

分散型エネルギーとスマートグリッド

株式会社ビー・フロンティア
顧問 福島利明

〔1〕分散型エネルギーとIT

スマートグリッドは「発電所、送配電、変電所、家庭の電力メーターをITでコントロールすること」をコンセプトにスタートした。一方、分散型電源をネットワーク化した電力マネジメントシステムはマイクログリッドとも呼ばれている。前報でも述べたように、マイクログリッドは分散型電力網であり、建設費用が安価で、送電によるエネルギーロスが少ないなどのメリットがある。

分散型電源のエネルギー供給源としては、太陽光発電、風力発電、バイオマス発電、コージェネレーション、燃料電池等が挙げられる（図1）。

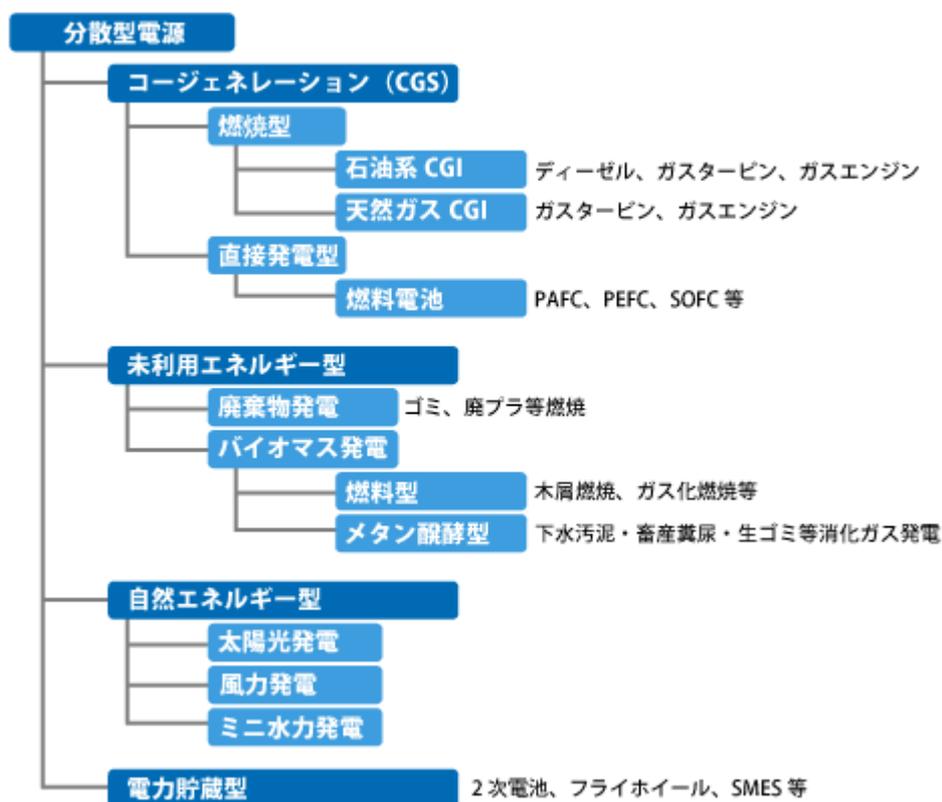


図1. 分散型電源

これらのエネルギー供給網を補い、ITを駆使してスマートグリッドネットワークシステム全体を管理することが重要になってくるが、既存の電力系統と繋ぐのは簡単ではない。受け入れるためには、新規の流通システムが必要になってきており、日本でも諸外国でもそういった流通システムの検証が進められている。

ITを利用した次世代配電ネットワーク

● Virtual Utility

インターネットによる分散型電源の統合運用

● Virtual Power Plant, Dispatching Backup Generation

分散型電源の統合

監視・自動制御 ・ ELD(経済負荷配分) ・ 待機電源の有効利用等

● Micro Grid

分散型電源 ・ 負荷の制御

電圧制御 ・ 無停電電力供給 ・ 実時間Pricing

● Customer Power Park, Custom Service Planning

実時間Pricingと競争

信頼性・電力品質(分散型電源による電力品質向上)

新しいインフラストラクチャー(通信網と顧客インターフェース)

● 需要地系統、FRIENDS、スーパーノードネットワーク、

● 新電力ネットワークシステム

・ 分散型電源有効利用 ・ 多品質電力供給 ・ 需要家情報提供

特に重要なのはITを使って「電気と情報と制御」をまとめていくという構想である。

「ヴァーチャル・ユーティリティ」や「ヴァーチャル・パワー・プラント」というシステムは、インターネット上に仮想のユーティリティやプラントを作り、統合運用したり、一括制御(グループコントロール、クラスタコントロール)が可能になる。

また、分散型電源の有効利用を目的とした新ビジネスモデルとして、「マイクログリッド」、すなわちある特定地域において分散電源によって電力を供給するネットワークシステムも注目されている。

さらに、最近出てきた「カスタマーパワーパーク」は、分散電源による多品質の電力供給システムを、顧客に新しい通信網で提供する方式である。

このような流れの中で出てきたのが日本では「需要地系統」、「フレンズ」等であり、新電力ネットワークシステムは、分散型電源の有効利用、多品質の電力供給、需要家情報の提供を目的としている。多品質供給とは、通常の電力の他に「一体電圧」「高調波除去」「無停電」「直流」など、必要な特性を組み合わせることで供給できる電力システムのことを表している。

次世代エネルギー流通システムの詳細や供給システムの実証プロジェクト例、さらに配電ネットワークが将来どのようなようになっていくかについては、また稿を改めて報告することにし、本報では主な分散型電源のエネルギー源を個別に解説する。

〔2〕太陽光発電

2-1) 太陽エネルギーと太陽光発電

太陽の中心部では水素原子がヘリウム原子に変わる核融合反応が進んでいる。その際に発生する核エネルギー（注1）が太陽エネルギーであり、その特徴は

- ・ 供給量が膨大で枯渇することがない（注2）。
- ・ 地域によって日射量の差はあるがどこでも利用可能。
- ・ クリーンなエネルギーで、石油や石炭のような環境汚染がない。

（注1）原子核反応は核分裂反応と核融合反応の2種類の反応に大別することができる。核融合反応の利用は実用段階にはなく、現在原子力エネルギーとして実用化されているのは核分裂反応のみである。

（注2）太陽は約46億年前に誕生した。太陽の寿命は約109億年とされており、まだ60億年以上地球にエネルギーを供給し続けることになる。

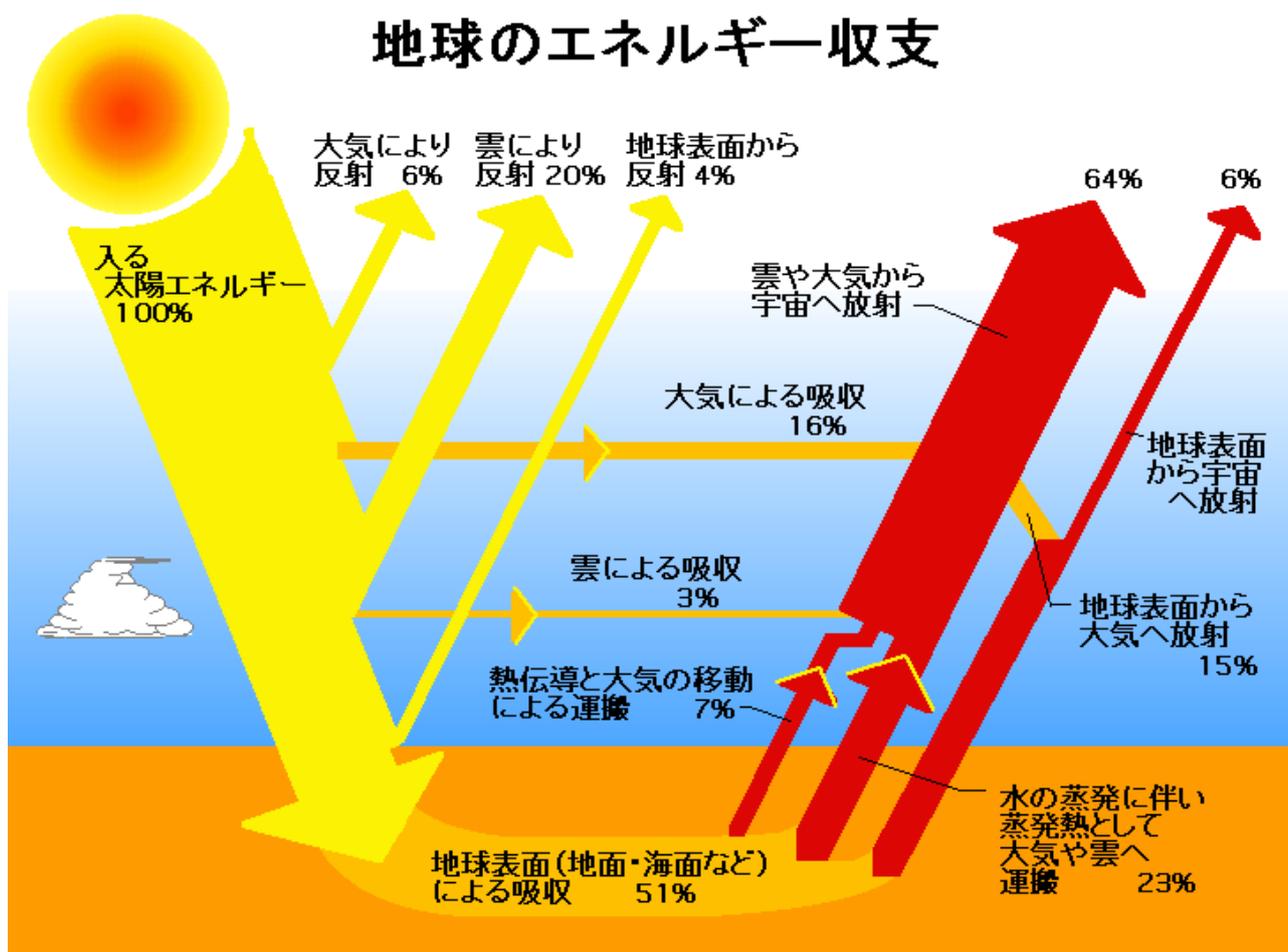


図2. 地球の太陽エネルギー収支 (出典: NASA)

太陽のエネルギーのごく一部が地球に届いているが、そのほんの一部のエネルギーでさえ地球にとっては膨大な供給量である。地球に届く太陽のエネルギーは1秒間で42兆kcalであり、世界の人々が1年間に使っているすべてのエネルギー（石油・石炭・天然ガス・原子力等々）を約1時間でまかなうことができる。

太陽のエネルギーは光として地球に届いているが、その1/3は宇宙に反射され、残りの大半は熱に変わる。また一部は風や波、海流、植物の光合成のエネルギー源になる。

太陽電池モジュールは、この膨大な太陽の光エネルギーを電気に変える役割を担っている。

2-2) 太陽電池が発電する理由

太陽電池は1953年アメリカで発明された技術で、半導体が光のエネルギーを吸収すると粒子（正孔と電子）が発生し、その粒子が太陽電池の中を動くことにより電気が発生する。

代表的な太陽電池である、シリコンを用いた太陽電池を図3に示す。

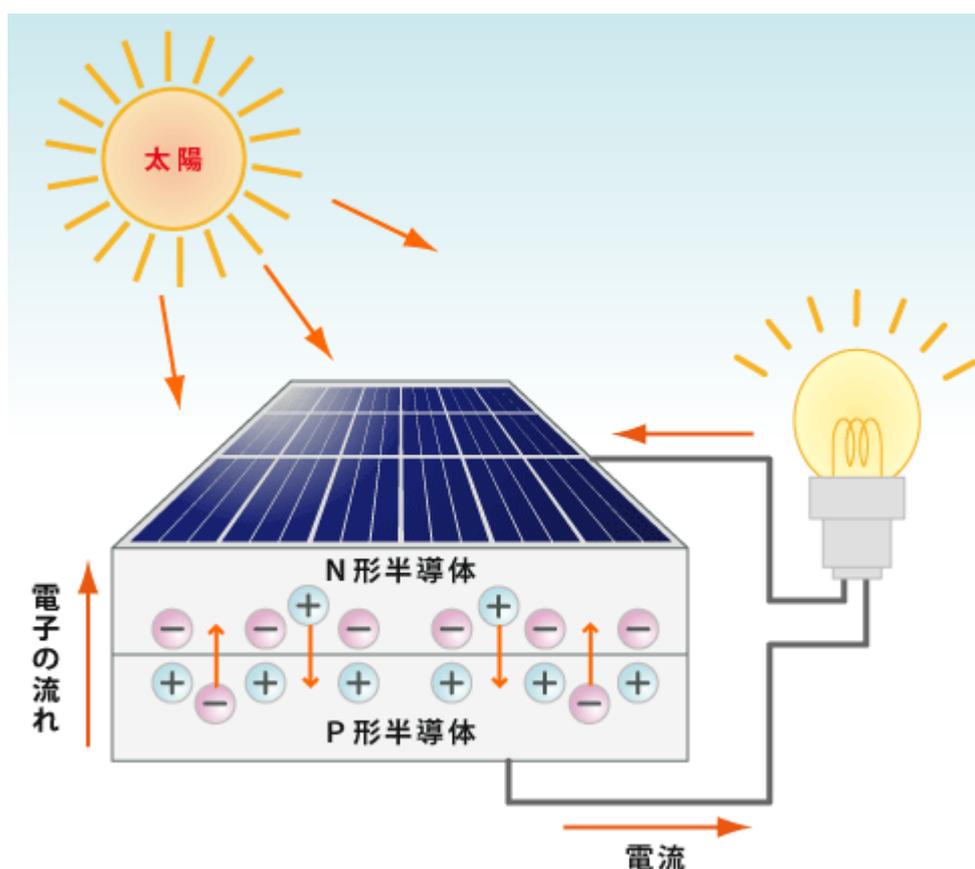


図3. 太陽電池の発電理由

太陽電池は図3のように、性質の異なるP形及びN形の半導体をつなぎ合わせた構造をしている。半導体は光を受けることにより+電荷の正孔と-電荷の電子を発生させ、これらの正孔と電子が

半導体内で動き回る。P形半導体は正孔（+）を引き寄せ、N形半導体は電子（-）を引き寄せる。この状態で外部負荷をつなげると電子の移動により電流が流れる。

2-3) 太陽電池の種類と特徴

1839年、フランスの物理学者エドモンド・ベッケルが太陽光を電気に変換させる発見をしてから100年以上経った1953年、アメリカのベル研究所のG.L.ピアソンらによって単結晶シリコンを使った現在の太陽電池の原型が開発された。当初は高価で、人工衛星用の電源などに使われていたが、現在では価格も下がり、一般家庭でも使えるようになった。図4に示すように、今ではいろいろな種類の太陽電池が開発されているが、結晶系シリコン太陽電池が主に使用されている。

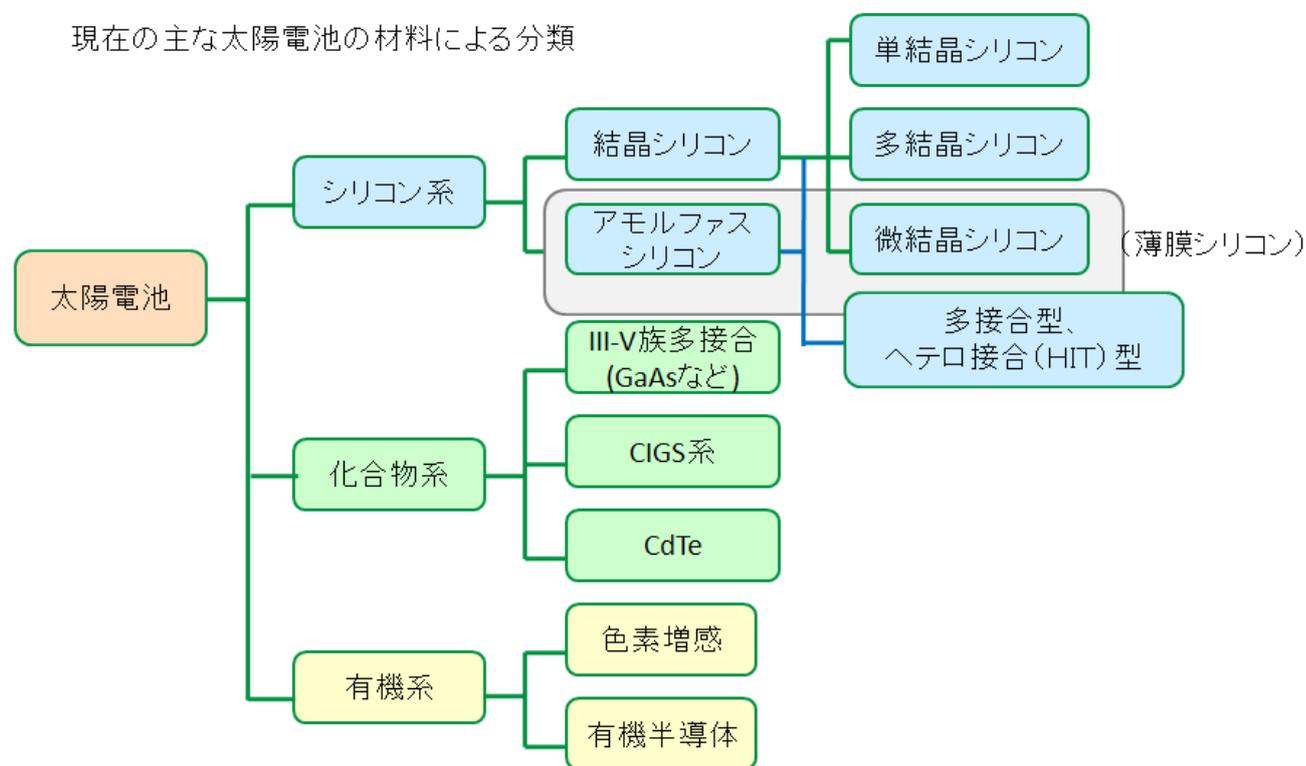


図4. 太陽電池の種類

太陽電池は英語で Photovoltaic あるいは Solar Cell という。太陽電池は太陽光を電気に変換するが、電気をためる蓄電機能がないので、Solar Battery とはいわない。すなわち光が当たった時だけ発電するので、夜は発電しない。太陽電池の優れている点と弱点をまとめると以下のようなになる。

<優れている点>

- ① エネルギーのもとである太陽の光が無料
- ② 世界中の誰もが平等に太陽の光を受け取ることが可能
- ③ 騒音が出ず（動くところがない）、設備の保守が簡単で、故障する頻度も少ない。
- ④ どんな地域にも設置でき、無公害

<弱点>

- ① 光が当たったときにのみ発電
- ② 太陽光発電システムはまだ高価
- ③ 広い設置面積が必要
- ④ 光電変換効率が低い。

「光電変換効率」は光のエネルギーを何パーセント電気のエネルギーに変換できるかを表す数値であり、太陽電池の性能を表す最も重要な特性である。

市販されている太陽電池の変換効率は 10~20%くらいであり、単結晶シリコン太陽電池の場合の理論限界は 30%程度と考えられている。変換効率と材料の間には一定の関係があり、材料や素子を工夫することによって 50%以上の変換効率も可能である。まだまだ研究レベルではあるが、50%の変換効率を目指した研究もスタートしている。

〔3〕風力発電

3-1) エネルギー源としての風

風が起きるのは、「太陽が地球を暖めることで起きる現象で、温まり方の違いが風を起こす」といえる。太陽のエネルギーは、日光が真上から当たる赤道付近で最も強く、北極や南極など緯度が高くなるにつれて弱くなる。赤道付近は陸地も海面も温度が高く、そこに接する空気も温められて軽くなり上昇する。するとその場所の気圧が低くなり、北半球では北東風、南半球では南東風が流れ込んでくる。地球は自転しているので、真北や真南の風にならない。

赤道に向かって移動する地球規模の南北の大気の流れを「貿易風」と呼んでいる。この赤道への風のように、気圧の高いところから低いところに向かって空気が移動することが、風の吹く基本的な原理である。地球には「貿易風」の他に、自転によって引き起こされる、西から東に吹く「偏西風」もある。日本の上空では、地上 12km から 16km あたりで西から東に吹いていて「ジェット気流」とも呼ばれている。

こうした地球規模のスケールの風以外に、夏と冬とで風向が変わる「季節風」や、もう少し規模の小さな朝と夕の周期で吹く「海風・陸風」や「山風・谷風」、特殊な気象条件での台風や竜巻もある。

世界の風力資源を合計すると、年間で 53,000TWh (テラワット時) となり、この値は現在世界で使用している電力量の 3 倍に相当する。この値には洋上の風力資源を入れていないので、実際にはもっと多くなると推測される。世界風力エネルギー協会の「Wind Force12」では、2020 年までに世界の電力の 12%を風力発電でまかなうという目標値を掲げている。

3-2) 風力発電の歴史

風力発電は、風の運動エネルギーを風車により機械的な回転力に変換し、その回転力で発電機を回して発電している。風車の歴史は古く、ヨーロッパ諸国では 700 年以上も前から、粉ひきや揚水など多くの用途に風車の機械力が使われてきた。風力発電が現れたのは 19 世紀の終わり、デンマーク

ではラクールが風力研究所を設立し、風洞を使って風力発電用の高速風車を体系的に開発し、農村電化用に普及させた。

20 世紀に入ると風力発電は、アメリカの農村部など電力網の届かない地域の他に、デンマークの農村部でのみ継続的に使用されていた。その後、第 2 次大戦後や 1970 年代の石油危機直後などに、各国で一時期開発が行われるが、世界で本格的に導入が始まったのは 1990 年代以降のことである。

3-3) 風車の大きさ・仕組み・発電能力

風力発電で使われる風車は 2010 年現在、定格出力 1.5MW（1 時間で最大 1500kW の出力が可能）や 2.5MW（同 2500kW）が世界的にみてもスタンダードになっている。1980 年代初頭に 50kW の風車が最大級だったことを考えると、近年の風車大型化の技術は向上している。図 5 に定格出力 1.5MW の風車の 1 例を示す。

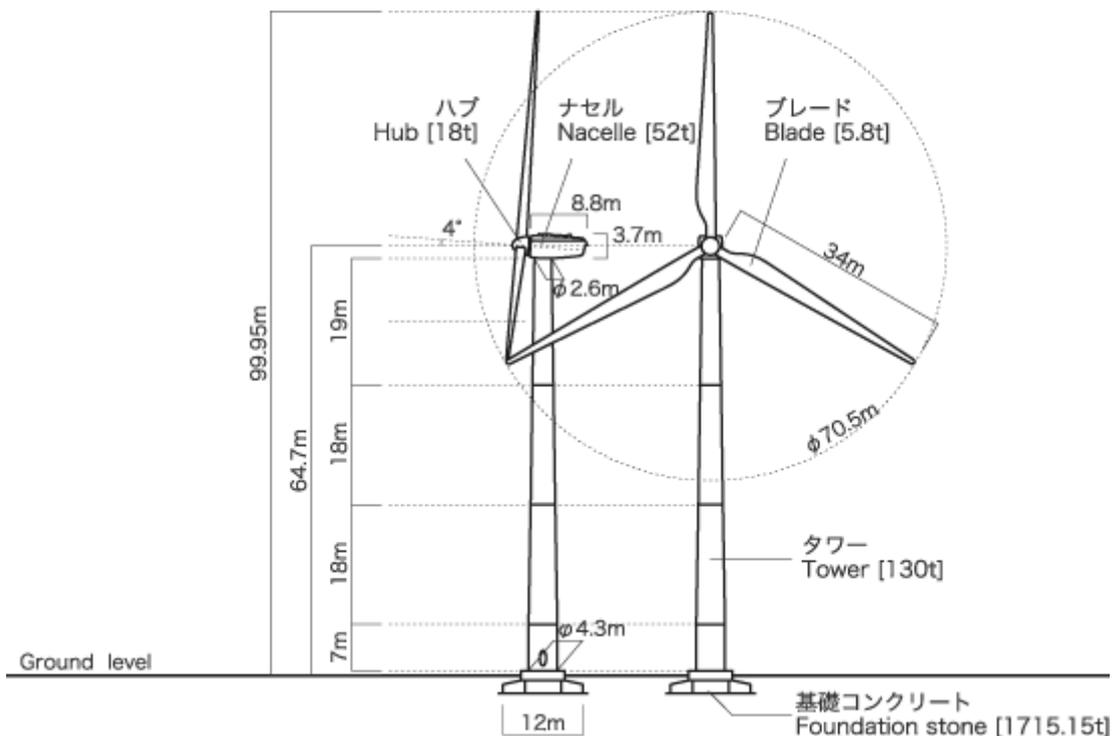


図 5. 1.5MW 風車

風車の出力は受風面積（ブレードの回転する円の面積）に比例するので、風車を大きくすればそれだけ多くの電力を得ることができる。現在、世界で最大の風車は定格出力 6MW で直径は 126m になる。50kW の風車の直径は 15m だったので、ここ 30 年前後で飛躍的に大型化している。

風車は大きく分けて 4 つのパーツから構成されている。

- ・風を受けて回転するブレード
- ・ブレードの付け根をローター軸に連結するハブ
- ・ハブからローター軸を通じて連結された増速機・発電機などを収納するナセル
- ・ブレード、ハブ、ナセルを支え、各種のケーブルの通り道ともなるタワー

図 6 に風車駆動の中心的な役割を担っているナセルとその周辺を示す。

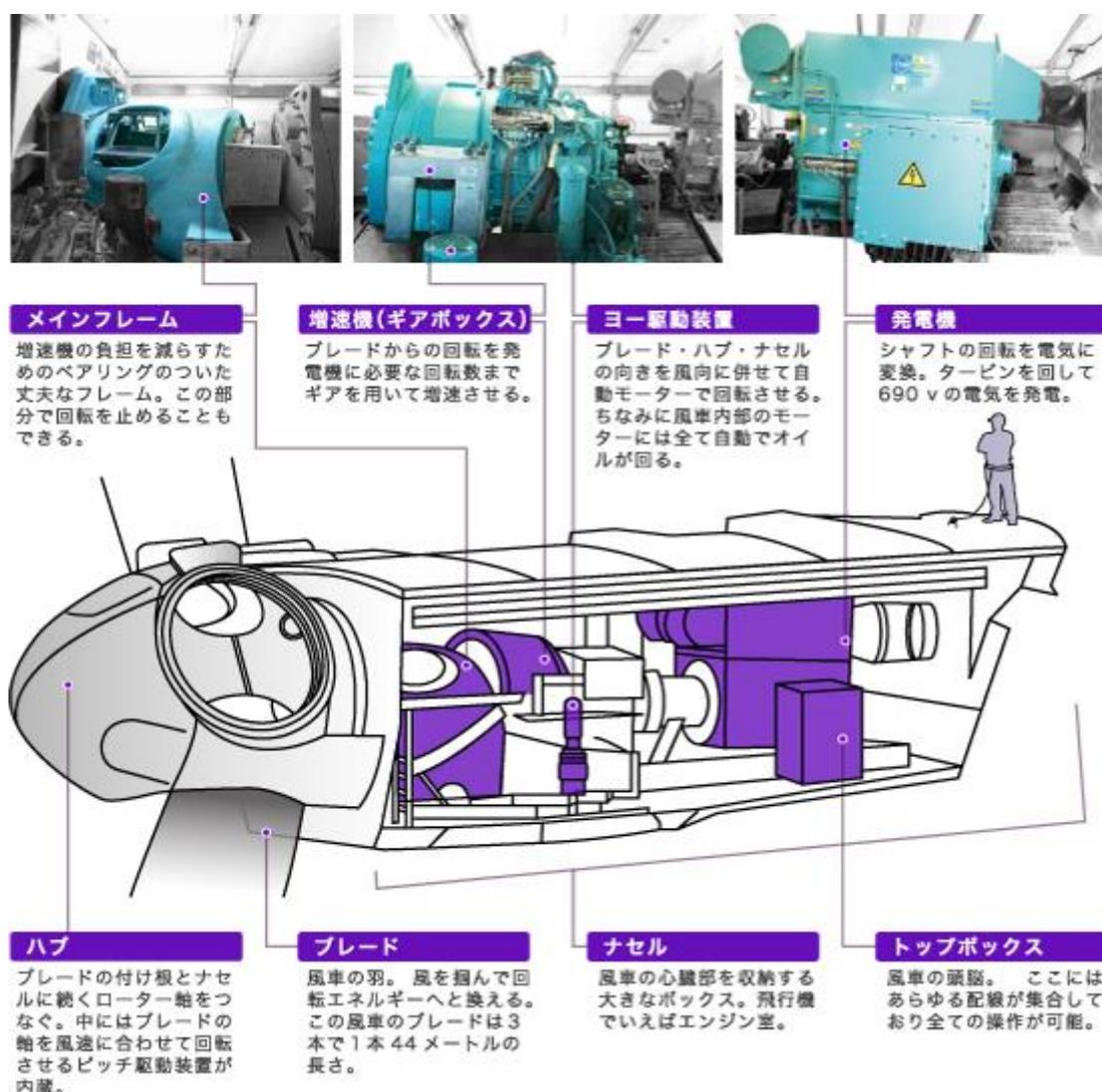


図 6. ナセルとその周辺部 (GE 社製 2.5MW 風車)

ブレードが風を受けて回り、ローター軸を通じて、増速機（ギアボックス）によって回転を上げ、発電機に接続して電気を作っている。電気はタワー内部の変電設備を通り、変電所へと運ばれる。

2.5MW の風車 1 基が 1 年間で生み出す電気は約 6000MW で、一般家庭の年間消費電力の約 1600 世帯分に相当する。

[4] バイオマス発電

「バイオ(bio)」＝「生物」と「マス(mass)」＝「大量」からの造語である「バイオマス」とは、太陽エネルギーによって育まれた様々な生物体に蓄積されている有機物資源を表している。

バイオマスはエネルギー源として利用できるが、石油、石炭などの化石資源とは異なり、再生可能な資源と言われている。

バイオマス原料は、これまで利用されていなかった廃棄物系と、主に食料用途で栽培されていた作物系に分けることができる。図 7 に廃棄物を利用したバイオマス発電システムの一例を示す。

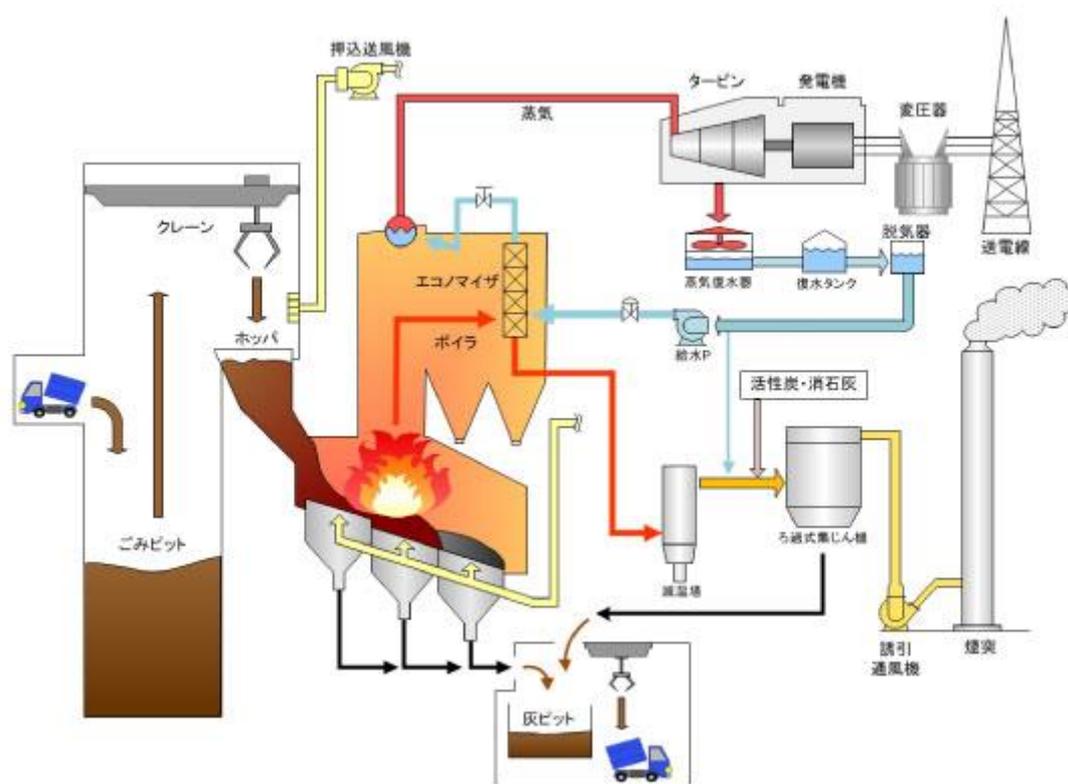


図 7. バイオマス発電システム

ごみ収集車で集めたごみを焼却炉で燃焼させる。このときに生じた熱を使って、ボイラーで蒸気を作り、蒸気タービンで発電する。

電力利用では、発電と排熱利用を併用するコージェネレーションシステムとして利用される場合も多く見られる。

〔5〕コージェネレーション

コージェネレーションは内燃機関等の排熱を利用して動力・温熱などを取り出し、総合エネルギー効率を高める、新しいエネルギー供給システムの一つである。略してコージェネとも呼ばれ、「熱電併給」ともいう。

燃料電池を使用しているコージェネレーションシステムの一例を図8に示す。



図8. 燃料電池を使用したコージェネレーションシステム

燃料電池システムで高効率に発電された電気は各種電気機器へ、発生した熱はお湯として貯湯し、給湯や床暖房などに有効利用される。

家庭用燃料電池システムには、家庭で使用する電気やお湯の需要パターンを蓄積し、暮らしに合わせた省エネ運転を行う学習機能がついている。

〔6〕燃料電池 (Fuel Cell)

電池と名前がついている関係上、燃料電池は電気を蓄えるための装置として連想されることが多いが、実際には電気をためる装置ではなく、電気を発生させる一種の発電器と理解した方がよい。その点では、自動車などに使われている鉛蓄電池よりも、ディーゼル発電機や、規模こそ違うものの、むしろ火力発電所に近い装置と言える。

燃料電池の歴史は古く、1839年のイギリスのグローブが行った実験が始まりとされている。負極活物質に水素、電極に白金を用いた、(－) 白金 | 水素 | 希硫酸 | 酸素 | 白金 (+) の電池を構成し、外部回路で電気が得られるというものであった。当時は電気を発生させる実験のみが目的で、実用化に向けての研究開発は行われなかった。

それから約120年を経過して初めて、燃料電池は実用化に向け動き始めることになる。1959年にペーコンは濃厚水酸化カリウム水溶液を電解質に用いたアルカリ電解質形水素・酸素燃料電池 (AFC)

を試作し、1960年にグラブらが陽イオン交換膜形水素・酸素燃料電池（SPFC）を開発した。前者はアポロ宇宙船に、後者は宇宙衛星ジェミニ5号に搭載された。燃料電池の実用化が宇宙開発とともに始まったと言える。最初に目が向けられた分野が宇宙用であった理由は、ロケットの燃料が水素と酸素であり、燃料電池も同じ原料を使用しているからであった。

燃料電池の原理

ディーゼル発電機や火力発電所は、燃料を燃やして熱を発生させ、その熱によって機械を動かし、発電機を回して電気を作り出している。すなわち、化学エネルギー → 熱エネルギー → 力学的エネルギー → 電気エネルギー のように何段階ものエネルギー変換プロセスを経て、電気を生み出している。これに対して燃料電池は、電気化学反応によって化学エネルギーから直接電気を取り出している（図9）。

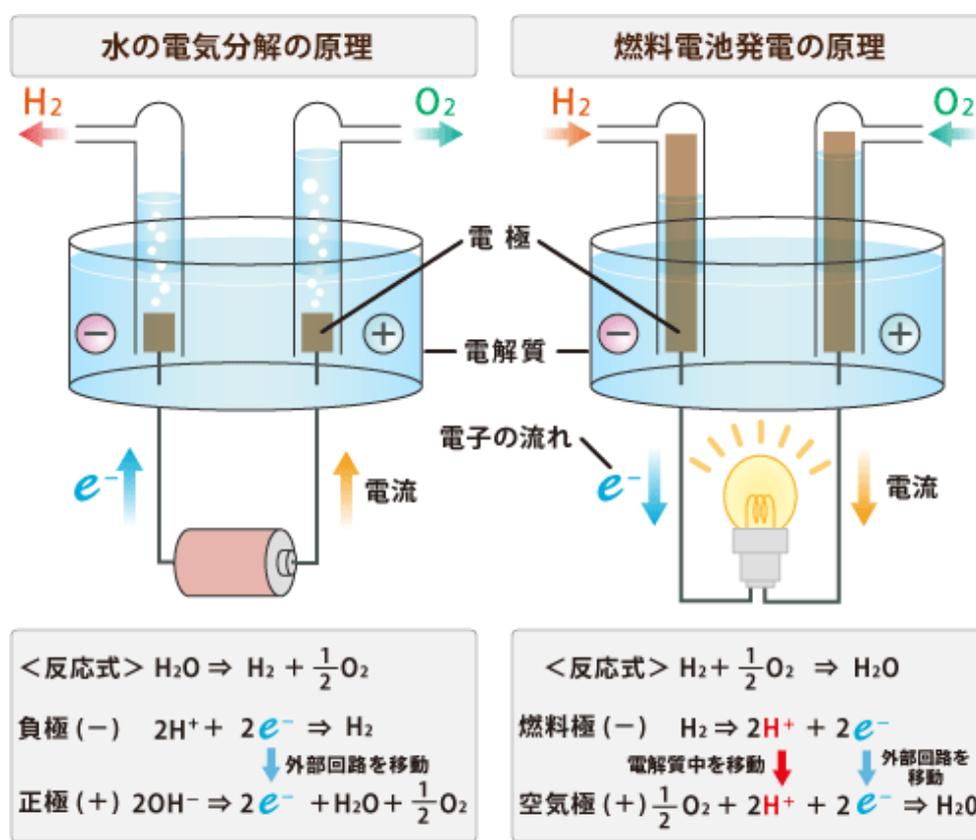


図9. 燃料電池の原理

水を電気分解させると、+極に酸素が発生し、-極に水素が発生する。燃料電池はこれとまったく逆の反応で、水素と酸素（空気）から電気を発生させる。ただ、水素は地球上で単独では存在しないので、通常は化石燃料を高温や触媒を用いて化学反応させ、反応に必要な水素を作り出している。この過程を燃料電池の世界では、改質プロセスと呼んでいる。燃料電池では、電気と同時に必然的に熱が発生するので、単に発電機としてのみならず、しばしばコジェネレーション用機器として利用される。

燃料電池の種類と用途

燃料電池は水素（改質ガス）と酸素（空気）から、電気化学反応によって直接電力と熱を取り出す方式は共通であるが、イオンの通路である電解質の種類によっていくつかに分類される。図 10 に代表的な燃料電池と用途を示す。

	固体高分子形 (PEFC)	りん酸形 (PAFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	固体電解質形 (SOFC)
原料	都市ガス, LPG 等	都市ガス, LPG 等	都市ガス, LPG, 石炭 等	都市ガス, LPG 等
作動気体	水素	水素	水素, 一酸化炭素	水素, 一酸化炭素
電解質	陽イオン交換膜	りん酸	炭酸リチウム 炭酸カリウム	安定化ジルコニア
作動温度	常温～約90℃	約200℃	約650℃	約1000℃
発電出力 発電効率 [LHV]	～50kW (35～40%)	～1000 kW (35～42%)	1～10万 kW (45～60%)	1～10万 kW (45～65%)
開発状況	実用化	実用化	研究段階	研究段階
用途と段階	家庭用、小型業務用、 自動車用、携帯用 導入普及段階	業務用、工業用 導入普及段階	工業用、分散電源用 実証段階 (1MWプラント開発)	工業用、分散電源用 試験研究段階 (数kWモジュール開発)

図 10. 代表的な燃料電池と用途

現在、開発の主流は固体高分子形燃料電池であり、特に住宅用をめざして開発が進められている。

〔7〕 結言

電力の事は、規制を受け持つ経産省と、電力業界と、機器を納入する重電メーカーとが議論していればよかったという時代が長く続いてきた。

スマートグリッドが語られ始めた頃から、電力の議論に IT 業界、家電業界、コンサルティング業界も加わるようになった。また、いわゆるビークル・ツー・グリッドの可能性のあることから、自動車業界も参加するようになった。

その後、スマートグリッドの拡大版という位置づけがあるスマートシティが新しい産業として脚光を浴びるようになり、プレイヤーとして不動産業界、住宅メーカー、建設業界などが加わってきた。ガスや熱を含むエネルギーマネジメントという枠組みで、彼らも電力の事を論じるようになってきた。

2011年3月の東日本大震災、福島第1原発事故とそれに続く計画停電、各地の原発の運転停止、電力需給のひっ迫などにより、電力を取り巻く状況には大きな変化があり、様々な業界の人たちがスマートグリッドにかかわる時代になっている。

ITはスマートグリッドの中核をなすものであり、ITに携わる人たちが、何らかの形で電力、スマートグリッド、スマートシティなどにかかわる際に必要になる基本知識、主な技術、キーワードなどを一通りインプット出来ることを念頭において執筆しました。多くの方々のお役にたてることを願っています。