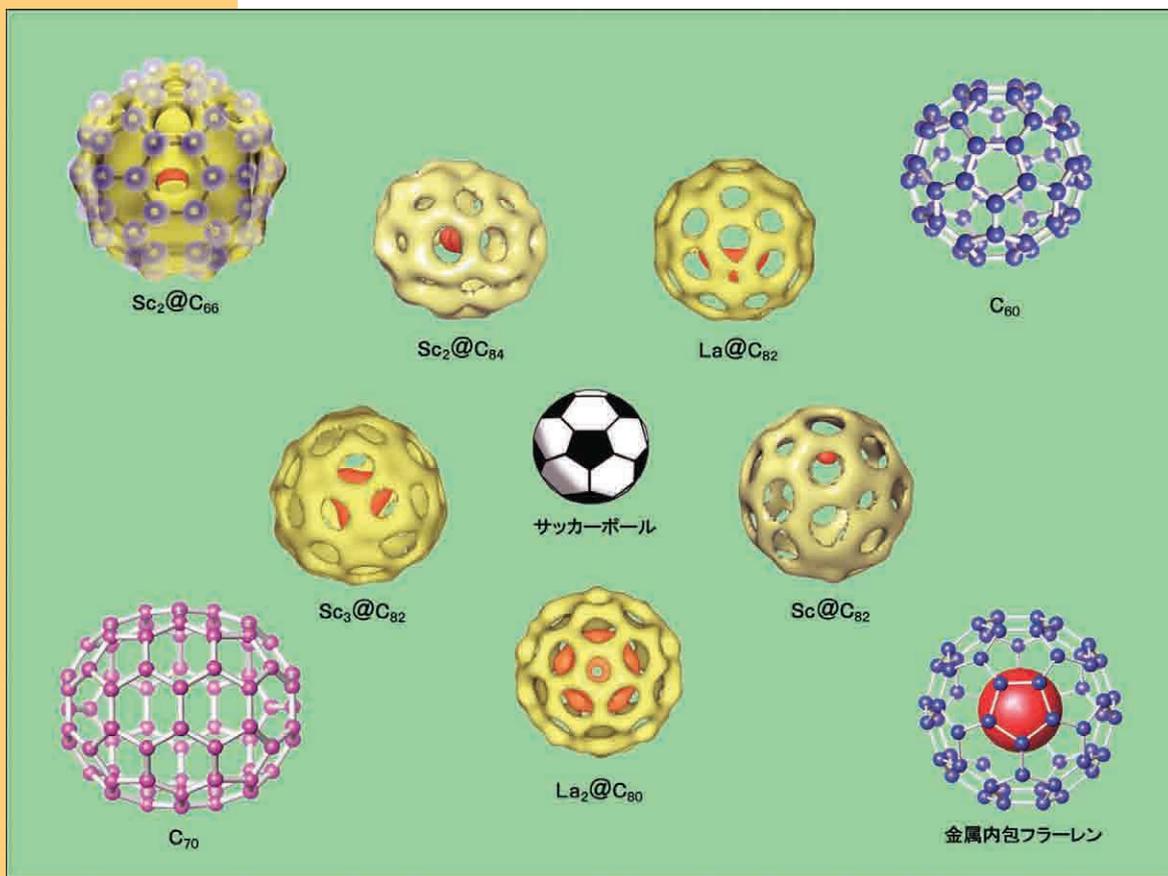


ナノテクを担う色々なサッカーボール型炭素分子「フラーレン」



研究成果・トピックス	2~4
~ナノテクを担うボール型炭素分子、フラーレンの構造を決定する	
行事報告	5~7
行事一覧／SPring-8見学者	7
SPring-8 Flash	8
人事往来／今後の行事予定	8

## ナノテクを担うボール型炭素分子、 フラーレンの構造を決定する

名古屋大学大学院工学研究科助教授  
(財)高輝度光科学研究センター  
放射光研究所客員主席研究員

高田昌樹

### フラーレンとは

今年にはサッカーのワールドカップが開催され、日本と韓国の活躍もあり、日本中でサッカーの事が話題になりました。そのサッカーボールと同じ形をした炭素分子が、不思議な事にこの世の中に存在するのです。その分子は1985年11月に米国とイギリスの研究者たちによって発見されました。図1 (a)に分子模型の図を示してあります。炭素原子60個が棒で示したように結ばれ、六角形(6員環)と五角形(5員環)を作り、それが張り合わさってボール形の分子を形成しています。この6員環と5員環を張り合わせた球形が、まさ

にサッカーボールと同じ形なのです。60個の炭素原子からなることで、この分子を炭素の元素記号「C」を用いて「C<sub>60</sub>」と表記し、六角形と五角形からなる形を使ったドーム建築のデザインで有名な建築家バックミンスター・フラーの名前をもとに、フラーレンと名づけられました。1996年にはC<sub>60</sub>の発見者のR.E.Smalley,H.W.Kroto,R.F.Curlらにノーベル化学賞が贈られました。その後、この分子のユニークな形から多くの研究が行われ、C<sub>70</sub>(図1 (b))をはじめとする炭素原子の数の異なる様々なフラーレン分子や、金属原子と化合させた超伝導物質も創り出されました。それらの仲間であるナノチューブは、日本の飯島澄男博士により発見されています。

このフラーレンとナノチューブは、今や21世紀の世界を支えるナノテクノロジーのトップランナーとして注目されています。このナノテクノロジーの拠点研究施設であるSPring-8の生み出す高輝度X線を使って、金属原子をフラーレン分子の内部に取り込んだフラーレンの一種である金属内包フラーレン(図1 (c))の構造が、世界に先駆けて次々と明らかにされました。

### 金属内包フラーレンとは

フラーレン分子は、直径が約1億分の4センチメートルの広い空間が内部にあります。そこに、金属

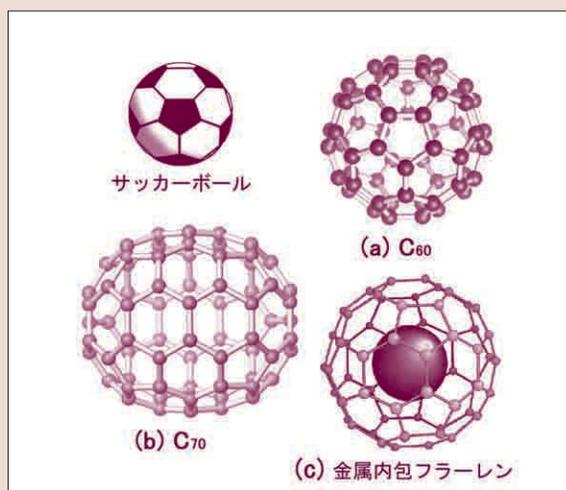
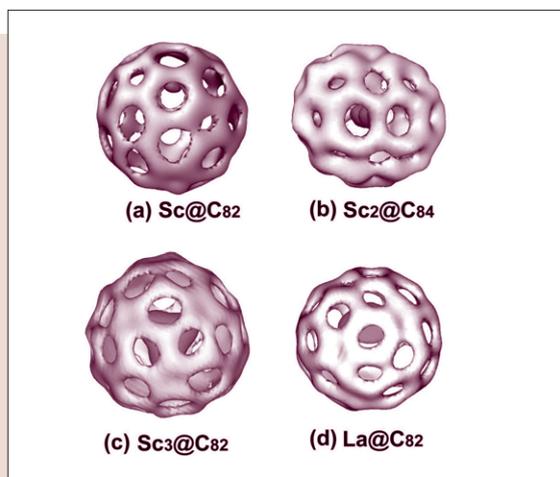


図1 C<sub>60</sub>、C<sub>70</sub>分子及び金属内包フラーレンの分子モデル  
炭素原子が丸で表され、その結合を棒で示している。

図2 放射光X線データによって明らかにされた金属内包フラーレン分子の電子密度



原子を閉じ込めたのが、図1にある金属内包フラーレンです。この金属内包フラーレンは、超伝導等の新しい性質を生み出すことが期待されています。しかし、金属内包フラーレンの分子の構造は1995年まで10年近く、“フラーレン分子の中に本当に金属が内包されているのか？”という根本的な事さえ分かっていませんでした。1995年に私たちはイットリウムという金属原子 (Y) が82個の炭素原子からなるフラーレンであるC<sub>82</sub>に実際に内包されている (YC<sub>82</sub>がY@C<sub>82</sub>である：“@:アットマーク”は“内包”を意味する。)様子を放射光X線により直接観察することに初めて成功し、金属内包フラーレンの存在の決定的証拠を世界に初めて示しました。そして、その後、スカンジウム (Sc)、ランタン (La) などの金属を内包したSc@C<sub>82</sub>、Sc<sub>2</sub>@C<sub>84</sub>、Sc<sub>3</sub>@C<sub>82</sub>、La@C<sub>82</sub>、La<sub>2</sub>@C<sub>80</sub>、Sc<sub>2</sub>@C<sub>66</sub>の構造を次々と明らかにすることに成功しました。

### バラエティーに富む 金属内包フラーレンの構造

原子や分子は、我々に見える可視光線の波長の長さよりもはるかに小さいので、拡大しても目で見えることは出来ません。しかしX線は原子の大きさとほぼ同じ長さの波長を持つ光なので、見る事が出来るのです。すなわち、人間の目は、原子の

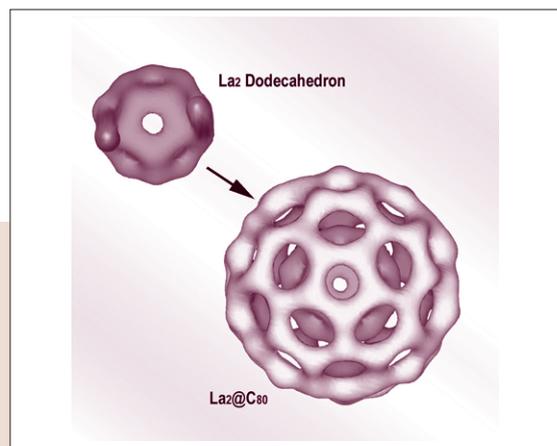
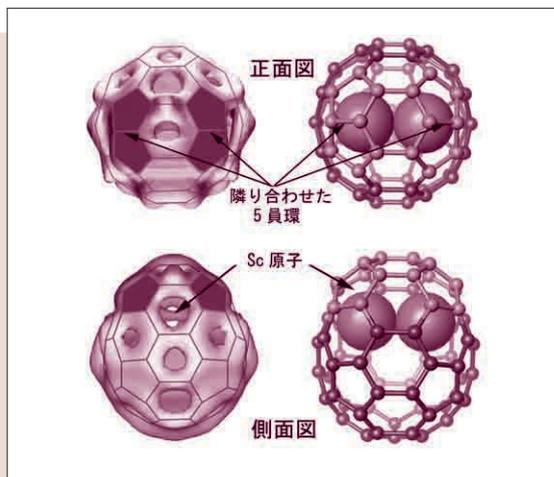


図3 La<sub>2</sub>@C<sub>80</sub>の電子密度  
フラーレンに内包された金属の電子密度を外に描き出してある。図に模式的に示した様に、フラーレンの中では2個のLa金属が高速運動により正12面体の電子密度を作り出していた。

大きさを測るほど小さな目盛の物差しは持っていませんが、X線の物差しでなら測れます。人間の目で物体を見る様に、X線を使って分子の構造を見るわけですが、人間の目にあるレンズが、X線については作る事が出来ません。よって、見たものを網膜上に映像として再生するためのレンズの代わりにコンピューターの助けを借りて、観測したデータから分子の像を再生します。放射光は、非常に強いX線、すなわち明るい光であるので、複雑な構造も、はっきりと見る事ができるので

図2、3にこれまでに明らかになった金属内包フラーレン達の電子の分布の様子を示します。X線は電子のみを感じるので、再生像では電子が見えるのです。図を見てわかるように、六角形と五角形からなる籠状分子の中に1個～3個の金属原子が、実際に内包されているのがわかります。図2(a)のSc@C<sub>82</sub>で不思議に思うのは、Sc金属がフラーレン分子の真ん中ではなく、中心から外れた位置に安定して存在している事です。なぜ中心から外れた位置に金属がいるのか？実は金属原子から、フラーレンの分子へ電子が2個移動して、金属原子がプラスイオン、フラーレンがマイナスイオンになります。このプラスとマイナスの電気的な引力がつりあう位置に、金属原子がいるのです。ですから、炭素原子の数と六角形と五角形の

図4 Sc<sub>2</sub>@C<sub>66</sub>の電子密度とその構造モデル図  
 これまでの常識を破るフラーレンの構造を明らかにした。  
 Nature,408(2000)426



組み合わせが異なるフラーレン分子では、中に内包される金属原子の種類や数が違う事によって、図2にあるように、バラエティーに富んだ構造をもつ事が明らかになりました。特に図3のLa<sub>2</sub>@C<sub>80</sub>では、中の金属の様子を示した様に2個のLa原子が超高速でC<sub>80</sub>分子の六角形の面に沿って運動し、その軌跡が正12面体として見えています。

## これまでの常識を破る新種のフラーレン

2000年には、これまでの常識を破る金属内包フラーレンの構造が明らかにされました。それまでは、フラーレン分子の構造は、2つ以上の5員

環が隣り合わせになる事はないという、「孤立5員環則 (Isolated Pentagon Rule : IPR) 」というフラーレンの幾何学を考える上で最も基本的な法則に従うとされてきました。実際にサッカーボールを見ても5角形の周りは必ず6角形に囲まれて5角形同士がつながっていません。

しかし、IPRというこれまで常識とされていた法則を破る物質を創り得ることを、私たちは図4に示したSc<sub>2</sub>@C<sub>66</sub>の構造を決めることにより、世界で初めて証明しました。金属原子を内包した部分が大きく変形して5員環がつながった部分が2箇所できているのがわかると思います。この研究成果は、英国科学雑誌Natureに発表され新聞でも報道されました。

最近では、金属内包フラーレンをナノチューブに詰めこんだ“ピーポッド (さやえんどう)”と呼ばれる全く新しい物質が生まれています。図5にその電子顕微鏡写真と構造モデルが示してあります。蛙の卵のようにナノチューブの中に金属内包フラーレンが詰まっているのが分かります。中に入れる金属内包フラーレンの種類を変えることで電気的性質を変えた、ナノスケールの回路をデザインすることも可能になるでしょう。この様にナノテクノロジーのトップランナーであるフラーレンの構造がSPring-8で次々と明らかにされています。

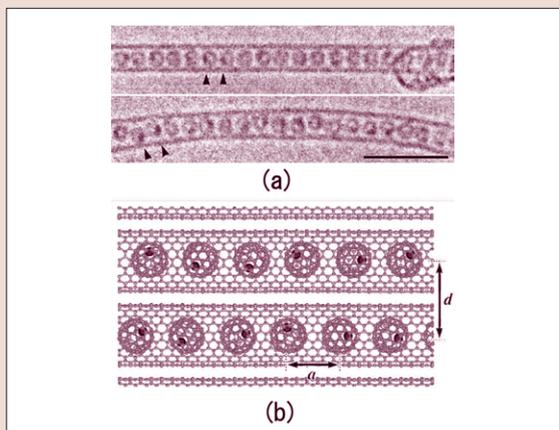


図5 金属内包フラーレンGd@C<sub>82</sub>を詰め込んだナノチューブであるピーポッドの (a) 電子顕微鏡写真と (b) モデル図  
 (篠原久典教授、飯島澄男教授 提供)



フーコーの振り子の観察



ナノテクノロジー研究室での体験実習

## 高校生のためのサイエンス・サマーキャンプ

8月7日～9日の3日間、2002年高校生のためのサイエンス・サマーキャンプをSPring-8内において実施しました。このキャンプは（財）高輝度光科学研究センター、日本原子力研究所、理化学研究所、兵庫県企業庁、姫路工業大学、（財）ひょうご科学技術協会の主催により高校生の夏休み期間を利用して毎年実施しているものです。参加者は、兵庫県在住の次代を担う理科系志望の高校生を対象とし、今年は31名の応募者のうち選ばれた20名（1年生17名、2年生1名、3年生2名）がSPring-8に集まりました。

初日の8月7日にはオリエンテーションの後、SPring-8の施設見学、姫路工業大学の森本幸生先生による科学講演会「タンパク質立体構造の不思議」、研究者との座談会を行いました。施設見学では、普段は見ることの出来ない線型加速器、シンクロトロン、蓄積リング棟内マシン収納部の内部にまで立ち入り、各施設の担当研究者による詳しい説明を受けることができました。その夜に開かれた研究者との座談会では、SPring-8の第一線で働く研究者の高校・大学時代、また現在の研究の話に耳を傾け、各自将来の夢を膨らませたり、希望する進路への意志を再確認するきっかけとなった様子でした。座談会の後は、壽榮松宏仁 利用研究促進 I 部門長の指導により、中央管理棟に取り付けられた大きなフーコーの振り子を使って、地球が自転する様子を観察しながらキャンプ初日の夜を過ごしました。

8月8日は、3班に分かれてSPring-8の研究者の指導のもとで体験実習を行いました。学校の授業では体験することの出来ない「元素分析」「走査型電子顕微鏡（SEM）」「赤外線イメージング」「ナノテクノロジー」といった興味深い実習を通して、予想と違う結果がでたり、失敗を経験したりと試行錯誤する中から、「研究する」ことの楽しさを経験していました。

8月9日の最終日は、キャンプのまとめとして、各班毎に体験した実習の成果発表と感想発表を行いました。短い期間ながら、各自の将来につながる新たな知識と幅広い交友関係を築き上げることができ、実りのある体験となったようです。  
(広報部)

## JASRIコロキウムがスタート

（財）高輝度光科学研究センターにおける研究活動の情報交換をおこない、お互いに啓発しあうとともに異分野交流を通じて研究のネットワークをつくるという目的で、JASRIコロキウムがスタートしました。

当面講演は週一回、1時間、講演者1人のペースで、加速器、ビームライン・技術、利用研究促進 I、利用研究促進 の4部門の持ち回りで行っていきます。講演者には、専門外の人にも十分わかりやすい内容とすることを心がけていただいています。

初回9月18日（田村和宏 加速器部門研究員、SPring-8における単バンチ／少数バンチ運転）、2回目9月25日（加藤健一 利用研究促進部門 研究員、放射光粉末回折法による精密構造物性の研究）、3回目10月2日（原徹 理研/ビームライン・技術部門副主幹研究員、挿入光源の基礎知識）の講演は、いずれも会場の萌光館が満員になるほどの多くの参加があり、活発な質疑応答がかわされました。JASRIコロキウムは、ますます順調なスタートをきることができたと言えます。

とりあえず年内の予定が決まっており、4部門で順番に講演を行っていきませんが、コロキウムに関するいろいろなご意見を反映させつつ、また、今後施設管理部門やSPring-8で研究を行っている理化学研究所、日本原子力研究所などの研究者の方々にも講演をお願いし、コロキウムの輪を広げていきたいと考えています。  
(JASRIコロキウム世話人)

## 光イオン化国際ワークショップ開催

8月22日～26日にかけて行われた光イオン化国際ワークショップ (IWP2002) は、(財)高輝度光科学研究センター、日本原子力研究所、理化学研究所の三者の主催により各関係者の協力のもと、盛況のうちに終了しました。

この会議は1990年にロシアで初めて開催され、6回目となる今回は、多くの関係者の希望により日本での開催が実現したものです。これまでの会議では欧米からの参加者が多く、しかもSPring-8が交通の要所から離れた山の上にあるという地理的条件の悪さにも関わらず、予想をはるかに上回る17か国・158名(過去開催された同会議の中では最高人数、約半数が海外からの参加者)が会議に参集しました。これは、SPring-8内で開催された国際会議としては最大規模となるものです。



本会議のメインテーマは原子、分子等の放射光やレーザー光によるイオン化現象を、基礎科学的な側面より議論することにあります。5日間にわたる発表と議論は朝から深夜まで行われるほどのハードスケジュールとなったうえに、日本特有の夏の暑さが加わり、体調を崩す参加者もありましたが、ほとんどの参加者がこの会議の内容の濃さと会の運営に満足されたようでした。また、会議の合間には、この分野のユーザが多い軟X線ビームラインが集中している蓄積リング棟Cゾーンの見学ツアーが行われ、時間があれば加速器施設も見学したいとの要望も聞かれました。(光イオン化国際ワークショップ事務局)

## 第7回播磨国際フォーラム開催

9月3日～9月6日の日程で、SPring-8を会場に播磨国際フォーラム「ランダム系物質の構造と物性 “Structure and Properties of Disordered Materials”」が開催されました。今回のフォーラムの主題は、ガラスやアモルファスそして液体金属を中心としたランダム系物質の構造と物性に関する国際会議で、海外招待講演8件、国内発表13件そしてポスター発表19件の研究発表が行われました。参加者総数は約60名余で、海外からA. C. Wright教授(英国Reading University)やG. Dalba教授(イタリアUniversita' di Trento)など、8名のランダム系物質科学における著名な研究者が参加しました。



フォーラムに先立ち、主催者を代表して菊田惺志JASRI放射光研究所副所長とオーガナイザーの福永敏晴京都大学教授の挨拶があり、海外招待講演を含む活発な研究発表が行われました。フォーラム1日目の午後には、参加者によるSPring-8サイトツアーが行われるとともに、口頭発表終了後の時間を利用して、ポスター発表が行われました。フォーラム2日目終了後の夜には、鈴木胖姫路工業大学学長をはじめ多くの来賓の方にも参加して頂き、SPring-8食堂外の芝生でバーベキュー大会が開催され、参加者の親睦・交流で大いに賑わいました。フォーラム3日目の最終日は、研究発表と討論終了後に、梅咲則正JASRI産業応用・利用支援Iグループリーダーによる閉会の挨拶で散会しました。このフォーラム期間中は、研究発表終了後も参加者によるインフォーマルなミーティングが連夜研究交流施設で遅くまで行われ、熱心な討論と研究交流が図られ、有意義な時間を過ごすことも出来ました。

今回のフォーラムでは、ランダム系物質の構造と物性という主題で、放射光や中性子線を用いたランダム系物質の構造解析や非弾性散乱のダイナミクスから、分子動力学計算や逆モンテカルロ法の計算機シミュレーション研究の最前線まで、幅広い研究発表が行われ、これらについての活発な討議と研究交流を図ることができ、大変有意義な国際会議でした。(播磨国際フォーラム事務局)

# 行事報告

## 第6回SPring-8シンポジウムを開催

(財)高輝度光科学研究センターとSPring-8利用者懇談会の主催による第6回SPring-8シンポジウムが、SPring-8放射光普及棟において9月10日、11日に催されました。

参加者261名の内訳は大学90名、企業28名、研究所16名、JASRI 77名、理研22名、原研17名、その他11名でした。本シンポジウムの目的は、施設と運営の最新情報を利用研究者（将来の利用者を含めて）に開示し、参加者の討論を通して、世界一の放射光施設のリソースが効率的に利用されるようにすることです。

今回のシンポジウムでは、施設報告、光源の現状、特定利用研究課題、広がる産業利用、トピック実験技術、新設ビームライン報告、利用者懇談会報告、各委員会報告のセッションが行われ、施設の現状や予算の話に加え、最新の技術についても多くの報告がありました。また、産学官が協力して研究を効率的に進めるため、とくにSPring-8における産業利用の拡大が今回の主題として取り上げられ、利用者の関心を集めて熱心な議論が展開されました。（SPring-8シンポジウム実行委員会）



# 行事一覧

9月 3日 ~6日	第7回播磨国際フォーラム「ランダム系物質の構造と物性」
9月 9日	SPring-8研修会「蛋白質結晶構造解析におけるX線吸収端測定」
9月 10日~11日	第6回SPring-8シンポジウム
9月 12日	第2回サンビーム研究発表会
9月 18日~19日	Dynamics&Design Conference 2002 (金沢) に出展
9月 26日~27日	サイエンスアドベンチャースクール (SAS) 開催 (播磨高原東小学校)
10月 11日	SPring-8講習会 (神戸) 「放射光による応力評価」
10月 15日~16日	第5回SRRTNet (放射光研究理論ネットワーク) 国際ワークショップ
10月 30日	SPring-8研修会「残留応力測定」
10月 30日~31日	サイエンスアドベンチャースクール (SAS) 開催 (播磨高原東小学校)

## SPring-8 見学者

9~10月の施設見学者数  
4,095名

### ■主な施設見学者

9月 13日	日本試験機工業会	15名
9月 20日	(社)表面技術協会	50名
9月 24日	岡山大学工学部システム工学科	47名
10月 2日	堺経営者協会	14名
	日本材料学会関西支部	30名
10月 8日	大阪大学工学部一回生	90名
10月 15日	中国広東省代表团	7名
10月 18日	神戸大学工学部建設学科土木系教室	64名
10月 23日	(財)科学技術交流財団	47名
10月 29日	関西科学技術セミナー	137名

施設見学の  
申し込み方法

見学のお申し込みについては、電話で広報部までお問い合わせ下さい。  
また、下記ホームページからもお申し込みいただけます。

(財)高輝度光科学研究センター 広報部  
電話番号: 0791-58-2785 ファックス番号: 0791-58-2786  
URL: [http://www.spring8.or.jp/JAPANESE/pr/req\\_tour.html](http://www.spring8.or.jp/JAPANESE/pr/req_tour.html)

# SPring-8 Flash

## サンビーム研究発表会



9月12日にSPring-8放射光普及棟大講堂において、産業用専用ビームライン建設利用共同体の主催、(財)高輝度光科学研究センターの協賛で「サンビーム研究発表会」が開催されました。主催者である産業用専用ビームライン建設利用共同会は、SPring-8の産業利用を目的として、電機、鉄鋼、金属、輸送、電力といった基幹産業の企業グループ13社と1公益法人により構成され、1999年10月より2本の専用ビームライン(BL16XUとBL16B2、通称：サンビーム)を用いて放射光利用研究を実施しています。本研究発表会では共同体に参加している13社1法人が、サンビームで得られた研究成果を発表しました。

今回で2回目となる発表会は高橋秀郎共同体運営委員長(株)豊田中央研究所 取締役の開会の辞ではじまり、(財)高輝度光科学研究センター放射光研究所の吉良爽所長の挨拶、永田正之理事と(株)豊田中央研究所の広瀬美治氏による海外の放射光施設との交流に関する報告に続いて、研究成果の報告が行われました。

午前の研究発表ではエレクトロニクス産業に関わる各社より、X線マイクロビームを用いた次世代高集積LSI用配線の評価技術や、LSI製造の大敵である半導体基板表面の微量不純物を全反射蛍光X線分析により高感度で分析する技術などSPring-8の高輝度放射光を活かした研究成果などが報告されました。午後も引き続きエレクトロニクス分野への応用に関する研究発表が行われ、X線反射率測定による厚さ数ナノメートルの超LSI用極薄膜の精密な構造評価技術による測定結果や、反射率データの新しい解析手法に関する報告などが行われました。午後の後半の研究発表では、X線吸収分光によるリチウム二次電池用電極の構造解析や、金型加工に用いられる切削工具先端部のマイクロビームX線回折による構造解析など、素材・エネルギー・環境分野での研究成果が発表されました。

どの発表にも聴衆から多くの質問やコメントが寄せられ、参加人数100人を超えた研究会は山田忠利共同体運営副委員長(三菱電機(株)先端技術総合研究所所長)の閉会の辞により盛会のうちに終了しました。今年度に引き続き来年度も目覚ましい成果が発表される研究発表会が行われることが期待されます。

## 人事往来

発令日付	氏名	異動内容	新	旧
6月30日	澤畑 正仁	退職		経理部長
9月 1日	寺門 雄一	採用	経理部長	日本原子力研究所
9月30日	古谷 章	退職		企画調査部次長 兼) 企画調査部企画調査課長
10月 2日	天田 健一	採用	企画調査部次長 兼) 企画調査部企画調査課長	核燃料サイクル開発機構

## 着任にあたって

経理部長  
寺門 雄一



この度、日本原子力研究所(原研)から派遣で経理部長に就任いたしました。原研では、現場(研究部門の事務)と管理部門に、ほぼ同年数勤務しておりました。こちらに来る前は、東海研究所の管理部調達課に勤務しておりました。

原研に入所以来、初めて外部に出ることになり、果たして任務をまっとうできるかどうか、いささか不安を覚えているというのが正直なところでございます。皆様にご迷惑をかけることも多々あると思いますが、よろしくご指導、ご鞭撻くださいますようお願い申し上げます。

## 今後の行事予定

- 11月11日～14日 第7回加速器アライメント国際ワークショップ
- 11月11日～15日 トライやるウィーク
- 12月 1日 財団設立記念日
- 12月 4日～ 6日 第2回軌道安定化ワークショップ
- 12月19日～20日 SPring-8利用技術に関するワークショップ
- 12月20日 ナノテクノロジー総合支援プロジェクト  
放射光グループシンポジウム(東京)

編集 SPring-8 News 編集委員会

発行



財団法人高輝度光科学研究センター  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute  
〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町光都1丁目1番1号  
TEL(0791)58-2785 FAX(0791)58-2786

広報部

▶▶▶ ホームページ: <http://www.spring8.or.jp/>