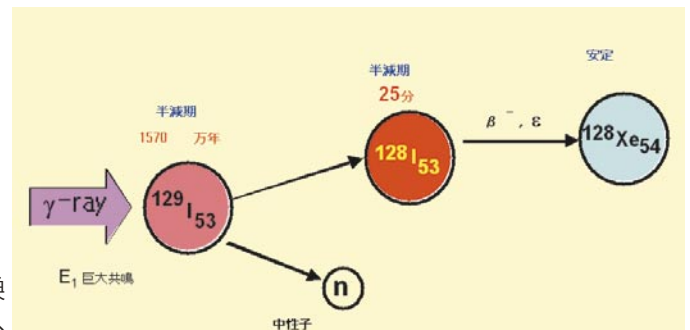
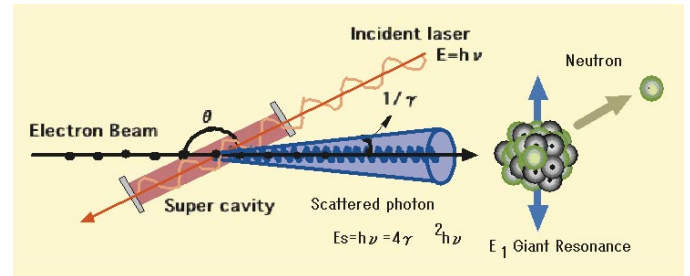


2006, Oct.
No. 223

CONTENTS

- ガンマ線による核変換
- 自由電子レーザー国際会議に参加
- The 28th international free-electron laser conference
- 【光と蔭】科学技術の未来予測
- NewSUBARUレーザーコンプトンガンマ線源



【図1：上】ガンマ線による核変換
【図2：下】ヨウ素核変換プロセス

ガンマ線による核変換

レーザーエネルギー研究チーム 今崎一夫、李大治

■核変換の必要性

原子炉より排出される放射性廃棄物は、主に核分裂核種(FP)と超ウラン元素(TRU)である。後者はまだ燃料として使える可能性がある。よって、核変換の対象になるものはFPである。このうちの大部分は、地層処分で人類の生活圏から隔離される間に放射性を失い、安全な安定核に自然に変換される。地層処分における安定性はおよそ100万年程度持続すると考えられるので、ほとんどの放射性廃棄物はこのような地層処分方式で隔離することにより、有効に放射線を減少する。

しかしFPの中で、地層処分方式で隔離困難なものがある。ヨウ素(¹²⁹I)である。これは極めて寿命が長く1,600万年もある。また化学的に活性が高く、量もかなり多い。チェルノブイリ事故でも、ヨウ素がいろいろの問題を引き起こしていることは周知のことである。

ヨウ素は極めて化学的活性が高いので、核燃料サイクルにおいては独立して析出して来るため、比較的容易に分離できる。そのため、これを化合物の形にして保管しているのが日本での現状である。

長年これを蓄積することを考えると、その蓄積量が膨大となるため、この核を変換することが必要とな

る。これにはガンマ線による核変換が有効である。この方式の概要を図1に示す。

■研究進捗状況

原理的には、コンプトン散乱によるガンマ線を用いる。しかしコンプトン散乱は極めて断面積が小さいため、スーパーキャビティを用いてレーザー光を蓄積する必要がある。10,000倍程度のレーザー蓄積は実証されており、その蓄積度に比例したコンプトン散乱ガンマ線量が得られる。

われわれは、これまで核反応率や偏向効果などの基礎的研究を行ってきた。現在ヨウ素に絞って研究を進めている。ヨウ素の核変換の主プロセスを図2に示す。

ガンマ線発生には兵庫県立大学のニュースバルを用い、ヨウ素変換核実験を共同研究中である。このサイトではFPは使えないのでヨウ素の安定核¹²⁷Iを使用している。ヨウ素のままでは使用しにくいので、容易に手に入るNaIの形にして実験を行っている。これも極めて潮解性が高いので、密封した形にしている。

NaIにおいてこの組成である¹²⁷I(安定核：100%)に比べて²³Na(安定核：100%)は原子数が十分小さく、このため巨大共鳴断面積比は16MeVのガンマ線において

次ページへつづく▶

1/50である。また核変換後の生成物である ^{126}I と ^{22}Na は崩壊時間比が ^{126}I が73倍速くその半減期は13.11日である。このためNaIを用いても比較的高精度で127ヨウ素の核変換率を求めることができる。現在この研究が進行中である。

■中性子の発生

本方式のもう一つの重要な点が、中性子の発生である。シミュレーションにより、中性子のエネルギーがおよそ2~4MeV程度と予想されている。これは、核分

裂による中性子より高いエネルギーであり、十分エネルギー生産に使える。すなわちエネルギーバランスが取れる可能性があることを示している。実験結果は、まだ初歩的ではあるが理論値にほぼ一致している。

これらを含めて現在NaIターゲットにおける中性子エネルギーと核反応率のそれぞれの特性を研究中である。

最後に、ニュースバルグループの研究協力に感謝を表します。

自由電子レーザー国際会議に参加 The 28th international free-electron laser conference

レーザーエネルギー研究チーム 李大治

■ドイツのベルリンで開催

今年の自由電子レーザー国際会議は8月27日から9月1日までの一週間で、ドイツのベルリンで開催された。この会議は一年に一度、今回はドイツのBUSSY研究所の主催で、第28回目である。BUSSY研究所は、X線自由電子レーザー装置が建造されていることで有名である。欧州諸国、アメリカ、日本、中国、韓国、インドから260人程度の出席者が自由電子レーザーに関するアイデアを交流した。ベルリンは博物館と教会の欧風建築物が多い、美しい都市である。

■X線自由電子レーザーの研究結果が多数報告

本国際会議は「X線自由電子レーザー」、「大出力長波長自由電子レーザー」、「加速器」、「新アイデア」、「自由電子レーザー応用」のセッションで構成されている。口頭発表とポスター発表全部で約273件。本会議ではX線自由電子レーザー装置建造、高品質電子ビーム発生、新アイデア、最先端の実験結果が多数報告された。まず世界最短FEL波長13nmのドイツハンブルグにおけるDESYのFirst lasingが報告された。次に49nmの

SCSS/Spring8と198nmのSDL/BNLのFirst lasing が発表された。世界最短波長X線FEL装置のLCLS/SLACの建造現状も報告され、注目された。長波長の方では、THz放射を目指す自由電子レーザー、Smith-Purcell放射等の発表があった。また電子バンチ生成技術など、新しい実験結果と理論・シミュレーションの発表も盛んである。自由電子レーザーを用いた、化学、生物、医学方面の応用論文も発表された。

■Smith-Purcell型の自由電子レーザーに注目

小型THz放射源を開発するために、Smith-Purcell型の自由電子レーザーが注目されている。以前の会議ではこの問題についての論文は少なかったが、去年は7部、今年は11部になった。アメリカ、フランス、中国、日本からの研究者は最新理論とシミュレーションの結果を報告、A.Gover、K.-J.KimとC.Brauなどの理論の専門家もこの問題に関する論文を発表している。現在、Smith-Purcell放射物理本質はまだ十分に解明されていない。今後はこの観点に立ち、Smith-Purcell国際研究チームを成立、強力に研究が推進される予定である。

■われわれの貢献

われわれのSmith-Purcell放射シミュレーションに基づく2論文が注目を集めだしている。PICシミュレーションでは、いろいろな物理現象を直接に観測できるため、Smith-Purcell放射の物理本質の理解には非常に有利である。そし



【写真1】会議現場



【写真2】Smith-Purcell FEL国際研究チーム

て、われわれの研究結果は理論と実験結果の間に橋を渡した。理論を作る出席者からは、われわれの論文を要し、理論結果とシミュレーション結果を比較したい

という提案が出された。今後のシミュレーション計画に対する意見も出された。

山中千代衛



科学技術の未来予測

IEEEのfellow 700人を動員した今後50年を見通し科学技術の発達状況を予測するレポートが“SPECTRUM”の9月号に発表された。一般人の予測とは異なってその道のエキスパートが言うのだから多少は信用がおけるの

ではないかと思われる。

取り上げた分野は計算機科学、通信とメディア、センサーとロボット工学、材料とナノテク、エネルギー、物理学、宇宙地球科学、健康と生物学である。各テーマの50年以内の達成率を検討し、それが60%以上可能となればその時期を問うという形式である。今年の初めにIFTF(未来研)と共催で調査が行われた結果である。

かつて明治の中頃電気学会が発足した時、電気学会誌第1号に「100年後の科学技術の予測」が志田林三郎により記述された。その内容を1988年の電気学会創立100周年記念式典で当時電気学会会長であった筆者から皇太子殿下(現天皇)に言上したが、大変好評であった。

「今後100年先の状況は如何に」というご下問には甚だ苦心した覚えがある。「核融合エネルギーの実現」と申し上げたのであった。

元来、未来予測というものは直近の様子は線形の発達を考えて答えることが出来てもやや長期にわたると甚だ覚束無いものである。

ところで今回のFellowたちの推測を2、3取り上げてみよう。50年以内の達成が設問のポイントである。

計算機科学ではまず「国際的言語翻訳機の商用化」について不可能15.1%、5分5分20.1%、可能64.8%とある。そして10年以内が19.8%、20年後が50%だ。「量子計算機の市場化」は不可能42.7%、5分5分25.1%、可能22.1%である。

通信分野で、2、3例を挙げると「3DTVの家庭内への導入」は不可能29.8%、5分31.4%、可能33.3%、「有機発光ダイオード」の商用化は不可能16.8%、5分31.7%、可能38.5%、半導体工業で「Mooreの法則が破られる」について否12.5%、5分15.4%、然り70.7%である。

センサー・ロボット分野では「セルフドライブの自動車」は否39.5%、5分30.2%、然り26.4%、「老人介護ロボット」は否39.5%、5分27.9%、然り27.1%となっている。

物理分野を見ると「統一場理論の完成」について不可能57.9%、5分5分の見方28.3%、可能15.8%などがある。

宇宙地球科学では「地球外天体での生物の発見」について不可能40%、5分27.5%、可能25%、「地震の事前予知の可能性」について不可能22.5%、5分50%、可能25%となっている。

材料・ナノテクでは「室温超伝導」の工業化は不可能56.7%、5分23.4%、可能14.4%、「マイクロスケールロボット」の実現は不可能15.4%、5分26.9%、可能52.9%となっていて、10年以内9.6%、20年後53.8%と出ている。また「LEDが白熱電球にとって替わる」は不可能1.9%、5分10.6%、可能86.5%で時期は10年以内46.3%、20年以内40.2%である。

エネルギー分野では燃料電池の設問が多く見られ、例えば「燃料電池自動車の実用化」は不可能16.1%、5分26.7%、可能55%で、10年以内が27.4%、20年では56.8%と評価されている。また「太陽電池の効率50%での商用化」は不可能31.7%、5分31.7%、可能28.9%である。「核融合炉の商用化」は50年以内の評価で否57.8%、5分5分23.3%、可14.4%と出ている。これには筆者はIEEE life fellowとして一言留保したいと考えている。

バイオテクノロジー分野では「移植可能な知能機械の導入」について不可能19.5%、5分29.3%、可能47.6%とあり、「DNAの急速配列が可能となるか」には不可能6.1%、5分21.4%、可能67.1%と出ており、10年以内が41.5%、20年以内37.7%となっている。以上、データの配列に終始してしまっただけで、結論として未来予測は最も困難な事柄であり、この展望は鍵となる方向を示しただけであるとされている。

未来予測に対する大切な処方箋として最上の方法は「それを発明すること」である。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

NewSUBARUレーザーコンプトンガンマ線源

兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所 宮本修治

■高エネルギー電子ビームとレーザー光子が光源

レーザーコンプトン散乱ガンマ線源は、高エネルギー電子ビームとレーザー光子の散乱によるユニークな光源である。コンプトン散乱の物理自身は普通の現象であるが、レーザーなど高出力・高性能光源の発達と高性能電子蓄積リング(放射光施設)により、エネルギー可変で、準単色のガンマ線ビーム源が実現できるようになった。

■NewSUBARUでは8本のビームラインが稼働

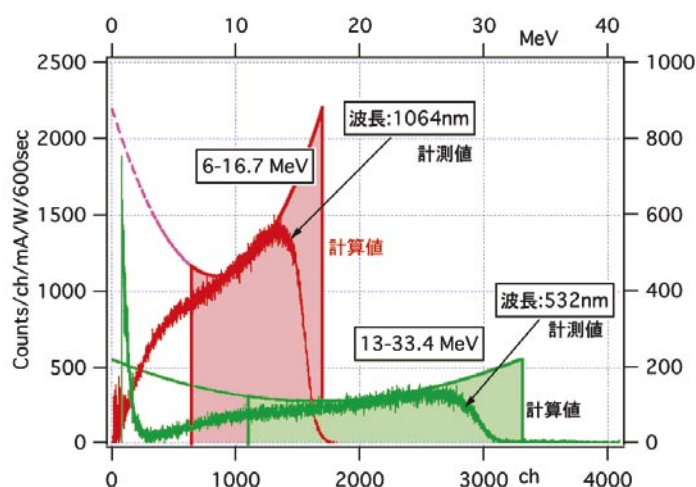
NewSUBARU放射光施設は1から1.5 GeVの電子エネルギーで運転できるが、SPring-8の電子入射器からの電子を入射することで、1GeVでTopUp(随時入射一定電流)運転が可能で、蓄積電流200-250 mAで電流減衰のない運転ができる。現在、NewSUBARUでは8本のビームラインが稼働しているが、BL01がレーザーコンプトンガンマ線ビームラインである。レーザー光を電子ビーム下流側から蓄積リング内へ導入して、直線部で電子と正面衝突をさせ、電子ビーム進行方向の狭い範囲に集中したビーム状のガンマ線を得ている。レーザー技術総合研究所との共同研究として、数年前から電子蓄積リング収納トンネル内部でガンマ線の利用研究を実施してきたが、昨年度新たにガンマ線シールドハッチを建設し、ガンマ線を収納トンネル外部で利用できるようになり、NewSUBARUガンマ線研究協議会を発足し、ガンマ線源評価とともに利用研究の検討を行っている。

■世界有数のコンプトン・ガンマ線源

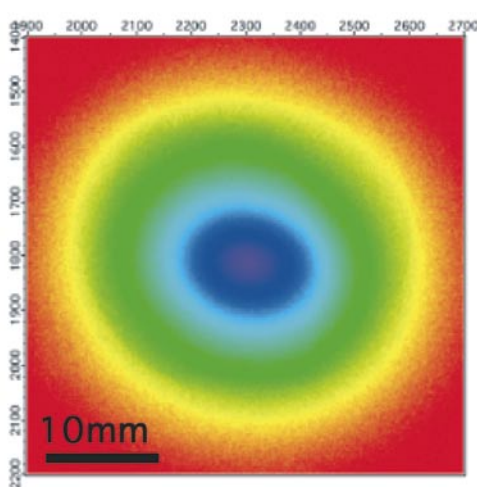
発生できるガンマ線フラックスは、電子ビーム電流と入射レーザー光強度の積に比例して増加できるが、散乱による電子損失が他の放射光利用ビームラインに影響を与えないよう、制限して運転している。1GeV電子エネルギーモードでは、電子電流250mA、レーザーパワー3Wで、エネルギー6MeVから16.7MeVのガンマ線光子を、毎秒 2×10^6 個発生しており、世界有数のコンプトン・ガンマ線源となっている。図1は、ガンマ線スペクトルの計算値と、Ge検出器による計測例を示す。計測スペクトルは、検出器の応答関数を含んでいるため、計算値に比べ低エネルギー側へ広がるスペクトルを示している。YAGレーザー基本波長と2倍高調波を用いた例が示してあり、2倍高調波では、散乱ガンマ線エネルギーが2倍になっていることが分かる。核廃棄物処理等に应用可能な光核反応は、10MeVから20MeVのガンマ線領域に巨大共鳴と呼ばれる反応断面積の大きなピークを持つが、YAGレーザーと1GeV電子ビームを用いることで、この巨大共鳴領域のガンマ線を効率よく発生できる。

■中性子のスペクトル計測を実施

図2は、イメージングプレート(IP)で観測した、ガンマ線強度の空間分布を示す。散乱点から約20m下流で、直径20mm程度の広がり(全角 $1\text{mrad}=2/\gamma$ ここで、 $\gamma=2000$ は1GeV電子のローレンツ係数)のビームとなっていることが分かる。現在このようなガンマ線ビームを用いて、金やヨウ素の光核反応と発生する中性子のスペクトル計測を実施している。



【図1】ガンマ線スペクトルの計算値とGe検出器による計測例



【図2】IPで観測したガンマ線強度の空間分布