

2-1 スマート社会の実現

インターネットおよびそれにつながるスマートフォンの普及で、ICT (Information and Communication Technology: 情報通信技術) は、ますます身近になり、「いつでも、どこでも、何にでも、誰とでも」つながるユビキタスネットワーク社会が現実のものとなってきた。最近のスマートフォンのアプリケーションの多様性はその一例である。また、交通や電力、物流などの社会インフラも運用の効率が向上している。このデジタルネットワーク社会は、さらに新たなサービスや価値、文化を創出させる。

ICTの発展は、大量にしかも多様な情報を迅速に処理し、伝達、共有化する。その代表がインターネットである。距離や時間を超えて、人・モノ・カネ・知識・情報などを結びつけ、人やモノの移動を代替する。同時に、CO₂の削減など環境負荷の軽減にも寄与する。

しかし一方で、地域や所得、年齢などによって、普及・利用の差は大きい。行政や医療、教育などの公共分野や農林水産業などの分野でも、十分活用されているとはいえない。そのうえ、コンピュータウイルスやスパムメール、フィッシング、情報漏洩、裏サイトといった影の側面も表面化している。

2-1-1 スマート社会の姿

安心してICTを利用し、その恩恵を享受できる「スマ

ート社会」(スマート・ユビキタスネットワーク社会またはスマートソサエティ)は、「スマートシティ」や「スマートグリッド」などを含む、快適で安全な社会ということができる。同時に、CO₂削減、再生可能エネルギーの導入、公共サービスの多様化に対応する社会システムなどが構築されている社会といえる。

この実現のためには、電力、熱、水、交通といったインフラ関係や自治体、電機・電子・情報(半導体、電線、発電機、蓄電池などを含む)、医療・健康、電設設備、住宅、自動車といった多くの業界が関係する(図2-1-1)。

では、どのような社会であろうか。総務省の「ICTビジョン懇談会」は、以下のようにまとめている。

・利用者本位の環境

直感的で操作性の優れたインターフェースでICTが活用できる環境。

・適切な情報が自動配信される環境

大量の情報があふれているなか、一人ひとりに、適切な情報が、適切なタイミングで自動的に配信される環境。

・快適な生活を送ることができる環境

さまざまな機器の操作や移動などで、適切な助けが受けられ、高齢や身体に障がいがあっても、誰もが安心して充実した生活を送ることができる環境。

・新たな付加価値を創造できる環境

どこにいても、セキュリティやプライバシーなどに不安を感じることなく、ネットワークを通じた社会参画ができ、新たなコミュニティや付加価値を創造できる環境。

・必要なとき利用できる環境

ICTのハードウェアやソフトウェアを自ら所有するのではなく、ネットワークを介して「必要な時に必要な分」だけ、適切なコストで利用できる環境。

(編集部記)

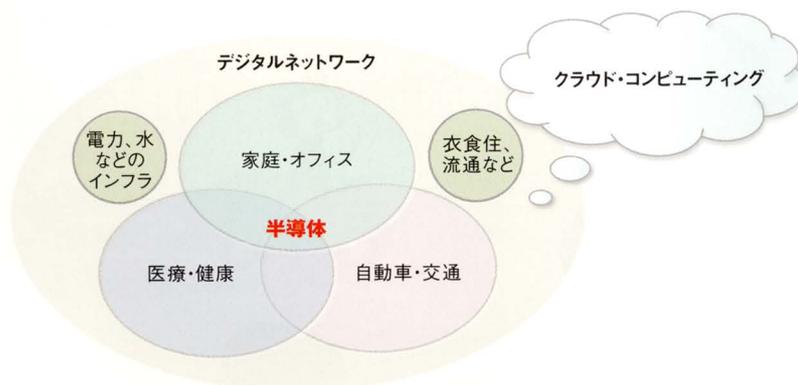


図2-1-1 スマート社会を構成する要素

2-1-2 スマートグリッド(電力系ネットワーク)

(1) スマートグリッドの目的

スマートグリッドとは、電力と情報の双方向ネットワークを整備し、リアルタイムに電力の需給調整を行う「賢い(=スマート)電力系統(=グリッド)」のことである。

電力系統は、「発電」「送電」「配電」によって構成される。ここで、「発電」は火力発電所や原子力発電所、水力発電所などの電力事業用の大規模発電である。こうした遠くの場所で発電された電圧の高い電気を、変圧所で電圧を下げながら「送電」網を通して需要地まで運び、街の電柱に見られるような「配電」網を通してビルや家庭などの需要家に送っていく。

この電力系統自体は長い歴史がある。しかし、その「スマート化」が、今、なぜ求められるのであろうか？ 系統をスマートグリッド化するのは、さまざまな目的があり、どの目的が重視されるかは、国によって異なる。

米国では、電力系統の強化と近代化が最大の目的といわれている。オバマ大統領は就任後、景気対策の一貫として、スマートグリッド推進を大きく掲げた。米国では発電から配電までの機能を別々の組織が担っている。送電網の部分は“公益インフラ”として、多数の発電会社と配電会社(電力小売会社)が活用している。しかし、発電部門の投資と比較して、送電部門の投資は滞りがちであった。その結果、送電網は老朽化し、2003年にミシガン州からニューヨーク一帯を「大停電」が襲う原因となった。こうした経緯を踏まえ、米国では経済活動のインフラたる送電網に投資を行うとともに、ICT機能を含む最先端の機能を付加し、スマート化も図ることで、世界最先端の電力インフラ構築を牽引したいという狙いがある。

一方、日本ではどうか？ 日本では、発電から配電までの一連の機能を、東京電力や関西電力などの一般電気事業者が一貫して担っている。しかも、日本の電力系統は、すでに「スマート化」されているという意見もある。電力系統の需給状況や発電・送電設備の状況は、常に電力会社の中央司令室でモニタリングされ、電圧や周波数が一定になるように制御されている。仮に部分的に事故などのトラブルがあっても、瞬時に別系統

に切り替えることができ、その影響が広範囲に広がらないための仕組みが組み込まれているからである。

ただし、この「すでにスマート化している」という評価は、従来のエネルギー供給手段(電源)と需要の状況を前提としたものである。ところが、日本は国策として、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの導入拡大を目指すことになった。再生可能エネルギーの特徴は、需要に関係なく発電するというものである。大量に導入した場合、電力系統でみると、常に電力需要と発電量を一致させなければならないという「同時同量の原則」を満たすことが困難になる。

例えば、家庭でも設置される太陽光発電は、昼に大量に発電する。しかし、家庭での需要ピークは夕方であり、需給のずれ、すなわち余剰電力や電力不足が生じる。余剰電力が大量に発生すると、配電系統の電圧が基準の上限に近づき余剰電力を売却できなくなる世帯がでてくる。また、出力変動が大きいので、全電力系統の周波数の維持にも影響がでる。

このような多くの不具合が発生してしまうので、既存の系統のままでは再生可能エネルギーの大量導入は受け入れることが難しく、スマート化しているとはいいがたい。そこで、それらの需給調整を、蓄電や需要をコントロールすることで、スムーズに行うという機能が日本のスマートグリッド導入の主目的となっていた。

(2) 大震災・原発事故がもたらした新たな役割

しかし、2011年3月11日の東日本大震災によって、スマートグリッドの導入に新たな側面が加わった。防災対応という側面である。

大震災・原発事故後の計画停電に市民は困惑した。計画停電の場合、課題となったのは、停電区画が電力系統のあり方に依存するため、電力需要の種類を踏まえたものにすることが難しかった点にある。

病院や市庁舎などは、緊急時でも停電を避けられることが望ましい。また、公平性の観点からは、3割の停電地域とそうでない地域の7割を分けるよりも、電力供給のレベルに応じての削減、すなわち供給力不足が3割の場合には、各地域等しく3割分の需要をカットできるような、需要の中身を踏まえた削減が望ましい。言い換

3-1 エネルギーの効率を上げる

ICなどの半導体デバイス*1は、信号の伝達・演算・記憶を行うものと、電気エネルギーの供給・制御などを行うものに大別される。

前者はプロセッサやメモリーなどでよく知られており、主にデジタルデータを取り扱う。後者を通称パワー半導体と呼ぶ。パワー半導体は電力そのものを扱うため、データを扱う半導体デバイスとは違い、扱う電力量や効率が性能指数となる。

3-1-1 電力を扱うパワー半導体

パワー半導体はパソコンの電源、家電インバータ*2などに幅広く使用されている。とくに最近ではCO₂削減のための省電力化や、自動車のエレクトロニクス化によって、さらに損失の少ないパワー半導体が望まれている。

パワー半導体は、単純なpnダイオード*3から、IGBT*4などの大電力スイッチングデバイス、さらにはSiC*5といった新材料による高性能デバイスなど、周波数と電力容量によって種類や用途が多岐にわたる(図3-1-1)。

(1) バイポーラトランジスタとサイリスタ

バイポーラトランジスタは、pnpまたはnpn接合構造をもち、電力を増幅したり抵抗を可変にする用途に向いている。

一方、サイリスタ*6は、pnpとnpn型のトランジスタを組み合わせた構造になっている(図3-1-2)。大電力の「導通」(オン)と「非導通」(オフ)を切り換えるスイッチとして使われる。ゲートに電流を流すとアノード-カソード間が瞬間的にオンになる。ただし、オンになった後はゲート電流をゼロにしてもターンオフ*7せず、アノード

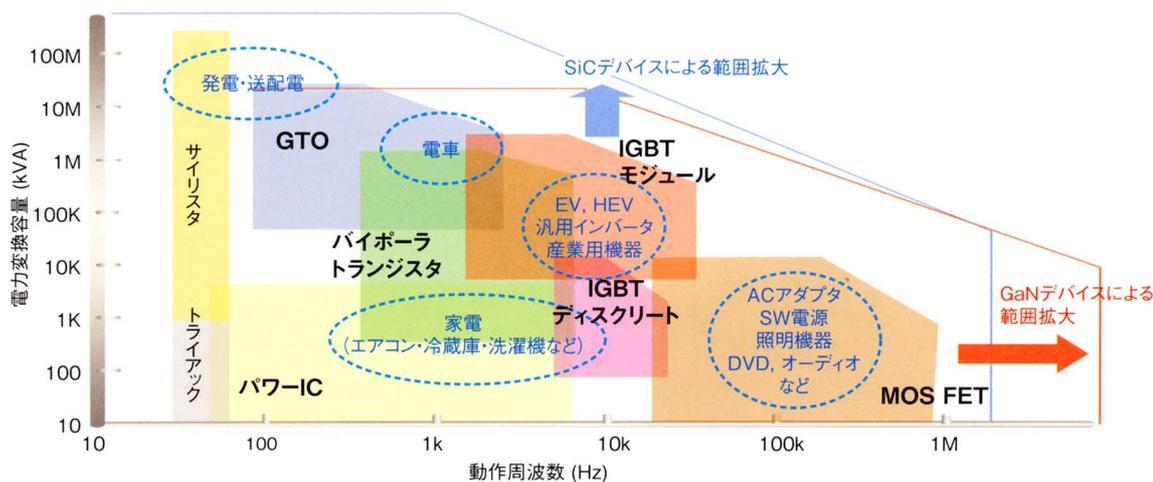


図3-1-1 パワー半導体の種類と用途

*1 半導体デバイス(Semiconductor Device):本書では、トランジスタやIC(Integrated Circuit:集積回路)などを総称して「半導体デバイス」または「半導体素子」という。「固体素子」(Solid State Device)という呼び名もある。また、LSI(Large Scale Integration:大規模集積回路)を含めて、単に「IC」という場合もある。

*2 インバータ(Inverter):直流電力を交流電力に変換する回路または装置。その逆で、交流を直流に変換する回路(装置)をコンバータ(Converter)または整流器(Rectification Circuit, Rectifier)という。

*3 pnダイオード(Diode):pn接合によるダイオード。半導体ダイオードの基本的な構造。2端子素子で、整流作用がある。

*4 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor):入力ゲート部にMOS

FETを組み込んだバイポーラトランジスタ。大電力の高速スイッチングが可能で、電力制御に用いる。

*5 SiC(Silicon Carbide):炭化けい素で構成される化合物半導体。パワー半導体の有力素子である。Siデバイスに比べて、高耐圧・低損失で、素子の消費電力を低減することができ、高温動作に適している。バンドギャップが3.25eVとSi素子に比べて約3倍と広く、絶縁破壊にいたる電界強度が3MV/cmと約10倍大きく、熱伝導率が約2.5倍という優れた物性値をもつ。

*6 サイリスタ(Thyristor):3端子の半導体素子。SCR(Silicon Controlled Rectifier:シリコン制御整流子)ともいう。

ーカソード間をゼロまたは逆電圧にすると始めてターンオフする。

サイリスタの発展型として、ゲート制御によってターンオフができるGTO (Gate Turn-off Thyristor) や、双方向にスイッチング制御が可能なトライアック (Triac : 双方向サイリスタ) などがある。GTOは大電力の制御などに向く。

(2) パワーMOS FET

MOS FET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor : MOS型電界効果トランジスタ) は、ICなどの基本素子として一般的な素子である。ソース、ドレイン、ゲートの3電極があり、ゲート電極に加えた電圧によってソースとドレイン間のチャネル電流を制御する。製造工程が短いので高集積化に向いている。高速に動作するため、信号処理を行う回路に多く使われている。これに対して、パワーMOS FETは主に高周波の電力制御に用いられる。パワーMOS FETの特徴として、

- 電圧制御素子なので、駆動電力が小さい、
 - キャリア蓄積効果がないのでスイッチング特性が良い、
 - 二次降伏現象^{*8}がなく、安全動作領域が広い、
- などが挙げられる。

電源用には、速度や最大定格電力などを考えて、n型

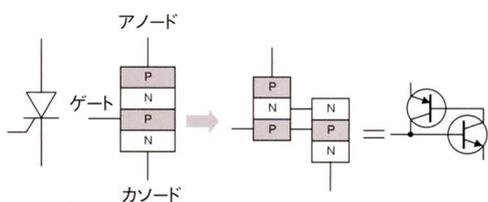


図3-1-2 サイリスタの構造

のDMOS FET^{*9}が一般に用いられている。DMOSの構造を図3-1-3 (a) に示す。

(3) SJ-MOS FET

パワーMOS FETの高性能化には限界がある。このため、高耐圧・高速性を保ったまま、低抵抗化する技術が望まれていた。n型MOS FETのオン抵抗を下げるには、n型層の不純物濃度を高める必要がある。ただし、これまでの縦型パワーMOS FETでは、オフ時のソースとドレイン間で電界強度が強まる部分ができ、耐圧が低下してしまう。

この問題を解決し、耐圧を保ったまま低抵抗化を実現したのがSJ (Super Junction) -MOS FETである (図3-1-3 (b))。従来のn型層の領域に、n型層とp型層を交互に並べることで、空乏層はn型層とp型層の界面全体に広がる。このため、電界が特定の部分に集中しない。定格600Vの製品では、従来型のDMOS FETに比べて1/3~1/4の低抵抗化が可能になる。

(4) IGBT

DMOS構造にバイポーラトランジスタを組み込むことで、高耐圧化と低抵抗化を実現しているのがIGBTである (図3-1-3 (c))。

パワーMOS FETは、高耐圧化にともなってオン抵抗が高くなり、発熱する。このため、高耐圧化が難しく、

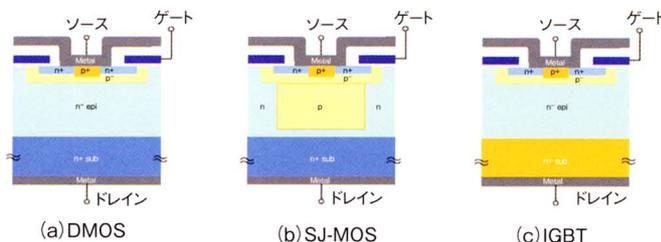


図3-1-3 パワーMOS FETの種類と構造

*7 ターンオフ(Turn-Off): オン状態からオフ状態に変化するまでの時間(通常85%までの時間)。スイッチをオフするための信号を半導体デバイスに入力しても、しばらくの間は少数キャリアの蓄積があり同じ状態が続く。

*8 二次降伏(Secondary Breakdown) 現象: トランジスタのコレクタ電圧を増加していくと電流の急激な増加が起きる。これが一次降伏(なだ

れ降伏) 現象。さらに電流を流すと、瞬間的に低抵抗(低インピーダンス)領域に突入し電圧が下がる。これを二次降伏現象という。局部的な電流集中による熱暴走が原因といわれ、トランジスタの破壊につながる。

*9 DMOS FET(Double-Diffusion MOS FET): 二重拡散 MOS型電界効果トランジスタ。比較的、大電流・高耐圧のパワーデバイス。