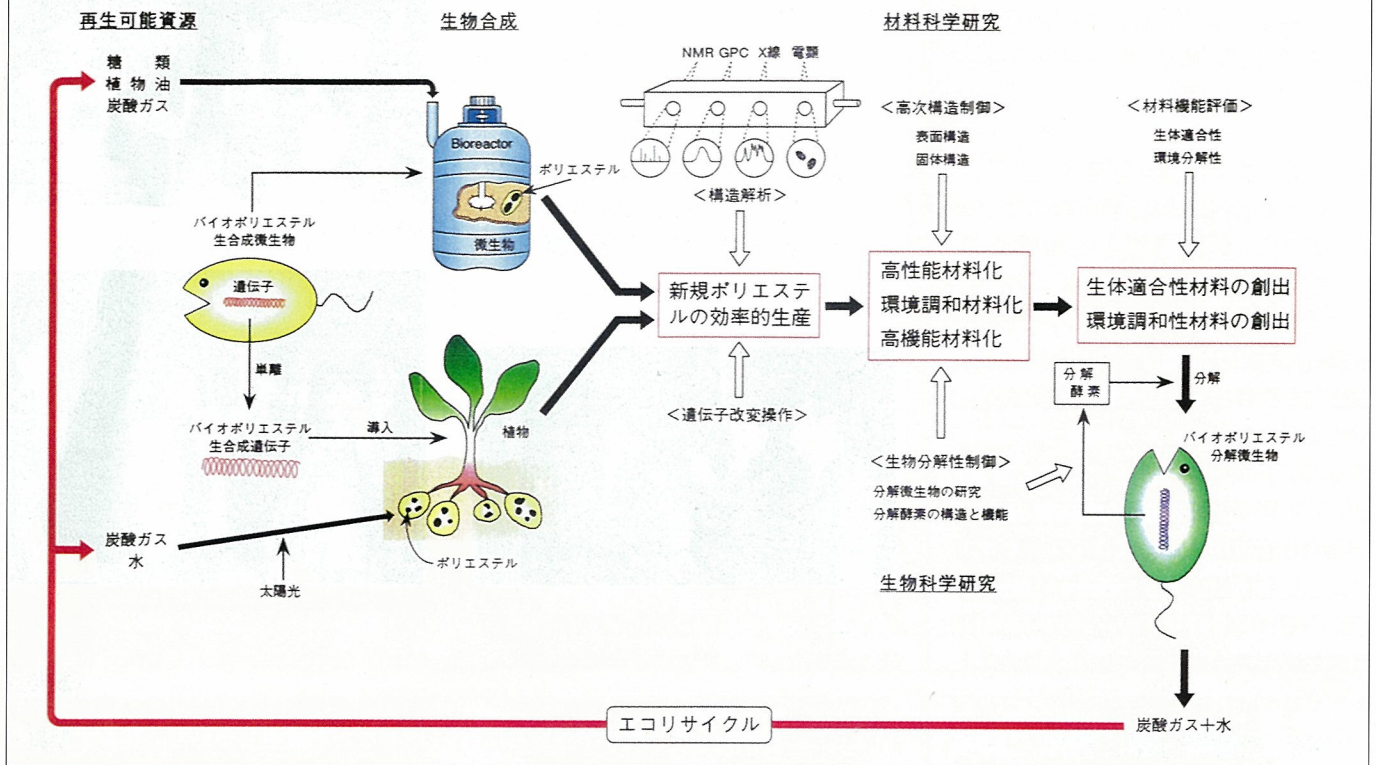
ートルオーダーで調べられている。(写真3)

「そもそもポリエステルのような柔らかい材料の表面特性と構造を微細に調べる手法そのものが確立されていません。難しい仕事ですが、材料の寿命をコントロールできてこそ技術ですからやりとげねばなりません」

21世紀の化学工業の姿とは？

地球上の炭素循環と調和した化学工業というのは、どんな姿になるのだろうか。先のポリエステル畑は太陽光発電を連想

図4 バイオポリエステル研究のシステムフロー



させ、分散型のイメージを抱かせるのだが……。

「各国によっていろいろな形をとりますね。米国には分散型が合うかもしれませんが、日本では難しい。むしろ発電所や製鉄所などの隣りに生産システムをつくり、排出される高濃度の炭酸ガスを利用したプラスチック生産工場がいいでしょう」

今の化学工業の形態とそう変わらない場合も考えられるようだ。空気中から直接、間接に固定された炭素資源が袋づめにされ、各プラントに送られてくるという構図だ。見た目はかわらなくとも、もちろん中身はまったく違う。

「化学工業をめぐる勢力の変化も十分考



環境での分解実験。夏に4週間、土の中に埋めておき、微生物によって分解・消化されたバイオプラスチックのフィルム

えられます。石油プラスチック興隆の裏には石油メジャーの存在がありましたが、バイオプラスチックには米国の穀物メジャーが非常に興味を示しており、実際に研究しています」

かつての石炭化学工業から石油化学工業への移行も非常にドラチックだったという。新技術・資本・人々の欲求が火花を散らすように一体化し、バイオプラスチック時代が来るのもそう遠いことではないかもしれない。(図4)

そんななか、土肥主任研究員が提案した研究テーマは、科学技術庁の「戦略的基礎研究推進事業」の研究課題の一つとして採択され、今年から5か年にわたり、微生物ポリエステルの研究をさらに推進していくことになっている。

文責：総務部広報室
 監修：高分子化学研究室
 主任研究員 土肥義治
 取材・構成：由利伸子



科学技術館新展示 オープン記念式典

理研ニュース4月号でお知らせしました通り、科学技術館の新展示「[FOREST]」→「遊び・創造・発見の森」が、科学技術週間の最後の日、4月21日(日)にオープンしました。当所では科学技術庁および(財)日本科学技術振興財団と共催で記念式典を行いました。

当日は無料で一般公開され、大人、小中高生など2200名を超す入館者を迎えることができました。

今回の企画の特徴は、様々な分野の方々にプロデューサーとして参画していただいたことです。教育界から東京大学助教授の下條信輔氏と元都立小金井北高校教諭の米村傳次郎氏、科学館から名古屋市科学館学芸員の佐伯平二氏、科学ジャーナリストから餌取章雄氏、そして理研から霜田光一元レーザー科学研究グループ主任研究員と

戎崎俊一計算科学研究室主任研究員です。これらの人々が相互に意見交換をしながらアート・デザイナーの森田法勝氏等が加わり、実行機関の日本科学技術振興財団や展示製作会社とも知恵と汗を出し合いながら「遊び・創造・発見の森」を作ろうと努力しました。

その結果、遊びに興ずる中で新しい発見をしたり、自然界の現象や人間の知覚の不思議さを経験して科学技術の中の広さ、奥行きを深さを感覚的に実感してもらえるような工夫が凝らされています。



新展示を楽しまれる科学技術庁の中川秀直大臣(上)と田中真紀子元大臣(右)

皆さんも科学技術館にお出かけになって実際に体験なさってください。



有馬理事長のご挨拶



科学技術週間行事、各所で開催

当研究所では、4月16日～21日にかけて、平成8年度の科学技術週間行事の一環として、和光本所、ライフサイエンス筑波研究センター、フォトダイナミクス研究センター(仙台)、大型放射光施設(播磨)の各所を一般公開しました。

好天に恵まれた和光本所では、約2200名の来訪者を迎え、各研究室・研究施設等の公開、2つの講演(「胎盤に発現する糖鎖の役割」細胞制御化学研究室小川主任研究員・「放射線?原子核?何だろう?」リニアック研究室谷畑主任研究員)、理研紹介CD-I・「映像評伝 朝永振一郎」の上映、研究成果のパネル展示などを行

いました。近隣から訪れた小学生たちは、興味津々の顔で研究員を質問攻めにして、困らせる場面もありました。

ライフサイエンス筑波研究センター、フォトダイナミクス研究センター(仙台)、大型放射光施設(播磨)でも、研究施設の公開などが行われ、わかりやすく研究



和光本所：化学工学研究室によるロボットを使用したデモンストレーション

内容などを説明しました。特に大型放射光施設(播磨)には、前年度を大きく上回る約6300名の方が訪れました。

この行事は、一般の方々が、科学に触れる絶好の機会となり、また、地域の方々との交流の場となりました。



ライフサイエンス筑波センター：ヒトの正常細胞とヒトの肺ガンの細胞を顕微鏡で見比べている



パネルによる大型放射光施設Spring-8の概要説明

4月6日(土)、一般公開を前に行われた和光本所の構内開放。満開の桜の下、たくさんの人々が訪れました



※掲載紙面の一部レイアウト変更

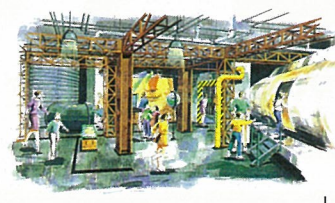
4月26日の科学新聞が、新展示について詳しく紹介しております。同社の理解を得て下記に掲載いたします。



カ
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。

ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。

科学技術館が展示室を更新

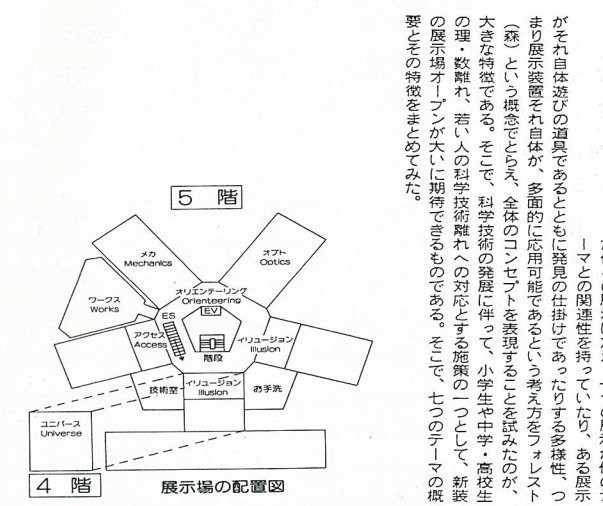


ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。

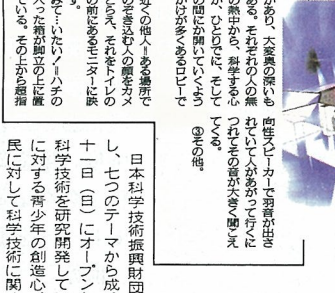
ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。

ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。

科学技術をもっと楽しく



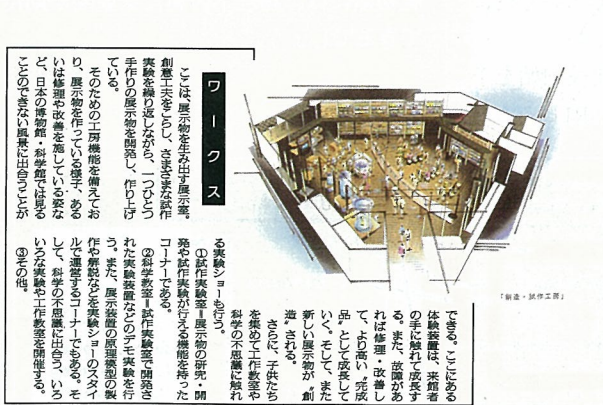
遊び・創造・発見の森、参加型展示場がオープン



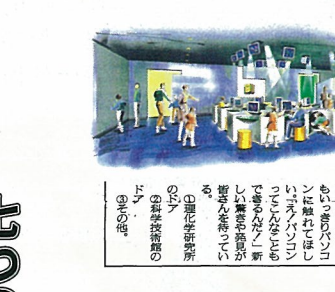
ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。

ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。

ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。



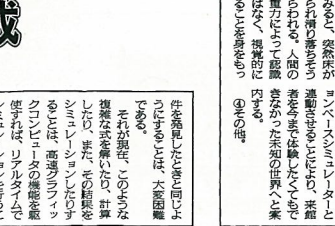
7つのテーマで構成



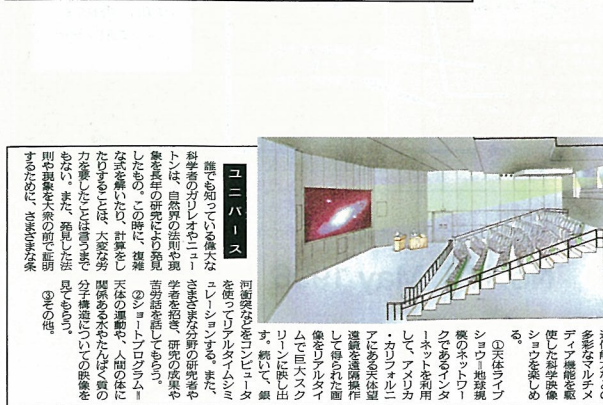
ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。



ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。



ク
 展示場は、展示スペースを広く確保し、展示物の見やすさを重視して設計されています。また、展示物の配置も、見やすいように工夫されています。展示物の配置も、見やすいように工夫されています。



-平成9年度建設開始を目指して-
RIビームファクトリー

来る6月3日から7日まで、埼玉県大宮市においてRIビームに関する国際会議が開催され、RIビームの様々な利用研究の専門家が世界中から集まります。この会議は1985年にリニアック研究室の谷畑主任研究員がサンフランシスコ郊外のローレンスバークレイ研究所で世界で初めてRI(放射性同位元素)をビームに利用した実験を行って以来、その時点でRIビームに関し最も先端的な研究所をホスト機関として世界各地で開催されてきました。そして今回(第4回)は理化学研究所と東京大学原子核研究所がホスト機関となり開

催されます。

RIビームに関する研究は、年々増加しており、論文発表数はこの10年間で10倍を越えています。また、欧州NuPECCや米国のNUSACが「新しいRIビーム施設建設の緊要性」を報告書で要望しており、RIビームファクトリーが世界の各機関から待ち望まれているといえます。

RI(ラジオアイソトープ:放射性同位元素)は天然に存在するもののほか、加速器や原子炉によって人工的に生成される、放射性を持つ原子核です。RIビームとは、これらのうち、人工的に生成したRIを加速されたビームとして利用するものです。質量数約60までの比較的軽い元素に限って言えば、現理研加速器施設においても既に世界最高のビーム強度(単位時間あたりに飛んでくる粒子数をビーム強度という)を持つRIビームを供給しています。1989年に開始された理研でのRIビーム研究では、原子核存在の極限にせまる「世界初の¹⁰Heの発見」や核構造の探求に新展開をもたらした「中性子スピン・ハローの発見」など原子核物理分野に多くの世界的な研究成果があります。実用化を目指して行われている研究では、ポジトロン放出RIビームとPET(ポジトロンCT)を用いた新たなガン治療の手法の開発など医学応用に至るまで幅広い分野に成果の芽が出つつあります。

理研が平成9年度に建設開始を予定している加速器施設「RIビームフ

ァクトリー」では、既存のリングサイクロトロンからのビームと比較して、さらにビーム強度を10倍上げ、加速エネルギーを5倍に、そして全ての元素をRIビームとして利用することが可能です。これにより行われる研究は、宇宙創成機構の解明、超重元素の生成等の原子・原子核物理以外に医学、化学、生物学、工学などあらゆる分野にわたり、幅広い産業への応用が期待されます。例えば、マルチレーザーを利用した極限環境のシミュレーション、物質中へのRI注入による新機能材料の創成などが挙げられます。とかくマイナスイメージの強い原子力や放射線の利用分野ですが、RIビームが21世紀の新たな科学/技術を切り開く研究基盤となることは間違いありません。

理化学研究所では平成7、8年度の2カ年にわたり、建設準備のための調査研究を進めてきましたが、すでに核心となる超伝導リングサイクロトロンのセクター電磁石や二重蓄積リングの技術的検討とともに実験装置・施設に対する検討も着実に進捗し、平成9年度から建設に着手する準備は整いました。

今、一刻も早いRIビームファクトリーの稼働開始が世界中のユーザーから待たれています。20世紀初頭において、物理学が大きく発展したように、RIビームファクトリーが予定されている21世紀初頭には、物理学の新たな展開が期待できるでしょう。

(企画室)

The Fourth International Conference on Radioactive Nuclear Beams RNB-4 1996

Omiya, Japan Hosted by the Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN) and the Institute for Nuclear Study (INS).
June 3 - 7, 1996
Sponsored by: IUPAP, JAERI, NIRS, RCNP, YITP

Topics includes:

- Structure of unstable nuclei: Neutron halo/skin, Structure at the drip-line, Soft mode of excitation, Nuclear radii, Spectroscopy of exotic nuclei, Nuclear moments, Momentum distribution of fragments, Beta decay, Isomeric harts and large deformation.
- Nuclear reactions with unstable beams: Nuclear breakup reactions, Coulomb excitation and dissociation, Elastic and inelastic scattering, Charge exchange reactions, Transfer reactions, Fusion reactions, Production of the heaviest elements.
- Cosmos and unstable nuclei: Big bang nucleosynthesis, Stellar burning process, Super nova and r-processes, Neutron star formation and structure, Nuclear astrophysics with radioactive beams.
- Radioactive nuclear beam facilities: Production method of radioactive beams, Instrumentation in RNB experiments, Present facilities, Planned future facilities.
- Application of RNB in: Radio chemistry, Biology, Medicine, and Material science.
- New directions: Fundamental interactions using RNB.

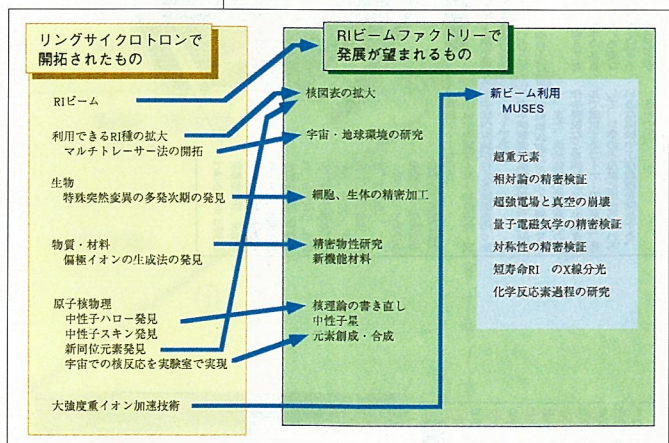
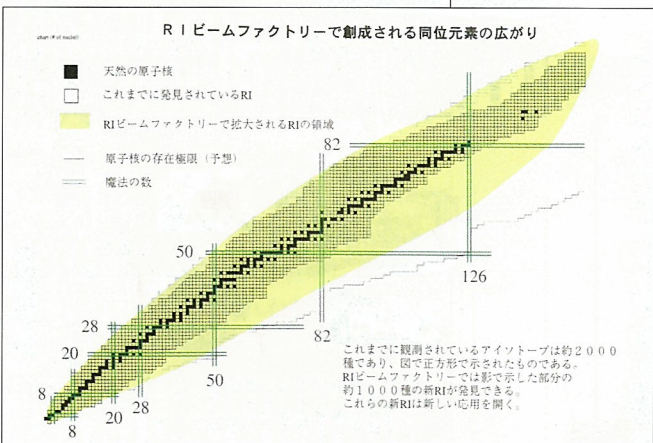
Dead line of the contribution paper is the 28th of February, 1996

We encourage students and post docs to participate in the conference. Part of the living expenses might be supported by the local organizing committee. Contact an international advisory committee member for the information on a travel support from your region.

Please address all correspondence to:
Mrs. S. Ohtai, RNB-4 Secretariat, RIKEN, Liac Lab, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-01, Japan
FAX: +81-484-62-4689 Phone: +81-484-62-1111 ext.4211
E-mail: RNB4@riksax.riken.go.jp
WWW: http://www.riken.go.jp

President: M. Arima (RIKEN), Co-chair: M. Ishiyama (RIKEN), T. Inabe (INS)
International Advisory Committee:
T. Aumann (MPI), R. Bock (GSI), J. D. Garrett (ORNL),
K. Hagino (RIKEN), S. Hofmann (GSI), G. Imberger (GSI),
T. Kobayashi (RIKEN), S. Kubono (INS),
Y. Ogawara (RIKEN), A. Ogino (RIKEN), C. S. Ogilvie (ANL),
J. Vermeulen (CELE), M. Zaitsev (Dubna), R. J. Charity (Purdue), K. Saito (RIKEN)

Local Organizing Committee:
Y. Aoi (RIKEN), H. Baba (JAERI),
T. Aoyama (INS), T. Kuroki (RIKEN),
T. Kobayashi (RIKEN), S. Kubono (INS),
M. Mitsuoka (RIKEN), O. Nishida (RIKEN),
T. Takahashi (RIKEN), T. Tanihata (RIKEN),
T. Taniuchi (RIKEN), T. Taniuchi (RIKEN),
S. Taniuchi (RIKEN)



編集後記
いまや「インターネット」という言葉は、すっかり市民権を得て、新聞・雑誌・テレビなどを賑わせています。そんな中、近々理研でも、新しいホームページを開設します。詳細は、理研ニュース6月号でご紹介いたしますので、楽しみに。

理研ニュース No.179 May 1996
発行日:平成8年5月15日
編集発行:理化学研究所総務部広報室
〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号 電話(048)467-9272(ダイヤルイン)
制作協力:株式会社エフピーアイ・コミュニケーションズ