

## 自然エネルギー利用技術に関する調査\*

菊地 利雄\*\*、田中 慎造\*\*

自然エネルギー利用技術に関する調査として、太陽電池、燃料電池及びバイオディーゼル燃料に関して調査を行った。太陽電池は単結晶／多結晶シリコンが実用化されているが、今回、次世代太陽電池と位置づけられている CIGS (CuInGaSe<sub>2</sub>) 薄膜太陽電池を中心とした技術調査を行った。また、電気以外の生成物は水と熱であるためクリーンなエネルギー源として注目されている燃料電池、廃食油から精製するバイオディーゼル燃料の調査を行った。

キーワード：自然エネルギー、太陽電池、燃料電池、バイオディーゼル燃料

## Investigation of Clean Energy Utilizing Technologies

KIKUCHI Toshio and TANAKA Shinzou

We investigated clean energy utilizing technologies; the solar cell, the fuel cell and bio-diesel fuels. As the solar cell, the CIGS thin film photovoltaic device was investigated its features, structures as well as the manufacturing process. Fuel cells convert chemical energy into electrical energy with no pollutants. Its structure and the water management system were investigated. Bio-diesel fuels were also investigated its manufacturing process and the concerning project.

**key words : clean energy, solar cell, fuel cell, bio-diesel fuels**

### 1 緒 言

化石燃料の大量消費に依存してきたこれまでのエネルギー体制は地球温暖化、大気汚染などの環境問題を引き起こしてきた。こうした地球規模の環境問題と化石燃料の枯渇に対処するため、今後は、太陽光、風力、水力、バイオマスなど自然エネルギーの利用を積極的に拡大していくことが必要になってくる。

自然エネルギーは、これまで主流であった火力発電所など大規模集中型システムに比べ広く薄く分布し、また、晴れ／曇り、風の吹いているとき、吹いていないときなど時間変動を伴うことが多い。そのため、安定したエネルギーの供給は難しいと考えられてきた。しかし、近年の環境意識の高まりとともに、クリーンであること、再生可能であることがより重要視され、関連した設備、機器などが出回り始めている。しかし、コスト的にはまだ高価で、改良の余地が大きなものも見受けられる。こうした状況の中、今回、自然エネルギー利用技術に関する調査として太陽電池（薄膜太陽電池）燃料電池及びバイオディーゼル燃料の調査を行ったので報告する。

### 2 調査機関

#### 2 - 1 C I G S (CuInGaSe<sub>2</sub>) 薄膜太陽電池

C I G S (CuInGaSe<sub>2</sub>) 薄膜太陽電池の調査では以下の機関で調査を行った。

- ・産業技術総合研究所 電力エネルギー研究部門  
薄膜太陽電池グループ（茨城県つくば市）
- ・松下電器産業(株) ぐらし環境開発センター

エコデバイス開発グループ（京都府相楽郡精華町）

#### 2 - 2 燃料電池

燃料電池の調査では以下の機関で調査を行った。

- ・産業技術総合研究所 電力エネルギー研究部門  
燃料電池グループ（茨城県つくば市）
- ・東北大学大学院工学研究科（宮城県仙台市）
- ・宇宙開発事業団 技術研究本部  
搭載電源技術グループ（茨城県つくば市）

#### 2 - 3 バイオディーゼル燃料

バイオディーゼル燃料の調査では以下の機関で調査を行った。

- ・滋賀県庁 政策調整課（滋賀県大津市）
- ・社会就労センター アイリス（滋賀県高島郡新旭町）

### 3 調査結果

#### 3 - 1 C I G S (CuInGaSe<sub>2</sub>) 薄膜太陽電池

太陽電池の課題は低コスト化と高効率化であるが、C I G S 薄膜太陽電池はこれらを同時に解決する可能性を持った太陽電池として期待されている。現在、太陽電池で市販されているものは主にシリコン系のものであるが、太陽電池の製造に必要なシリコンの量が多いことや、製造工程／条件が厳しいことなどの理由により高価なものとなっている。一方、C I G S 薄膜太陽電池はシリコン系の太陽電池に比べ、高価な製造装置を必要としないことから、製造技術が確立されれば中小企業でも取り組むことが可能と考えられている。

図1にC I G S 薄膜太陽電池の構造を示す。基板はごく一般

\* 平成13年度夢県土いわて創造研究推進事業（可能性調査研究）

\*\* 電子機械部

的なソーダライムガラスを使用することができる。その基板に Mo (モリブデン) の裏面電極、C I G S 層が形成され、さらに Cd S バッファ層、ZnO 透明電極が形成される構造となっている。C I G S 層の厚さは約  $1\mu\text{m}$ 、全体の厚さも数  $\mu\text{m}$  であり、市販されているシリコン太陽電池の厚さ(数百  $\mu\text{m}$ ) と比べると 50 分の 1 程度の厚さである。これは、C I G S 層が既存の太陽電池に比べ、効率よく太陽エネルギーを吸収できる(約 100 倍)ためである。

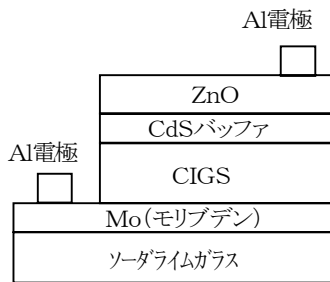


図1 C I G S 薄膜太陽電池の構造

以下に産業技術総合研究所で行われている C I G S 薄膜太陽電池の製造プロセスを紹介する。



図2 スパッタ装置

C I G S では基板としてソーダライムガラスが使用される。他の材料でもよいが、ソーダライムガラスは CIGS と熱膨張係数の値が近いので、薄膜の剥離を抑制することができる。最初のプロセスとして、まず、ソーダライムガラスへ Mo (モリブデン) 裏面電極を約  $1\mu\text{m}$  蒸着させる。装置は図2のようなスパッタ装置(一般的なもの)を使用することができる。

次に、図3のようなハイブリッドスパッタ装置を使って CIGS の薄膜を形成する。真空度は  $1.0 \times 10^{-6} \sim 10^{-7} \text{Torr}$ 。Cu (銅)、In (インジウム)、Ga (ガリウム)、Se (セレン) をそれぞれ別のつぼに入れて加熱し、CIGS の薄膜を蒸着させる。この装置では 1 時間で約  $1\mu\text{m}$  蒸着させることができる。図3でアルミ箔に覆われている部分がハイブリッドスパッタ装置である。アルミ箔に覆っているのは装置を真空にする際、不純物をとばすために装置の周囲にヒーターを巻いて加熱しているが、不純物が逆に温度の低いところに付着しないよう、温度を均一にするためである。また、真空ポンプからの油がスパッタ装置に逆流しないよう、

液体窒素のトラップを設けている(蒸気が吹いているように見える部分)。

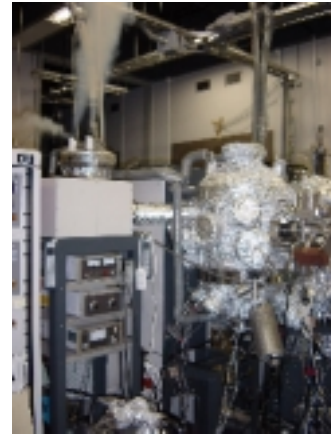


図3 ハイブリッドスパッタ装置

CdS バッファ層は p 型の CIGS と n 型の ZnO (透明電極) をつなぐもので、ゾル-ゲル法によって形成している(この部分は東京理科大学で行ってもらっているとのこと)。ZnO はスパッタ装置を使っても形成できるが、産業技術総合研究所ではパルスレーザーを使った PLD (Pulse Laser Deposition) により形成している。図4に PLD 装置を示す。アルミ電極は小型の蒸着装置を使って形成している。マスキングにはステンレスをレーザー加工したものを用いている。



図4 PLD装置

C I G S 薄膜太陽電池は、現在、数 cm 角の小面積セルで約 20% の効率が得られているが、産業技術研究所ではさらに高効率化を目指した研究が推進される予定となっている。一方、松下電器産業(株)では大量生産を視野に入れた大面積化の研究が行われ、数年後の市場投入を目指している。

### 3 - 2 燃料電池

燃料電池は水の電気分解とは逆に水素と酸素から電気を発生させる装置である。電気以外の生成物は水(及び熱)であるため、クリーンなエネルギー源として注目されている。燃料電池には以下の5つの種類があり、それぞれ使用する電解質の種類が異なっている。

- (1) アルカリ水溶液形\*
- (2) リン酸水溶液形
- (3) 溶融炭酸塩形
- (4) 固体酸化物形

### (5) 固体高分子形

\* ) 燃料電池の型を表す漢字は「型」と「形」が混在してきたが、最近「形」に統一された。

この中で、今最も盛んに開発競争が展開されているのは固体高分子形燃料電池である。これは 水素イオンを通過させる固体高分子膜の改良が進み、高出力密度、すなわち、小型化が実現されたことによるものである。このため、自動車メーカーが燃料電池自動車の開発に取り組んでいるほか、メタノールを燃料とした小型携帯機器用の燃料電池の開発も盛んになってきている。燃料電池の燃料は水素であるが、その水素はメタノール、都市ガス、ガソリンなど様々な物質から取り出すことができる。こうした燃料から水素を抽出することを改質と呼んでいる。また、効率は落ちるが、メタノールを直接燃料とする燃料電池も現れ、ダイレクトメタノール方式と呼ばれている。

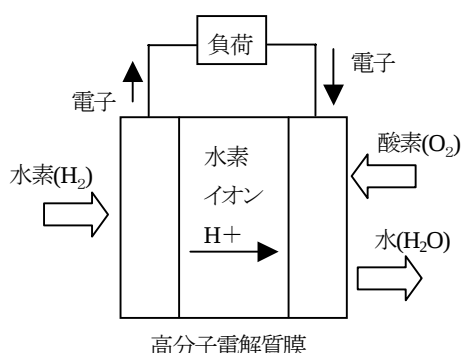


図5 固体高分子形燃料電池の概略構造

図5に固体高分子形燃料電池の概略構造を示す。水素を燃料とした場合、原理的には約1.2Vの電圧が取り出せるが、水素分極、酸素分極、電解質抵抗などにより0.6~0.7Vに低下してしまう。燃料の水素は触媒（白金など）界面で、水素イオンと電子に乖離する。水素イオンは電解質を通り、一方、電子は導線の中を通り酸素極へと流れていく。触媒界面はppmオーダーのCO（一酸化炭素）で活性が低下してしまう。

水の中をイオンが移動すると一緒に水が移動する（電気的浸透圧）。水素イオン（ $H^+$ ）の場合は1個~3個の水分子と一緒に移動する。燃料電池では電解質の中を水素イオン（ $H^+$ ）が移動するので、電気的浸透圧により同時に水分子（ $H_2O$ ）を引っ張ってってしまう。すると水素極側の電解質が乾いてしまい水素イオンが移動できなくなってしまう。一方、酸素極では水が生成されるが、その水がいつまでも触媒上にあると反応継続の支障となるため、速やかに除去する必要がある。しかし、水素極同様、電解質が乾かないようにする必要がある。固体高分子形燃料電池ではこのように水の管理が重要になってくる。

水素、酸素両極の触媒に接するセパレータの表面には、それぞれのガスが流れるための流路が刻まれる。この流路のデザインは燃料電池の効率を考えると非常に重要なものである。

燃料電池の寿命は現在のところ、自動車用の固体高分子形燃料電池では5000時間、家庭用のものでは40000時間（4~5年）

程度である。自動車用の燃料電池では、走りはじめには大出力が要求され、定常状態になるにつれ低出力となってくる。その繰り返しの頻率に行うため寿命が短くなってしまう。熱効率を上げると電力が落ち、電力を上げると熱効率が落ちるといったジレンマもある。寿命を評価するために、電流（密度）を上げて評価する加速試験も行われている。ただし、加速係数などは諸説があり定まっていないのが実情である。

燃料電池の直接の燃料となる水素は様々な物質から取り出すことができるが、自然エネルギー利用を促進し、燃料電池単体だけでなく、水素の生成も含めて環境に負荷の少ないエネルギーシステムとすることが大切である。そのためには、自然エネルギーによって発電した電力を利用して「水」を電気分解し、水素の形で貯蔵するシステムが有効である。こうした分散型エネルギーシステムの概略を図6に示す。

太陽光、地熱、風力、水力、波力、バイオマスなどの自然エネルギーは熱としての利用と、発電による電気利用が可能である。電気利用の余剰分は水を電気分解することにより、水素の形で蓄積することができる。水素の貯蔵には、水素をそのまま気体が液体の形で貯蔵する方法、水素吸蔵合金に貯蔵する方法、ベンゼンなど化学物質に水素を付加する化学的な方法（ケミカルハイドライド）などがある。貯蔵しておいた水素は必要に応じて燃料電池により、電力と熱として取り出して利用することが可能である。こうしたシステムにより、化石燃料に頼らないエネルギーの自立が可能になる。特に、燃料電池は電気とともに発生する熱を有効に利用することで高効率化を図ることができるが、これは冬季の暖房用の熱として利用可能な北国での使用に向いていると言われている。

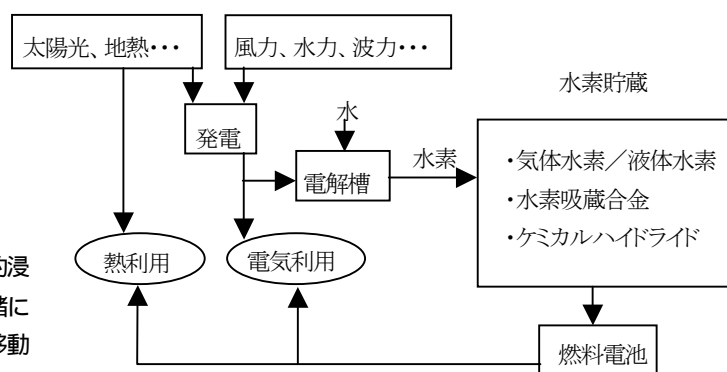


図6 分散型エネルギーシステムの概略図

### 3-3 バイオディーゼル燃料

滋賀県では、菜の花から搾った菜種油を食用とし、その廃食油をバイオディーゼル燃料として精製して、軽油に代わる自動車や船舶の燃料として利用している。バイオディーゼル燃料を利用したディーゼル機関からは硫黄酸化物がほとんど排出されず、また、ディーゼル機関特有の黒煙も低減される。

軽油では硫黄分が0.2%であるのに対して、バイオディーゼル燃料では0.0001%と非常に少ない。これに伴いディーゼルエンジンの排気ガス中のSOx濃度も極端に低い値となる。また、

黒煙濃度も約 67%削減される。一方、CO、NOx などは軽油とほぼ同等な値となる。ホルムアルデヒドは軽油が 6.9ppm であるのに対して、バイオディーゼル燃料では 8.8ppm と若干高い。この点はフィルターなどを工夫していく予定とのこと。

バイオディーゼル燃料をディーゼル機関に使用する場合、特にディーゼル機関の改修等は必要なく、そのまま使用することができる。滋賀県では環境学習船「うみのこ」に 10%のバイオディーゼル燃料を混合して使用している。また、バス、公用車、トラックなどでも運用実験を行っている。「うみのこ」では 500 時間運航した後、エンジンの点検を行ったが特に問題はなかったとのこと。

滋賀全県で年間 8 万リットルの廃食油が回収されている。廃食油の回収はもともと琵琶湖の水質浄化を目的として、食用油の使い切りの運動と共に開始され 20 年以上の実績がある。廃食油の回収は各市町村で行っており、回収形態は様々である。

以下に社会就労センター「アイリス」に設置されているバイオディーゼル燃料の精製プラントを紹介する。

#### (1) 精製プラント

精製プラントは滋賀県にある(有)エルフ製のものを使用している。価格は約 480 万円。大きさは幅 1.7m、奥行き 1m、高さ 2.3m ぐらいで、それほど大きなものではない。精製にメチルアルコールを使う関係上、消防法などの適用を受け、設備が大がかりになる傾向はある。プラントは広さ 10 畳程度の小屋の中に設置しているが、薬品等がこぼれても外に流れでないように、入り口のところもコンクリートでかさ上げしてある(オイルフェンス)。また、容器を洗浄する水道/流しが設置されているが、その直上部分にも排気用のダクトが設けられている(防爆換気扇)。

アイリスで使用しているプラントは古いタイプのもので、多少不備もあるし、使い勝手の悪いところもあるが、運用をして気づいた点は製造メーカーに知らせたり、専門の人に見てもらった点なども合わせ、現在は改良された製品(プラント)が発売されている。

プラントは上部に反応用の容器が設置され、その下に液を貯蔵するための槽が 3 つ設けられている。反応用の容器は真空にするため肉厚構造となっている。真空にするのは下に置かれた容器から液を吸い上げるためだけであり、必然性はない。また、上部反応容器の底は平らになっているが、これでは液が完全に抜けきれないなどの欠点がある。これらの点は新しいプラントでは改善され、バルブ操作なども簡素になっている。

#### (2) 精製工程

最初に、大きなポリタンクに回収してきた廃食油は静置沈殿させる。上のほうは透明になってくるが、下にはどうしても沈殿物がたまる。静置沈殿は夏だと 1 日で済むが、冬は廃食油の粘度が上がり(どろっとしている)ので時間がかかる。このときにはヒーターで暖めてやると時間短縮ができる。

精製過程は以外にシンプルで、まず、廃食油とメタノール、

KOH(水酸化カリウム)を攪拌し、その上澄み液を吸い上げ、水溶性のものを溶かすために水洗いする。さらにその上澄み液から水を飛ばすとバイオディーゼル燃料ができあがる。

廃食油とメタノール、KOH(水酸化カリウム)を攪拌したものは 1 次液として、槽の一つに移される。しばらく放置すると下にはグリセリンがたまる。グリセリンは大量にたまったところで、滋賀県環境生協などに引き取ってもらっている(引き取りのために費用必要)。

グリセリンが下に沈殿したら、上澄み液を反応用の容器に吸い上げる。そこで、水溶性の不純物を溶かすために水洗いする。この液は、2 次液として 1 次液とは別な槽に移される。しばらく放置すると下部が白濁する。この白濁したものは液体石鹸であり、酢酸で中和してオイルフェンスを通して廃棄している。この 2 次液の上澄み液を吸い上げ、水を飛ばし、フィルターを通して 3 番目の槽に移す。これがバイオディーゼル燃料となる。

#### (3) バイオディーゼル燃料の使用

新旭町ではバイオディーゼル燃料を幼稚園の送迎バスなどに使用している。幼稚園の送迎バスの横と後ろには「ねんりょうはてんぷらあぶらからつくられてます」とひらがなで表示がしてある。車の使い勝手は悪くないとのことで、半クラッチのスタートは非常にやわらかく、排気ガスも黒煙が出ない。実際にその場(アイリス)でワンボックスカーのエンジンをかけてもらったが、黒煙は出ず、青白い排気ガスであった。

#### (4) バイオディーゼル燃料の製造コスト

ランニングコストとしては、水道、電気、メタノール、水酸化カリウムなどの薬品、オイルフィルター、ポンプ油などの消耗品が必要である。また、攪拌機、貯蔵タンクなどの付帯設備、廃食油とメタノール、水酸化カリウムを攪拌したときに生成するグリセリンの引き取り費用などが必要で人件費を除けば、バイオディーゼル燃料を 30 円/リットルで製造していることになるとのこと。現在は、自治体などに軽油と同じ価格でバイオディーゼル燃料を引き取ってもらっている。

## 4 結 言

自然エネルギー利用技術に関する調査として、太陽電池(薄膜太陽電池)、燃料電池及びバイオディーゼル燃料の調査を行った。

CIGS 薄膜太陽電池は製造技術が確立されれば、中小企業でも十分取り組むことが可能であると考えられていることから、岩手で実用化を目指していくには最も適しているのではないかと考えられる。燃料電池については、今後のエネルギーシステムの中で重要な役割を担っていくと考えられることから、岩手においても技術蓄積を行っていくことが必要である。バイオディーゼル燃料の精製と使用は岩手でも十分実用化が可能であると考えられる。バイオディーゼル燃料精製の低価格化と廃食油の回収システムをうまく構築できるかどうかを鍵握っている。