

The Trends toward Greater ICT Control and Integration into the Grid

Underlying Policies and Market Drivers

日本語訳を11ページに掲載

Electricity networks have long been characterised as mature and conservative technologies, relying on proven concepts of power engineering and electrical design dating from the late 1800s. Power flows from large-scale generating plant through high-voltage transmission and lower-voltage distribution networks before being delivered to consumers. This system is used throughout the world with great success, and is an essential enabler of modern living.

Recently however, both government policies and market forces have produced drivers that challenge the notion of an electricity grid being a simple unidirectional series of wires and transformers and make the case for a 'smart grid,' in which information and communication technologies (ICT) are integrated directly into the electricity networks. These advances have the potential to transform the way customers and supply companies interact with electricity, and provide significant new commercial opportunities for communications, monitoring, control, and data aggregation technologies throughout the electricity system, from generation through to the consumer.

European governments have heavily invested in large-scale demonstration and development projects to trial smart grid and metering technologies, with current investments totalling approximately €5 billion. These projects are being driven by:

- (1) Policies to decarbonise national electricity systems being led by governments
- (2) Concerns regarding security of energy supply and the resilience of electricity networks to extreme events
- (3) Moves towards greater competition, choice, and innovation in the energy supply market
- (4) The integration of electric vehicles, electric heating, and distributed generation
- (5) The development of 'smart' meters and home appliances

Decarbonisation policies and incentives are the first key set of drivers towards a smart grid, and have far-reaching consequences for the energy system. The UK, for example, has a legally-binding



Dr Aidan Rhodes

Research Fellow, RCUK Energy Strategy Fellowship, Imperial College

Dr Rhodes holds a PhD in analytical electrochemistry and is currently Research Fellow at the Centre for Environmental Policy at Imperial College London. His research interests are in energy policy, market design, and regulation, with a particular focus on smart grids and future networks. He has authored several substantive pieces of work in this field, including two reviews of the UK's smart grid capabilities for the Technology Strategy Board, and has contributed to fostering collaboration between the UK and Japan by leading a substantive mission of UK smart grid experts and industry stakeholders to Japan to discuss joint interests. Currently, Dr Rhodes is working on a large research project comparing and benchmarking the energy innovation systems of different countries, with an emphasis on smart grid technologies in the UK and the Asia-Pacific region.

target of an 80% reduction in carbon emissions by 2050, which most models suggest would require a virtually decarbonised electricity sector by 2030 in order to meet. The European Union has set a target for 20% of EU primary energy to come from renewable sources by 2020. Due to the difficulty of providing economical renewable heating and transport, a large majority of this energy will need to come from renewable electricity generation. The UK's share of this primary energy target has been set at 15%, which will require renewable generation providing 30% or more of total electricity supply in the UK on a regular basis. The integration of this quantity of renewable generation into an existing electricity system leads to some significant challenges.

In a traditional electricity system, supply is adjusted to match current demand. This becomes an issue with large proportions of renewables and other low-carbon forms of generation due to their particular characteristics. Low-carbon generation can generally be divided into two major forms. Firstly there are those, such as nuclear power or carbon capture and storage (CCS),

which provide base-load electricity but are inflexible, meaning it is uneconomic or technically infeasible to change their output levels. Secondly, renewable energy generation sources such as wind and solar are intermittent, providing variable levels of power based on the strength of the energy source.

Large quantities of expensive and polluting fossil fuel-based backup generation would be required to meet shortfalls and balance the system in a traditional electricity network. However, advances in network monitoring and control technology will make it possible to use the network in a more efficient manner, allowing electricity to flow multi-directionally through the grid from energy storage units and distributed generation sources to nearby centres of demand. This more advanced network would save money on backup generation by efficiently allocating low-carbon electricity and actively managing demand. Several European nations, notably Denmark, Germany, and Spain, are already managing large quantities of renewable generation (Denmark generated over 100% of its electricity demand from wind several times in late 2013), and are aggressively exploring smart grid technologies to manage this supply.

Two other major drivers seen in Europe are the cost and security of electricity. The cost of electricity has increased substantially in response to higher fossil fuel costs, subsidies for low-carbon generation, and from major shocks such as the Fukushima incident and the resulting suspension of nuclear power in many nations. High energy prices are both politically unpopular and have the effect of increasing costs, and therefore decreasing competitiveness, in energy-intensive industries. An average of 10% of generated electricity is lost in the networks before consumption, and improving this figure through new, more efficient network assets combined with improved network control and routing is an important economic driver for utility companies.

Electricity access is essential for developed countries' economies and the cost of brown- and black- outs, even for short periods, are very high. New monitoring and control technologies in networks can automatically sense faults when and where they occur and reroute power via different routes to minimise disruption to supply, making the grid more resilient to significant weather disruption and extreme events. The recent extreme flooding and resultant power cuts in the UK have made network resilience a significant political issue for example, with consumers more aware of the reliability of their electricity supply. Technologies that can dramatically reduce grid maintenance costs and penalty charges for supply disruption while increasing

reliability are therefore of great and increasing value to network operators.

The consumer end of the electricity system is where some of the most significant advances could be seen from the integration of ICT into the grid. The role of the consumer is constantly changing as new technologies and demand patterns are adopted. The rise of portable electronic devices has increased electricity consumption over the past decade, for example, while improved insulation and more efficient lighting technologies have decreased heating and lighting costs. In the future, a predicted mass adoption of electric vehicles combined with a switch from gas to electric heating in many countries could increase peak consumer electric demand dramatically. This will have significant consequences for traditional electricity networks, as major physical reinforcement to the grid as well as substantial extra generation would be needed. If no demand-side management (DSM) systems are put in place to spread the load of electric vehicles and heating systems throughout the day, the peak load on the system would increase dramatically – models for the UK system suggest that peak electricity demand with the addition of vehicles and heating could reach up to 10 times that of off-peak demand. This extreme variation provides a significant business case for smart demand management systems, as the cost of the needed physical reinforcement in a conventional system would be very high.

The rise of distributed generation will also require dramatic changes to the grid in years to come. Distribution networks have historically been designed to move electricity in one direction, from the generation plant and transmission networks to the consumer. If consumers themselves are feeding electricity into the grid from solar photovoltaic (PV) systems and other forms of distributed generation, major changes will need to be made to the structure and control systems of the distribution networks in order to maintain the stability and efficiency of the electricity system. More localised control of distribution networks, allowing electricity to be brought, sold, and transmitted across a local community, is a natural response to this challenge. Although more difficult to control, these decentralised microgrids can allow communities to own and control their own electricity production and aggregate many individual sources of distributed generation into a 'virtual power plant' able to sell their generated electricity on the open national market. Domestic energy storage units could also participate in the market, storing electricity at times of low demand and selling it back to the grid at peak times. These developments would mark a dramatic shift in the

relationship between consumers and the electricity system, moving them from passive consumption to active ‘prosumers,’ engaging with the energy market on their own terms and taking ownership of their own generation sources. Test projects in communities in the UK and the Netherlands, as well as the Danish island of Bornholm, aim to test consumer-facing systems and local grid balancing technologies.

Future consumers would also be able to participate in DSM programmes, shifting or curtailing their energy use in response to signals from the grid. Although many large industrial users participate in such programmes today, smaller users and the domestic market currently cannot. As seen above, demand response and DSM will become increasingly important in order to balance an increasingly complex electricity system. These services have a great deal of value potential as the flexibility of supply becomes more constrained, especially on islanded systems such as the UK network that have limited interconnection with other national grids.

The first step in enabling DSM across the domestic sector is to install smart meters. These meters can automatically transmit electricity usage back to suppliers, but can also receive pricing and control signals from the grid. In response, the meters can communicate with household appliances – refrigerators, dishwashers, washing machines, and heating systems, to give some examples. These appliances can be temporarily stopped, or have their start times delayed until a period of low electricity demand, in order to help balance the grid in times of constrained supply. A successful DSM system would need to have nearly invisible effects to the end consumer, and be easily and transparently operable. This will require careful research into consumer behaviour and attitudes, as well as high-quality ICT products that are secure, stable, and simple to operate. The potential commercial market in this area, however, is extremely large. The EU has mandated that member states roll out smart meters in their countries by 2020, assuming a positive cost-benefit analysis. Approximately half of EU member states have currently decided to install smart meters by this date, totalling 170-180 million installed meters and a cost of approximately €30 billion.

Finally, an ICT-enabled smart grid provides a platform for new technologies, business models, and services. Energy suppliers, through smart meters, will be able to offer their customers a wide range of time-of-use and flexible tariffs, opening up new opportunities for innovative energy service models and personalised tariffs. New technologies such as energy storage and electric vehicle-to-grid systems provide new business models

and significant potential value in providing grid balancing and resilience services. It is best to think of a smart grid as analogous to a 3G mobile network – it is an enabling technology, allowing new technologies, innovations, and models to be developed to use its services.

Policies to enable the rollout of smart grid technologies differ by nation due to diverse local electricity market and regulatory structures. In the UK, the regulator Office of Gas and Electricity Markets (Ofgem) oversees new network technologies, and has put into place several policies to accelerate uptake. Regulatory mechanisms for the network operating companies have been changed to incentivise spending on innovation and an annual competition, the Low Carbon Networks Fund, has been established with a budget of £500 million between 2010-2015. Consortia of companies and researchers, led by network operators, bid for funding to conduct demonstrations of new network technologies in communities across the UK, with the results of these projects made publically available.

The development of new monitoring, control, communication, and aggregation technologies for future electricity networks requires knowledge of both ICT development and power systems engineering, two disciplines which traditionally house different characteristics. While ICT development is fast-moving, with horizons of only a couple of years, power systems engineering is a slow-moving, conservative discipline that prizes security and stability. In addition, knowledge of consumer behaviour and acceptance will be necessary for developing consumer-facing devices. A successful player in the future networks market will be a company that can successfully manage and intermarry these differing disciplines to create secure, stable, and technologically advanced products. Future networks and smart technologies provide a significant and sustainable business opportunity for the future, and we are only at the beginning of a long and exciting road ahead.

グリッドのICT制御およびICT統合の動向 —施政方針と市場の影響—

電力網は、19世紀末には確立していた電力工学と電気的设计を基盤としている。このため、長年にわたって、電力網技術は「すでに成熟しており、大きく変える必然性はない」と考えられてきた。大規模な発電所で生まれた電力は、高電圧送電網と低電圧配電網を通して消費者に届けられる。こうしたシステムが世界中で使われ、現代の生活に欠かせない存在となっている。

しかし、ここ数年は、単一方向の送電を前提とした、一連の送電線と各所に配置された変圧器から成るグリッドを見直す動きがあり、電力網にICT (Information and Communication Technology) を織り込んだ「スマートグリッド」が提唱されている。これには、政府の方針や市場の動きが影響している。こうした展開により、顧客および電力会社と電力との関係が一変する可能性もある。また、発電から消費に至る電力の系統全体にわたり、通信、監視、制御、データ集計といった技術に関する大きなビジネスチャンスを生み出している。

欧州の各国政府は、試験的なスマートグリッドや計測技術を対象とした大規模な実証・開発プロジェクトに多大な投資をしており、現時点の総額はおよそ50億ユーロである。こうしたプロジェクトの動きは、以下の要素から生まれている。

- (1) 国の電力系統の脱炭素化をめざす政府主導の施策
- (2) エネルギー安定供給、および極端事象発生時の電力網の復旧に関する懸念
- (3) エネルギー供給市場における競争、選択肢、イノベーションの拡大
- (4) 電気自動車、電気暖房、分散発電の間での電力融通(調整)
- (5) スマートメーターや家電製品の進化

スマートグリッドを推進する動きにとって、脱炭素化に向かう施策と補助金はまさにエンジンといえるものであり、エネルギーシステムの将来に多大な影響を与えている。例えば英国では、2050年までに炭素排出量80%削減という目標が、法的拘束力をもって定められている。これを達成するには、どのモデルで試算しても、2030年までには電力分野をほぼ完全に脱炭素化する必要がある。ま

エイダン ローズ

インベリアルカレッジ RCUKエネルギー戦略フェローシップ 研究フェロー

ローズ博士は電気化学分析学の博士号を取得しており、ロンドンにあるインベリアルカレッジの環境政策センターの研究フェローである。関心のある研究領域はエネルギー政策、市場設計、規制であり、特にスマートグリッドと将来のネットワークに着目している。この分野では、技術戦略委員会に向けた、英国のスマートグリッド機能に関する2冊の報告書をはじめ、多数の著書を記している。また、英国のスマートグリッド専門家や業界関係者から成る使節団を率いて来日し、共通の関心事項について話し合うことで、英国と日本の共同作業の推進に貢献している。現在は、英国とアジア太平洋地域のスマートグリッド技術に重点を置きつつ、さまざまな国のエネルギーインフラシステムを比較し、ベンチマーク試験を行う大規模な調査プロジェクトに取り組んでいる。

た、EU(欧州連合)は、2020年までにEUの一次エネルギーの20%を再生可能エネルギー源から得たものにする目標を定めている。再生可能エネルギー由来の暖房(renewable heating)や自動車用燃料(renewable transport)を適価で提供することは困難であるため、目標を達成するためのエネルギーの大半は、再生可能エネルギーでの発電に頼ることになる。上述の一次エネルギーのEU目標における英国の分担は、15%である。これを達成するには、英国の総電力供給量の30%以上を再生可能エネルギーによる発電に切り替える必要がある。これほどの規模の再生可能エネルギーによる発電を既存の電力系統に組み込むことは、大きな挑戦である。

既存の電力系統では、現時点の需要と一致するように供給が調整される。このことは、再生可能エネルギーなどを利用した低炭素発電方式の特性と重ね合わせると問題となる。一般に、低炭素発電は大きく2つの方式に分けられる。1つ目は、原子力発電や、二酸化炭素回収・貯蔵(CCS)を伴う発電などである。これらはベース電力の供給源となりうるが柔軟性を欠き、出力レベルの調整は経済的に合理性を有しないか、あるいは技術的に不可能といえる。2つ目は、風力や太陽光などといった、間欠的な再生可能エネルギー源を利用する発電であり、電力レベルはエネルギー源の強さに応じて変動する。

電力不足や需給バランス維持のために、従来の電力網で

は、高価で、かつ環境汚染のもととなる、化石燃料を利用したバックアップ発電を大量に必要とする。しかし、ネットワークを監視および制御する技術が発達すれば、ネットワークをより効率的に運用できる。電力貯蔵ユニットや分散型発電源からグリッドを経由し、近くの需要集中地域まで多方面に送電することも可能となる。こうした先進的ネットワークであれば、低炭素発電による電力を効率的に割り当て、積極的に需要を管理することを通じて、バックアップ発電のコストを削減できるであろう。デンマーク、ドイツ、スペインをはじめとする欧州の数か国ではすでに、再生可能エネルギーによる発電を大規模に運営しており（2013年末には、デンマークの風力発電において、需要量を上回る電力が数回にわたって得られた）、供給を管理するスマートグリッド技術の開発が活発化している。

電力のコストと安定供給も、欧州における再生エネルギー関連の動向に大きく影響する要因である。電力のコストは高騰しており、この要因には、化石燃料コストの上昇、低炭素発電への助成金支出だけでなく、福島での事故などによる大きな損害と、これを受けて各国で実施されている原子力発電停止も含まれる。エネルギー価格の上昇は政治的に歓迎されないだけでなく、原価の増加として反映され、エネルギー依存度の高い業界においては競争力の低下につながる。発電される電力のうち10%程度は、電力網での損失となって消費者には届かない。この数値を改善するため、電力網の設備を刷新して効率を高めることと合わせて、電力網の制御および送電経路設定を改良することは、電力会社にとって業績向上のための重要なポイントである。

先進国の経済にとって、電力の安定供給は必須の要件であり、たとえ短時間であっても電圧低下や停電は大きな損害をもたらす。そこで、電力網の新たな監視・制御技術は、系統事故が発生した時点で該当箇所も特定して、送電経路を切り替える。これにより、供給の中断を最小限に抑え、悪天候などの想定外の状況に際してもグリッドの復旧能力を高めることができる。例えば、英国で最近発生した大洪水と、その結果起こった停電によって、電力網の復旧が重大な政治的課題であると認識され、電力供給の信頼性に対する消費者の意識も高まった。電力会社にとっては、信頼性を高めつつ、グリッドの保守コストと、電力供給の中断に対する罰則金を大幅に削減できる技術が重要であり、そ

の価値を増している。

電力系統における消費者側は、グリッドにICTを統合することで非常に大きな進歩を達成できる領域である。ここでは、新たな技術や需要パターンが見出されるごとに、一般的な消費者像も変化している。例えば、携帯型電子機器の普及によって、電力消費量が過去10年間に増加の一途をたどっている一方、建築物の断熱性強化や照明技術の効率向上のおかげで、建物の暖房および照明にかかる電力コストは低下している。将来的には、多くの国でガス暖房から電気暖房への移行が進むほか、電気自動車の大量導入が予想されており、消費者のピーク電力需要が著しく増加する可能性がある。その場合、グリッドを物理的な面で大幅に増強し、予備の発電方法を十分に確保する必要が生じるため、従来の電力網は大きな影響を受ける。DSM (Demand-side Management) システムを導入して、電気自動車や暖房システムの負荷を1日の中で分散させない場合、システムのピーク負荷は劇的に増加する。英国のシステムのモデルによると、電気自動車や暖房を加えた場合のピーク電力需要は、最大でオフピーク時の需要の10倍に達すると見込まれる。従来のシステムに必要な物理的増強のコストは極めて高額なので、このように大きな変動は、スマートな需要マネジメントシステムを導入すべき顕著な事例と言える。

分散発電の普及も、今後数年間でグリッドに大きな変化をもたらすことになる。配電網はこれまで、発電所、送電網、そして消費者という単一方向の送電を想定して設計されてきた。このため、消費者自身が太陽光発電システムなどの分散発電システムからグリッドに電力を送り込むようになった場合、電力系統の安定性と効率を維持するため、配電網の構造と制御システムに大規模な変更を加える必要がある。地域社会単位で電力の売買や送電を可能とするよう、配電網制御の局所化を進めることがこの課題への適切な対策である。こうした分散型マイクログリッドでは、制御がより難しくなるものの、地域社会単位で個別の発電システムを所有・制御したり、複数の分散型発電源を集約して「仮想発電プラント」とすることにより、発電した電力をオープンな国内市場で販売したりもできる。家庭用の電力貯蔵ユニットも市場に参入可能であり、需要の少ないときに電力を貯めておき、ピーク時にグリッドへ売り戻すことができる。このような進化は、消費者と電力会社との関

係を一変させ、受動的であった消費者は、それぞれの条件の下でエネルギー市場とやり取りをし、独自の発電源を所有する能動的な「プロシューマー」へと変化する。英国やオランダのほか、デンマーク領ボルンホルム島の地域社会では、消費者向けシステムと局所的な需給バランス技術の試験を目的としたテストプロジェクトが実施されている。

消費者は将来的に、グリッドから受信する信号に応じてエネルギー使用量を変更または削減するDSMプログラムに参加できるようになる。現在、こうしたプログラムには、大口の企業ユーザーの多くが参加しているものの、中小企業ユーザーや家庭向け市場は参加対象外となっている。前術のように、複雑さを増す電力系統のバランス調整を実現するうえで、デマンドレスポンスやDSMはより重要になると予想される。英国のネットワークのように他国のグリッドとの連系が限られている島状システムではとりわけ顕著だが、供給の柔軟性が制約されるほど、こうしたサービスの潜在的な価値は高くなる。

家庭向けセクター全体にわたるDSMを実現するには、手始めにスマートメーターを設置することになる。スマートメーターは、電力使用量を電力会社へ自動的に通知だけでなく、グリッドから売買電の価格および制御に関する信号を受け取ることもできる。スマートメーターは信号に応じて、冷蔵庫、食器洗い機、洗濯機、暖房システムなどといった家電製品との通信を行う。供給に制限があるときには、家電製品を一時的に停止したり、電力需要が低下するまで始動時刻を遅らせたりすることで、グリッドのバランスを調整できる。DSMシステムを構築するには、エンドユーザーがシステムの存在をほぼ意識せずに済むようにすることと、運用が単純かつ明快であることが条件となる。このためには、消費者の行動や態度を綿密に調査し、さらに、安全で安定性が高く運用が簡単な高品質のICT製品を採用しなければならない。ただし、この分野の潜在的な民生市場は極めて大規模である。EUは、コストベネフィット分析の結果が肯定的なものであることを受けて、2020年までにスマートメーターを自国に導入するよう加盟国に求めている。現時点では、EU加盟国のおよそ半数がこの時期までのスマートメーター導入を決定しており、合計で1億7,000万～1億8,000万台、約300億ユーロ相当のメーターが設置されることになる。

ICTに対応したスマートグリッドは、新たな技術、ビジ

ネスモデル、サービスを実現するうえでの基盤を提供する。エネルギー供給業者はスマートメーターを利用して、柔軟な時間帯別料金制度を幅広く顧客に提供できるようになり、革新的なエネルギーサービスモデルや個人別に最適化された料金体系に向けて、新たな機会を生み出せる。電力貯蔵システムや電気自動車－グリッド間システムなどの新たな技術は、復旧能力の高いグリッドバランシングサービスを提供する中で、新しいビジネスモデルと大きな潜在的価値をもたらす。スマートグリッドは、3Gモバイルネットワークになぞらえて捉えるのが最適である。つまり、サービスを利用するために、新たな技術、イノベーション、モデルの登場を促す技術といえる。

電力市場や規制の内容は国ごとに異なるため、スマートグリッド技術の導入に向けた政策もまた異なってくる。英国の場合は、規制機関であるOfgem（ガス・電力市場規制庁）が新たなネットワーク技術を監督しており、実用化を促す政策をいくつか打ち出している。ネットワーク運用事業者に対する規制構造は、イノベーションへの投資を奨励する方向に変わっており、2010年から2015年にかけて5億ユーロの予算を確保したうえで、年次コンペティションLow Carbon Networks Fundが実施されている。これは、企業や研究機関から成る、ネットワーク事業者主導のコンソーシアムが英国の地域社会で新たなネットワーク技術の実証を行うための基金獲得をめざして競うものであり、プロジェクトの結果は一般に公開される。

将来の電力網に向けて、監視、制御、通信、およびデータ収集の新たな技術を開発するには、ICTの開発と電力系統の設計に関する知識が不可欠であるが、2つの分野の性質は異なっている。ICTの開発は2～3年先程度をめざす変化の激しい分野であり、電力系統の設計はセキュリティや安定性を重視した、変化の少ない分野である。また、消費者向けデバイスの開発には、消費者の行動や受容に関する知識も必要となる。将来のネットワーク市場で成功を収めるのは、こうした異なる分野を適切に組み合わせて管理し、高度な技術を備えた安全で安定性が高い製品を生み出せる企業である。将来のネットワークやスマート技術は、持続可能な大きなビジネスチャンスをもたらすものであり、我々は期待に満ちた長い道のりの出発点に立ったばかりである。