

Lectures on Energy

Supervised by Shimoda Yoshiyuki, text by Tohma Kiyoshi

エネルギー講座 暮らしとエネルギー

第六講

電力供給システム

電気を作り届けるしくみを知る

下田 吉之 監修

大阪大学大学院教授

当麻 潔

大阪ガス(株)エネルギー・文化研究所研究員

電気のしくみを知ろう

私たちの生活に電気はなくてはならないものです。電気はエネルギーの一種で、単位時間あたりの電気の仕事量が「電力」です。「電力」を決めるのが、電子が流れる量である「電流」と、電子を流そうとする圧力である「電圧」です。「電力(W)」は「電圧(V)」と「電流(A)」の積で求められます。

「電力(W)」に時間(h)をかければ、電気が実際に行った仕

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う

太平洋沿岸の原子力発電所・火力発電所の停止により、

関東地区では電力供給量が不足し、計画停電が実施されました。

さらに翌2012年には、新しい安全基準の策定のために、

原子力発電所の再稼働が困難となり、関西地区を中心に全国的に電力需給が逼迫し、

国民の電源や電力供給に対する関心が非常に高まりました。

エネルギー講座第6講では、まず、電気の基礎知識を学び、

電力供給システムの現状と今後について考えてみます。

事量である「電力量(Wh)」となります。水道に例えれば、水道の蛇口から出る水の勢い(単位時間あたりに流れる水の量)が「W」で、容器に溜まった水の総量が「Wh」です。「W」は、発電設備の発電出力(能力)やピーク電力需要を表すのに用いられ、「Wh」は、月間(年間)電力使用量に用いられます。

私たちが日常生活で使っている電気には、「直流(DC: Direct Current)」と「交流(AC: Alternating Current)」があります。「直流」とは、常に一定方向に流れる電流のことであり、

乾電池や自動車のバッテリーのように、プラス極からマイナス極に移動します。「交流」とは、電流の流れの方向と大きさ（電圧）が周期的に変化する電流のことで、家庭用の電源は交流です。直流で動くパソコンなどの電化製品は、アダプターを使って、交流から直流に変換しています。

「交流」は、電流（電圧）を縦軸、時間を横軸で表すと、グラフがサインカーブという波形（プラスの山とマイナスの山をひとつの波形とした繰り返し波形）を描きます。1秒間に繰り返しされる電流（電圧）の変化の回数を「周波数（Hz：ヘルツ）」といいます。日本では、静岡県の富士川から新潟県の糸魚川あたりを境に、東日本では50Hz、西日本では60Hzが用いられています。2つの周波数の電気が用いられた経緯は、初めて発電機を輸入した明治時代に、関東ではドイツ製の50Hz用、関西ではアメリカ製の60Hz用を採用したためです。周波数を全国統一するには、莫大な費用と時間がかかるため、現在でもそのままになっています。

電力供給システム

1 多様な発電方式

私たちが家庭で使っている電気はどのように作られ、届けられるのでしょうか。

電気は、遠く離れた発電所で作られ、高い電圧で発電所から送り出され、送電線→変電所→配電線→引込線を経て、家庭に届けられています（Chart）。発電の方式には、「火力発電」「原子力発電」および「再生可能エネルギー発電（水力発電を含む）」があります。

「火力発電」は、化石燃料を燃やしたときに発生する熱エネルギー（高温高压の水蒸気）でタービン発電機を回して電気を起こします。発電に使用される化石燃料としては、「石炭」「石油」「天然ガス（LNG：液化天然ガス）」があります。

「原子力発電」は、原子炉の中でウランを核分裂させ、できた中性子の速度を下げて核分裂を連続させ、そのとき発生する熱で高温高压の蒸気を作り、タービンを回して電気を起こします。「再生可能エネルギー発電」は、化石燃料以外のエネルギー源のうち、永続的に利用することができる再生可能エネルギーを

使って行う発電です。再生可能エネルギーには、「太陽光」「風力」「太陽熱」「バイオマス」「水力」「地熱」などがあります。

「水力発電」は、水が高いところから低いところに流れ落ちる力を利用して水車を回し、水車と直結した発電機で電気を起こします。河川の流れをそのまま利用した「流れ込み式」、河川の流れをせき止め、水を貯める調整池を利用した「調整池式」、大規模なダムに大量の水を貯める「貯水池式」、発電所の上部と下部に調整池を作り、発電に用いて下部池に貯まった水を需要の少ない夜間の電力で上部池に汲み上げ、需要の多い昼間に再度発電を行う「揚水式」があります。揚水式発電は、昼間と夜間の需要の凸凹をならして、発電所の稼働率を向上させるための蓄電池の役割を果たしています。

各発電方式の比較を3E（エネルギー・セキュリティ、環境性・CO₂排出量、経済性）+S（安全性）の観点から行い、「Table 1」にまとめました。また、政府が試算した発電コストも参考に記載しました。

2 期待される再生可能エネルギー発電

再生可能エネルギー発電は、発電時にCO₂を発生しない、純国産エネルギーを用いての発電方式であり、燃料を輸入

する必要がなく、持続可能性の観点からも、導入促進が必要です。ところが、わが国の再生可能エネルギーの導入率は、2011年度の発電電力量ベースで1・4%（「エネルギー白書2012」）であり、一方、ドイツは15・4%、イギリスは2・8%（いずれもENTSO-E：欧州送電会社協会による2011年データ）となっており（いずれも水力を除く）、海外と比較しても極めて低い状況にあります。そこで、再生可能エネルギーの導入促進のため、2012年7月に「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」がスタートしました。

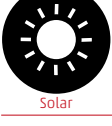
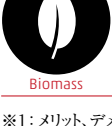
再生可能エネルギーといえば、「太陽光発電」や「風力発電」をイメージする人が多いのですが、日本は有数の火山国であるため「地熱発電」のポテンシャルも大きく、また、建築廃材や家畜の排泄物などの廃棄物系から森林などの木質系まで多様なバイオマスを活用した「バイオマス発電」も有用な再生可能エネルギー発電です。

Table 1 発電方式の比較表

さまざまな発電方式とそのメリット、デメリット

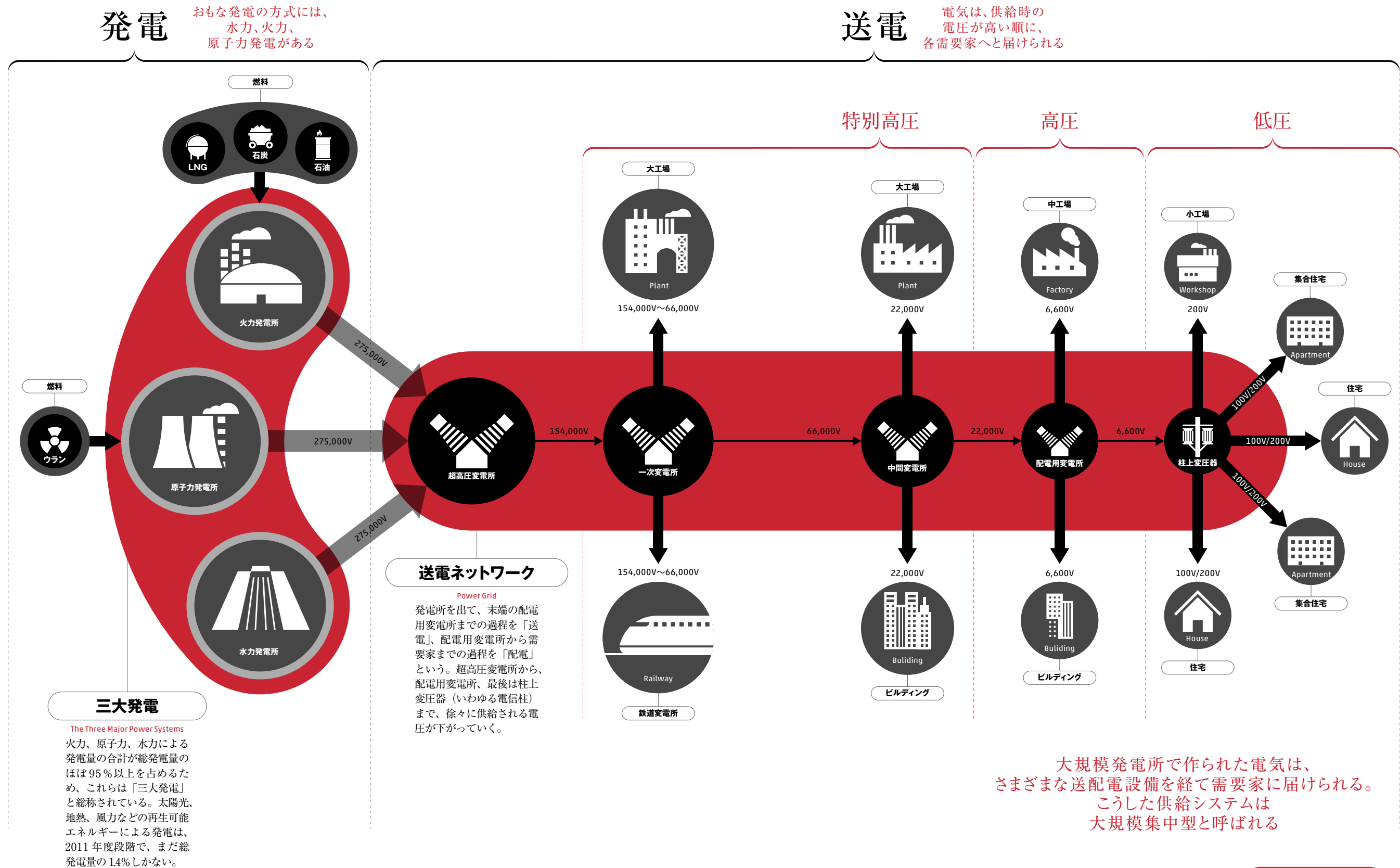
化石エネルギー

再生可能エネルギー

方式	メリット	デメリット	発電コスト(円/kWh)
 原子力 Nuclear	● 発電時CO₂を排出しない ● ウラン資源が広く分布し、供給安定性は高い	● 社会的受容性に問題 ● 放射性廃棄物の処理処分方法が確立していない	¥8.9～
 石炭 Coal	● 資源量が広くまた多くあり、供給安定性は高い ● 他の化石燃料と比較して、低価格で安定している	● 化石燃料のなかでCO₂の排出が最も多い (CO₂排出量：石炭>石油>天然ガス)	¥10.3～10.6
 石油 Petroleum	● 需要変化への対応に優れている ● 燃料貯蔵が容易である	● CO₂の排出が多い ● 中東への依存度が高く、供給安定性に懸念がある ● 燃料価格が高い	¥25.1～28.0 (利用率50%)
 天然ガス (LNG) Natural Gas	● 高効率で需要変化への対応に優れる ● 燃料の調達先が分散しており、長期契約が中心であるため、比較的供給安定性は高い	● CO₂を排出する (化石燃料のなかでは最も少ない) ● 燃料および輸送費が高い ● インフラ整備が必要	¥10.9～11.4
 太陽光 Solar	● 発電時CO₂を排出しない ● 資源の制約がない ● 戸建住宅に容易に設置可能	● 天候や時間帯により出力が変動し、発電が不安定	¥9.9～20.0 (住宅用)
 水力 Water	● 発電時CO₂を排出しない ● 需要変化への対応に用いられる(揚水発電)	● 大規模な新規開発が困難 ● 渇水時に発電が困難	¥19.1～22.0 (小水力)
 風力 Wind	● 発電時CO₂を排出しない ● 資源の制約がない	● 風況により出力が変化し、発電が不安定 ● 電線、景観や低周波騒音の問題等立地場所が限定される	¥8.8～17.3 (陸上)
 地熱 Geothermal	● 天候に左右されず、供給安定性に優れる ● 世界有数の火山国であり、ポテンシャルは大きい	● 適地地の多くが国立公園内にあり、また、温泉源泉の枯渇懸念が温泉組合にあり、建設に制約	¥9.2～11.6
 バイオマス Biomass	● 過去数十年の大気中のCO₂を生物が光合成したものであり、トータルでCO₂フリー ● 安定した出力が得られる	● 資源回収システムが未整備	¥17.4～32.2 (木質専焼)

※1: メリット、デメリットは、CELでの整理 ※2: 発電コストは、エネルギー・環境会議「コスト等検証委員会報告書(2011年12月19日)」より

発電された電力が家庭に届くまで



地球温暖化対策としても有効であり、今後の導入促進が期待されます。

3 バランスのとれた電源構成

わが国の電源構成を見ても、1963年度に火力発電の出力が水力発電を上回り、その後、石炭火力から石油火力への転換が行われ、大容量・高効率の石油火力発電が増加しました。1973年度の第一次オイルショックを契機に、原子力、LNGが石油代替電源として積極的に開発され、電源の多様化が進められました。その結果、わが国の電源構成は、他国と比較して、原子力、化石燃料（石炭、石油、LNG）、水力のバランスがとれた構成となっていました。

一日の電源構成は、運転特性、経済性等を考慮して、多様な電源を組み合わせ、各電源を、「ピーク」「ミドル」「ベース」の供給力に振り分けています。

3・11の東日本大震災に伴う東京電力の福島第一原子力発電所の事故以降、原子力発電所の停止が相次ぎ、2011年度は、LNG火力発電の構成比が40%と最も多くなっています。LNG火力発電は、近年コンバインドサイクル（ガスタービンの排熱を利用してさらに蒸気タービンを回して発電する方式）で、50%以上の発電効率を実現しており、今後の火力発電の主流になると思われます。

4 電気は送配電線を通じて家庭まで届きます

発電所で作られた電気は、需要家までさまざまな電力設備を経て届けられます。電線に電気を通すと、電気抵抗により、電気エネルギーの一部が熱となって空中に放散されます。これを送電ロスといいます。通常、発電所から需要家までの距離が長いと、発電所から電気を高い電圧で送電することで、少ない電流でも送電ロスを少なく送ることが可能になります。そのため、一般的には、27万5000～50万Vと非常に高い電圧で送電されます。送電ロスは、「直流送電」の方が少ないのですが、電圧を変えることが難しく、変圧器で簡単に電圧を変えられる「交流送電」が主流となっています。

発電所から「送電線」を通じて高圧で送られた電気は、何カ

所かの変電所を経て、電圧が下げられ、配電用変電所で一般家庭に電気を供給するため6600Vまで下げられます。そこから、「配電線」を通じて、電柱に設置されている「柱上変圧器」で100Vまたは200Vにまで下げられ、一般家庭に届けられています。

電気の需要と供給のバランス

電気は貯蔵することができないため、安定した電気を供給するためには、変動する需要（消費量）に対して、供給（発電量）を時々刻々と一致させる必要があります。これを「同時同量」といいます。

この需要と供給のバランスが崩れると、周波数や電圧等、電気の品質に影響します。需要に対して供給が多いと、周波数が上昇し、少ないと下降します。3・11の東日本大震災直後、東京電力は管内で計画停電を実施しましたが、これも原子力発電所および火力発電所が停止し、需要に対応するだけの電力供給量が確保できなかったためです。通常、故障による停止や景気の変化、猛暑に備えて、夏季のピーク需要に対して8～10%程度余裕を持って供給を準備する必要があると言われています。

電力会社は、周波数の偏差が0.1～0.3Hz以下になるようにコントロールしています。電気の使用状況は、一日のなかでも朝、昼、夜で大きく変化し、季節によっても異なります（Chart 3）。常に、電気の使用状況に合わせて発電所の発電量をコントロールする必要があり、各電力会社の「中央給電指令所」が発電所に指令を出し調整しています。

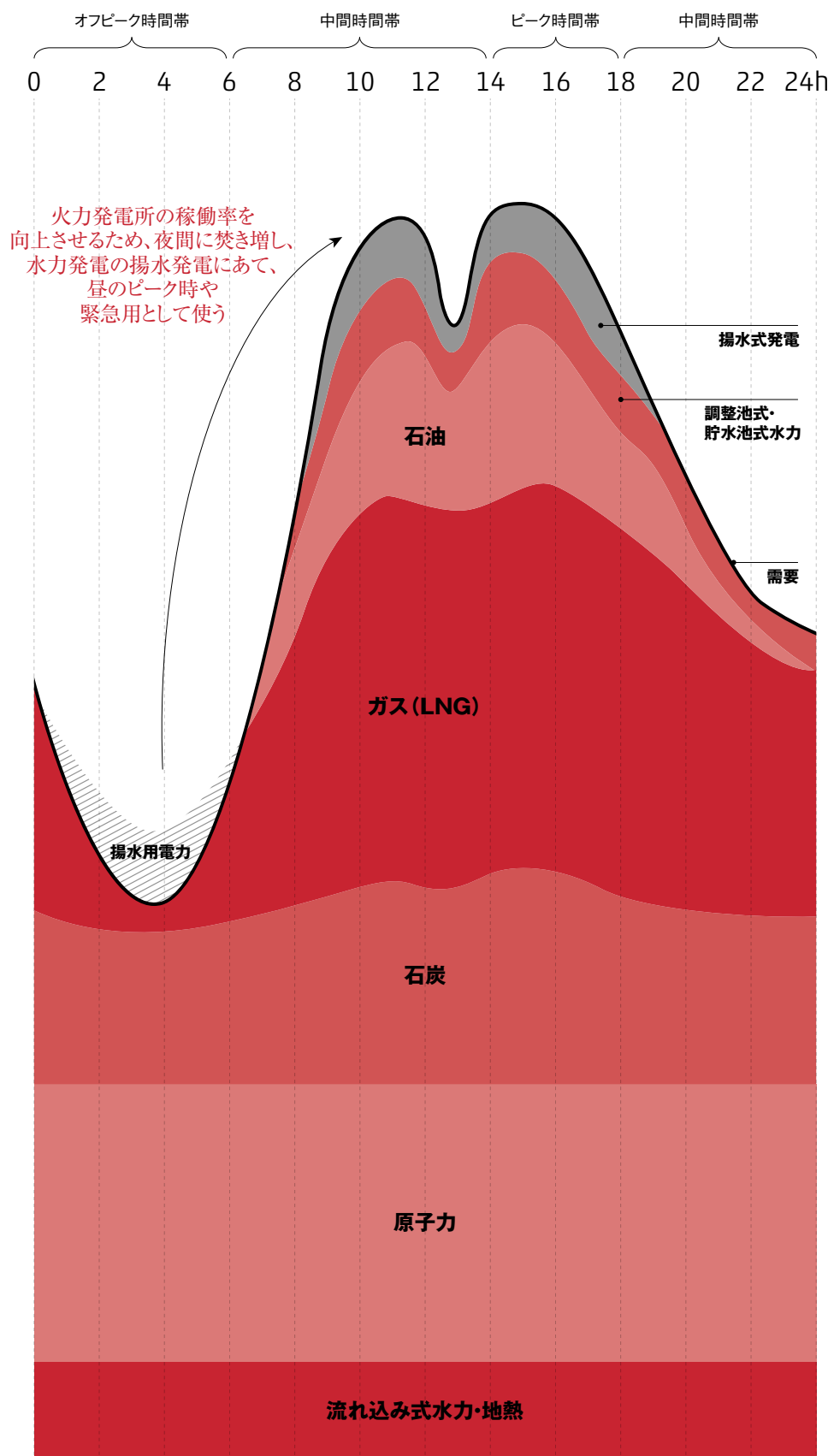
同時同量を行うため、3・11東日本大震災時のように発電所が停止した場合も想定し、異なる周波数間も含めた、全国規模の融通による、電力安定供給体制の強化が必要とされています。

大規模集中型から分散型へ

従来型の、需要家から遠い沿岸部に建設された大規模発電所から送配電線を経て需要家に電気を届ける「大規模集中型電源」に対して、需要家近辺に分散して設置した太陽光発電、燃

24時間供給量をコントロールする工夫

3.11東日本大震災前のイメージ図



料電池、コージェネレーション等の電源を「分散型電源」といいます。3・11東日本大震災に伴う原子力発電所の停止による計画停電や、全国的な電力需給の逼迫から、この分散型電源の重要性が高まっています。

分散型電源は、防災対応等の緊急時に既存の電力会社の電力に依存しない自立型としての活用可能性があり、需要地と近接して設置するため送電時のエネルギー損失を低減できる利点があります。

また、燃料電池やガスエンジン等のコージェネレーションによる排熱を近接した需要地で有効利用することができ、エネルギー

ギー総合効率が高まります。

一方、出力が不安定な太陽光発電や風力発電等が大量に電力系統に接続された場合、周波数の乱れや余剰電力の発生、配電網の特定地点での電圧上昇等の問題が生じる懸念もあります。

今後、大規模集中型と分散型の連携による、電力の安定供給のための技術開発や仕組みが必要となってくる。

これからの電力システム

分散型電源と大規模集中型電源とをネットワーク化し、電力

それぞれの電源には、コスト構造に特徴がある。24時間、需要に応じた量を安定供給し、かつ発電コスト全体が最も安価になるように、各電源を組み合わせる運転パターンを決定している。

を効率よく（賢く）マネジメントするシステムである「スマートグリッド」が注目されています。これは、太陽光発電や風力発電等、出力が自然条件に左右される再生可能エネルギーを大量に導入しつつ、安定的な電力供給を確保するため、バックアップ電源や大容量蓄電池等の電力系統側の対策だけではなく、情報通信技術（ICT）を用いて需要側での対策も講じ、効率的に需給バランスをとり、電力の安定供給を実現する電力送配電網のことです。

さらに電力に加えて、熱も併せたトータルのエネルギーをICTを用いて制御するネットワークを「スマートエネルギーネットワーク」といいます。再生可能エネルギーと合わせてコージェネレーションを地域全体で制御して、発電の際に発生する排熱を電力と共に地域ネットワーク内で活用・最適化するものです。また、コージェネレーションの運用により、再生可能エネルギーの出力変動を平滑化する効果も期待できます。

さらに、電力と熱に加えて、地域の交通システムや水、市民

Column

岐路に立つ電気事業

電気事業は、福島第一原子力発電所事故以降、大きな岐路に立っています。これまで電力供給において重要な役割を果たしてきた原子力発電の安全性への懸念から、安全審査を中心に、その位置づけの見直しも検討されています。これに伴い、ほとんどの原子力発電所の停止が続いていることで夏場・冬場の節電が求められるようになっているとともに、電力会社の化石燃料の購入費用が増加し、東京電力、関西電力および九州電力の電気料金値上げが行われ、さらに東北電力、四国電力そして北海道電力でも同様に値上げが行われる予定になっています。また2012年



Ogasawara Jyunichi

のライフスタイルの変革までも幅広く含むエリア単位の次世代エネルギー・社会システムが導入されたコミュニティを「スマートコミュニティ」といいます。今後の新たなエネルギー・社会システムとして期待されており、京阪奈、北九州、横浜、名古屋等で実証試験が行われています。

エネルギー・リテラシー向上のために

電気は私たちの生活には不可欠なエネルギーです。電力をはじめとするエネルギーの選択には、供給安定性、環境性、経済性、持続可能性等を考慮した合理的な判断が必要です。そのためにはエネルギー・リテラシー（エネルギーを賢く使うための基礎知識）を身につけることと、継続的なリテラシーの向上が重要となります。このエネルギー講座が読者のエネルギー・リテラシーの向上に貢献できるものと確信しています。

（財）日本エネルギー経済研究所
電力石炭ユニット
電力グループマネージャー
研究主幹

小笠原潤一

7月から再生可能エネルギー発電の固定価格買取制度が開始され、メガソーラーなどの太陽光発電の設置が進んでいます。さらにこれまで大口需要家を中心に自由化が進められてきました。が、今回はより一歩踏み込んで電力会社の送配電部門の法的分離と全面自由化（家庭も電力会社を自由に選択する制度で、2016年度から開始予定）を行うことになりました。スマートグリッドや分散型電源、省エネルギー・サービスなど、新しい動きも見られます。今後は皆さんの、電力会社やさまざまな関連サービスの選択により、電気事業の新しい姿が決まっていくことになります。