

AI 時代のパワーエレクトロニクス

東京理科大学 創域理工学部 電気電子情報工学科 教授 **星 伸一** ほし のぶかず

1 はじめに

「パワーエレクトロニクス」は、電力工学、電子工学、制御工学にまたがる技術です。1973年にNewell博士の基調講演で、各分野の専門家がバラバラに行っていた研究を、団結して発展させようとの呼びかけが行われ¹⁾、そのことが今日のパワーエレクトロニクス技術の発展へとつながっています。

分野横断的な考え方は時代を問わず大切であり、今日の「共創」の考え方にもつながるものであると、本稿を執筆しながら、改めて感じました。

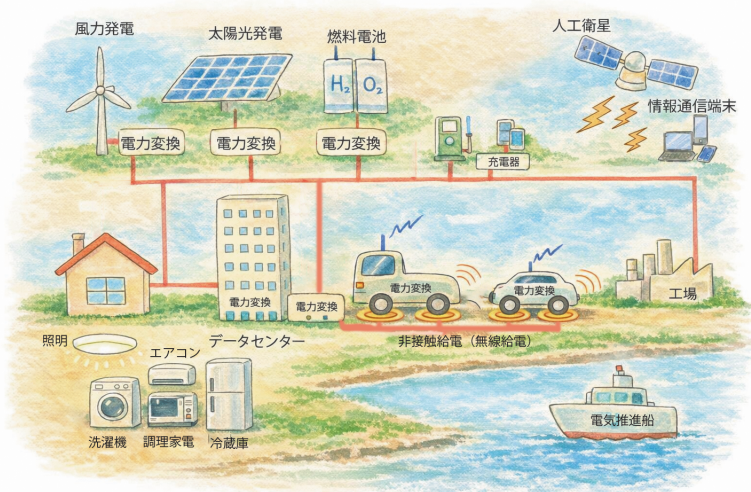
私が学部学生だった1980年代後半には、「パワーエレクトロニクス」と銘打った授業を開講している大学は少なく、「電気機器学」の中で軽く触れる程度であったと記憶しています。私自身も、「パワーエレクトロニクス」を体系的に学んだのは学部4年生のときに卒業研究で研究室に配属されてからでした。当時、研究室に出入りしていた企業のパワーエレクトロニクス技術者の方々からは「電源屋は、縁の下の力持ち」、「あまり陽の当たらない分野」というようなネガティ

ブな話を耳にすることもありました。しかし、最近ではテレビCMの中で「パワーエレクトロニクス」という用語が出てくるものもあり、この用語の認知度も以前に比べると向上したものと思います。現在では、様々な分野でパワーエレクトロニクス技術者が重宝される時代になっており、感慨深いものがあります。

前置きが長くなりましたが、本稿では、「パワーエレクトロニクス」の役割と今後の展望を概説します。

2 身の回りにあるパワーエレクトロニクス製品

今日、私たちの身の回りを見渡すと、必ずパワーエレクトロニクス技術が使われている製品を見つけることができます。例えば、現在、この原稿は、パソコンを用いて執筆していますが、パソコン内部には、様々な直流電圧で駆動される部品が使われています。しかし、一般家庭や職場のコンセントには、交流100Vの電圧が供給されています。そのため、パソコン内部の部品に電力を供給するには、交流電圧を必要な大きさの直流電圧に変換する「電力変換」が不可欠です。



【図1】 パワーエレクトロニクス技術に支えられている現代社会（ラフスケッチをCopilotも活用しながら作成）

また、電気自動車は、車内に搭載されたバッテリーの直流電圧を、車輪を駆動するモータで回転力（トルク）を発生させるために、車速（モータの回転速度）に応じた交流電圧に変換する必要があります。

このように、身の回りのありとあらゆる製品の中でパワーエレクトロニクス技術が使われています。その一部を【図1】に示します。図に示す通り、パワーエレクトロニクス技術は、大きさや場所を問わず、多岐に渡る装置に組み込まれており、その装置で消費される無駄な電力損失を抑制する必要があります。そのためにも、電力変換回路自体の更なる高効率化はもちろんのこと、それが組み込まれたシステムの中で上手にエネルギーを利用することが求められています。

③ エネルギー変換とパワーエレクトロニクス

ここでエネルギー変換の観点からパワーエレクトロニクス技術を見ていくことにします。【図2】に、エネルギー変換におけるパワーエレクトロニクス技術の役割を示します。図に示すように、あるエネルギーを別のエネルギーに変換する際、多くの場合、電気エネルギーを介します。これは、電気エネルギーが他のエネルギーとの間で相互変換が容易であるためです。さらに電気エネルギーを介する場合には、電力変換回路を用いることで、柔軟性が生まれます。

例えば、つい最近、摂氏40度以上の日を「酷暑日」

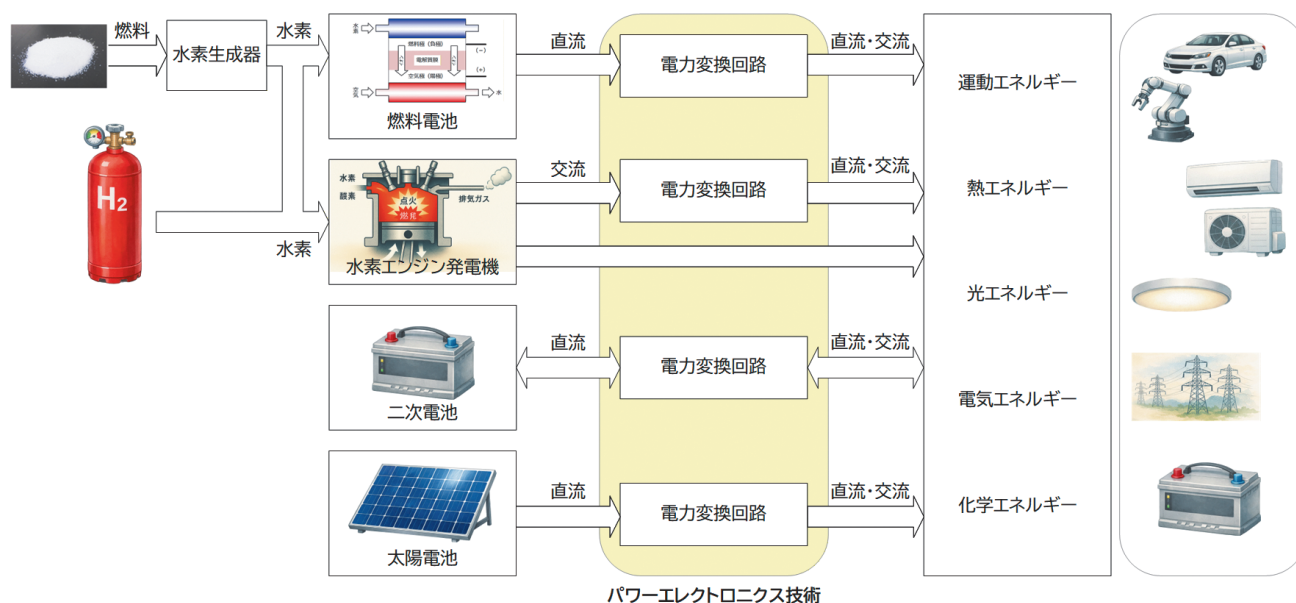
と定義することが気象庁から発表されましたが、ここ数年の暑さは以前と比べられないものになっています。このため、夏場の街中では、ハンディファンを手にしている人を多く見かけるようになりました。ハンディファンは、基本的に電池で駆動されていますが、その電池の残量が減ると電圧が低下します。単純に、電池にファンを回転させるモータをつないだだけの製品では、使用時間の経過とともにモータの回転速度が低下し、風量が弱まります。

これに対して、電池とファンを回転させるモータの間に電力変換回路を挿入することで、電池の電圧が低下してもモータに印加される電圧を一定に保つことができます。その結果、より長い時間、風量の低下を抑えることが可能になります。

また、太陽電池は、光が当たると直流電圧を発生しますが、日本の一般家庭で利用されている家電製品は、実効値100V、周波数50Hzまたは60Hzの交流電源に接続されることを前提に作られています。そのため、太陽電池をそのまま家電製品に接続して電力を供給することはできません。電力変換回路を用いることで、太陽電池で発電した電力を家電製品に供給したり、電力会社に売電したりすることが可能になります。

④ 電力変換回路とは？

それでは、具体的にどのように電力変換を行っているのか見ていくことにします。電気の種類には、電圧



【図2】 エネルギー変換におけるパワーエレクトロニクス技術の役割（イラストの一部は Copilot も活用しながら作成）

【表 1】 電力変換回路の種類

出力 入力	直流	交流
直流	チョップパ (回路) DC/DC コンバータ	インバータ (逆変換回路)
交流	整流回路 (順変換回路)	マトリックスコンバータ AC/AC コンバータ

や電流が時間的に変化せず一定の「直流」と、周期的に変化する「交流」があります。電気の種類は2種類なので、入力と出力で考えると、【表 1】に示すように $2 \times 2 = 4$ 種類の電力変換回路の種別が存在することになります。

電力変換回路が電気の形を変える原理ですが、基本的には半導体素子をスイッチとして用い、そのオン（導通）・オフ（非導通）動作により電力変換を行います。紙面の都合上、4種類すべての電力変換回路を説明することはできないため、直流から交流を生成する「インバータ」を例に説明します。

【図 3(a)】は、単相（フルブリッジ）インバータと呼ばれる電力変換回路です。この回路にある4つのスイッチを、【図 3(b)】のように動作させた場合、出力電圧波形は、図に示すような形になります。この波形は、一般的にイメージされる正弦波状の交流電圧ではなく、方形波（矩形波）です。

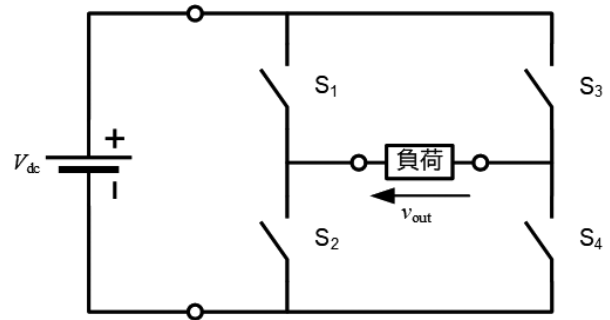
しかしこの波形を、繰り返し周期 $T_{sw}[s]$ で平均すると零になります。すなわち、入力端子に接続された直流電圧 $V_{dc}[V]$ を、出力端子から交流電圧 $v_{out}[V]$ として出力していることになります。

出力電圧を正弦波に近づけたい場合には、三角波などの搬送波と正弦波状の変調信号の大小関係に基づき、スイッチに与えるオンオフ信号のパルス幅を時間的に広くしたり狭くしたりする、パルス幅変調制御（PWM：Pulse Width Modulation）という手法を、一般的には用います。

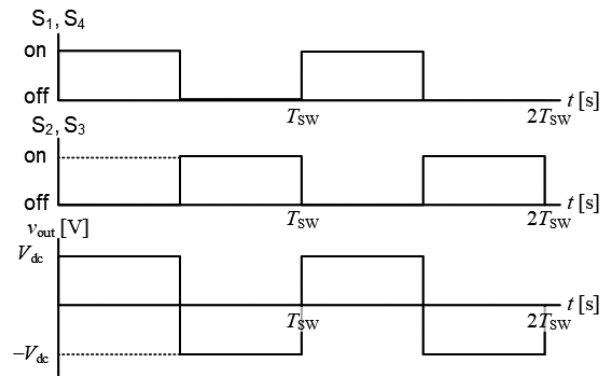
そのほかの電力変換回路については、近年多くの書籍、例えば、2), 3) などが販売されているので、興味のある方はそれらを参照ください。

5 AI 時代のパワーエレクトロニクス

PWM 制御において、搬送波の周波数を高くするほど、出力波形を正弦波に近づけることができます。し



(a) 単相インバータ



(b) スwitchのオンオフ信号と出力電圧波形

【図 3】 単相インバータとその動作波形

かし一方で、スイッチング周波数が高くなると、損失も増加します。

電力変換回路における損失は、スイッチがオンのときに生じる導通損失と、オン・オフ切り換え時に生じるスイッチング損失が主な要因です。特にスイッチング損失は、スイッチング周波数にほぼ比例して増加します。

損失の増加は、冷却器の大型化を招き、結果として装置の大型化につながります。一方で、スイッチング周波数を下げすぎると、出力波形の品質が低下し、接続機器の誤動作や故障、さらにはシステム全体の効率低下を引き起こす可能性があります。

また、スイッチング周波数を高くすることで、イン

ダクタやキャパシタといった受動素子を小型化できる場合もあります。このように電力変換回路の設計では、複数の要件を同時に考慮した最適化（多目的最適化）が求められます。

パワーエレクトロニクス技術は、様々な技術に支えられており、例えば材料の進化により、受動素子や半導体素子の性能が向上すれば、電力変換回路の性能が向上します。電力変換回路は、上位のシステム全体の性能も踏まえながら、それらの素子の性能を、引き出していくことが求められる時代になっています。

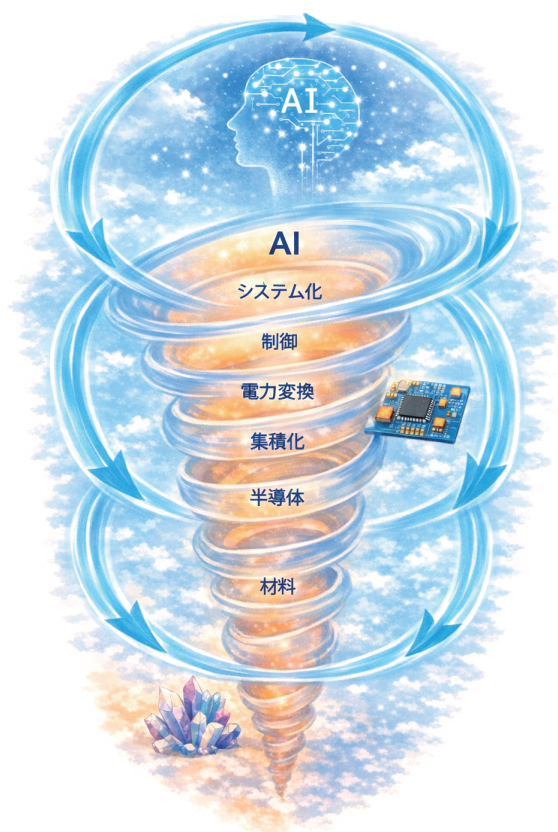
こうした多目的最適化に基づく電力変換回路およびその制御器の設計には、AI技術の活用が不可欠になりつつあります。このことからAIは、今後ますます普及が拡大していくことが容易に想定されますが、それを支えるデータセンターでの消費電力の抑制が急務です。当然のことながら、データセンターで使用される装置内には、多数の電力変換回路が組み込まれており、その高効率化が強く求められています。

【図4】にAI時代におけるパワーエレクトロニクス技術の進化のイメージ図を示します。AIは、様々な技術に支えられていますが、AIを活用することで、それらの技術をさらに発展させられる可能性があります。この相互作用が、今後の技術革新を加速させていくと考えられます。

AIを活用して電力変換回路に適した材料を探索し、半導体や受動素子を開発・集積化し、それらを用いた電力変換回路を各アプリケーションに適した制御法で高度に制御し、システム全体として高効率化・高性能化を実現していく、という好循環が期待されます。

6 おわりに

パワーエレクトロニクス技術は、さまざまな技術に支えられていると同時に、パワーエレクトロニクスもまたAIを始めとする様々な技術を支えています。今後、どの分野においてもAIの活用が進むものと思われませんが、その基盤となる原理や基礎を自分自身の知識としてしっかりと持っておかなければ、AIが出力してきた結果の妥当性が判断できなくなる恐れがあります。これからの技術者、研究者は、確固たる基礎知識の上に、専門能力、さらには多面的・分野横断的な思考能力を積み上げていく必要があるものと思います。



【図4】 AI時代のパワーエレクトロニクス技術の進化（ラフスケッチをCopilotも活用しながら作成）

著者の所属する学科では、材料から社会実装まで、電気系分野を幅広く学ぶことができます。また、大学院の横断型コースでは、他分野の先生方や学生との交流を通じて、横断的な思考能力を養うことができる恵まれた環境が整っています。

多くの学生たちが、将来、AIに使われるのではなく、AIを使いこなせる技術者・研究者になって欲しいと願っています。

参考文献

- 1) W. E. Newell, "Power Electronics-Emerging from Limbo [Conference Keynote Address]," 1973 IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp. 6-12, 1973.
- 2) 和田圭二：「『パワエレ、マジわからん』と思ったときに読む本」，オーム社，2025
- 3) 河村篤男ほか：「パワーエレクトロニクス学入門：基礎から実用例まで（改訂版）」，コロナ社，2022