

環境に貢献する分野の研究開発成果

高温ガス炉と水素製造技術の研究開発

<http://www.jaea.go.jp/O4/nsed/naht/index.html>

● 全体計画

高温ガス炉は、約 950℃の高温熱を供給することができ、水の熱化学分解による水素製造、ガスタービンによる高効率発電、タービンの廃熱を利用した地域暖房、海水淡水化等、需要に応じて高温から低温まで熱を高効率で利用する多様なシステムを構築することができます。このため、これまで発電に限られていた原子力を多様な用途に拡大でき、化石資源の代替として二酸化炭素の排出削減に大きく貢献することができます。

原子力機構では、高温ガス炉の特長を生かした水素／電気併産型高温ガス炉等の商用炉の実現に向け、それに必要な技術基盤を確立するために、高温工学試験研究炉（HTTR）を活用した高温ガス炉に係わる原子炉技術の研究開発、無尽蔵の水を原料にして二酸化炭素を排出せずに水素を製造する先端的な熱化学法 IS プロセス等の熱利用技術の研究開発を行っています。

● 進捗状況

原子炉技術の研究開発においては、2004 年度に HTTR を用いて、世界で初めて 950℃の高温熱を原子炉から取り出すことに成功しています。その後、冷却材流量の部分喪失や反応度の異常事象を模擬した試験を行い、高温ガス炉の固有の安全性を実証してきました。2009 年度には、原子炉出口温度

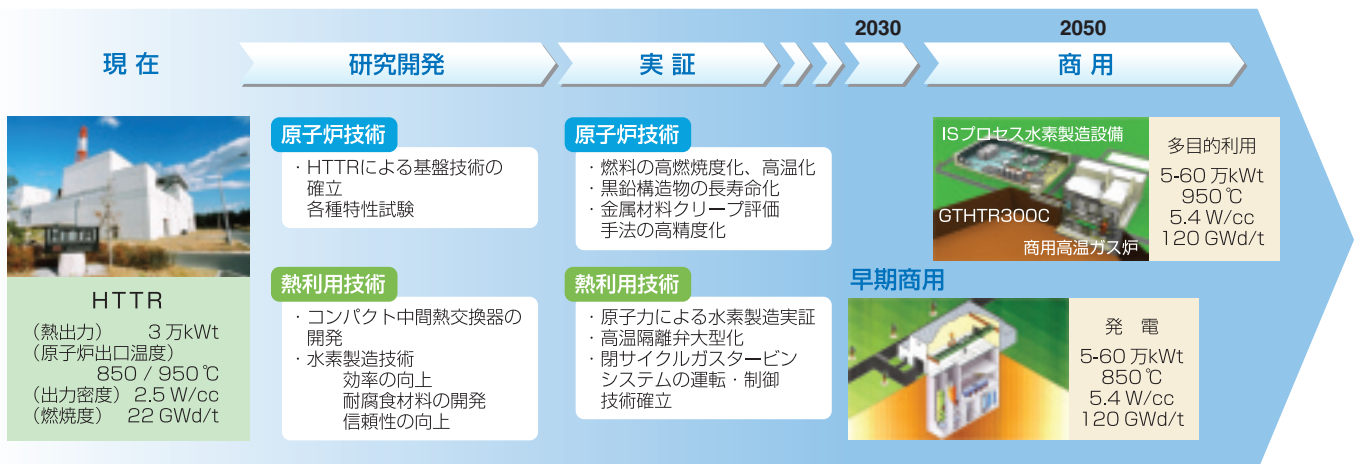
950℃で 50 日間の高温連続運転を行い、炉内構造物の健全性、燃料の性能等、実用化に必要なデータの取得を予定しています。併せて、高温ガス炉技術の一層の高度化に向けて新型高温ガス炉燃料の開発や黒鉛構造物の長寿命化の研究を進めています。

熱利用技術の研究開発においても、2004 年度に世界で初めて IS プロセスによる連続水素製造に成功し、その結果、世界的に IS プロセスの研究開発が始まりました。IS プロセスの懸案であった材料と大型化については、特に、高温硫酸環境で用いる大型反応器を耐食セラミックスで試作に成功するなど、世界最高水準の成果を上げてきています。また、高効率発電のための技術開発としてヘリウムガスタービンの要素技術開発等を行っています。

● 2008 年度の主な成果

2009 年度に実施する HTTR の 950℃高温連続運転に向けた準備を行うとともに、新型高温ガス炉燃料のための高品質な燃料粒子被覆層の製造に成功しました。熱利用技術では、量子ビーム技術による分離膜の高性能化等により IS プロセスに適用する膜分離濃縮技術を進展させ、また、原子力による水素製造の実証に向けて、IS プロセスを HTTR に接続するときに必要な安全解析のための事象選定と代表的な事象の予備解析を行いました。

高温ガス炉と熱利用技術の実用化に向けた研究開発



放射性炭素を利用して、温暖化が土壌の炭素貯留能力に及ぼす影響を予測

<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08102101/index.html>

森林総合研究所との共同研究により、アジアフลักスネットワークの観測地の一つである岩手県安比森林気象試験地で、土壌中の有機炭素に含まれる放射性炭素の割合（同位体比）から冷温帯ブナ林土壌の炭素貯留能力を推定し、地球温暖化により、現在は主要な CO₂ 放出源ではない比較的滞留時間の長い土壌有機物からの炭素消失が促進される可能性があることを明らかにしました。

土壌には、大気や地上植物の数倍に及ぶ炭素が蓄積されています。地球温暖化が微生物による土壌中の有機炭素の分解を促進させ、土壌からのより一層の CO₂ 放出と、それに伴うさらなる温暖化の加速の可能性が危惧されていますが、長期的な温度上昇に対する土壌の応答については解明されていませんでした。

本研究では、土壌中の滞留時間が数百年～数千年の有機炭素は宇宙線起源の放射性炭素の同位体比で、また、数年～百年程度のそれは 1960 年代の核実験起源の放射性炭素の同位体比で特徴づけられることに着目して土壌有機物の放射性炭素同位体比を測定した結果、冷温帯ブナ林土壌が様々な炭素貯留能力を持つ有機物の複合体であることを解明しました。さらに、各複合体の温度変化に対する応答の予測結果から、21 世紀末までの地球温暖化進行に伴い、全土壌有機炭素の約 50% を占める滞留時間が数十年～二百年程度の土壌有機物からの炭素消失が促進され、CO₂ 放出量の増大に重要な役割を果たす可能性があることを明らかにしました。このことは、土壌中での滞留時間が数十年～二百年程度の有機炭素の蓄積量を地球規模で算定すれば、将来の地球温暖化に対する土壌の応答の規模と時期をより正確に予測できることを示唆しています。



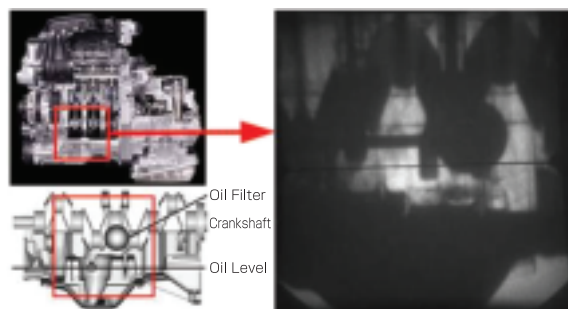
安比森林気象試験地での土壌採取

エンジン内オイルの中性子高速度可視化技術を開発

<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08111001/index.html>

原子力機構はこれまで研究開発してきた技術を産業応用して、社会に幅広く貢献する取組を行っています。その一貫として日産自動車（株）との共同研究により、自動車のエンジン内における潤滑オイルの挙動を観察できる高速度可視化技術の開発を進めています。この技術が実現すると、エンジンから排出される CO₂ を削減でき、地球環境への負荷を減らすことが期待できます。

自動車のエンジンにとって、潤滑オイルの挙動によるフリクション（摩擦）ロスを低減することは、CO₂ 排出量削減のための重要な課題となっています。これまでは高速回転するエンジン内部の潤滑オイルの複雑な動きを可視化計測、あるいはシミュレーションする技術がなかったため、フリクションロスの要因を明確にすることができませんでした。今回の共同開発に先駆けて、両者はエンジン内部の潤滑オイル挙動の高速撮影に関する技術的検討を行いました。その結果、「高速度撮像中性子ラジオグラフィ」という、軽金属製容器内部の水やオイルの挙動を中性子で透過し、スローモーションで観察・計測する高速度可視化計測・解析技術を応用することにより、エンジン内部の潤滑オイルの挙動も可視化できることを確認しました。今回の共同開発では、世界で初めて高速で回転するエンジン内部の潤滑オイル挙動解析を実現するための撮影システムと解析手法の開発を進めていきます。また、研究用原子炉 JRR-3 を活用した可視化実験を実施し、最適なオイル循環設計を可能とし、低フリクション設計の最適化による低燃費化を加速させ、CO₂ 排出量の削減を目指す方針です。



中性子ラジオグラフィで撮影した運転中のエンジン内部の様子

家庭用燃料電池に最適な高耐久性電解質膜の開発に成功

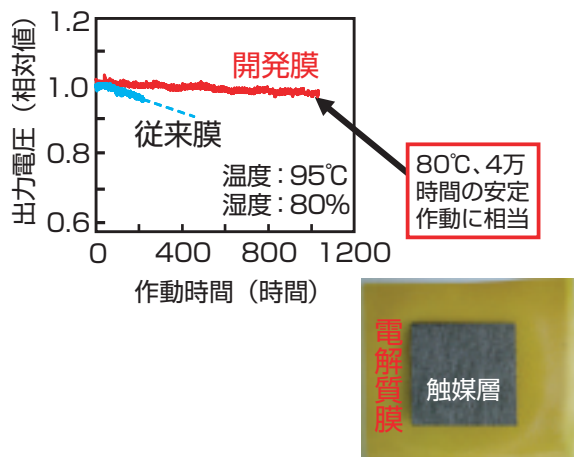
<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08091901/index.html>

電解質に高分子薄膜を使用した固体高分子型燃料電池は小型・軽量化が実現できるなど多くの利点があることから、家庭用燃料電池の本格普及に向けて精力的に研究開発が進められています。しかし、従来の高分子電解質膜は、導電性に優れるものの高温・低湿度環境では非常に脆弱であるという問題があり、家庭用燃料電池や自動車用燃料電池に適用することが困難でした。

この問題を克服するため、原子力機構では、熱グラフト重合と放射線グラフト重合を組合せた技術（熱・放射線 2 段グラフト重合技術）を開発し、耐熱性や膜強度に優れた芳香族炭化水素高分子の加工に適用することで、高温でも高い導電性と耐久性を併せ持つ電解質膜の製作に初めて成功しました。

開発した電解質膜は従来品と比較して導電性が 1.5 倍、膜強度が 2.3 倍向上しており、この電解質膜を燃料電池セルに組み込んで発電試験を実施した結果、家庭用燃料電池に求められている作動条件（80℃）で 4 万時間以上の安定運転を達成しました。この電解質膜は、低湿度条件でもほとんど劣化しないことから、昨今の環境問題から早期実用化が待たれる燃料電池自動車の開発にも貢献可能です。

今後は産業界とも密接に連携し、さらに厳しい条件下においても高い導電性と膜強度を有する高分子電解質膜の開発を進め、量産化技術の確立など実用化に向けた研究開発を推進します。



開発した電解質膜とそれを組み込んだ燃料電池セルの運転試験結果

高性能水素貯蔵材料の新しい合成方法

<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08102001/index.html>

水素はエネルギーを取り出す際に有害ガスを出さないクリーンなエネルギー源です。水素と酸素の化学反応から電気を取り出す燃料電池自動車の普及が進むと、大気汚染や地球温暖化の抑制につながると期待されています。燃料電池自動車は、(1) エネルギー効率が高く省エネルギー効果が期待される、(2) 排出される二酸化炭素の量がガソリン車に比べて大幅に少ない、という特長があります。

自動車の燃料として水素を用いる場合、軽量でコンパクトに水素を貯蔵する技術が必要です。多くの手法が自動車の水素燃料タンクの候補として研究・開発されており、金属と水素の化合物を貯蔵材料として利用する試みも進められています。アルミニウム水素化合物は非常に高性能な水素貯蔵材料として注目されていますが、これまで複雑な化学反応を経ないと作ることができませんでした。

原子力機構では、アルミニウムと水素を直接反応させるという新しい方法で、アルミニウム水素化合物を合成することに成功しました。具体的には、アルミニウムと水素を 9 万気圧、600℃まで加圧及び加熱すると直接反応が起こることを突き止め、この反応を利用してアルミニウム水素化合物を生成しました。この方法は約 10 万気圧という非常に高い圧力下での反応なので、すぐに実用技術につながるものではありませんが、反応の様子を SPring-8 の非常に強い X 線（放射光）を利用して詳細に調べること、実用を目指したアルミニウム水素化合物合成技術の開発に役立てることが出来ます。また、この方法で合成した高純度で良質なアルミニウム水素化合物を用いることで、水素がどのようにアルミニウム中に貯蔵されているのかも調べることが出来ます。このような研究は、アルミニウム水素化合物の実用を目指す合成研究だけでなく、新しい高性能水素貯蔵材料の探索にもつながると期待されています。



新しい方法で合成されたアルミニウム水素化合物

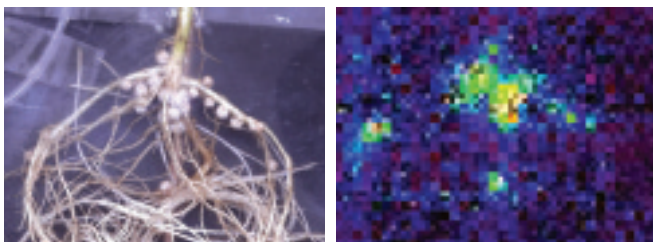
植物ポジトロンイメージング技術により共生的窒素固定の観測に成功

<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p09031701/index.html>

食糧生産のためには作物への窒素分の供給が必要です。供給源の代表として、化学窒素肥料の工業的生産の他に、マメ科の植物が「根粒」という根についたコブのような器官で行う「共生的窒素固定」が挙げられます。これは根粒菌という地中の微生物を根に取り込み、その働きを借りて空気中の窒素を栄養に変えるというものです。化学窒素肥料は食糧生産に不可欠ですが、一方ではその生産に莫大な化石燃料を消費し、農地への過剰な施用によって水質汚染が生じるなどの問題も生じています。なるべく環境に負荷をかけない持続的な食糧生産のためには、化学窒素肥料を無駄なく利用する方法を確立するとともに、共生的窒素固定の積極的な利用が望まれます。

原子力機構は、放射性トレーサを用いて生きた植物体内の様々な物質の動きを観測する「植物ポジトロンイメージング技術」の開発を進めてきました。今回、窒素の動きを観測するため放射性窒素ガスの新たな製造方法を開発することで、ダイズの根粒が空気中の窒素を栄養として取り込む様子を、自然な状態のまま観測することに世界で初めて成功しました。さらに、得られた画像データを基にダイズ根粒の窒素固定の能力を測ることも成功しました。

本技術により、共生的窒素固定の仕組みの解明が飛躍的に進むことが期待できます。共生的窒素固定を最大限に利用しつつ化学窒素肥料を効果的に施用する栽培方法が確立されれば、環境負荷を軽減した持続的な食糧生産に貢献できるだけでなく、我が国の主要な作物の一つであるダイズの生産量を倍増させることも可能と考えられます。

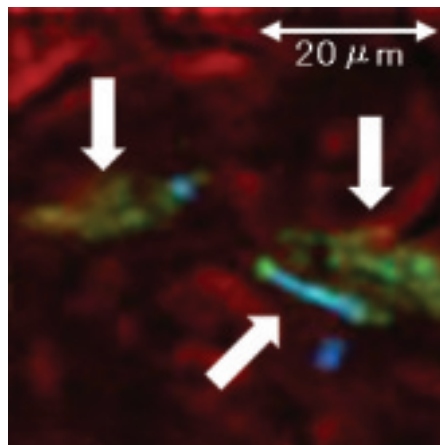


左：ダイズの根に着生した多数の根粒の写真
右：根粒に窒素が取り込まれた様子（左と同視野）

大気マイクロPIXEによって肺組織中のアスベストの元素分布画像化に成功

<http://www.jaea.go.jp/02/press2008/p08111101/index.html>

群馬大学と共同で大気マイクロPIXE分析技術を応用して、気管支鏡などで採取できる微量な数mgの肺組織の中に存在するアスベストを分析する技術を開発しました。アスベストは、肺線維症や肺がんの原因物質ですが、発病までの潜伏期間が数十年と長いことから、「静かな時限爆弾」とも言われています。このため、患者さんの吸引したアスベストの種類や量、肺組織への取り込まれ方などを明らかにすることが、病気の診断や治療に不可欠ですが、これまでは外科的な手術により約5gの肺組織を採取しなければ調べることができませんでした。そこで、大気マイクロPIXEという、微小な生体試料でもその中の元素分布とその量を調べることができる分析技術を使い、肺組織内のアスベストの可視化を試みた結果、アスベストの主成分であるケイ素、マグネシウム、鉄のそれぞれの元素分布から組織内のアスベスト繊維の位置や形態を画像化することに成功しました（下図）。さらにこの方法では、各元素の比率から、アスベストの種類を同定でき、アスベストが原因となる病気の診断がより容易になります。これと並行して、同じ肺の組織を免疫組織染色法で調べる研究も進めており、アスベストの主成分であるケイ素の分布と、肺線維症の発病に関係するタンパク質の分布との相関を明らかにすることによる、発病機構の解明も期待されています。



大気マイクロPIXE分析により肺組織中にくっきりと浮かび上がったアスベスト繊維(図中の矢印)。ケイ素(青)とマグネシウム(緑)で構成され、針状であることから病原性の高い茶石綿という種類と判別できます。