

# JAEA

JAEAニュース  
第20号 2008年2月

# NEWS 20



原子炉廃止措置研究開発センター正門前  
右から岡崎理事長、殿塚前理事長、早瀬副理事長

## CONTENTS

### R&D研究最前線

高効率高選択的な同位体分離を目指したコヒーレント量子制御の基礎技術を実証

### CLOSE UP

冷中性子ビーム分岐装置の小型実用化に成功 —中性子ビーム利用の機会増加へ—  
科学技術の理解増進と対話活動 —科学をもっと身近に—

### CHALLENGER

地質研究で過去の大地の動きを調査断層煎餅で自然科学への理解をアプローチ

### TOPICS

「ふげん」、原子炉廃止措置研究開発センターへ  
イーター機構および欧州から委託を受け試験用超伝導コイルを据付  
サイエンスカフェinリコッティ(テーマ:「J-PARC」)を開催!  
瑞浪超深地層研究所における自然電位法による地下水流動モニタリング  
原子力研修センター講座のご案内  
もんじゅコーナー  
原子力機構よりお知らせ

## 高効率高選択的な同位体分離を目指した コヒーレント量子制御の基礎技術を実証



関西光科学研究所 /  
量子ビーム応用研究部門 /  
レーザー物質制御研究グループ  
横山 啓一

化学的に同じ性質を持つ物質(同位体)を、分子や原子レベルで分離させることができれば、放射能を帯びた使用済み燃料を安全に処理することも夢ではありません。特殊なレーザー光を当てることで、この同位体分離の基本となる選択操作が可能であると実証され、実用化に向けた次のステップに一歩進むことができました。

### Q 同位体分離とはどういうものですか？

**A** まず同位体とは、原子核の中の中性子の数は違うけれど陽子や電子の数が同じ物質を指します。そのため化学的には全く同じ性質を持っています。たとえばウランにはウラン235とウラン238という2つの同位体があります。

同位体分離とは、複数の同位体が混じっている原料から特定の同位体だけを取り出したり、比率を高める(同位体濃縮)技術のことで、よく知られているのがウラン濃縮です。

混合物から特定の物質を取り出すときによく試験管を振って化学反応を起こし、沈殿させたりして分離します。これを化学的分離といいます。同位体は化学的には同一のものなので、この方法では分けられません。分離には物理的な方法が必要です。質量が違うことを利用して、高速で回す遠心分離器にかけるのもその一つです。

中でもレーザーを使った同位体分離は原理的には少ない手数で高い分離能力が得られるため、混沌とした原料から高純度の物質を回収するには最適だということが分かっています。しかし真空に近い環境下で、極低温にしたり稀薄にするなど前処理の条件が厳しい上、運転コストがかかりすぎて大量に分離できず実用化には向かないものでした。

### Q 研究を進めているコヒーレント量子制御とは何ですか？

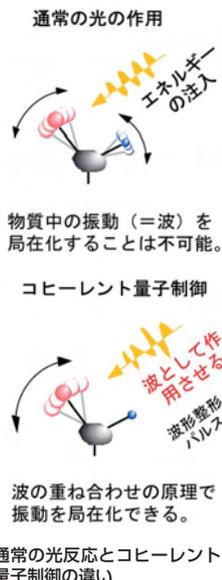
**A** 条件やコストの面がネックとされているレーザーを用いた同位体分離ですが、レーザーのコヒーレントな特性(可干渉性)を利用した技術なら可能かもしれないという考え方が出てきました。

これまででは、レーザーを物にあてたときに注入される光のエネルギーを利用するという考え方でした。これに対して、コヒーレント量子制御というのは、レーザーが持つ光の波としての性質を使うものです。この波が、対象物質の波の性質(量子性)に作用して、今までは成り行き任せだった物質の応答を制御できる可能性が出てきたのです。

レーザーは、非常に秩序性が高くエントロピー(物質の乱雑な動き)がほとんど0という特質を持っています。そのためさまざまなものを精密に制御することに向いています。これをコントロールして物質の持つ電子に干渉させ、動きを制御する技術に着目したのです。

全ての物質には波動性がありますから原子や分子、電子の波動にある種の光のパルスを当てると波動同士が干渉し合い、片方の振動(波)を打ち消す作用が起こります。それで振動を局在化できるだろうと予測しました。

このような原理のコヒーレント量子制御は物理の分野で最近注目され



るようになってきましたが、同位体分離の技術としては難しいため今まで研究されていませんでした。今回はそれが実現可能かどうか、まずその一歩としての基礎技術の確立を進めていったのです。

### Q 極短パルスレーザーで可能になった同位体選択とは？

**A** 今回のコヒーレント量子制御の実験では、同位体分離が望まれているセシウム原子を選び、位相関係が固定された2つの極短光パルスからなる波形整形パルス対を照射しました。まず第一のパルスにより2つの電子状態が生成されます。電子には固有の位相速度があり、一方は速く、一方はゆっくりした波動です。ここでパルス対の時間差と位相差を調整した第二のパルスにより同じことを繰り返します。すると電子状態ごとに波動が干渉して片方の波が消えてしまい、残ったものだけを観測することができました。

この調整によって精密な制御ができ、どちらかの状態を打ち消すという完全選択が可能であることが分かりました。これで振動の局在化に成功し、コヒーレント量子制御による精密な選択が可能だということが実証されたのです。

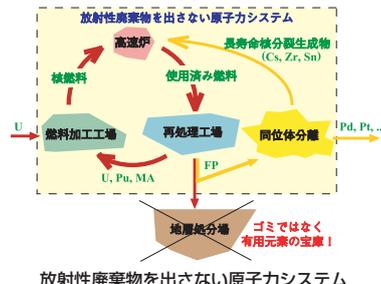
一般に同位体分離を行う場合、酸素や炭素といった軽元素は同位体による差が比較的大きいため分けやすく、ガスセル内に原料ガスを入れて炭酸ガスレーザーを当てる同位体分離の技術ができています。実際これに基づく工業化例がすでにロシアにあります。

一方、ウランやセシウムなどの重元素は同位体による差が小さいため分離が難しくなります。レーザーウラン濃縮では原料の初期状態を高秩序にすることで、この問題を克服しようとしてきました。そのために真空装置や冷却装置などを含む、大がかりで複雑なシステムが必要となり難しい課題があります。我々の最終目標はレーザーの波形の方を複雑化することにより重元素でもガスセル内で同位体分離を可能にすることです。

### Q この研究が成功すると今後、何に生かされますか？

**A** 現在の研究経過は、同位体分離の基礎技術を実証できた段階にあります。今後はさらに重元素を大量に分離する研究を進め、実用化を図ろうと考えています。

核燃料サイクル技術の中で最終的に残るのがFP(核分裂生成物)ですが、これは長期間にわたり有害な放射線を出す物質で燃やすことができません。しかし、FPを同位体分離し、放射能を帯びていないものを取り出すと廃棄物の量も減少し、さらに、白金やパラジウムといった貴金属が取り出せるのです。そのため、この技術はある種の錬金術ともいわれ、注目されています。



# 冷中性子ビーム分岐装置の小型実用化に成功 — 中性子ビーム利用の機会増加へ —

原子力機構は、世界最高レベルの反射率を両面に有する中性子用スーパーミラーを開発し、低エネルギー中性子(以下「冷中性子」)ビームを約0.3mの短距離で最大20度湾曲可能な複数の出口を持つ小型冷中性子ビーム分岐装置(図1)を製作し、東海研究開発センター原子力科学研究所(茨城県東海村)の研究炉「JRR-3」での実用化に成功しました。

その結果、JRR-3での同時かつ複数実験の効率的な実施が可能となり、近年の中性子ビーム実験の需要増加に対応できることとなりました。

JRR-3で核分裂により発生した中性子は、低エネルギーの中性子(冷中性子)に減速され、機構内外の研究者が行う実験(高張力鋼の開発、高分子の配列解明や界面の構造解明など)に提供されています。近年、中性子ビーム実験の需要が増加しており、中性子ビーム利用希望者に対して実験時間の割り当てが不十分な状況が続いています。

このため、中性子ビーム取り出し口を増やし、新規実験装置を設置することで、より多くの利用希望者への中性子ビーム利用の機会増加が可能となるよう、小型冷中性子ビーム分岐装置を開発し、実用化しました。

小型冷中性子ビーム分岐装置は中性子源からビームを分岐して、実験装置まで導く装置です。この装置の中核をなす中性子導管集合体は両面中性子ミラーを0.2mm間隔で50層に重ね合わせた構造となっており、従来の装置ではこの中性子ミラーの反射率が80%と低いため、冷中性子ビームを20度に曲げた場合、実験を効率的に実施するために必要なビーム強度(中性子の量)を提供するのが困難でした。

そこで、この小型分岐装置の高性能化に不可欠な中性子ミラーの反射率を向上させるために、大型シリコン薄板基板(厚さ0.2mm)の両面に、世界最高レベルの反射率(90%)を有するNi/Ti(ニッケル/チタン)多層膜スーパーミラーを成膜することで、小型分岐装置用の中性子用スーパーミラーを開発しました。

この中性子用スーパーミラーを用いた中性子導管集合体を製作することで、小型分岐装置の出口強度は、従来の  $1.1 \times 10^6$  個 / (cm<sup>2</sup>・s) から  $1.6 \times 10^7$  個 / (cm<sup>2</sup>・s) と理論通り10倍以上向上しました。その結果、短時間で精度の良い実験が可能となりました。

今後、本小型分岐装置の下流に設置される実験装置により、冷中性子ビームの利用は「水の分布」の測定が重要となる植物(農業)研究分野や、食品に含まれる重金属等の元素分析において拡大していくものと期待されます。さらに、冷中性子ビーム分岐装置の技術は、現在、茨城県東海村で建設中のJ-PARCの中性子ビームライン等にも適応可能であり、今後の中性子研究の推進に役に立つものと期待されています。

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2007/p07092701/index.html>)

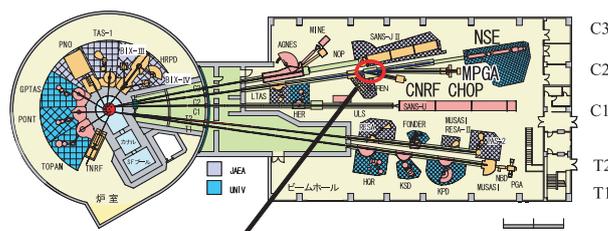
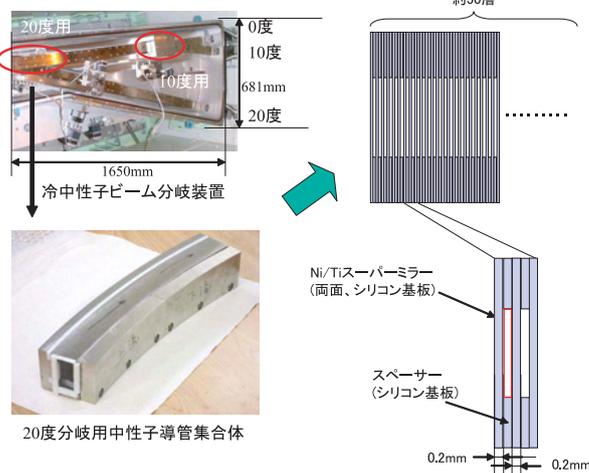


図2 曲導管部の断面図



20度分岐用中性子導管集合体

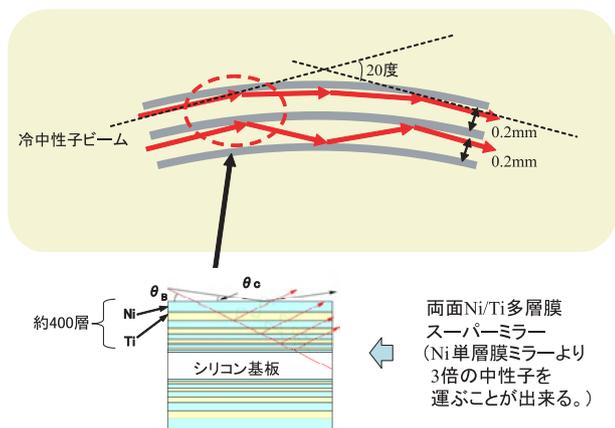


図1 冷中性子ビーム分岐装置の原理

図2 JRR-3の小型冷中性子ビーム分岐装置

## 科学技術の理解増進と対話活動 —科学をもっと身近に—

原子力機構では、原子力や科学技術についてより理解を深め、身近に感じていただくため、サイエンスカフェの開催などの研究者・技術者によるアウトリーチ活動を推進しています。また、科学館・展示館を利用した実験教室や出前授業を行い、理数科教育への支援も行っています。今回は敦賀地区での取り組みを中心に紹介します。

福井県敦賀市にある科学館「アクアトム」では、昨年12月に、「アクアトム科学塾」を開講しました。これは同時に、福井県が進める「エネルギー研究開発拠点化計画」にある「人材の育成・交流」で掲げられている原子力・エネルギー教育の充実へこれまで以上に貢献することを目的として、福井県内の主に小学生から中学生を対象に、学校側と連携して「地球環境とエネルギー問題」について理解を深めようとする試みです。

「科学塾」はこれまでに、敦賀市内の小学生には電流のはたらきについて、中学生には物質の状態変化についての授業を行いました。最初はおとなしく講義を聞いていた生徒たちも科学の不思議に触れ、次第に表情豊かに身を乗りだして実験に取り組んでいました。

参加した生徒からは、「科学の楽しさを肌で感じた。今まで科学は好きじゃなかったけど、興味がわいた。次回も参加したい」などの声が聞かれました。「科学塾」では、授業を行うことにより学校で行う授業と相補的に論理的に考える力と応用力を持った児童・生徒の育成支援を目指してまいります。

また1月に「アクアトム」では、敦賀工業高校等からの協力を得て、「独立行政法人科学技術振興機構平成19年度地域科学技術理解増進活動推進事業 科学館開発支援」に応募・製作したハイブリッドカーを配備しました。ハイブリッ

ドカーとは、二酸化炭素を排出しないクリーンエネルギーである水素燃料電池、太陽電池および鉛電池を搭載し、これら3電源をコンピューター制御により切り替え駆動する仕組みになっています。今後、エネルギー環境教育に関する学習支援にむけて活用していきます。

<http://www.jaea.go.jp/09/aquatom/kagaku.html>

さらに、本年1月に、福井大学との包括的連携協力協定に基づき、高速増殖炉もんじゅに隣接するFBRサイクル総合研修施設の保守研修施設内に福井大学サテライト研究室を設置しました。福井大学の学生の方々がより現場に即した研究が実施できるよう支援して行きます。

原子力機構では、科学館・展示館にて科学技術の理解増進のための対話活動としてさまざまな催しを行っています。茨城県にある「テクノ交流館リコッティ」では、サイエンスカフェを開催しています。青森県にある、「むつ科学技術館」と京都府にある「きつづ光科学館ふおとん」ではサイエンスクラブなどの活動や、さまざまなイベントを行っています。ご来場、ご参加をお待ちしております。

[http://www.jaea.go.jp/09/9\\_3.shtml](http://www.jaea.go.jp/09/9_3.shtml)



「アクアトム科学塾」での授業の様子



アクアトムに配備したハイブリッドカー

## 地質研究で過去の大地の動きを調査 断層煎餅で自然科学への理解をアプローチ

地形や地質、地震などの自然現象への興味や知識が深く、地層処分技術に関する研究の一助を担っている安江さん。独自のアイデアを生かした断層煎餅を考案し、一般の方や子供たちに断層の動きや地形の変化について説明する独創的な研究者でもあります。その研究内容と断層煎餅にまつわるお話を伺いました。

地層処分研究開発部門 東農地科学研究ユニット自然事象研究グループ

安江 健一



### 原子力機構に入社したきっかけは何でしょう？

子どもの頃に長野県西部地震に遭い、どうして地震が起きるのかと深く興味を持ちました。結局、その興味は尽きず大学でも地質学や地震学を専攻。卒業のときに原子力機構(旧サイクル機構)が募集していた博士研究員に応募し、幌延深地層研究センターで研究をすることになりました。幌延では3年間という限定期間内に、過去の地形や地質について仮説を立て、それを証明するデータが得られたことが嬉しかったですね。

### 現在、力を入れている研究について教えてください。

自然事象研究グループは、日本で起きている地震や火山、隆起、気候変動などの自然現象を研究する分野です。私は主に何十万年、何百万年に渡って起こる緩慢な隆起や侵食などの事象を対象に研究しています。地面が高く盛り上がり山になり、川が流れて地面が侵食されるなどの現象ですが、この影響で地下水の状態も変わります。さらに気候変動なども含めて調査し、地下の状況がどう変化していくか研究するのです。

研究は野外で調査を行い、採取した土や石を分析します。たとえば土に混じっている花粉を調べるとその時期に多く生息していた植物が分かり、その植物の種類からおおよその気候が解明できるのです。地層に含まれる植物の破片や火山灰などを分析すると地層が堆積した年代が分かりますから、5万年前の気候、30万年前の気候などのように過去の気候が把握できるのです。

また花粉以外の堆積物で過去の地形も分かります。高い山の向こう側にしか存在しないはずの堆積物が手前の地域で見つかり、その堆積物が堆積した当時は高い山がなかったことが想像できます。現場で採取した石や砂粒などの堆積物の特徴を調べると、過去における山や川の存在、形状まで分かるのです。まず自分で仮説を立てるのですが、実際に調査して得られたデータと合ったときは感動します。

地層処分技術に関する研究は分野が多岐にわたります。多くの研究者たちと相談し合いながら進めていく上で様々な分野の基礎知識が必要ですので、常に勉強は欠かせないと実感しています。

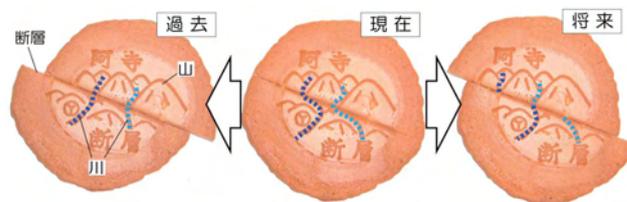
### 独自に作った断層煎餅がアウトリーチ活動に大好評だそうですが？

重要な取り組みの一つに地元の方々へ研究の内容やその必要性などについてご理解頂くための活動があります。地層の研究がいかに重要なのか一般の方に分かりやすく説明するのは意外に難しいのです。実は私は断層の亀裂を簡単に図案化した焼き印と、それで焼いた煎餅を考案しています。これは岐阜県にある阿寺断層をモデルにした図柄で、真ん中に切れ目を入れて断層のズレや山や川などの地形の変化を表現できるようにしました。断層や地形について一般の人に面白く説明できる素材はないかな、と大学時代に考えていたものです。機構では研究や技術について理

解を求めるアウトリーチ活動に力を入れていますので、その説明会などで使うと分かりやすいと喜ばれており、やりがいを感じています。最近では、ほかの分野も身近なものを使ってうまく説明できるように考えています。

プライベートでは週に一回開かれている地元のスポーツ少年団で弓道を教えています。練習が終わったあとに数分の時間をもらって宇宙や地質の話、断層や火山のでき方など自然について話をするのも楽しみです。子どものうちから自然科学について興味を持ってもらいたいし、どういう風に話すとどういう反応が返ってくるか勉強にもなるのです。

スポーツ全般が趣味ですが、釣りや登山などで変わった地形や地層を見るとついつい調べたくなりますね。「あ、今度ここを調査しないと！」と興味を持つことも少なくありません。やはり地形や地質の研究が好きで、趣味と仕事が一致しているといえますね。

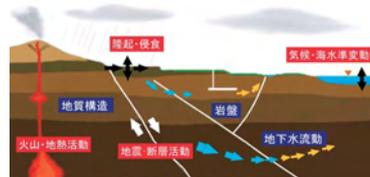


**断層せんべい** 阿寺断層の図柄を焼き込んだ煎餅。過去はまっすぐな河川だったのが断層のスレで大きく曲がり、将来は断層を境に違う河川が合流するという予測までを割れた煎餅で見られる。

### 今後の課題や夢をお聞かせください。

研究の目的は高レベル放射性廃棄物を地下の深い場所に埋める際に、その場所が安全かどうか調べる技術を開発することです。日本は地殻変動が活発な場所ですから、地震や火山、隆起や侵食などを把握することは大切なポイントになります。

研究には地形や地質以外にも、植物、気候、水のことなど幅広い分野の知識が必要です。そのため多種多様な研究者たちとの交流を大事に協力し合い、研究成果を出していけるといいですね。自分の研究を実学として社会に役立てるのが最終的な課題ですし、地殻変動が活発な日本での地層処分技術に関する研究の成果は、世界各地の同じような地殻変動が活発な地域で地層処分を行う場合でも参考になるはず。その先陣を切るような研究をしていきたいと思っています。



**地質環境の長期安定性研究** 日本列島は太平洋を取り囲む地殻変動の活発な地域に位置しており、地震や火山活動が数多く起こっています。これらの自然現象の長期的な変化を予測し、その影響を評価するために必要となる調査技術の整備を進めています。

## 「ふげん」、原子炉廃止措置研究開発センターへ

2月12日、福井県敦賀市にある新型転換炉ふげん発電所は、廃止措置計画および原子炉施設保安規定変更等の認可を得て、「原子炉廃止措置研究開発センター」(通称:「ふげん」)に改組し、原子炉廃止措置の研究開発を進めることとなりました。

翌13日には、岡崎理事長をはじめ協力会社を含む役職員ら約140名が参加して、新しい看板の除幕式を行いました。

今後は、原子力発電所における廃止措置事業の先駆的役割を果たすべく安全を最優先に取り組み、透明性の確保を図りながら、廃止措置研究や高経年化研究などを通じて、福井県のエネルギー研究開発拠点化計画にも積極的に貢献してまいります。



【原子炉廃止措置研究開発センター】正門前看板の除幕式  
(銘板の題字は殿塚前理事長による)

## イーター機構および欧州から委託を受け試験用超伝導コイルを据付

1月24日、イーター計画推進の一環として、欧州原子力共同体が製作した試験用超伝導コイルを那珂核融合研究所が有する超伝導コイル試験装置へ据付ける作業を行いました。

この試験用超伝導コイルは外径が1.6メートル、重量が6トンで、「PF インサート・コイル」と呼ばれ、イーター超伝導コイル・システムを構成するポロイダル磁場コイル(PF コイル)で使用される超伝導導体の性能試験を目的に製作されました。PF インサート・コイルの試験は、イーター機構がポロイダル磁場コイル用導体の技術仕様を確定し、欧州が調達を開始するために非常に重要なものです。原子力機構は、大型超伝導コイルの試験に関して世界最高レベルの技術と豊富な実績、高性能な試験装置を有することから、イーター機構および欧州から委託を受けてこの試験を実施することになりました。PF インサート・コイルは昨年9月に欧州から那珂研に搬入され、その後、原子力機構による受入検査が完了し、今回試験装置への据付が行われました。PF インサート・コイルの試験は6月に開始予定です。



PFインサート・コイルを超伝導コイル試験装置へ組み込む様子

## サイエンスカフェ in リコッティ(テーマ:「J-PARC」)を開催!

1月26日、テクノ交流館リコッティ(茨城県東海村)では、「サイエンスカフェ in リコッティ(第5回)」を開催しました。今回はJ-PARCセンター 運営支援セクションリーダー 鈴木 國弘氏を講師に、「美肌の秘訣から宇宙創造まで明らかに!」~原子の世界を探るJ-PARC~をテーマとして実施しました。

今回は38名の参加があり、世界最先端の研究施設「J-PARC」について大変和やかな雰囲気であり、様々な質問も飛び交いました。また最後にアンケートを実施し「こうしたお話を特に地元である東海村の人たちにもっと聞いてもらい、自分たちの村、県、国を誇りに思ってもらえたら…」と感じました。」等、貴重なご意見を頂戴しました。

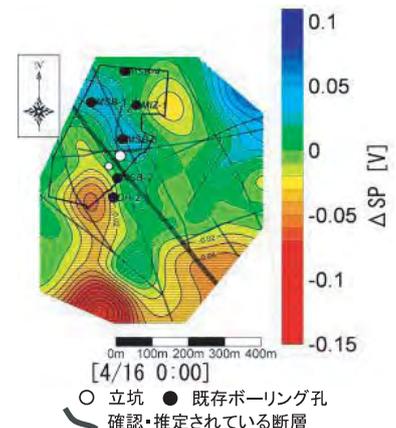
今後も地域住民の方々に原子力機構の研究開発を身近に感じていただけるよう情報発信に努めていきたいと思っております。



サイエンスカフェの様子

## 瑞浪超深地層研究所における自然電位法による地下水流動モニタリング

東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所では、高レベル放射性廃棄物の地層処分にあたって重要な調査・評価項目である地下水流動に影響を及ぼす断層や割れ目帯等について、これらを把握し可視化する技術を開発しています。その一つとして、立坑からの排水に伴う地下水の流動に起因すると考えられる弱い電気(自然電位)の変化を計測することにより、地下水が流れている方向や範囲を推定する自然電位法という調査を実施しています。これまでの調査の結果、2つの立坑の間付近をおおよその境として、その北東側と南西側にそれぞれ正と負の顕著な電位差( $\Delta$ SP: 地下水の流動が比較的安定していると判断される日時の電圧)が確認されました。しかも、この電位差の分布はこれまでの調査により確認、推定されている地下水流動を規制している断層の分布と整合的であることから、自然電位法によるモニタリングが地下水流動に影響を及ぼす断層等の把握に有効であるとの結果が得られています。今後は、より長期間のモニタリングを行い、データの蓄積を通じた技術の高度化を図っていく予定です。



図説明: 自然電位差( $\Delta$ SP)の分布および研究所周辺において確認・推定されている断層分布の比較(平成18年2月末から4月中旬までの計測データ)



●原子力機構の共用施設●

# 光量子科学研究施設

関西光科学研究所（木津）



## < 概要 >

超高ピーク出力、極短パルス、短波長(X線)、波長可変など、  
先端的な性能を有するレーザー群

## < 用途 >

先端的レーザーの技術開発と科学、医療、産業等への応用

## 共用施設に関する問い合わせおよび申込み先

原子力機構 産学連携推進部 施設利用課  
TEL 029-282-6260

ホームページ [http://www.jaea.go.jp/03/3\\_3.shtml](http://www.jaea.go.jp/03/3_3.shtml)



独立行政法人

**日本原子力研究開発機構**

広報部 広報課

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番49

TEL 029-282-1122 (代表)

JAEAホームページ <http://www.jaea.go.jp>



JAEAニュースは古紙配合率100%の再生紙と  
アメリカ大豆協会認定の大豆油インクを使用しています。