

産総研

2006 No.3
SAN・SO・KEN
<http://www.aist.go.jp>

クル
ル
マ
を
未
来
へ



なぜいま、 環境問題の解決が 急がれているのでしょうか？

環境問題は十八世紀の産業革命に始まったと言われています。十九世紀後半には、スモッグ（石炭の煤煙と霧が混ざったもの）がロンドンの町を覆い、呼吸器障害など健康被害を引き起こしました。二十世紀半ば

には、スモッグで一万人が死亡したと言われています。我が国でも1960年代に公害問題が発生しました。工場などから排出された有害物質が、魚を通じてそれを食べた住民に悲劇的な影響を及ぼしました。

環境問題は、「人間の活動の結果が環境に何らかの変化をもたらし、それが人間にはね返ってくる問題」ととらえることができます。快適な環境は保全されなければならず、それが「環境基本法」に明記されています。「環境の保全は、人類の存続の基盤である環境が、将来にわたって

維持されるように適切に行われなければならない」ということです。それは「現在及び将来の世代の人間が健全で恵み豊かな環境の恵沢を享受する」ためにほかなりません。

現在の環境問題に対して、私たちは二つの認識を持っています。一つは「環境を健全で恵み豊かなものとして維持することが、人間の健康で文化的な生活に欠くことのできないものである」という基本認識で、もう一つは「人間活動によって、環境が損なわれつつある」という現状認識です。

私たちが住む地球に生命が誕生したのは30億年前と言われています。人類がいつ誕生したかについてはさまざまな説がありますが、例えば700万年前にすでに猿人がいたとしても、長い生命の歴史の中ではつい最近のことでしょうか。生命活動はおそら

く地球環境を大きく変え、高等生物にとって生きやすい環境を作ったはずで、ところが近代科学技術を手にした私たち現代人は、逆に生きにくい環境に変えようとしているのかもしれない。そう考えられる根拠、そう考える人々が急速に増えているのです。

その思いは「サステナビリティ（持続可能）」という言葉に端的に表現されています。人類が未来永劫に存続することは不可能であっても、少なくとも生命の歴史において約束された程度は存続し続けるため、今の私たちが自身の手で解決しなければいけない問題、それが地球環境問題と言えるでしょう。

クルマからのサステナビリティ

現在のクルマ社会は四つの問題を抱えていると言われています。

その第一が「環境対策」です。地球温暖化・オゾン層破壊・酸性雨・大気汚染・騒音・粉塵公害・廃棄物公害など、与える影響の大きい小さいはあるにしても、地球上に現存する膨大な台数の車が関係していることは間違いありません。

全世界の四輪車の台数は2004年に8億5478万台となり、人口千人当たり134台、実に7・5人に一台まで普及しています。日本をはじめ先進諸国の新車には、さまざまな汚染防止策がとられています。何十年前の中古車が途上国などでいまなお使われていることを考えると、問題の複雑さの一端がわかるでしょう。

第二の問題は「エネルギー対策」です。石油資源は有限であり、大人口をかかえる国々の経済発展によって、使用量はどんどん増え続けています。原油の可採埋蔵量は2000年時点で40年と推定されていますが、それがどの程度正確なのか、ますますあやしくなっています。石油資源が皆無に近い我が国にとって、未来が約束されていないことは確かです。そこで、代替エネルギー技術の開発が急がれているのです。

第三の問題は道路交通対策です。特に渋滞は、移動という目的に付随するロスであって、いくら燃費のよい自動車を開発しても、その努力を台なしにしてしまいます。人と車と道

路の情報を一体化して、燃料を無駄なく使うシステムの重要性が指摘されています。道路交通の円滑化もまた、環境・エネルギー対策の一環ととらえることができます。

第四の問題は、安全対策です。日本では交通事故死を減らすべくさまざまな努力や対策がなされてきましたが、それでも毎年約7000人の人が亡くなっています。世界全体で見れば、実に年間120万人の人々が交通事故で死亡しているといわれます。運転者はもちろんのこと、同乗者や歩行者の安全を確保するための技術開発、ルールや規則の整備などを進めなければなりません。

このようにさまざまな課題を抱えるクルマですが、それによって私たち人類が利便性や幸福感を手にしてきた面は否定できません。人間の欲望や欲求を満たす道具として優れた存在であるがゆえに、これだけ多くのクルマが普及したことは間違いのないのです。

人類の幸福を追求する手段としてのクルマ。それを有効に利用していくためには、いったい何が必要なのでしょう。

この四つの課題を「サステナビリティ」という観点から整理して、そのために技術が果たせる役割、それに向かった産総研の取り組みの一端を紹介します。車にとってのエネルギー、代替燃料、サステナブルなマテリアル（材料）がそのテーマです。



燃料電池

水を電気分解すると酸素と水素ができますが、このちょうど正反対の反応を使うのが燃料電池の基本原理です。つまり、酸素と水素を反応させて電気を起こします。「電池」というより「発電機」のほうが実態に近いかもしれません。

燃料電池は現在、全世界の研究所や企業で精力的に研究開発が進められています。すでに一部では実用化試験も行われています。それだけ注目される理由とは、装置が小型でしかも高いエネルギー変換効率を実現できるテクノロジーだからです。特に、温暖化ガスであるCO₂を大幅に削減できることが重要なポイントです。

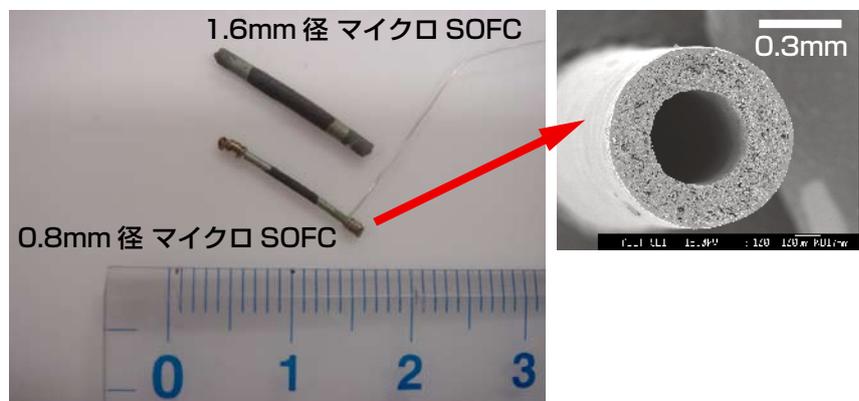
燃料電池には、スペースシャトルなどの宇宙分野で実用化されている「アルカリ電解質形」、工場やビル用のコージェネレーションシステムとして市販されている「リン酸形」、燃料に天然ガスなどを使う「溶融炭酸塩形」、同じ燃料で発電所用として期待される「固体酸化物形」、そして試作版の燃料電池自動車に採用されている「固体高分子形」、といったものがあります。

最近の研究開発は、家庭用やパソコンや自動車の補助電源など、私たちに身近な製品用として、固体酸化物形や固体高分子形の燃料電池の研究が進められています。

小型高効率のマイクロ燃料電池

固体酸化物形は、燃料電池の中でエネルギー変換効率が最も高いものですが、動作温度が900℃と高いので、応用分野は大型発電設備などに限られていました。しかし産総研は、使われているセラミックス材料に工夫を加え、600℃付近で安定に動作する小型で精密な燃料電池を開発しました。燃料側電極材料にニッケル系セラミックス、空気側電極材料にランタンコバルト-セリア系セラミックスを使って、電解質に微細加工を加えたものです。

開発した中空チューブをいくつも束ねた形での、高出力の燃料電池モジュールの実証も進められています。



固体高分子型燃料電池の高性能電極

産総研では固体高分子形の研究も進めています。高分子形では、天然ガスを水素に変えた改質ガスが燃料で、燃料側電極に白金・ルテニウムが使われています。問題は、改質ガスにCO（一酸化炭素）が25ppm程度含まれていると、この電極（触媒）の性能が著しく低下してしまうことでした。

しかし産総研では、補助触媒として有機金属錯体を使った製造方法を開発し、100ppmのCOに耐えることのできる電極を実現しました。原料価格も低減でき、設計の自由度も高いので、さらに高性能の電極が期待されています。



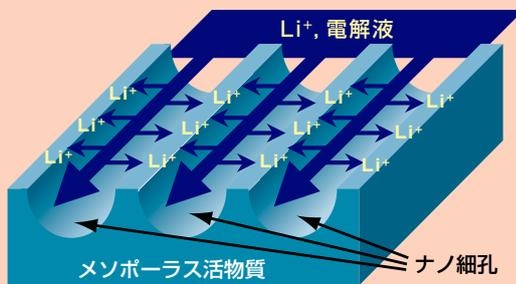
リチウム二次電池

リチウム二次電池は、高い電圧が得られること、エネルギー密度が高いことなどから、携帯用パソコンなどに多く利用されています。その一方で、電池の回収事件に見られるように、充電したりする際に電極材料が異常を起こす危険性がある、さまざまな安全対策をとった上で実用化されています。なお、この電池は、充電して何度も利用する電池(二次電池)のことであり、乾電池として市販されているマンガンリチウム電池とはまったく別ものです。

エネルギー密度が高いということは、電池の重さあたりの電気エネルギーが大きいということです。したがって、電気自動車やハイブリッドカーにとっては最大のメリットになります。つまり、いくらエネルギーを出せても、電池自体が重ければその能力が相殺されてしまうからで、そうした意味でリチウム二次電池の性能向上は、燃費のよい自動車にとって必須の課題といえます。

8年ほど前からは、電解質にゲル状のポリマーを採用したリチウムイオンポリマー電池も販売されるようになりました。これはたとえ事故が起こっても、その際の反応が穏やかなのでPHEV(プラグイン・ハイブリッド電気自動車)、つまり家庭のコンセントからも充電が可能なハイブリッドカー用のバッテリーなどとしても注目されています。

電気自動車用ハイパワーリチウム2次電池の開発



燃料電池や二次電池を電源とした電気自動車の研究開発が、世界中で展開されています。いうまでもなく、排気ガスやCO₂を出さないクリーンなエネルギー源だからです。これに使われるのがリチウム二次電池ですが、実は、定速運転に必要な長時間持続可能なエネルギー容量(エネルギー密度)という条件は満たしているのですが、自動車の発進時に必要な瞬発力(パワー密度)がありませんでした。

この問題を解決すべく、産総研では研究開発が進められ、エネルギー密度はほぼ同じで、パワー密度を百倍以上にできる画期的な電極技術を開発しました。この新材料の大量合成技術や低コスト化は今後の課題ですが、市場で普通に販売されるような価格の電気自動車に向かって、大きな一歩を踏み出しました。

産総研が開発したのは「ナノポーラス材料」というものです。これは5ナノメートル(百万分の5ミリメートル)というとても細かい管が、きれいに整列した構造になっています。素材は、結晶性の金属酸化物複合体(TiO₂-P₂O₅)です。このナノポーラス材料をリチウム二次電池のマイナスイ極に採用することで、素晴らしい成果が得られたのです。

ここでの技術のポイントは、スーパーキャパシタ機能を発現させたところです。電池の電極と電解液の間では、電気二重層というものが形成されるので、ここに電気を蓄えるのが、改良技術の一つです(電気二重層キャパシタ)。もう一つは、電極表面で起こるイオンの吸着・脱着(疑似容量)を利用する技術です。いずれの技術も単独の技術としてはありましたが、この二つを同時に実現することは誰もできませんでした。

そのスーパーキャパシタを初めて実証したのが産総研です。この成功には、ナノスケールの管が整列している材料の構造と深く関係しています。そこで、すでに現在使われている電極材料をナノポーラス化する研究も進めています。電気自動車を商業化するカギは電池にあると長い間言われつつづけてきましたが、その電池の技術が急速に進歩しています。

バイオマス燃料

現在のクルマ社会は燃料である石油によって成り立っていますが、地球温暖化や石油資源の枯渇という問題を解決するために、バイオマスの役割がますます注目されてきました。すでに、米国ではトウモロコシ、ブラジルではサトウキビを原料にして、エタノールを製造し、ガソリンに混合して自動車燃料に使っています。

バイオマスエネルギーは、太陽のエネルギーを植物が炭水化物の形で取り込んだものなので、消費期間や量の問題をひとまず置くとすれば、少なくともサステナブル(持続可能)なエネルギーと言えます。特に豊かな森林に恵まれている我が国にとって、木質バイオマスつまり樹木に蓄えられたエネルギーを自動車燃料に転換することは重要です。これによって森林の価値が高まり、伐採あるいは間伐などの森林管理も経済的に見合うようになることから、美しい森林環境の維持にもつながります。こうした点でも、大きな期待のかかる技術開発テーマです。

木質バイオマスからディーゼル燃料を連続生産

産総研では、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プロセスを開発しています。まだ実験室規模の小さな装置ですが、従来のような冷却や熱回収、ガスの圧縮などの工程が不要になり、エネルギー回収効率が向上しています。また小型で移動可能な装置などにつながる可能性があり、注目を集めています。

今回開発されたディーゼル燃料化技術のポイントは、原料であるバイオマスを高温(800~900℃)、高圧(数メガパスカル)の状態での処理すること、高温状態のガスを活性炭で乾式精製することです。これらによって、ガス化に使った熱を有効利用できるようになり、装置全体をコンパクトにすることも可能になりました。エネルギー効率がアップして、動力を大幅に削減できるようになったのです。

実際の応用を考えたとき、こうした燃料製造装置をトラックに積んで森林資源のある場所に移動させ、そこでのディーゼル燃料生産が終わったら、また別の場所に移動させる、といったことが考えられます。産総研では次のステップとして、1日に1.6リットル程度の燃料を生産できるベンチ試験装置を、2007年を目標に完成させるべく研究開発を進めています。同時に、より効率的に燃料を作る合成触媒の研究も進めています。



木材からエタノールを作る

産総研では、木質バイオマスから発酵によってエタノールを作るシステムも研究しています。木材の成分であるセルロースとヘミセルロース(いずれも多糖類)からエタノールを作るというものです。

これまでは、硫酸による加水分解法が主力で、硫酸の回収や廃液処理といった点で環境負荷が大きい技術でした。そこで産総研では、水熱・メカノケミカル処理法という新しい技術の開発を進めています。水熱処理は、加圧熱水で木質成分を分解・分離する方法です。またメカノケミカル処理は、木質を粉砕して微細化して、化学反応を効率的に起こす方法です。

いずれも環境負荷の少ない方法なので、これらを組み合わせた処理過程によってできたセルロースを、酵素によってグルコースに変え、アルコール発酵させます。なお、アルコールをそのまま利用するのではなく、イソブチレンと反応させてETBEという化合物に変えると、オクタン価が高くて良質なガソリンとなります。現在の自動車エンジンにも使用できるので、即効性のある温暖化対策としても注目されています。



マグネシウム合金加工

航空機の例をあげるまでもなく、強く軽い材料はエネルギー消費量を低減させます。それはそのまま、地球環境への負荷を低下させます。自動車用のごまごまな材料も、薄型鋼板のように、より軽く強い材料が追い求められてきました。すでに一部ではアルミ合金が使われていますが、これよりも軽いマグネシウム合金（比重がアルミ合金の3分の2、鉄の4分の1）を自動車用部品に採用するための技術開発が展開されています。これまでも、スポーツカーやレーシングカーのホイールや、ミッションケースなどに採用されてきました。

現在のところ、マグネシウム合金は、ダイキャスト法（鋳型の中に熔融合金を流し込んで部品の形をつくる方法）による製造法が主流ですが、より安価な製造法を求めて研究開発が進められています。自動車部品以外ではプレス法（超塑性加工）による高性能部品を採用しているケースもあります。

マグネシウム合金は、放熱性・振動吸収性・電磁波シールド特性に優れ、リサイクルもしやすいなどの特長があり、携帯電子機器の筐体としてはもはや不可欠の材料となりつつあります。

溶接で大型部品を連続生産

現在、マグネシウム合金の大半は、いわゆるダイキャスト法で作られています。その理由は、マグネシウム合金が塑性変形しにくいので、複雑に入り組んだ構造をプレスなどで作ることができないからです。そのため、大型の部品は作ることができていません。しかし、特に大型の部品を作る素材としては、押し出し材（高温の合金を金型に入れてトコロテンのように押し出しながら引っ張って成形したもの）や圧延材（合金を上下のロールの間を通して引き延ばして板材にしたもの）の方が優れており、それらをうまく使った成型法や加工技術が求められています。

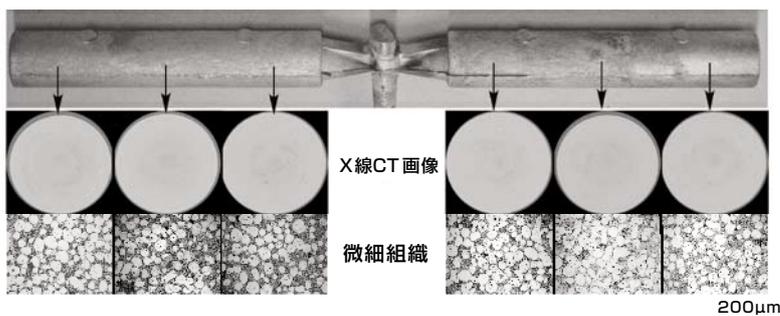
そこで産総研では、こうしたマグネシウム合金の接合技術を開発中です。具体的には、レーザー溶接法やイギリスで開発された摩擦攪拌接合技術を使って、自動車の屋根に載せるルーフボックスを試作しました。大きさは、長さ200cm、幅67cm、高さ27cmで、総重量12.5kgですが、これはFRP（繊維強化プラスチック）製のものより約25%も軽量化できました。

なお、レーザー溶接は大出力のレーザー光線で金属を短時間に溶かして溶接する方法です。また摩擦攪拌接合は、突起のある円柱状の工具を回転させながら押し付けて、摩擦（熱）でマグネシウム合金を軟化・流動させ、2つの部品を一体化させる接合法です。

新型のダイキャスト法

産総研は、現在のダイキャスト法の改良にも取り組んでいます。現在の方法では、液体状態のマグネシウム合金を、高速・高圧で金型に圧入しています。そのため、金型までの通り道、金型へ入る流れ口、金型を出た金属がたまる場所など、1つの成形部品とほぼ同じ量の合金が製品外のものとしてできてしまいます。もちろん、これらの合金は再び溶かして原料に使われますが、エネルギーが無駄使いられているのです。一方で、熔融マグネシウム合金は空気に触れると激しく燃焼するため、SF₆ガスという温暖化係数の非常に大きなガス（CO₂の23900倍）が使われています。

そこで産総研では、合金を半分溶融した状態で金型に入れて成形する、新しい射出成形法を開発しました。これによって、余分な製品以外のものをつくることもなく、また熔融マグネシウム合金が空気に触れることがないのでSF₆ガスが不要になりました。しかも、固体と液体の共存状態の合金が金型に加圧で注ぎ込まれるために、鑄造欠陥の少ない高精度で高品質の製品が作れます。この技術は自動車部品にとどまらず、電気電子部品への応用も期待されています。



新型ダイキャスト法によって成形した欠陥のない試験片とその微細な組織

環境・エネルギー問題と産総研の研究

持続・共生が可能な循環型社会を構築するには、「安心・安全な環境」「資源循環システム」「環境と調和した新しいエネルギー需給構造」という3つの要件を満たさなければなりません。それらを実現する具体的な方策として次の4つが上げられます

- ① 有害物質対策
- ② 3R（リデュース・リユース・リサイクル）の促進
- ③ 地球温暖化対策
- ④ エネルギーの安定供給

産総研はこれらの対策を進める際の研究目標を「環境効率の最大化」に置いています。私たちが技術によって何らかの利益を得るとき、必ず環境への負荷が生じます。例えば電力エネルギーを火力から得るとき、CO₂の排出や廃熱などが必ず生じます。これを避けることはできませんから、より少ない環境負荷でより多くの利益を得るよつにすることが、私たちの責務となるのです。

これは、個々の技術の問題というよりは、システム全体としての問題になりますから、そうした全体を評価分析する仕組みや技術も重要になってきます。

環境・エネルギー問題の解決には、国際的な視点も不可欠です。途上国への技術移転や再生可能エネルギーの普及がよつよく求められています。



環境効率：生産効率に対比して使われるようになってきた環境重視の概念です。一定の資源の投入に対して最大の生産を求める「生産効率」がこれまでの経済的成長の指標でした。しかし、そのように生産効率を追い求めることが地球環境を破壊することにつながってしまうのです。持続的成長を目指すためには、最小の資源投入（最小の環境影響）に対して最大の生産をあげようという考え方に変わっていく必要があります。これまでの資源やエネルギーを4分の1にして同じ生産量確保をめざす「ファクター4」などが環境効率の目標として提示されています。



技術を社会へ—Integration for Innovation
独立行政法人
産業技術総合研究所

広報部 出版室 〒305-8568 つくば市梅園1-1-1 中央第2
Tel : 029-862-6217 Fax : 029-862-6212 E-mail : prpub@m.aist.go.jp