

## 6.9 省エネルギー

省エネルギーは、日本語の「省く」とドイツ語の「エネルギー」を合わせた言葉であり、同じ意味に直訳できる外国語がない。「省エネルギー」をさらに省くと「省エネ（しょうえね）」になる。

省エネには、エネルギーの効率的利用と、できる限りエネルギーを消費しないという日本独特の「もったいない精神」が含まれているが、一般消費者が省エネという言葉に感じるものは、「節約」の意味合いが強い。

具体的な省エネ活動には、「エネルギーの効率的利用」（efficient energy use）、「エネルギーの消費削減（節約）」（energy conservation）という技術的側面の他にも、 unnecessary消費を避け（energy save）、環境負荷を減らす（ecology）という社会的側面も含まれる。

「省エネ」のキーワードは「高効率」＋「削減」＋「エコロジー」である。

深冷空気分離装置は、空気から酸素や窒素を分離・製造するが、原料空気の圧縮に大きな電力を消費している。高効率の設計や運転が可能になれば、エネルギーの効率的利用が可能となり、消費電力の削減、環境負荷の低減につながる。高効率の追求は、機械装置のコストアップにもつながるため、製品ガスのトータルガスコストも考えた適正なレベルが必要である。

また、たとえば大量の酸素の製造は、多くのエネルギーを消費するが、その酸素を利用した下流側の産業でより多くの省エネが可能になる

こともある。深冷空気分離装置単独の省エネだけではなく、ガス製造プラントをひとつのユニットと考えた時の産業全体の効率化を考えた省エネも重要である。

表 6-10-1-日本語の「省エネルギー」

省エネ活動	相当する英語	関連する言葉
効率的利用	efficient energy use	省エネ技術、エコ
消費の削減	energy conservation	替え
不必要な消費を避ける	energy save	省エネムード
環境負荷低減	ecology	エコ
経費削減	economy	エコ、節約
企業の社会的責任	corporate social responsibility	CSR

### 6. 9. 1 コージェネレーション

日本は、石炭から石油へのエネルギー転換を行って以降、国内石炭産業はほとんど消滅した。大きな国産エネルギー資源のない国になってしまい、エネルギー消費量が大きく増えたにも関わらず、その大半を輸入に頼ることになった。

輸入されるエネルギー資源のほとんどは、海上輸送であり、石油や天然ガスの輸入先は中東やアジアに偏っている。

欧州・ロシア・北アフリカがパイプラインや送電線でつながり、同じ島国である英国も欧州とつながっている。北米やアジアの各国もパイプラインが国境線を越える。海運だけでつながる日本は非常に特殊なエネルギー環境にある。

現在の日本は、資源とエネルギーを輸入、生産物を輸出して、資源・エネルギーの購入資金を得ている。2度のオイルショックによる危機を経験した日本にとって、エネルギーを効率的に利用する「省エネ」は、非常に重要な課題である。

輸入されたエネルギーの多くが発電に消費されている。石炭、石油、天然ガスという一次エネルギーはそのまま使用されるのではなく、およそ半分くらいが、電気という二次エネルギーに変換されている。しかし投入されるエネルギーのおよそ半分くらいしか電力として利用されず、多くが、変換の過程で熱エネルギーとして失われている。

発電所の多くが、分散化した電源ではなく、大規模に集中した電源であるため、消費地に熱を送ることができず、廃棄せざるを得ないためである。

大型発電所には多くの利点がある。



図 6-9-1-日本のコージェネレーション



図 6-9-2-コージェネ用のガスエンジン（三菱重工製）

設備が大きいため、高効率であり、投資が回収しやすいため最新技術を投入することも可能である。保安、メンテナンス、排ガスの処理、廃水の処理などは、小さな発電所で行うよりも大きな発電所で行う方が効率的であり、安全で低コストな発電方式となる。需給の制御にも高度な技術を投入できる。大型発電所には、中規模や小規模の発電方式では得られない高い効率と信頼性、安全性がある。

しかし大型の発電所は電力だけを生産し、多くの熱を捨てている。高効率とはいえ最終的に使えないエネルギーは温排水となって海水と温めることに費やされる。また、遠隔の送電が多くなるため、作り出した電力の全てを消費地に送ることはできず、多くの送電ロスが生じる。

一方、消費地に隣接して電力と熱の両方を利用する分散型の発電方式、「熱電併給」方式では、廃熱として捨てるエネルギーを減らし、送電によるロスを低減できる。これは日本では「コージェネレーション（コジェネ）」と呼ばれている。

コジェネは、中小規模であるため、発電そのものの効率や低コスト化では大型発電に全くなれないが、電力の消費規模や様々な条件によっては、トータルの効率が大型発電を上回ることがあり、様々な検討されている。

コージェネレーションは、英語ではCHP(Combined Heat and Power)と呼ぶ。ひとつの資源から二つのエネルギー（電気と熱）を作り出すという意味でco-generationという言葉が作られた。もともとは和製英語であるが、最近では、コージェネレーションという英語も通じるようになってきた。3つ（電気と熱とガス）になるとtri-generation（トリジェネ）とも呼ばれるようになっている。

ガスタービンを利用した発電では、高温の排熱が出る。そこでこの排熱を利用してスチームを発生させ、スチームタービンでもう一度発電することが行われており、コンバインドサイクル発電と呼ばれる。ガスタービンとスチームタービンを利用したコンバインドサイクルは、効率は高いが非常に高価な設備となるため、大型の発電所に採用される。コンバインドサイクルは、ガスタービンの排熱を利用するためコージェネレーションの一種ともいえるが、最終的な製品は、電力だけであるため、「熱電併給」型のコジェネとは別の高効率火力発電のひとつとしてとらえられており、一般的にはコジェネには分類されていない。

電力というのは、非常に「高品位のエネルギー」である。電力は電子機器の作動に使い、動力、照明、空調、そして熱に変えることもできる。文明社会のありとあらゆるエネルギーに転換できるのが電力である。一方、熱はエネルギーの最終形態であり、熱エネルギーは周囲の環境と同じ温度になった時に、それ以上使うことができなくなる。電力は、最も便利でスマートなエネルギーであり、熱はエネルギーの墓場とさえ言われるエネルギーである。しかし、ほとんどの電力は熱

エネルギーから作られており、化学反応→熱機関（廃熱）→発電（廃熱）→変電・送電→受電（消費・熱）と、非常に「もったいない」エネルギーの使い方が増えている。たとえば、調理や湯沸しに必要なものは熱エネルギーであって、電力である必要はない。もし石炭や天然ガスの燃焼熱を用いて直接お湯を沸かすのでなく、発電・送電して得られた電気でお湯を沸かすことになれば、莫大なエネルギーの無駄遣いをする。「電化」社会は浪費社会でもある。

オフィス、家庭などでの消費エネルギーの多くが熱エネルギーである。したがって、もし各消費者が発電と同時に熱を廃熱として捨てるのでなく、その場で有効利用するというシステムが成り立てば、莫大な量のエネルギーロスを低減できるというのがコージェネの考えである。

日本のコージェネの特徴を列挙すると次のようになる。

- 日本におけるコージェネの導入実績は、2013年で1004万kWである。
- 分散型電源であり、規模が小さく発電の効率が低いことが弱点であるが、発電と消費の距離が近いことが利点である。
- 熱電併給を行えば、効率が大きく向上し、総合効率では、高効率の集中型発電を上回ることがある。
- 民生用のコージェネは、店舗、ホテル、病院など、電気と熱需要の多い施設が中心である。
- 製薬・化学、エネルギー（ガス・石油）産業を中心に産業用のコージェネが伸びている。
- コージェネビジネスのポイントは、いかに熱を有効利用できるかである。
- ドイツでは、コージェネは、再生可能エネルギーと同列のエネルギーとされ、普及推進のための電力賦課金がある。

図 6-9-1 に日本のコージェネレーションの推移を示す。1990年から2013年にかけておよそ5倍に拡大している。図 6-9-2 はコージェネ用のガスエンジンの例である。ビルの地下に設置された都市ガス発電機で発電、ビルや周辺地域へ電力と熱を供給し温水や冷水は冷暖房などに利用される。

熱と電気を併産して地産地消することは、非常に効率が高いシステムであり、総合的には大型の発電システムを上回ることが可能である。しかし、設備コスト、メンテナンスコストなどを考えると、やはりそれなりの規模を必要とし、都会型のシステムである。国内でも次世代の都会型エネルギー利用方法のひとつとして「スマートエネルギー・ネットワーク」の検討が進められているが、熱と電気の地産地消、コージェネレーションはその中心に置かれている。

日本国内でも、ESCO（Energy Service Company）事業が広がりつつある。

ESCO とは、省エネルギーに関する包括的なサービスを提供し、顧客の利益と地球環境の保全に貢献する新しいビジネスとされている。2010 年に、ESCO 推進協議会（会長：茅陽一）が設立され、東京ガス、京葉ガス、大阪ガス、東邦ガス、西部ガス、関西電力、四国電力、産総研、大気社、など約 100 社が会員となっている。

既に行われている ESCO 事業の例としては、東京ガスグループの(株)エネルギーアドバンスが運営する、首都圏初の地域冷暖房事業である新宿地域冷暖房センター(1971 年)や幕張地域冷暖房センター(15700kW、 1989 年)などがある。

発電に都市ガスを利用し、ガスエンジンとボイラで電力とスチームを発生、ガスエンジンの排熱はスチームやスチームタービン冷凍機に利用され、温水や冷水を供給、余剰の電力は、外部へ売電される。

東京都江東区では、IHI の豊洲ビルと芝浦工大が協力して「豊洲三丁目エネルギー供給施設」を設置・運営されている。電力は 2500kW、周年地域 4.8ha へ蒸気や冷水を供給している。都会であるため、冷却塔には白煙防止がなされている。

小規模のコージェネは、発電効率では大型の発電所に劣るが、熱電併給がうまく行われると、総合的な効率が上がることが期待され、送電線ではなくガス配管でつながれたスマートグリッドも可能となる。初期投資がかかることや運営の難しさもあるが、都会のビルやホテル、病院など、熱源を必要としている設備への導入が期待される「省エネ」システムである。

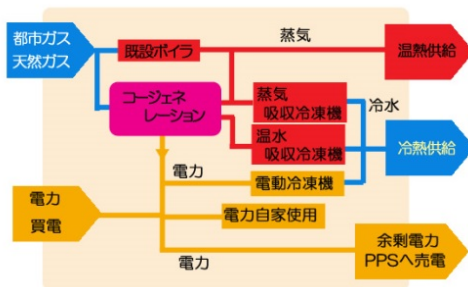


図 6-9-3-コージェネの利用例

## 6.9.2 様々な省エネ技術

省エネは、機器やシステムの高効率化、未利用エネルギーの有効利用、時空を越えた有効利用（時間や場所が異なるエネルギー利用の合理化）などが、組み合わせられ、様々な分野で、様々な技術開発が行われている。

### (1) 省エネ家電

一般家庭や事務所で使用される電力機器の省エネ化が進んでいる。待機電力の削減、コンピュータなどのエネルギーマネジメント、冷凍機コンプレッサーの高効率化などが進んでいる。

空調機や冷蔵庫などの電力消費の大きな機器の省エネ化が急速に進み、「買い替え」がもたないのではなく、古い低効率の機器を使い続ける方が結果的にエネルギーの浪費になる「エコ替え」という現象も起こった。

まだ、使用できる機器を廃棄して効率のよい機器に取り替えることは、廃棄のロスや製品のライフサイクル、新製品の製造に関わるエネルギーなどを総合的に考えて評価されなければならないが（エネルギーのLCA）、多くの機器、特に照明器具などで大きな効果が期待されるようになっている。

### (2) 地中熱利用

「地中熱」は、自然エネルギーであり、風力や太陽光のような再生可能エネルギーに比べて非常に安定している。深度 10m 以下の地中の温度は季節変動がなく非常に安定している。

地中熱は、深度の大きい「地熱」に比べると温度差が小さいため、高効率に大規模なエネルギーを利用することはできず、小規模な住宅に利用される。地熱は創エネ技術であるが、地中熱は、省エネ技術と考えることができる。

地熱利用を評価する指標は、エネルギーの賦存量とそれを利用できる可能性（人口）の二つである。

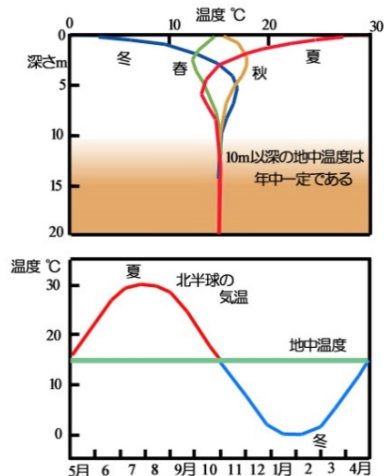


図 6-9-4 地中の温度分布と気温の変化

西日本は、熱容量の大きい花崗岩が多く「地中熱の賦存量」が大きいが、「導入ポテンシャル」は人口の多い東日本の方が大きい。地中熱と人口の両方が評価される。

地中熱を利用する設備の設計に必要なデータは、建物の大きさ、熱損失、利用時間、ヒートポンプなどの設備設計データ、地温、平均気温などの気象データであり、最も重要なデータは、地下のデータである。日本は、地下水が多いため、岩盤のデータだけでは十分ではないが、地下の様子が詳細に調査された領域は少なく、全国的には地中熱を評価するための情報が足りないといわれている。

地中熱を利用する機器の開発は 1970 年代にほぼ完了している。オープンループ方式（直接地下水を汲み上げて利用し、その後還元する方式）の効率が高いが、大都市では地下水の汲み上げを規制している。地下水に影響のないクローズド方式（熱交換器に不凍液などを流して利用）が広く用いられている。

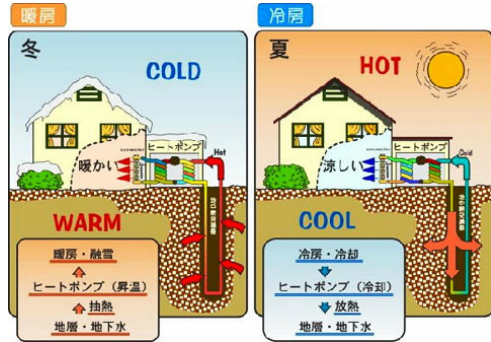


図 6-9-5 家庭用の地中熱利用の例  
出典：NPO 地中熱利用促進協会

湧水（自噴井）方式は、場所が限られるが効率が高い。山梨県に「水の温もりプロジェクト」（国交省）がある。欧米での地中熱利用普及率は、日本の 10～100 倍ほどであり、日本の地熱利用は、かなり遅れている。

### (3) 熱電発電

ゼーベック効果を利用して、温度差から直接電力を発生させる方法が研究されている。ゼーベック効果は、逆のペルチェ効果を利用した電子冷凍機から類推できるように、小さな電力変換器である。可動部がないため、長寿命である。

灯台の電源等に用いられてきたが、信頼性の高いエンジン発電機などに置き換えられたため、軍用・宇宙開発用以外では、熱電発電にはほとんど用いられていなかったが、近年は、廃熱回収、地熱・温泉などの未利用エネルギーから発電する用途が考えられるようになり、熱電素子やシステムの研究が行われるようになってきている。

これまでに開発された素子には、温度 500 K までのピスマスーテルル系、800 K までの鉛-テルル系、1000 K までのシリコン-ゲルマニウム系などがある。

今後、考えられる用途としては、①燃焼熱を利用した発電（無線中継基地局の電源、パイプライン腐食防止用電源、軍用可搬型発電機、被災地緊急電源・焚き火の熱利用発電、携帯電話の電源）、②機器の廃熱利用を利用した発電（工業炉、変圧器の熱回収、プロジェクタ（光源の廃熱）、野球場の照明廃熱）、③燃焼廃熱を利用した発電（大型ディーゼル車、コージェネのディーゼル排ガス発電、小型ゴミ焼却機の煙道、室内空気循環装置）、④体温利用発電（ペースメーカー電源）、⑤原子崩壊熱利用発電（宇宙探査機の原子力電池、RTG）、などが考えられている。

低温の排熱は、回転機や熱交換器を利用した回収が難しいため、熱電発電による未利用エネルギーの活用が期待されている。



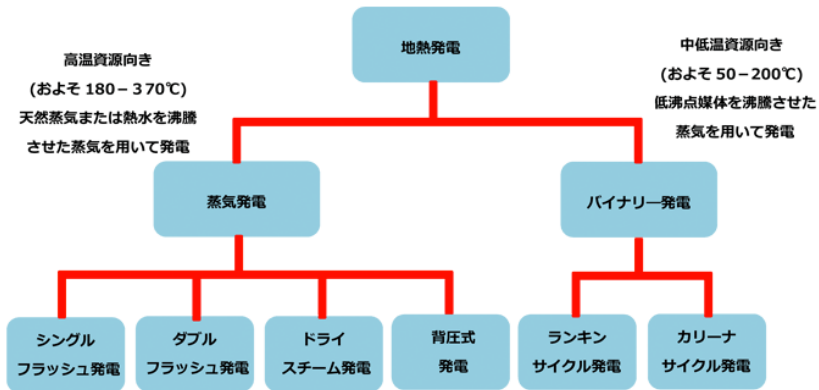
(4) 排熱回収・バイナリー発電

低温の熱源からエネルギーを回収することは簡単ではない。一般的には400℃以下の熱源で発電機を回して効率よくエネルギーを回収することは難しく、より低温の廃熱からエネルギーを回収するひとつの方法として、熱交換器と低沸点の流体を用いた「バイナリー発電」の実用化開発が進められている。

たとえば、高温の温泉（70～120℃）を冷却する時には、通常、河川などの水が利用されるが、ペンタンなどの低沸点の冷媒で冷却し、その蒸気を用いて発電を行う小型のバイナリー発電システムが開発されている。

水-アンモニアなどの混合物を用いるバイナリー発電は、カーリーナ・サイクルと呼ばれ、低温の温泉発電に利用される。国内各社が廃熱を利用して小規模の発電を行う機器を開発している。IHI（小型遠心タービン）、川崎重工（密閉式キャンドタービン）、神戸製鋼所（スクリュータービン）、アルバック理工（スクロール膨張機）などが発電機を製作している。設備のコストに対して取り出せるエネルギーが小さいのが課題である。

バイナリー発電のうち単成分の炭化水素系の媒体を用いたサイクルを ORC（オーガニック・ランキン・サイクル）と呼び、比較的高温の地熱発電に利用されている。



従来型の地熱発電の種類

(出典) NEDO「地熱開発の現状」をベースに自然エネルギー財団作成

図 6-9-6 地熱発電におけるバイナリー発電の位置づけ

出典：再生可能エネルギー白書/NEDO

### (5) スターリングエンジン

シリンダー内のガスを外部から加熱・冷却し、その体積の変化により仕事を得る外燃機関のひとつである。200年の歴史を持つエンジンであるが、20世紀初頭に、内燃機関が普及したため衰退していた。近年は、様々な燃料が使えることから、バイオマス利用の発電に適してされ再び注目されるようになった。

スターリングエンジンには、次のような特徴がある。

- 理論効率は高い
- 多種多様な熱源を利用できる
- 内燃機関のような爆発行程がないので、作動が静粛
- 負荷追従性に劣る（自動車エンジンにはなりにくい）
- 体積あたりの出力が低く、機関が大型化、大重量化するのので、小型の機器には搭載しにくい

多種多様な熱源を利用できるため、フィリップス社は、20世紀初頭、電気の無い地域にラジオを普及させるために、スターリングエンジン式の家庭用発電機を開発、1980年まで販売を続けていた。騒音が非常に小さいため、潜水艦搭載エンジンとして評価が高く、日本の海法俊光氏が発明したKAIHOエンジンが知られる。欧米では民生用のスターリングエンジンが、コジェネ用、太陽熱発電機用として発売されている。

内燃機関は、それなりの規模の企業でなければ量産化できないが、スターリングエンジンは、中小の企業でも開発・量産化が可能であり、小型のバイオマス発電やごみ焼却発電など地産地消の発電を行う時のエンジンとして期待されている。

なお、スターリングエンジンは、温度差から動力を生み発電機として使用されるが、その逆サイクルとして、外部動力から温度差を作るサイクル、スターリング冷凍サイクルがある。スターリング冷凍機を改良した、GM（ギフォード・マクマホン）冷凍機が極低温の発生に利用されている。

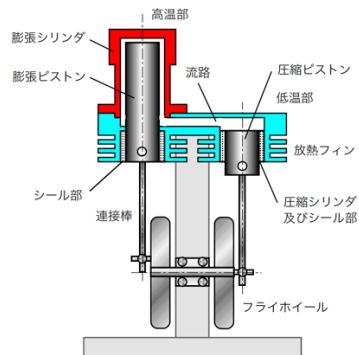


図 6-9-6 スターリングエンジンの仕組み  
出典：産業技術総合研究所

(6) 熱音響エンジン

熱音響サイクルは、パルス管冷凍機などの応用例があり、熱機関としての効率が  
高いが、現在は、小規模のエネルギー回収にとどまっている。

熱音響現象が古くから知られている。

- 熱音響冷凍機は、「パルス管冷凍機」として市販されており、熱音響発電機  
は、廃熱回収機器として注目されている。
- 機関としての効率は高いが、高い温度を必要とし廃熱回収には不向きと考  
えられる。低温でも利用できるように、多段蓄熱器を採用して 100℃程度  
の廃熱を利用するための研究が行われている。
- 熱音響デバイスは、筑波大学名誉教授・富永昭博士によって開拓された分  
野である。

熱音響エンジンは、熱音響現象を用いた発電エンジンであり、温度差→音のエネ  
ルギー→電気エネルギー、と変換する。

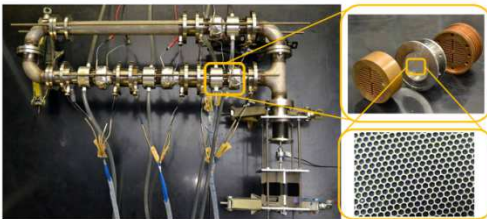


図 6-9-7-東海大学が試作した熱音響デバイス。  
配管と「スタック」、「蓄熱器」からなる



図 6-9-8-東北大学琵琶研究室の熱音  
響デバイス、出典：大学 HP

(7) ケミカルループ

炎の出ない燃焼技術といわれる。

燃焼反応を「金属の酸化」と、「酸化した金属の還元」という2つの化学反応にわけ、両者を金属媒体（粉体、酸素キャリア）の循環で結ぶ。1980年代に東工大石田愈（まさる）教授が考案したエネルギー変換システムである。

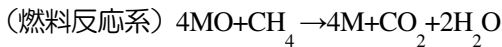
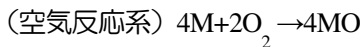
燃料である天然ガスと空気が直接混ざることがなく、排ガスは、水とCO<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>（酸素が抜けた空気）である。熱、電気、ガス（窒素）を作り出すトリジェネレーションである。高温の燃焼ではないためNO<sub>x</sub>の排出抑制が期待できる。

分離されたCO<sub>2</sub>はCCS貯留することも考えられている。

オリジナルは、1980年代日本発の技術であるが、カナダ、ドイツ、中国などで研究されている。日本では、東京ガス、新潟大学、日本大学、産業技術総合研究所などで研究されている。



図 6-9-9-ケミカルループの仕組み  
出典：東京ガス HP



## (8) 雪氷熱利用

時空を超えた利用法のひとつであり、雪や氷を断熱設備のある貯雪氷庫に貯蔵し、その冷熱エネルギーを利用する。雪 1 トンの冷熱は、原油 7~10 リットルに相当すると言われる。雪氷の冷熱で貯蔵保存する「雪室・氷室技術」、雪の冷熱を強制循環させ温度制御を行う「雪冷房・冷蔵システム」、自然氷を作り、水と氷が混ざり合った状態にする農水産物貯蔵、建物を除湿・換気冷房を行う「アイスシェルターシステム」、冷たい外気を利用したヒートパイプによって、土壌を凍らせる人工凍土システム、などがある。

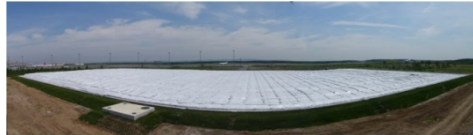


図 6-9-10-新千歳空港の貯雪場  
熱交換冷水循環方式で5~9月の間の冷房に利用  
消費動力は水循環ポンプであり、雪氷エネルギーの成  
績係数は、COP=20~30 と非常に大きい  
出典：新工ネ雪氷利用研究会

## (9) エネルギーハーベスティング

非常に小さなエネルギーを拾い集めて、その場で使用する技術で、「環境発電」と呼ばれることもある。環境発電は、従来の「発電」と比べると、桁外れに小さいため同列に比較することはできない。

エネルギー変換技術には、様々なアイデアがあり、技術のキーワードには次のようなものがある。

振動発電、熱電発電、人工筋肉発電、超小型燃料電池、ワイヤレス給電 (Qi 規格)、ワイヤレス通信、ワイヤレスセンサー (ZigBee 規格)、小型風力発電、小規模水力発電、MEMS-GT、電石、…など。

これらの技術は、社会のエネルギー問題の解決策にはならず、省エネ貢献もほとんど期待できないが、これから必要性が増すと考えられるユビキタス電源の候補でもある。

### 6.9.3 輸送機器の動力と省エネ

輸送部門がエネルギーの消費と CO<sub>2</sub> の排出に関わる役割とその影響は非常に大きい。

これまで、ガソリンや軽油・重油が中心であった輸送動力用燃料は、今まさに大きく変わりつつあり、エネルギー産業、石油精製、機械・材料など様々な分野に大きな影響が予想される。

海運分野では、IMO を中心に、海上輸送における排ガス規制強化とエネルギーの効率化が進められており、重油の低硫黄化や天然ガス動力船が検討されている。

航空分野では、米国の官主導（国防総省、エネルギー省）によって燃料のバイオ燃料化が進められており、大量の CO<sub>2</sub> を排出する航空分野においてカーボンフリー化が図られている。

自動車は、長く石油エネルギーに依存してきたが、エネルギー問題と環境問題、さらに安全問題を背景に、車をとりまくエネルギーと技術が大きく変わろうとしている。

輸送機器のエネルギー源は、登場順に、①人力②動物力③風力④固体燃料、バイオ（薪）/石炭⑤ガス/空気④電動機⑤石油（液体燃料・内燃機関）⑥バイオ燃料（液体）⑦原子力⑧水素(ICE)⑨水素(FCV)⑨複合動力・ハイブリッドなどとなっている。

風力、電動、ハイブリッドなどは非常に古い技術であり、一度は石油燃料に駆逐され廃れていたが、制御技術、材料技術、安全技術、環境問題が時代とともに大きく変わり、近年になって復活、最新技術によって見直し、実用化が行われている。

#### (1) 風力

人力とや動物力（牛馬）を大きく越える最初の輸送力は、風力によるものであった。その歴史は古く、紀元前 3000 年頃の古代エジプトで、既に帆船が使用されていたといわれる。

西欧諸国では、14 世紀から 18 世紀にかけて大型の帆船が建造されるようになり、欧州とインドやアジアとの交流が可能になった。

19 世紀には、非常に多くの帆船が作られ、外洋を高速で帆走する快速船がインドと欧州を行き来した。19 世紀になって、蒸気船が増え始めたが、燃料補給のための給炭地のインフラ整備が十分ではなく、長距離の大量輸送の中心は帆船のまま、汽船は主に短距離輸送に使われた。蒸気動力が優れたものであっても、その

燃料の補給が十分でなければ普及しないということであり、その後、輸送機関には、石炭、石油、天然ガス、電力、水素など様々な動力源が現れることになるが、常に大きな課題となり、普及するのか廃れるのかは、供給インフラの整備にかかっているといえる。

19世紀後半には、スエズ運河が開通（1869年）、欧州とアジアの距離が縮まったが、風の弱いスエズ運河を帆船が通行することは難しく、アフリカ喜望峰をまわらなければならない帆船は不利になった。石炭インフラの整備とともに海運は帆船から蒸気船の時代になっていった。

20世紀になり、世界大戦（1914～1918年）が起こり、商船無差別攻撃によって数多くの帆船が失われた。その後、多くの汽船が建造されるようになり、15世紀の大航海時代以来長く続いた大型帆船の時代が終わった。

21世紀になって、原油高騰や省エネルギーの気運により、再び風力船が注目されるようになった。

これは、かつてのような帆船ではなく、20世紀初頭にも存在した機帆船(motorsailer)の21世紀版である。

機帆船は汽船、内燃機関船に補助動力として帆を加えたものであるが、新世代のものは、風を補助動力として15%ほどの省エネが可能になっているといわれる。かつての帆船のように多くの人力を介した難しいものではなく、最新のコンピュータ制御によって容易な操船が可能となっている。

海運国である日本には、エコシップ、スーパーエコシップと呼ばれる次世代の船舶の取り組みがある。燃料転換（アルコール、LNG）、超電導モーター推進船、燃料電池動力船、ハイブリッド動力などの研究が行われているが、最も歴史の古い風力を利用したエコシップは最も新しい技術を用いた船舶のひとつである。

陸上で風力を利用するものとして、風力自動車(wind-powered land vehicle)が存在する。現在は娯楽用であって、実用的なものは作られていない。

滑空機には、グライダー（セールプレーン）、ハンググライダー、パラグライダーなどがあるが、これらも実用的なものではなく、スポーツ・娯楽用のものである。風力を利用する輸送機器は、現在は水上のものだけが実用的である。



図 6-9-11-日本郵船のスーパーエコシップ構想、太陽光、風力、水素燃料電池などのハイテクを満載した次世代商船の提案

## (2) 石炭動力

18世紀に、蒸気自動車 (locomobile、スチームカー) が発明された (1769年)。馬車に代わる人工の動力で動く初めての自動車 (automobile) は、石炭を燃料とし、蒸気動力の往復動を回転運動に変え前輪を駆動する3輪構造であった。

蒸気自動車の歴史の始まりは簡単ではなかった。既存の馬車業界からの圧力があがり、騒音、煤煙による公害が多いこと、ボイラーの爆発事故が多かったことなどから、様々な規制が行われ、欧州では低速の農業機械としての利用が主流であった。危険で汚い蒸気自動車は欧州では発展しなかったが、その技術開発は、米国で進められ、ボイラーが小型化され、多くの自動車メーカーが成功をおさめた。蒸気自動車は、内燃機関の自動車が登場後もしばらくは共存が可能であった。

18世紀末、石炭焚き船舶 (SS: Steam Ship) が発明された (1783年)。最初の蒸気機関は、帆船の補助動力であり、風力が主、石炭が従のハイブリッド船に使用された。故障や信頼性を考えると、従来からある風力がメインで、蒸気動力はサブということである。技術開発が進み、石炭を燃料とする蒸気動力の外輪船が実用化された。

19世紀の中盤、日本に開国をせまる任務を受けた米国海軍のマシュー・ペリーの艦隊は、大西洋、インド洋を経由して江戸湾 (現: 東京湾) に現れた (1853年) が、この時、4隻の「黒船」のうち2隻は既に蒸気船となっていた。

1830年代には、スクリュウ推進が実用化され、船から帆や外輪が見られなくなった。19世紀末には、蒸気タービンが実用化され、レシプロの蒸気機関にとって代わった。18世紀末から19世紀中盤にかけて、蒸気動力は輸送機械の主役になっていった。

陸上の輸送機械にも蒸気機関が広まっていった。蒸気自動車が実用化されてから30年ほどたって、鉄道用の蒸気機関車 (SL: Steam Locomotive) が発明された (1804年)。既に、馬で牽引する馬車鉄道が開発されていたが、馬に代わって台車に蒸気機関を搭載する蒸気車 (機関車) が鉄道の主役になっていった。

日本の鉄道は、1872年に導入されたので、馬車鉄道ではなく石炭を利用した蒸気機関車から始まっている。る鉄道車両や機関車には英国製のものが使われた。

鉄道の蒸気機関車は、蒸気自動車のような制約がなく、危険性は低かったが、その後に見れたディーゼル機関車と比較すると1/4程度の熱効率しかないため、大量の燃料を積載・消費する。蒸気機関は外燃機関であり、燃料はどのような可燃物でも可能であるが、ほとんどが石炭であったため、多くの欠点があった。



①ボイラーで蒸気を発生させるため始動に時間がかかる、②運転士に過酷な労働を強い、③煤煙・有害ガスが乗客や沿線住民に深刻な問題となる、④火の粉による沿線火災がある、⑤低出力であり高速走行ができない、⑥大量の燃料と水をを搭載しなければならない。

特に燃料である石炭や水は、頻繁に補給しなければならず、駅にはこれらの補給設備や燃焼済みの石炭ガラ処理設備が必要であり、鉄道インフラの整備には莫大な費用がかかった。現在は、先進国のほとんどで蒸気機関車が廃止されているが、鉄道が発展した当初は乗員・乗客、近隣への負担は大きなものであった。

ディーゼル機関車（DL）がドイツで開発され（1912年）、第二次世界大戦後に日本でも本格的な導入が始まり、蒸気機関車は次第に縮小され、1970年代半ばにほぼ全廃となった。ディーゼル機関車は蒸気機関車の欠点の多くを解消した。

現在は、日本には20台ほどのSLがJRや私鉄によって動態保存されている。数が少ないため、かつてのような大きな公害を起こすことはないが、SLには高温部の断熱材にアスベストが使用されているため、現存車両の取り扱いには飛散防止などの注意が必要である。

石炭を利用した交通機関は、蒸気自動車はそれほど大きくは普及しなかったが、船と鉄道では大きな成功を残した。

### (3) 石油（内燃機関）

石油から作られる液体燃料が輸送機器に大きな変革をもたらした。

ガソリンエンジンやディーゼルエンジンが、自動車、船舶、航空機など様々な輸送機器の動力源となった。

ほとんどの自動車メーカーの社名は英語では「〇〇 motor」である。モーターとは、原動機のことであるが、ほとんどの自動車メーカーが、原動機を自社製作しており、社名にこの言葉を入れているが、実用的な原動機（モーター）のほとんどが、内燃機関（エンジン、発動機）あるいは電動モーターである。

自動車用の原動機の歴史としては、電動モーターの実用化が最も古く、優れた点が多かったが、電池に蓄えられる化学エネルギーと石油燃料から取り出せるエネルギーの量を比較した場合、後から現れた内燃機関の方がはるかに優れていたため、石油を利用する内燃機関が主流になった。トーマス・エジソンは自社で電気自動車の開発を行っていたが、エジソン照明社で内燃機関の研究をしていたヘンリー・フォードがガソリンエンジンの自動車の量産化に成功、電気自動車の時代は来ずにガソリンエンジンの自動車の時代が到来した。

ガソリンエンジンは、ニコラス・オットーが発明（1867年）し、カール・ベンツが自動車ように実用化（1885年、「自動車の生みの親」）し、ヘンリー・フォードが量産化（1908年、「自動車の育ての親」）して、20世紀の自動車用機関の主流となった。

自動車用に実用化された内燃機関は全て、「行程」を持つレシプロエンジン（レシプロカル・エンジン）である。行程を持たないガスタービンエンジンは、実験車としては存在するが、実用性に課題があり、普及しなかった。なお、バンクелエンジンは、ピストンが往復動しないため、日本ではロータリーエンジンという名前で呼ばれているが、オットーエンジンなどと同様の行程を持つレシプロエンジンである。

レシプロエンジンは、燃料と空気の圧縮行程と急速な爆発行程を持つため、設計・製作には高度な技術、ノウハウが必要である。蒸気機関のようなゆっくりとした「燃焼」ではなく「爆発工程」を持つ。したがって、機械加工ができる会社であればどこでも作ることができるというものではない。日本のほとんどの自動車会社が、欧州の技術を学び、長い時間と経験を積んで、エンジンの自社開発が可能となった。深冷空気分離装置の技術は、ドイツ、フランスから輸入されたものであるが、自動車用のエンジンも欧州発の技術である。

## ①電気火花点火エンジン：

ほとんどのガソリンエンジンが、混合気に電気火花で点火する形式（スパークプラグ）を採用している。

●ガソリン4ストローク（オットーサイクルエンジン）：ほとんどのガソリンエンジン自動車採用しているのがオットーサイクルである。

最も古い内燃機関は、ルノワール・エンジン（1859年、ジャン＝ジョゼフ・エティエンヌ・ルノワール）であり、2ストロークと4ストロークのエンジンが開発されていた（燃料は可燃性ガス）。ニコラウス・アウグスト・オットーは、これをより実用的なエンジンに発展させ、現在ほとんどのエンジンに使用されているオットーサイクルを完成させた（1876年に論文完成）。

低燃費自動車エンジンやコジェネに使用される高膨張比エンジンであるミラーサイクル（アトキンソンの実用版サイクル）も、サイクルの基本は、オットーサイクルであるため、バンケルサイクルを除くほとんど全ての自動車用エンジンがオットーエンジンといえる。

●ガソリン2ストローク（クラークサイクル）：点火サイクルが速いため低回転でも大きな出力が得やすい。2ストロークエンジンは、かつては小型の自動車用、2輪車用に広く採用されていたが、自動車の排出ガス規制強化を機に燃焼制御の難しいことから、大幅に減少した。発展途上国では小型のスクーターなどに今でも使用されているが、欧米では、芝刈り機などの超小型エンジンにも排ガス規制が行われるようになり、自動車以外の分野でも2ストロークエンジンは使われなくなっている。

なお、2ストロークは、低速でも大きな出力が得られるため、大型船舶用のディーゼルエンジンでは現在でも採用されている。

●バンケルサイクル：フェリクス・ヴァンケルが発明、NSU が実用化、量産化は日本のマツダが成功した。

点火の仕組みとしては、オットーサイクルでもディーゼルサイクルでも可能であるが、実用化されたのはガソリンを燃料とする点火プラグを持つタイプのものだけである。水素を燃料とするバンケルエンジンも開発されている。

オットーサイクルと比較すると、エンジン1回転あたりに吸入できる空気の量が2倍であるため、排気量はオットーエンジンの約2倍に相当する。しかし実際に出力として取り出せるのは1.5倍程度であり、その違いの分、燃料を多く消費する。構造的に燃焼室の表面積が大きく、熱損失が大きいこともあって低燃費エンジンを開発することが難しく、あまり普及しなかった。

- 6 ストローク：超低燃費自動車用エンジン。本田技研チームが競技車両を製作し燃費世界記録(3,337km/l)を樹立した。4 ストロークに掃気行程を追加して燃焼室を冷却、圧縮比をあげる競技用の特殊なエンジン。
- ガソリン以外のエンジン：天然ガス、LPG、水素を燃料とする内燃機関のほとんどが電気火花による点火着火方式である。

## ②非電気火花着火エンジン

電気火花点火エンジンは、火炎伝播の制限があるため、大きなシリンダーでは効率が高い。大型のエンジンを火花着火で成立させるためには多気筒による大排気量のエンジンが必要となるため、大型の船舶や自動車用のエンジンには、非電気火花着火エンジンが採用されることが多い。

- ディーゼルエンジン：圧縮した空気に燃料を噴射させて着火させるエンジン。シリンダーの大きさに制限がないため大型エンジンを製作することが可能。大型自動車、船舶などにも使用できる。2 ストロークと4 ストロークがある。リンデ社のルドルフ・ディーゼルが発明した(1892年)。圧縮機(冷凍機、空気分離装置)の動力用として開発され、オリジナルのエンジンは、落花生油を燃料とするバイオ燃料のエンジンである。送電網が未発達で大規模油田も発見されていない時代の動力源として発明された。実用エンジンは、リンデ社ではなく、ディーゼルを支援したMAN社やディーゼルがかつて働いたことがあるスルザー社などによって開発・実用化された。

圧縮されて高温になった空気に燃料を吹き込んだ時に起こる自己着火を利用するエンジンであり、様々な燃料に対応でき、低精製の燃料でも使用できることが特長である。圧縮によって吸気を高温にする必要があり、高い圧縮比が要求され、高い技術力が必要とされ、使用される部品が重くコストがかかり、エンジン自体が高価になる。

ガソリンエンジンのようなノッキングが起らないため、ディーゼル燃料には、ガソリンのようなオクタン価というアンチ・ノッキング性指標がなく、ガソリンのようなレギュラー、ハイオクといった区分がない。ディーゼル用の軽油には、着火性を示すセタン価があり、セタン価が高い燃料の方が自己着火がしやすくディーゼルノッキングが起りにくい。

ほとんどのディーゼル燃料は、引火性が低く、ガソリンよりも安全性が高いため、当初は軍用として普及したが、大型エンジンが可能なことから、船舶、鉄道、自動車、産業用輸送機器、飛行船、航空機、発電機など非常に幅広く用いられるようになった。

オットーエンジンに比べて利点が多いディーゼルエンジンであるが、エンジン

が高価、騒音が大きくなりやすい、などの他に、排ガスに、粒子状物質（PM, Particulate matter）が多いことが課題である。ガソリンエンジンに比べて、排気ガス浄化が難しく高度な技術が必要とされている。コモンレール式燃料供給システム、DPF 対策フィルター、尿素 SCR システム、NO<sub>x</sub> 吸蔵触媒など様々な対策技術が開発されているが、「クリーンディーゼル」は、現在はまだ高価なエンジンである。

- ディゾットエンジン：燃料はガソリンであるが、電気火花ではなくディーゼルと同様の圧縮点火をするエンジンが研究されている。

小排気量、低燃費、高出力を目的として開発が進められている。HCCI（Homogeneous Charge Compression Ignition、均質予混合圧縮自己着火）という技術が用いられている。

石油から作られる液体燃料は、自動車、船舶、航空機など様々な輸送機器の動力源となった。オートサイクルは、非常に多くの小型ガソリンエンジンとして製造され、ディーゼルサイクルは、自動車、船舶、航空機、建設機械、鉄道など様々な動力に利用された。20 世紀後半になってブレイトンサイクルがジェットエンジンとして実用化され、多くの航空機に採用されるようになった。これらの石油を用いた内燃機関は、液体燃料であるという特長を活かし、非常に広い分野で利用されてきたが、その技術は、ガスエンジンやガスタービン発電など気体燃料にも利用されている。20 世紀の文明を大きく変えた3つのエンジンの発明者、ニコラウス・オットーとルドルフ・ディーゼルがドイツ人、ジョージ・ブレイトンは米国人である。

## (4) ガス動力

- 天然ガス焚き船舶：LNG タンカーの BOG(ボイルオフガス)を燃料とする船舶があるが、現在は小型で安価な再液化装置が普及したため、複雑なエンジンは搭載されなくなった。LNG タンカー以外の船に燃料用の LNG を搭載することは国際条約で禁止されているが、天然ガスの環境性能が高いため、IMO では新基準を策定、ガス動力船の普及が期待されている。

船舶の燃料転換は、社会的にも非常に大きなインパクトがあり、天然ガスを燃料とする場合は、海運、造船だけでなく石油精製業界にも大きな影響があるが、インフラ整備（港湾などの LNG バンカリングシステム）では、高圧ガスや低温液化ガスのビジネスにも非常に大きな影響が予想される。

- 天然ガス式輸送機器（CNG 自動車）：ディーゼルエンジンまたはガソリンエンジンの燃料代替として天然ガスを使用する。高圧ガス容器（CNG）で搭載する場合と低温容器（LNG）で搭載する方法があり、米国や中国では LNG 容器を搭載する大型車両が増えつつある。世界では 1320 万台(2010 年)、日本は 4 万台(2011 年)。

- LPG 自動車：自動車用の LPG は、プロパンとブタンの混合ガスであり「オートガス」の名称である。積載は液体状態で、使用時には可燃性ガスの燃料となる。ガソリンエンジンやディーゼルエンジンに比較して NO<sub>x</sub> や CO<sub>2</sub> の排出量が少なく、黒煙が全く排出されず、PM（粒子状物質）も測定限界以下である。韓国では、乗用車の 20%が LPG 車。

日本では、タクシー用途以外の乗用車がほとんど製造・販売されていない。ガソリン車に LPG 燃料を追加したり改造することはそれほど難しくはないが、日本では、法令・条約等の制約から、ガソリン車を LPG 車へ改造することは高価であり消費者にはメリットがない。一般の乗用車にはほとんど普及していない。（国内には約 24 万台、LP ガススタンドは 1500 ヶ所）

## (5) 空気力エンジン (CAE : compressed air engine)

圧縮空気を用いて、空気の圧力を推進装置に使う原動機がある。歴史は古く、主な用途として、工具の駆動、魚雷の推進機、航空機のエンジン始動装置などがある。圧縮空気車 (CAV : compressed air vehicles) は、空気エンジンを搭載し、圧縮空気容器を持つ。圧縮空気車をエアカーと呼ぶ。

歴史は古く、電動の機関車が普及する前は、鉱山の機関車やトラム (路面列車) などに使われており、ISO には、自動車動力用圧縮空気容器の規格がある。

フランスのタクシー (インドタタ社製) の例では、200 リットルの CFRP タンクに空気を3分間で充填、市街地を約4時間、125 マイルを走行することが可能。空気圧が低下した時は、バーナーで空気を加熱して航続距離を延ばすことができるので LPG などの熱源も持つ。欠点としては、大きな動力を得ることが難しいため、かなり軽量の車体でなければ動かすことができず、ガソリンエンジン自動車やディーゼルエンジン自動車と同じような使い方 (速度、航続距離、重量) はできないという点にある。

空気圧だけで実用的な自動車を走らせることは容易ではないが、高圧の空気は比較的大きなエネルギーを蓄えることができるため、化学電池の代わりに動力を回生することは可能である。フランスの PSA グループとドイツのポッシュが、空気圧式のハイブリッドカーの開発を行っている。

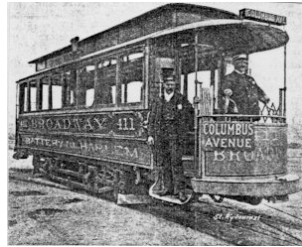


図 6-9-12-空気圧で走る路面軌道車 (1896 年)



図 6-9-13-空気圧駆動のタクシー (タタ社製)



図 6-9-14-豊田自動織機製の実験車クーリン

## (6) 電動機 (狭義のEV)

二次電池に充電した電気で電動機を回して走る自動車を電動輸送機器 (EV: Electric Vehicle)と呼ぶ。通称、電気自動車である。

電気自動車は蒸気自動車と並んで最も古い形式の自動車であるが、内燃機関の性能向上に押されて衰退した。

1891年に英国で電気自動車が発売された。

1900年、ローナー社のフェルディナンド・ポルシェが、インホイールモーターの四輪駆動自動車をパリ万博に出展。馬車、蒸気自動車に代わる輸送機器として期待された。

米国のトーマス・エジソンが、電気自動車の普及を目指したが、同社のヘンリー・フォードがガソリン車の量産に成功した。その結果、電気自動車は衰退した

1970年代: 通商産業省の要請により、ホンダを除く全メーカーが電気自動車の開発を実施した。しかし、ガソリンエンジンの低公害化が可能となったため、電気自動車は発売されなかった。

1980年代: カリフォルニア州のゼロエミッション規制により再びEVの開発が行われることになった。トヨタ、ホンダ、GMがEVを販売。搭載される電池は、鉛電池からニッケル水素電池へ移行した。

1997年に、日産自動車が、リチウムイオン電池を搭載したEVを発売した。価格が高く普及には至らなかった。

21世紀に入り、ハイブリッドカーが普及。これに伴って、バッテリーの性能が向上、パワーエレクトロニクスが発達し、再びEVの可能性が高まった。

テスラモーター(トヨタと提携)、三菱自動車、日産から電気自動車が量産・市販された。

電動の2輪車は、度々、市販されたが高価過ぎて普及しなかった。パワーエレクトロニクスの発達によって徐々に普及が進んでいる。

電気自動車の最大の問題は、高価で重いバッテリーと航続距離の短さである。

米国では、この電気自動車の欠点を補うためにNEV (Neighborhood Electric Vehicle: 近隣用電気輸送機器)というコンセプトによる開発が進められている。従来のガソリンエンジン車などと同じ使い方をしないという考え方である。

日本でも近未来の自動車は、中長距離移動車にはFCV、短距離移動車にはEVという考えが広まりつつある。

急速に進む高齢化社会に対応するために、知事連合を中心に官民一体となった超小型車の開発が進められているが、候補としては電気自動車が有力である。

## (7) 電動機 (広義のEV)



二次電池と電動機で走る狭義のEV 以外に他の燃料を搭載する広義のEV がある。

●プラグインハイブリッドカー(PHEV)：電気自動車ほど多くの電池を搭載せず、充電可能なエンジンを搭載したプラグインハイブリッドカーが発売されている。電池切れとなってもハイブリッドカーとして走行できるため、長い航続距離(1回の給油で電気自動車の10~40倍)が得られる。欧米ではレンジエクステンダーと呼ぶ。

●燃料電池自動車(FCV)：自ら発電しながら走行する電気自動車を燃料電池自動車という。

○水素燃料電池自動車

○アルコール改質型燃料電池自動車

○アルコール直接型燃料電池自動車

○金属燃料電池(金属空気電池)自動車(1次電池である金属空気電池を交換する)

現在は、水素燃料電池自動車だけが実用車として販売されているため、FCVイコール水素自動車と思われがちである。

●電動アシスト自転車：ヤマハ発動機が発売してヒットしたモーターアシスト型の自転車。燃料は搭載せず人力で走行するため、バッテリー上がりでも走行は可能。