

環境研究トピックス

※1 p-n 接合

p型半導体とn型半導体を接触させた界面に形成される領域。ダイオードとしての整流性、発光ダイオードとしての光放出、太陽電池としての光電変換など、半導体デバイスのさまざまな機能をもたらす源となる。

※2 p-i-n 接合

真性半導体の層を間に挟んでp-n接合を形成することにより、p-n接合の実効的な幅を拡張したものの、iは真性 (intrinsic) の略からきている。

※3 AM1.5G

太陽電池のエネルギー変換効率を求める際に用いられる、太陽光を模した標準的な光源から出る光のスペクトルの呼称。測定に用いる光のスペクトルがAM1.5Gと異なっていると、太陽電池としてのエネルギー変換効率に誤差が生じる。

※4 静電誘導型トランジスタ

半導体トランジスタの一種で、チャンネル内部の電位分布により電流を制御する動作機構を持つことから名付けられた。チャンネルを結晶内部に有することから、高い電子移動度を生かした低オン抵抗パワー素子用途に用いられる。

SITはStatic Induction Transistorの略。

※5 エピタキシャル技術

基板の結晶面にそろえて配列する結晶成長技術である。

※6 耐圧

素子がオフ状態の時に、素子に印可することの出来る最大電圧。耐圧は一般的に、ドリフト層の不純物濃度と厚さによって決定される。

※7 オン抵抗

素子がオン状態の時の素子の内部抵抗。オン抵抗が小さいほど、素子内部で発生する電力損失が少なく、パワー半導体素子としての特性が優れている。一般的に、パワー半導体素子の性能 (静特性) は耐圧とオン抵抗で表される。

高効率の有機薄膜太陽電池

世界最高レベルのエネルギー変換効率を達成

有機薄膜太陽電池は、有機ならではの特徴として、軽い、柔らかい、カラフル、低コストという特徴を持ち、従来のシリコン系太陽電池ではできない身近なもののバッテリー源としての利用が期待されています。しかし、エネルギー変換効率は1%程度からなかなか向上しないため長い間研究開発の停滞が続き、実用化のためにはエネルギー変換効率の高効率化が最大の課題でした。

高性能n型有機半導体であるフラーレン(C60)と、新幹線の塗料などに使われる汎用材料であるp型有機半導体の亜鉛フタロシアニン(ZnPc)を用い、p-n接合^{※1}界面にナノ構造層(ZnPc:C60=i層)を導入してp-i-n接合^{※2}型有機薄膜太陽電池を作製したところ、AM1.5G^{※3}の擬似太陽光照射の下で約4%(有機薄膜太陽電池としては世界最高レベル)のエネルギー変換効率を示しました。有機半導体層の全膜厚が50ナノメートル(約50分子層の厚さ)という薄い状態でも高いエネルギー変換効率の太陽電池特性が得られ、単位膜厚あたりに換算すると、無機材料も含めた全太陽電池の中でも最高の値です。



軽く、柔らかく、カラフルな有機薄膜太陽電池

超低電力損失 SiC 静電誘導型

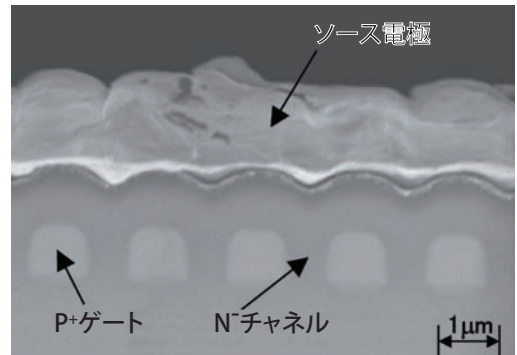
トランジスタの開発に成功

二酸化炭素排出量の1%削減に寄与

炭化ケイ素(SiC)は、シリコン(Si)と比較して耐熱性や耐電圧性に優れており、Siに代わる超低電力損失パワー素子の半導体材料として世界中で注目され研究開発が進められています。SiCを用いたパワー素子のうち、静電誘導型トランジスタ^{※4}(SiC-SIT)の性能を向上させるためのキーポイントは、チャンネル構造の微細化です。しかし、従来試みられてきた構造では微細化が困難でした。

新たな製造工程として、微細な溝構造を再現性よく形成するドライエッチング技術や微細な溝構造上へのエピタキシャル技術^{※5}を開発しました。このプロセスで作製した埋込ゲート型SiC-SITは、 $1.01\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ (耐圧^{※6}700V)のオン抵抗^{※7}を達成しました。これにより、電力損失が従来のインバータ回路で用いられているSiパワートランジスタに比べて1/12と大幅に改善される見込みです。

また、今回作製した埋込ゲート型SiC-SITが各応用分野において実用化された場合、2020年時点での日本の二酸化炭素排出量の削減効果は、1990年の日本の全二酸化炭素排出量の1%に相当すると試算されます。



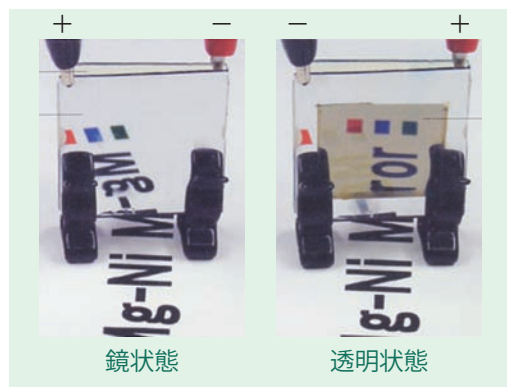
埋込ゲート型SiC-SIT素子の断面電子顕微鏡像の一例

光学特性に優れた調光ミラー薄膜材料 鏡にしたり透明にしたりできるガラスで 冷房効果アップ

調光ミラー薄膜材料とは、鏡の状態と透明な状態がスイッチングできる新しい調光材料で、これをガラスなどの透明材料にコーティングすることで、光の透過や反射を自由にコントロールすることが可能になります。このような材料が実用化できれば、建物の窓にこの調光ミラーを用いることで、外部から入ってくる太陽光を効率的に制御し、建物内部の冷房や照明にかかるエネルギーを大幅に低減できます。

産総研は、マグネシウム・ニッケル合金薄膜を用い、鏡の状態にしたり透明にしたりというスイッチングが行える新しい調光材料を開発しました。この調光ミラーは、ガスクロミック方式^{※8}やエレクトロクロミック方式^{※9}などにより鏡状態と透明状態との間を自由に变化させられます。

これまでも希土類金属薄膜を用いた調光ミラー材料はありますが、開発した材料は安価で豊富なマグネシウムとニッケルを原料に用いることから、大型ガラスへのコーティングに適しています。また、マグネシウムとニッケル合金薄膜で従来報告されている Mg_2Ni に比べて透明時における可視光透過率ははるかに優れた新しい組成の薄膜を開発しました。



エレクトロクロミック方式による変化

棄てる熱から発電 セラミックス材料で実用可能な 高温用熱電発電モジュールを実現

日本では年間に、原油換算で数億キロリットルもの一次供給エネルギーを消費していますが、その70%近くが未利用のまま廃熱として棄てられています。この廃熱エネルギーの総量は莫大であるため、これを回収し、有効利用する技術に高い関心が寄せられています。しかし、廃熱エネルギーは総量は莫大でも、個々の熱機関（たとえば自動車一台）から棄てられる熱量は少量です。熱電発電^{※10}は、このような廃熱エネルギーを効率よく安価に回収する数少ない技術の一つとして期待されています。

産総研は、空气中、800℃で作動させても全く性能劣化がないセラミックス製熱電発電モジュールを初めて開発しました。また、構成材料に毒性元素や希少元素が全く使用されていないため、経済性に優れるだけでなく、安全性でも従来よりはるかに優れています。

このモジュールをごみ焼却場や工業炉、自動車などで使用すると、大量に廃棄されている未利用熱エネルギーからの発電が可能となり、省エネルギーや地球温暖化問題の緩和に貢献できます。さらに出力密度が高いため、熱源しかない災害地での緊急電源や携帯機器用電源としても応用が可能です。



お湯を沸かしながら携帯電話を充電

※8 ガスクロミック方式
水素や酸素といったガスを用いて雰囲気制御することにより色をコントロールする方法である。

※9 エレクトロクロミック方式
電解質を用いて電気化学作用により色をコントロールする方法である。

※10 熱電発電
棒状の導体の両端に温度差をつけると、温度差に比例した電位差（電圧）が生じる。熱電発電はこの効果を利用し、温度差（熱エネルギー）から電力を得ることである。

※ 11 ISO14040
LCA の国際規格。

※ 12 茨城県神栖町
現在の茨城県神栖市

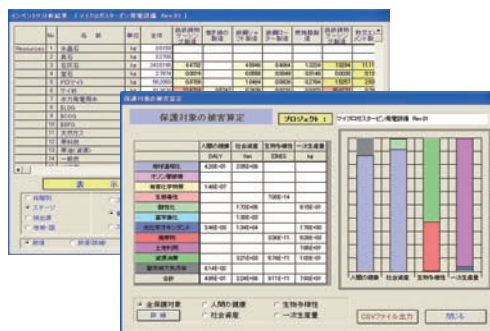
※ 13 ジフェニルアルシン酸

有毒元素のひとつであるヒ素にベンゼン環が結合した化合物であり、自然界では生成しない。汚染土壌では土壌成分の水酸化鉄や水酸化アルミニウムに強く吸着されており、極めてゆっくり雨水や地下水などに溶け出して被害を拡大する。 $(C_6H_5)_2As(O)OH$

LCA ソフトウェアの開発 AIST-LCA Ver.4

ライフサイクルアセスメント (LCA) は、製品やサービスの環境への影響を評価する手法です。対象とする製品を産み出す資源の採掘から素材の製造・生産だけでなく、製品の使用・廃棄段階まで、ライフサイクル全体を考慮し、資源消費量や排出物量を求め、それらの環境への影響を総合的に評価します。この評価方法の特徴は、製品のライフサイクルでの物やエネルギーのやりとり (連鎖) を考えることと、その結果生じる環境負荷を考えることです。

2000 年に開発した NIRE-LCA Ver.3 は、700 本を超える普及に成功しました。続いて、2004 年に開発した AIST-LCA Ver.4 は 2005 年 11 月に販売開始されました。開発したソフトウェアは、多国間貿易輸入モデルの設定や、簡易的なリサイクル効果の解析を可能にし、データベースを充実させるとともに、意思決定を支援する科学的根拠が明確な環境影響評価手法 LIME を搭載しています。さらに、ISO14040^{※11} に準拠しつつ、操作性を向上させ、分析手法の高度化に対応し、ユーザー自由度の高いソフトウェアになっています。企業、消費者などの環境調和型製品選択の支援および、教育・研究機関での環境影響評価、教育に最適なソフトウェアとして高く評価されています。



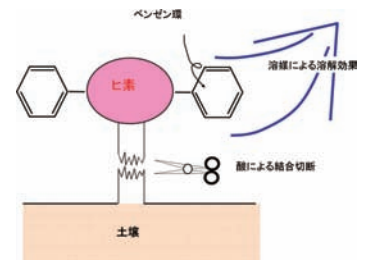
AIST-LCA Ver.4 の表示画面

有機ヒ素汚染土壌の浄化に有効な 技術を初めて開発

2003 年 3 月茨城県神栖町^{※12}においてジフェニルアルシン酸^{※13}を主成分とする有機ヒ素化合物による地下水および土壌汚染が見つかりました。こうした有機ヒ素化合物は、①毒性が強い、②地下水中に溶出しやすく、土壌に吸着されて長期間環境中に残留する、③微生物により分解されない、④加熱や化学分解を施しても、有毒な無機ヒ素化合物が土壌中に残留するなどの特徴があり、従来技術である固化・不溶化、飛散防止、封じ込めなどの対策だけでは、問題の抜本的解決にはなりません。

そこで、洗浄法による土壌浄化技術を開発するため、有機ヒ素で人為的に汚染した模擬汚染土壌と実際の汚染現場から採取された土壌試料を用いて、多数の洗浄剤による有機ヒ素抽出効果を比較検討しました。その結果、メタノールなどのアルコールにリン酸を 3～5% 混合したものを使用したところ、抽出効果が極めて高く、ヒ素に換算して 3,570mg/kg もの有機ヒ素で汚染された土壌から、そのほぼ 100% を抽出除去することができました。この洗浄剤の効果は、リン酸によって土壌と有機ヒ素との結合が切断され、有機ヒ素がアルコールに溶け込むためと考えられます。

使用済み洗浄剤からはアルコールを回収し再利用できます。一方、抽出除去された有機ヒ素は小容量のリン酸中に濃縮回収できるので、有害廃棄物の発生量を大幅に低減できます。



土壌中の有機ヒ素抽出の概念図

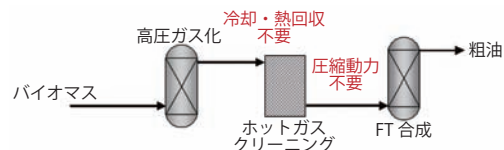
木材からディーゼル燃料—— 連続合成に成功

木質バイオマス資源の利用に期待される

バイオマス^{※14}資源は再生可能エネルギー源の1つです。特に木質バイオマスは太陽エネルギーによる炭素固定量が大きいので、未利用樹、製材残材、建築廃材など多量に存在する未利用の木質系バイオマスに対して、経済性に優れた利用技術を確立することは重要です。また、バイオマスから製造される液体燃料は、SPM（浮遊性粒子状物質）や硫酸化物の低減といった環境保全の面からも有効です。

一方、木材などのバイオマス資源は山間部などに分散して存在するために収集が難しくコスト高が課題となります。したがって、現場で利用できるような小型・可搬型の製造システムが求められています。

産総研は、木質バイオマスからディーゼル燃料を連続的に合成することに実験室規模で成功しました。小型・可搬の装置とするため、ガス化工程では、高温（温度 800～900℃）高圧（数メガパスカル）でのガス化を採用し、後段での圧縮機、圧縮動力を不要としました。ガスクリーニング工程では、従来の水を使用する湿式法に対して、活性炭を用いる高温での乾式精製法を採用し、ガス化熱の有効利用を図りました。その結果、装置がコンパクトになるとともに、熱が有効に利用されエネルギー効率がアップしました。



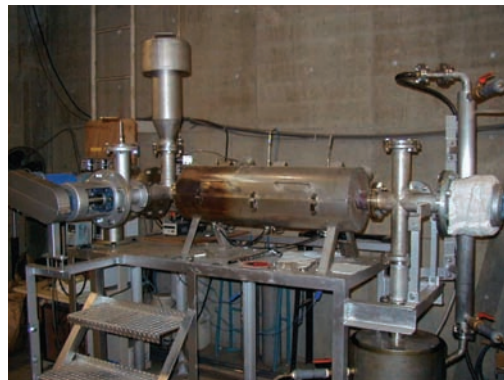
開発したディーゼル燃料製造プロセス

廃プラスチックから燃料ガスの製造 地域分散型小規模リサイクル実現のための キーテクノロジー

廃プラスチックは、熱分解により都市ガスやガソリンなどに相当する燃料を生成させることのできる隠れた資源です。しかし、年間に排出される廃プラスチック1千万トンのうち約8割が焼却や埋め立てによって処分されています。油化やガス化の処理は、国内数ヶ所に存在する日量20トン以上の大型プラントで行われているだけです。大部分の産業廃棄物系プラスチックは小規模な工場や事業所で発生し、それぞれの排出量も大きくないため、集荷の輸送コストをかけずに、排出現場で効率よく処理できる日量3トン程度の小規模なプロセスが求められていました。

開発した水平移動床方式の廃プラスチックガス化モジュール小型試験機は、廃プラスチックを熱分解する際の反応温度と時間を最適に管理することで、粘度が高く、熱伝導の低い雑多なプラスチックでも効率よく分解でき、燃料ガスを高収率で生成させることができます。

効率的な小型装置が実用化すれば、廃プラスチックを排出する事業者、廃棄物処理事業者、自治体にとって有益なリサイクル手段が確保でき、ひいては原油輸入量も削減することができます。



廃プラスチックガス化モジュール小型試験機

※14 バイオマス

森林資源や農産資源、それらの残渣物（廃棄物）などを含めた広範なもの指す。光合成により再生可能。光合成の過程で大気中の二酸化炭素を吸収固定することから、バイオマスを利用する際に排出される二酸化炭素は大気中の二酸化炭素を新たに増加させることはない。

環境研究トピックス：
ここで紹介した技術は広報誌（産総研Today）に掲載された記事やプレス発表したものなどのごく一部です。また、共同研究などの成果も含まれます。関連する論文、特許、共同研究先などの詳しい情報は、産総研公式ホームページ（http://www.aist.go.jp/index_j.html）でご覧になれます。