

JAEAニュース

日本原子力研究開発機構

CONTENTS

R&D研究最前線

- 自由電子レーザーで応力腐食割れを防止する
- 燃料電池用高分子電解質膜の開発

テクニカルインフォメーション

- ペレット微小領域の高精度密度測定を目指して
- 中性子- γ 線非弁別式臨界検出器の開発

TOPICS

- 大洗国際シンポジウム開催
- 平成18年度研修のご案内
- 日本原燃(株)社員研修・訓練を開始
- 実用化共同研究開発の募集について
- 原子力機構よりお知らせ

第4号
2006-2



量子ビーム応用研究部門
先進光源開発研究ユニット
ユニット長

峰原英介研究主幹

自由電子レーザーで 応力腐食割れを防止する

原子炉の炉内構造物には、応力腐食割れ（SCC）が発生し、その影響について現在問題となっています。これまでもさまざまなSCC発生の予防方法が提案・実行されてきていますが、SCCの発生を完全に抑える方法は完成されていません。

原子力機構では、独自に改良を加えた超伝導エネルギー回収型リニアックからの、フェムト秒（ 10^{-15} 秒）領域の自由電子レーザーを利用することで、炉内構造物の材料特性を劣化させることなく、SCCの発生を防止する研究を進めています。

SCCとはどのようなものでしょうか。

応力腐食割れ（SCC）とは、引張応力を受け、かつ材料変性などにより割れ感受性を得た材料が、腐食環境下で、引張強さよりはるかに低い応力で破壊する現象です。

一般にSCCが発生するためには、応力・材料・環境の3つの条件が重なる必要があります。

応力的な要因には、溶接や冷間加工によって必然的に生じる引張残留応力があります。材料の要因には、不純物などによる材料性質の不均性や材料結晶の変形、転移などによるものです。さらに、冷間加工等を行うことから材料表面に熱的冶金からの変性が生じ、硬くなり、割れ感受性が発生します。これを表面硬化層といい、やはりSCCの要因となります。環境要因には、材料表面への酸素や腐食性の強い塩素などの影響などが挙げられます。

これまでどんな防止方法がありましたか。

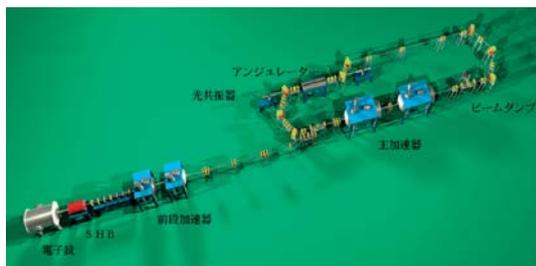
これまで、SCCを予防するためには、上記の3つの要因のそれぞれからのアプローチがありました。たとえば、引張残留応力の緩和を目的としたピーニング（金槌で打つ意味、様々な方法で圧縮応力を与え、引張残留応力を緩和する方法）する方法がありますが、長期間効果が持続しないなどの問題があります。SCC感受性の低い材料の開発もコスト的な問題もあります。また、冷却水へ水素注入による酸素濃度の低減などの腐食環境の改善も水素が復水器で排出されるため、連続して水素注入する必要があり、完全な防止効果は望めません。このように、どの対策も完全にSCCを防止することはできていませんでした。

また、レーザーを使用したSCC防止方法としては、レーザーピーニングが知られています。これは、レーザーを使用して水中の材料表面でプラズマを発生させ、その衝撃波により、材料に圧縮応力を与えるものです。しかしこの方法は、長期間効果が持続しない場合、プラズマが材料を溶かしてしまう場合や材料に熱影響を与えてしまう場合などがあります。

他のレーザーと比較し、自由電子レーザーの特長はなんでしょう。

自由電子レーザーは、他のレーザーと比較し、高出力高効率、波長可変、極短パルスといった特長があります。

原子力機構が開発した、超伝導エネルギー回収型リニアック

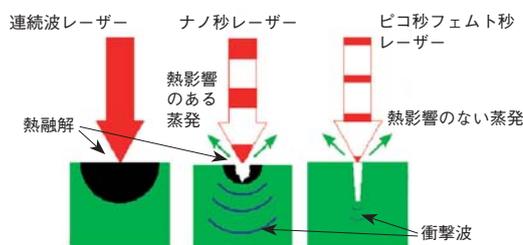


(図-1) 原子力機構が開発した、超伝導エネルギー回収型リニアック自由電子レーザー装置

ク自由電子レーザーは、高平均出kW級フェムト秒遠赤外パルスを世界で唯一実現することができます。(図-1)

自由電子レーザーを用いたSCC予防法はどのようなものでしょう。

自由電子レーザーを用いたSCC防止法は冷間加工などで生じた材料表面の割れ感受性と引張残留応力が集中する表面硬化層を、レーザーを照射することによって、材料から取り除いてしまうというものです。(図-2)



(図-2) 連続波レーザー、ナノ秒レーザーと比較したピコ秒フェムト秒レーザーによる熱影響のない蒸発

ピコ秒（ 10^{-12} 秒）からフェムト秒（ 10^{-15} 秒）という非常に短いパルスの時間幅で照射するため、熱が材料に伝わる時間より、熱蒸発する時間がはやく、SCCの発生原因となる引張残留応力と割れ感受性が存在する表面硬化層を、周囲に熱影響を与えることなく、除去することが可能になりました。

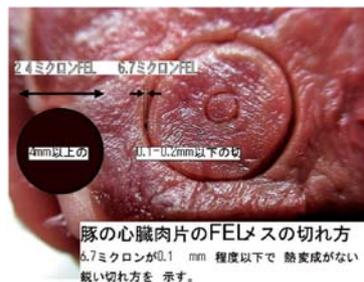
JISの応力腐食割れ試験において、自由電子レーザーなどのフェムト秒レーザーで照射した金属片と、照射した金属片を比較した場合、照射済み試験片は、SCCが認められませんが、照射していないものは、 1 cm^2 あたり約10万個のSCCが認められました。

今後の展望をお聞かせください。

これまで、小さな試験片を用いた確認を行ってきました。今後は、さらに大きな実際の原子炉部品を用いての確認がおこなっていきます。また、自由電子レーザーを、より安定して、高い出力を得られるように改良していき、応用範囲を銅合金の船舶構造材や航空機のアルミニウム合金製降着装置などにも広めていきたいです。

さらに、熱影響がないことから医療手段としても非常に有望と考えています。ブタの組織を使った予備試験では、切断面付近の組織細胞に影響を与えることなく、切断が可能なことを確認しています。(図-3)

このように金属加工のほかにも、さまざまな応用分野があると期待しています。



(図-3) ブタの組織を使った予備試験

燃料電池用高分子電解質膜の開発 —高性能化で環境・産業分野に貢献—



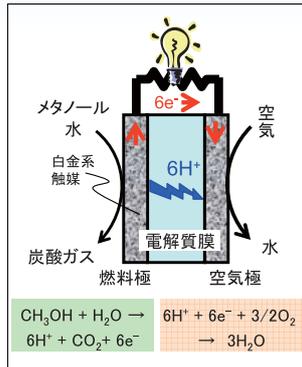
量子ビーム応用研究部門
高導電性高分子膜材料研究グループ

陳進華リサーチフェロー
浅野雅春副主任研究員
吉田勝研究主席（左から）

地球環境問題や石油資源の枯渇問題を解決するためのひとつとして、燃料電池への期待が高まっています。原子力機構では、燃料電池の心臓部である高分子電解質膜の開発を、世界に先駆けて放射線架橋と放射線グラフトを組み合わせる手法などを用いて進めています。

電解質膜はどのような働きをするのですか。

水の電気分解では水を分解させると酸素と水素が発生します。つまり、水に電気エネルギーを与えて、水素と酸素を得たことになりませんが、逆に水素と酸素を電気化学的に反応させると水が生成し、同時に電気を取り出すことができます。



(図-1) メタノール燃料電池の作動原理

例えば、メタノールを燃料とした燃料電池の基本的な仕組みは、電解質膜をはさんで一対の電極と、それらを結ぶ電線（外路回線）からなります。一方の電極には燃料を供給し、他方には酸素を供給します。つまり、電池の心臓部は電解質膜です。この膜は、イオン（H⁺）を伝導する本来の性質と、燃料と酸素が混ざらないようにする隔膜の役割を担っています。電池性能を上げるためには、高いイオン導電性と燃料に対する優れた安定性を持つ電解質膜の開発が必要になっています。（図-1）

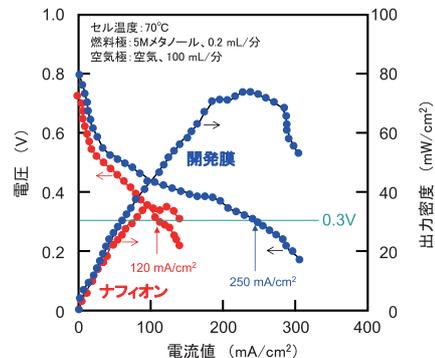
従来の電解質膜はどのような問題があるのでしょうか。

代表的な電解質膜は、デュポン製のナフィオン、旭硝子㈱製のフレミオン、旭化成㈱製のアシプレックスなどがありますが、これらはすべて、疎水性のポリテトラフルオロエチレン主鎖骨格と、その先に親水性のスルホン酸基が固定された側鎖から構成されています。これらの電解質膜は、鎖中に水素を全く含まない全フッ素系高分子のため、熱・化学的安定性に極めて優れており、この特長が電解質膜の主流となっている理由です。しかし、イオン導電に不可欠な水、あるいは燃料であるメタノール水溶液に接触すると、架橋構造を持たないこれらの電解質膜は膨潤し、電池特性の低下を引き起こすことが知られています。また、製造プロセスの複雑さから、コストは5~10万円/㎡と依然として高く、低コスト化も膜開発の課題の一つになっています。

問題を解決するためにどのような工夫を行ったのですか。

メタノール燃料による膨潤の根源が全フッ素構造からなる主鎖骨格に架橋構造を持たないことにありと考へ、鎖間に放射線架橋、すなわち網目構造を付与することで、メタノール耐性を向上できるのではないかと発想に至りました。主鎖の一部に水素を含む部分フッ素系高分子は放射線照射で容易に架橋することが知られています。一方、イオン導電性、耐久性などの特性を向上させるためには、モノマーなどの選択と、その組合せが重要になってきます。試行錯誤の実験を

重ねた結果、多くのモノマーの中からスルホン酸基保持可能なモノマーとして2成分を選択し、さらに多官能性モノマーとして2成分を組み合わせ放射線グラフト重合後、放射線多重架橋構造を付与し、次いで、スルホン化して得た電解質膜によりイオン導電度がナフィオンの2倍、30%のメタノール水溶液中において、透過を1/10に抑制することに成功しました。この電解質膜を電池セルに組み込んだ発電試験の結果、電流-電圧特性から求めた最大出力密度はナフィオンの約2.2倍に相当することを明らかにしました。（図-2）



(図-2) 電池作動試験の結果の一例

環境・産業分野にどのように貢献するのですか。

燃料電池のエネルギーシステムでは、水素と酸素を電気化学反応させて発電し、水を排出します。水素も酸素も自然界にたくさん存在し、排出される水はもちろん環境を破壊しません。現在、大気汚染や地球温暖化の原因となっている様々な物質は、発電所や工場、自動車などから多く排出されますが、そこで用いられているボイラーや内燃機関と置き換えて利用することが可能なのです。また、燃料電池は水素を燃料としており、その水素は様々な化合物から得ることができ、資源枯渇が予想されるエネルギー問題の解決策として期待でき、さらには、経済波及効果にも期待が掛かっています。

今後の展開をお聞かせください。

これまで、メタノールを燃料とした携帯電話やノートパソコン用の電源として燃料電池に組み込むための高分子電解質膜の開発を進め、高い性能を持つ膜を合成することに成功しました。今後は、高分子電解質膜の高温、低湿度下での高導電性や耐久性など高い要求をクリアすることが重要であると考えており、その手段の一つとして、ソル・ゲル反応を利用した有機・無機ハイブリット型電解質膜の開発などに着手したところです。燃料電池への期待が環境問題を契機として高まってきた最近では、日常生活への利用が実現することで、真の問題解決や経済波及効果が見込めると考えています。

テクニカルインフォメーション



東海研究開発センター
原子力科学研究所
ホット試験施設管理部
ホット試験技術課
小野澤 淳

ペレット微小領域の高精度密度測定を目指して

照射済燃料ペレットは、照射が進むにつれて径方向に密度分布を持つことが知られています。原子力機構では、これを詳細に評価するためには、従来の密度測定よりも局所的な測定が必要となるため、微小な放射性試料の密度を、遠隔操作で高精度に測定可能な装置の開発を行いました。

高燃焼度燃料に発生するスエリング（体積膨張）は、その程度が増大するとペレット熱伝導度の低下や被覆管の破損をまねく可能性があるため、燃料の健全性を評価する上で重要なパラメーターの一つです。スエリングの程度は、内部の燃焼度等の違いにより分布が生じることが知られており、このような微細領域におけるスエリング挙動を調査するためには、ペレットから採取した微小試料（数mg～数十mg）の密度を正確に測定する必要があります。燃料試験施設に既設の浸漬密度測定装置で測定が難しかった微小試料を、遠隔操作によって高精度かつ容易に測定可能なワンスルー型の浸漬密度測定装置の開発を行いました。

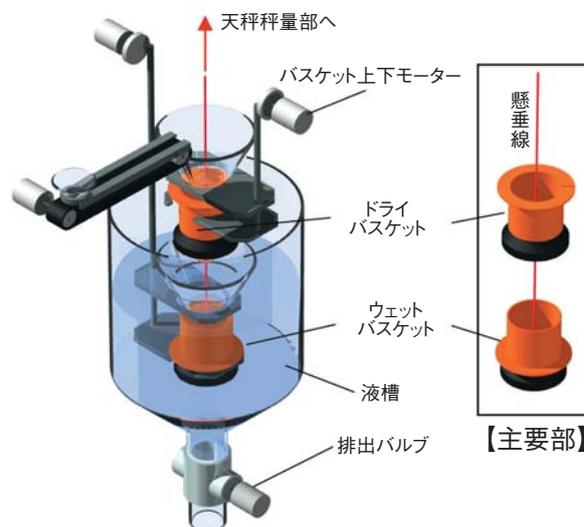
浸漬密度測定装置は、空気中と浸漬液中のそれぞれの試料重量を測定し、アルキメデスの原理を使って浮力より試料の体積を求め、試料密度を算出する装置です。既設の装置では、カゴに試料を入れて空気中、浸漬液中の重量差から密度を求めています。微小試料のようにカゴ重量（または浮力）に対して試料の重量（または浮力）が小さい場合、測定すべき試料重量がカゴの影響を受けてしまい、測定精度を維持することが困難となっていました。さらに、空気中・浸漬液中の測定に共用のカゴを遠隔操作にて取り扱うため、異物の付着やカゴの変形等が測定の再現性を大きく損なう原因となっていました。

これらの問題点を解決するためワンスルー型密度測定装置には、空気中、浸漬液中測定用にそれぞれ個別のバスケットを設け、試料がこれら2つのバスケットを自動的に通過する事で、密度測定が可能な機構としました。2つのバスケットは常時天秤の懸垂線上に吊り下がっており、測定前に両バスケットの重量を差し引いて、カゴの重量及び浮力の影響

を取り除き、試料のみを対象とした測定が行なえることに加え、カゴ重量の測定そのものが不要なためカゴ重量測定の際の誤差要因を排除し、微小な試料において測定精度を維持する事を可能としました。これら2つのバスケットは、試料投入後から測定終了までを全自動で操作されるため、遠隔操作にて容易に測定を行なえます。

試料の形状、重量、密度、気孔率の異なった数種類の金属及びセラミック標準試料を用いた特性試験を行なった結果、試料条件の影響を受けることがほとんど無く、最も小さい径3mm×厚さ1mm（約15mg）の標準試料においても密度測定精度1.0%以内を達成しました。

今後は、ホットセル内に設置後、照射済燃料ペレットの詳細な密度測定に適用し、本格的な照射後試験装置としての利用を目指したいと思います。



ワンスルー型密度測定装置・主要部概略図



東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所
放射線管理部 線量計測課
吉田 忠義 技術員

中性子- γ 線 非弁別式臨界検出器の開発

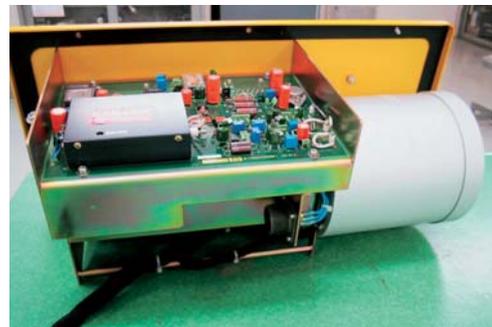
原子力機構東海研究開発センター核燃料サイクル工学研究所の再処理施設および一部の核燃料物質使用施設には、万が一の臨界事故に備え、臨界警報装置を設置しています。この臨界警報装置には、 γ 線を検出する検出器が主として用いられていますが、一部、遮蔽の関係上 γ 線の測定が難しい場所については、中性子を検出する検出器を用いています。そのため、2種類の検出器系を同時に取り扱う必要があります。保守等において煩雑さを伴いました。そこで1種類の検出器だけで、 γ 線に加えて中性子の検出も可能な臨界検出器を新たに開発しました。

従来から使用している γ 線検出器には、プラスチックシンチレータ（PS）が用いられており、中性子にほとんど感度を持たず、主として γ 線を測定します。このPS部分を、熱中性子-捕獲 γ 線コンバータであるカドミウム、さらにその周囲を厚さ5cmのポリエチレン減速材で覆うことによって、検出器の外部から入射する γ 線だけでなく、Cd (n, γ) 反応を利用して間接的に中性子も検出できる検出器を試作しました。PS周囲の支持体および筐体以外、従来の測定回路等に全く変更を加えていないため、現在までの使用実績から得られたノウハウや信頼性をそのまま承継することができます。なお、減速材の厚さ等は、臨界検出器の設置場所における事故時の中性子スペクトルを考慮しつつ、 γ 線と中性子に対する吸収線量レスポンスが同等となるようモンテ

カルロ計算コードMCNPによる計算から決定しました。

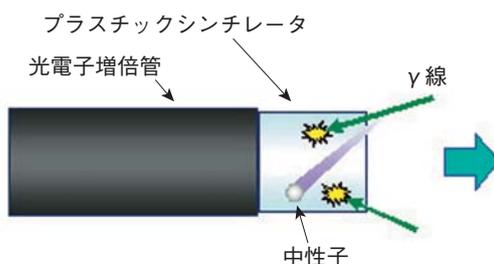
γ 線および中性子に対する吸収線量レスポンスは、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co γ 線校正場及び ^{252}Cf 減速中性子校正場による照射試験で確認しました。その結果、実験値は、MCNPによる設計段階での予想レスポンスをほぼ再現しました。したがって、本検出器の設置区域の中性子スペクトルに対して、 γ 線に対するレスポンスと同程度の中性子レスポンスが期待されます。今後、原子炉等による照射を行い、その性能を実証していく予定です。

この臨界検出器は（株）東芝と共同開発を行い特許出願中（特願2005-233100）で、今後の臨界警報装置更新の際の有力な候補として、導入を検討しています。



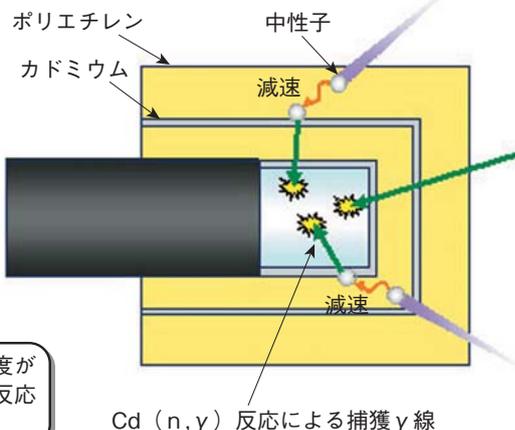
検出器部分の外観

従来の γ 線検出器



プラスチックシンチレータは、中性子に対する感度が極めて低いため、減速した中性子をカドミウムと反応させ、 γ 線に変換して検出感度を向上させる。

今回開発した中性子- γ 線非弁別式検出器



中性子の検出原理の概念図

核不拡散と平和利用に関する 大洗国際シンポジウム開催

2月7日、原子力機構核不拡散科学技術センターは、大洗研究開発センターにおいて「核不拡散と平和利用に関する大洗国際シンポジウム」を開催し国内外より約160名の参加をいただきました。前原子力委員長代理遠藤哲也氏による「ゆらぐ核不拡散体制と日本の対応」と題した特別講演では、前日に米国が発表した新たな原子力政策である「国際原子力エネルギーパートナーシップ（GNEP）」にも言及がなされ、皆、熱心に耳を傾けていました。また、核不拡散科学技術センターから政策研究として取り組んでいる課題についての状況報告がなされました。日米韓のパネリストによるディスカッション「原子力活動の透明性と技術」では、遠隔監視技術等を用いて、特にアジアの原子力利用の透明性向上と信頼性醸成のため、

各国が協力を継続、拡大していくことの重要性が述べられました。本シンポジウムの詳細についてはホームページにて紹介いたします。

<http://www.jaea.go.jp/04/np>



原子力機構主催 平成18年度研修のご案内

原子力機構原子力研修センターが平成18年度に実施する研修コースについてご案内します。

当センターでは「R | 放射能技術者の養成」、
「原子力エネルギー技術者の養成」など、幅広

く原子力関係の人材養成のための研修を行っており、皆様のスキルアップ、人材養成のサポートをさせていただきたいと考えています。

◆開催スケジュール

コース名	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
R 放射線技術者の養成				6/26~7/14								
					8/24-9/12							
								11/13-12/8				
									第33回 1/9-10	第34回 1/22-23		
	第144回 4/10-14								第147回 12/11-15	第149回 1/29-2/2	第151回 3/12-16	
第144~151回 第1種放射線取扱主任者講習	第145回 4/24-28							第146回 11/27-12/1	第148回 1/15-19	第150回 2/26-3/2		
原子力エネルギー技術者の養成				第65回 7/3-9/26〔前期〕								
		第55回/上期 6/5-6/9	第56回/上期 6/19-23					第55回/下期 11/13-17	第56回/下期 11/27-12/1			
					7/18-28のうち3日間							

◆お問い合わせ先 原子力機構 原子力研修センター

TEL : 029-282-5667 <http://www3.tokai.jaea.go.jp/nutec>

東海再処理施設で日本原燃(株)社員の研修・訓練を開始

原子力機構と日本原燃(株)との再処理技術協力の一貫として、東海再処理施設における日本原燃(株)社員の研修を1月10日から開始しました。

本研修・訓練は、本年6月末までの予定で行われ、「遠隔操作」、「グローブボックス」、「機械保守」、「計装保守」、「放射線管理」の研修・訓練コースに分かれて、総勢61名の日本原燃(株)技術者が、実際の設備を用いた保守作業やグローブボッ

クス作業等を行い、安全操作技術の研修・訓練を実施するものです。

原子力機構は、日本原燃(株)が青森県六ヶ所村に建設を進めている六ヶ所再処理工場へ技術協力・支援するため、「日本原燃(株)技術者の研修・訓練」の他、「原子力機構技術者の派遣」、「原子力機構が保有する技術情報の提供」、「技術コンサルティング」なども行っています。



排風機の点検作業



グローブボックス作業前の点検作業



防護具の着脱訓練作業

成果普及を目指した実用化共同研究開発の募集について —平成18年度成果展開事業—

原子力機構では、研究開発成果を社会に還元することを目指して、平成18年度の成果展開事業の募集を行います。

1. 募集期間 3月31日(金)まで

2. 事業の内容

- ①採用されたテーマについて、企業と原子力機構が「実用化共同研究開発」を実施することにより、新製品を開発します。
- ②開発期間は、原則として1年以内。
- ③原子力機構は、特許等の技術支援とともに、総開発費の50%以下、500万円以下を支出します。

3. 特許情報について

原子力機構では、現在約1,000件の国内特許・実

用新案(HPで見ることができます)を保有しています。これらの中には電気、機械、化学、材料等、原子力に直接関係のない産業にも適用できるものがたくさんあります。

4. 問合せ先

原子力機構 産学連携推進部 技術移転課

TEL: 029-284-3415 FAX: 029-284-3679

特許情報データベース:

http://www.jaea.go.jp/03/3_3.shtml

募集案内HPアドレス:

<http://www3.tokai-sc.jaea.go.jp/sangaku/>

原子力機構よりお知らせ

●メールマガジンの配信申し込みについて

原子力機構は、メールマガジンにより情報を配信しています。このメールマガジンでは、原子力機構の最近のプレス発表、イベント募集開催等の情報を随時お知らせいたします。配信を希望される方は、ホームページよりお申し込みください。

<http://www.jaea.go.jp/index.shtml>

●原子力機構に対する御意見、御質問、お問い合わせなど、皆様の声をお寄せ下さい。

●電話、FAXによるお問い合わせ先

原子力機構 広報部

TEL: 029-282-1122 FAX: 029-282-4934

その他、各拠点でも受け付けております。

●電子メールによるお問い合わせ先

"www-admin@jaea.go.jp"



独立行政法人

日本原子力研究開発機構

Japan Atomic Energy Agency

〒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。