

特集Ⅱ

脱炭素社会実現の鍵を握る産業の電化

CO₂ フリー社会と経済成長を実現させる プロセス電化イノベーション

The innovation in electrification makes CO₂ free society
and high economic growth

矢田部隆志*

1. 地球温暖化対策は不可逆的な世界の潮流

2015年12月、フランスで開催されたCOP21（国連気候変動枠組条約第21回締約国会議）において、2020年以降の温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」を採択した。パリ協定は、先進国・途上国の区別なく、温室効果ガス削減に向け自国で決定した目標を国連に提出し、目標達成に向けた取組を実施することなどを規定した初めての枠組みである。今世紀後半に温室効果ガスの排出量と吸収源による除去量を均衡させるために、地球の平均気温の上昇を2℃より十分下方に抑えるとともに、1.5℃に抑える努力を追求することとした。

この傾向を先取りし、投資先に環境対策を求める投資家が増えている。投資家による企業の気候変動リスクを評価するための気候関連財務ディスクロージャータスクフォース（TCFD）も発足した。環境リスクの投資評価が確立したことによって企業間取引においてCO₂フリーを条件として提示する企業も出現している。世界の企業はこのような金融動向の流れを敏感に捉え、戦略的にCO₂削減による企業価値の向上に向けて取り組み始めた。

この世界の流れに対して日本は追従を余儀なくされている。政府は「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を2019年6月に閣議決定した。CO₂排出削減対策は最終エネルギー消費の約7割を占める化石燃料燃焼をいかに削減するかがカギである。過去10年間、再生可能エネルギーによる発電（以下、再エネ発電）の進展は著しい。今では普及期に差し掛かっている。これからは再エネ電気の利用拡大、すなわち燃料の直接利用から電気利用に向けて取組む必要がある。パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略では、脱炭素化社会の実現に向けてあ

らゆる手段を追求していく方針であり、その中で、需要サイドの「電化」はエネルギー需給構造の低炭素化に貢献する有効な手段として、積極的に評価していくべきと謳っている。電化の推進は最も現実的な手段であり、現時点で他の選択肢がないことも事実である。しかしながらより一層の電化を促進させるためには、一品一様で高コストとなりやすい設備の低コスト化、電化によるプロセスやプロダクトの高付加価値化など、技術面・経済面での課題克服が重要である。

2. 温暖化対策はグローバルな投資指標

これまで、企業活動において温暖化対策はCSR（企業の社会的責任）活動の一環に位置付けられてきた。環境対策は利益を生むものではなく「コスト」であるということが一つの理由である。

しかし、前述のように企業間取引においてCO₂フリーを条件として付されることは、ビジネスとして発注をする製品の仕様に折込まれ、売り上げに直接影響を及ぼすということである。

インベスター・リレーションズ（IR）でESG投資が話題となることもその一環である。企業を財務情報だけでなく、環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）などの「長期的な企業価値の最大化に寄与しているか」を評価するものである。

企業価値に留まらず、社会全体の価値の向上を図るべく長期リターンの最大化を期待する投資家も欧米を中心に増加している。カリフォルニア州職員退職年金基金など資産規模の大きい年金基金らは市場や経済全体に与える影響力が大きく、自らの運用で

* 東京電力ホールディングス株式会社 技術統括室



図1 ESG要素を考慮した持続可能な投資額の推移
出典：平成29年環境白書（環境省）

市場や経済の潮流を変えるべく ESG 投資を行っている。全世界の資産運用残高のうち、ESG を考慮した投資の割合は約3割まで上昇し、特に欧州では約6割にまで拡大していると言われている。

しかし企業のレピュテーション・リスクは定量化が困難であり、定性的な判断に頼りがちで標準化もされていない。ただし、温暖化対策に関していえば、排出量は定量化でき、ESG 要素の中でも評価しやすい基準である。

この ESG 向けに自発的に「持続可能な開発目標 (SDGs)」や「Renewable Energy 100% (RE100)」などに参加する企業が増えている。

SDGs は、17 のゴールと 169 のターゲットから構成されている持続可能な開発のために国際社会が 2030 年までに達成すべき目標であり、エネルギー (ゴール7) や気候変動 (ゴール17) も含まれている。法的拘束力はないが、日本を含む各国政府は SDGs の達成に努めることを約束している。SDGs は企業の貢献への期待も大きい。アジェンダには企業活動に係わるゴールも多く、取組みを公表する企業も増えている。

RE100 は事業を 100% 再エネで賄うことを目指す企業連合であり、加盟に当たり、自ら決めた時期までに使用電力を再エネ 100% にすることを宣言する。再エネ電気の調達計画を RE100 事務局に提出し厳密な審査を受ける。

ただし RE100 の場合、電力だけが対象であり、化石燃料の直接利用については言及されていない。消費する全てのエネルギーを再エネ由来にするには、RE100 の対象ではなくても化石燃料燃焼の需要

も再エネ化を図る必要がある。燃料のゼロ・エミッション化は技術的に困難であるため、電化に転換し、再エネ電気を使うことで CO₂ フリーにすることは可能だ。他にも再エネ電気で走行する EV を導入し EV100 を宣言するなど他の取組みと組み合わせることも可能である。このように環境対策が投資の判断基準に折込まれると CSR の概念を越えて、売上げに直結する経営課題になる。これからは CO₂ 削減に向けた取組みを各方面のステークホルダーに対して開示していくことが求められる。

3. 熱エネルギーのプロセス改革

自動車業界ではディーゼルエンジンの排ガス不正問題を発端に EV 化への流れが加速した。ディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べ機能的に燃費が良いことから、欧州を中心に自動車の環境負荷低減対策として近年主流となりつつあった。排ガス不正問題はきっかけの一つに過ぎない。自動車業界ではコネクティビティ (接続性) の「C」、オートノマス (自動運転) の「A」、シェアード (共有) の「S」、そしてエレクトリック (電動化) の「E」を取って「CASE」と称し、これからの自動車社会が迎える大きな変革を象徴している。

このような変革は自動車業界に限ったことではない。工場等の生産の現場も革新的イノベーション技術で大きく変わり始めている。

生産設備を更新するためには設備投資が伴う。工場を新設する場合は工場内インフラ (ユーティリティ) から生産設備まで最新の機器・設備を導入すればよい。しかし、多くの工場は既存の生産工程を活かしつつ、生産計画にあわせて生産設備の改修・更新を行うことが一般的である。

既存の工場には電気設備やガス設備、蒸気・水配管など様々な種別のユーティリティが存在しており、生産設備もそのユーティリティがあることを前提に設計する。生産管理部門は製品を滞ることなく製造することが目的である。生産プロセス工程については目を光らせているが、電気・ガス・水・蒸気などは自ら管理せずにユーティリティ部門に任せることが多い。生産に必要なエネルギー等はスペックとして提示し、自らは生産設備の維持管理に専念したほうが合理的だからである。

その結果、生産管理部門もユーティリティ部門も各々の管理範囲での改修に限られてしまうケースが生じる。製品を製造するうえでは特に問題はないだろう。しかし、エネルギー使用の合理化を図る上

では大規模改修やエネルギー源の転換といった抜本的なリノベーションには不向きである。例えば、蒸気インフラがあると生産設備のリプレイスも蒸気依存設備になり、生産設備に蒸気が必要となるからユーティリティーも蒸気を供給するという循環の構図を作ってしまう。

特に蒸気インフラは大型ボイラ+蒸気配管で構成されており、その配管はボイラ室から各建屋に網の目のように張り巡らされているのが一般的である。蒸気は使い終われば単に「水」に戻るだけであり、工場にとっては非常に扱いやすい物質・エネルギーなのである。

高温高压の蒸気は、高い温度で熱エネルギー、高い圧力でアクチュエーターなど動力として利用できる。さらに洗浄工程や加湿など利用用途は多岐にわたる。またアキュムレータと呼ばれるタンクに蓄えることができ、蓄エネルギーにも向いている。

化石燃料を焚いて水を蒸発するだけの構造であることから高度な技術がまだ未成熟であった高度経済成長時代に多くの工場で導入された。50年を経た現在、建屋などは建替えられているものの、構内の蒸気インフラは既存の配管などが活用されている。もしくは、配管は改修されているかもしれないが蒸気インフラという根幹に変化はない。

このように一度導入してしまうと改修後も同じ設備になってしまうことを「ロックイン効果」と呼ぶ。このロックイン効果が今後の温暖化対策でも課題として立ちのぼることが懸念される。

一方、効率よく熱供給する技術がある。ヒートポンプである。昨今、ヒートポンプは高い省エネ性で注目を集めており、家庭用の給湯機やエアコンを中心に普及が進んでいる。

ヒートポンプは正確には電力を熱源としている機器ではなく、大気熱などを熱源として利用している機器である。熱交換器・コンプレッサー・膨張弁・熱媒（冷媒）で構成されており、熱交換器で取り込んだ熱エネルギーの温度を上昇させるためにコンプレッサーで冷媒（または熱媒）を圧縮する。このコンプレッサーの駆動用動力として電気が消費される。大気から得た熱量とコンプレッサー等が消費する電力量の比率をCOP（成績係数）と呼んでおり、COPが大きいほど消費電力が少ないことを表す。現在、COPは3（給湯機）～6（エアコン）程度であり、消費電力量は得られた熱量に対して1/3～1/6となる。

熱量あたりの単価の単純比較では電気よりも石

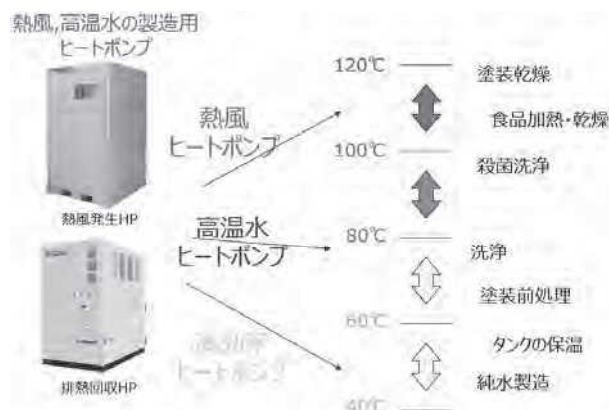


図2 産業分野で利用可能なヒートポンプ

油・ガスが優っているものの、ヒートポンプを使えば同じ熱量でも消費電力量が1/3以下になるため、石油やガスと比べて経済性が出てくる。

ヒートポンプの技術開発は給湯や暖房での電化を可能とした。しかしながら、温度が高くなるほどヒートポンプは理論的な効率が低下し、また高度な技術が求められ適用範囲が狭くなる。電力を使って100°C以上の温度に加熱するには抵抗加熱方式のヒーターの方が現実的である。

一般的にヒーターは省エネ性・経済性がないと言われていた。ヒーターで加熱する場合は不必要に加熱をさせない使い方と組み合わせることが必要である。ヒーターの優位性は局所加熱や急速に加熱させることができることである。この特徴を生かし、直接燃焼ではロスとなっている熱エネルギーを最小限に抑えることや、デジタル技術やセンサーの開発によりヒーターを効率よく活用できる技術開発が進んでいる。

自動車の完成車の工場ではボディの塗装工程や洗浄・乾燥工程で多くのエネルギーを消費している。塗装工程は有機溶媒（VOC）の大気への放出防止やチリなど混入を防ぐために密閉された大空間の塗装ブースを用いることが多い。塗装の品質を維持することと自動車の塗装を乾燥させるためにボイラ蒸気を使ってこの塗装ブース全体を空調する。これが塗装工程でエネルギーを多く消費する理由である。これに対し塗装面を直接赤外線ヒーターで乾燥させる技術と塗料もVOCの発生しない水性塗料に変更することでブース全体を空調しなくても塗装することが可能となった。生産ラインも短縮化され生産性も向上している。このようにエネルギーだけではなく、工程の見直しや原材料の開発による相乗効果も期待される。

このほか、昨今はヒーターに加えて加工品を直接

加熱する誘導加熱のIH（インダクションヒーティング）方式の技術開発も進んでいる。

ヒーターやIHは受電設備容量が大きくなることや空気等の気体を急速に加熱する点で燃焼式に比べ適していない。昨今、CO₂を排出しない燃料として水素エネルギーに注目が集まるが、中でも水の電気分解によって製造する方法をPower to Gas (PtoG)と呼ぶ。

PtoGが近年注目される背景には、再エネ発電の大量導入がある。再エネ発電は天候などによって大きく変動する。PtoGはこの変動電力を水素に転換するものである。水素のメリットはガス体エネルギーとしてタンクに蓄えることができることと、物質変化がないので長期にわたって貯蔵することが可能であることである。しかし、再度、水素から発電して電力を得ようとするとき、蓄電池に比

べ大幅に低下することがデメリットである。蓄電池の充放電効率が70～80%であるのに対し、水素の場合は水の電気分解で効率80%、水素発電で効率50%であり、結果として充放電効率は40%程度に留まる。

発電効率より水電解効率の方が高いことを鑑みると水素はガス体エネルギーのまま消費することが現実的な手段であると言える。つまり、電気から水素という燃料を作るとのことである。もちろんこれまで論じてきたとおり、水素を製造するための電力は再生エネ発電であることが前提である。

4. 生産工程のプロセス改革

一般的に設備は15年でリプレースを迎えるとされている。パリ協定の2050年まであと約30年間の期間があるため、工場や建築物で利用されている多



図3 IHの概要と活用例

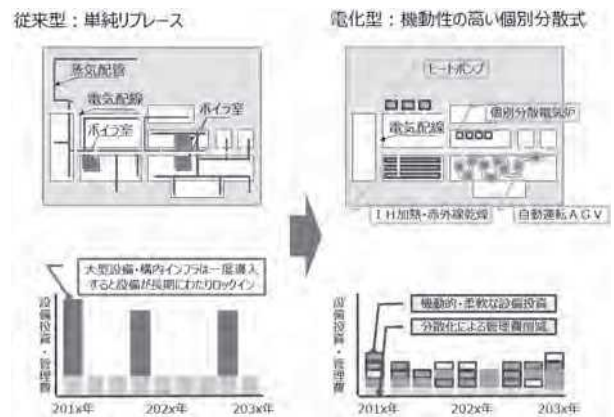


図4 蒸気レス化と熱源や生産設備の分散化

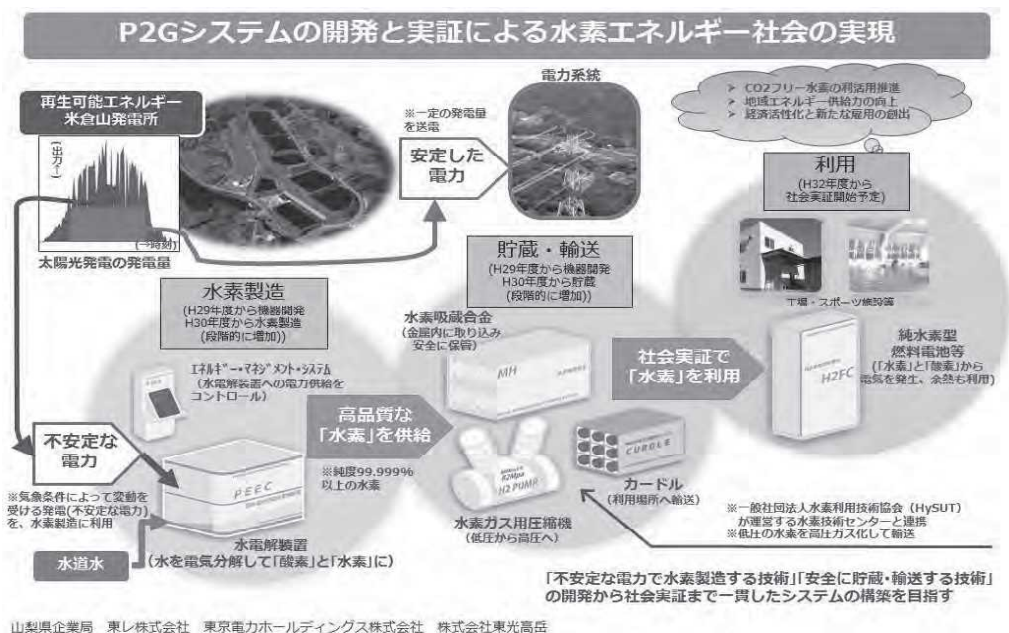


図5 Power to Gasの実証事業

くの設備は少なくとも一回は更新の時期を迎えることになる。したがって、化石燃料を消費する設備更新の機会を活かせば、需要家側での非化石化は実現可能である。

しかしながら、事業者がリプレース時に抜本的な大改修を図ることは、ロックイン効果により、少ないと想定される。蒸気インフラのような工場のコアをなすインフラの場合、トラブルが発生するとその影響は甚大であり、これまで導入したことの無い設備を導入することは大きなリスクである。リスク回避が謀られるとロックイン効果はさらに増すものと思われる。

そのような場合の対策の一つとして集中型設備を残しつつ、個別・分散型の生産設備を徐々に導入する方法がある。市場のニーズから製品の多品種化が進み小ロットによる生産方式も増えている。このような場合、かつてのライン生産方式ではなくセル生産方式が採用されている。また、生産拠点のグローバル化や貿易の不確実性の高まりから、生産システム自体に柔軟性が求められるようになってきた。大型の生産設備では生産調整による設備稼働率の低下は免れず、また急激な需要増加には対応しきれない。そのようなことに対応するには生産システムをユニット化するなどの対策が効果的である。例えば、生産システムをユニット単位でプレハブ型とし、そのユニットを増減設することで生産調整に対応することや消費地が変わることで生産拠点を移転する際に生産システムを移設してしまうようなことである。

このようなユニット型の生産システムが登場した場合、ユーティリティーにも柔軟性が求められる。このことから、蒸気のような取り回しが難しいエネルギーインフラより柔軟性の高い電気式の方が適している。

ロックイン効果を解消するには単純にユーティリティーを非化石化するということだけでなく、生産性の向上など生産工程の見直しをいい機会ととらえれば、比較的スムーズに電化に転換していくことが可能となる。しかし、リプレースの計画が持ち上がってから検討を進めるとなると準備不足によりロックイン効果の影響が顕在化するため、比較的余裕のある時期に検討を始めておくことが良いのではないかと考える。

また、これまでにない生産方法も登場している。アディティブマニファクチャリングと呼ばれる3Dプリンターを活用した生産技術である。これま

で素材の加工は鋳造・鍛造・切削・折曲などの加工方法が用いられてきた。一方で3Dプリンターは樹脂や金属粉末を融解焼結して積層させる成型方法である。複雑な形状が可能になり、これまでは素材内部は加工できないため外部に配管を設けてきた製品から配管をなくすことで大幅に部品点数を減らせること、また故障リスクを減らすことにも期待される。設計図から生産まですべて3次元のCADによってつくられ、デジタル化された製品データはコンピューター内でシミュレーションすることで強度から耐久性まで試算することが可能であり、製品までの時間短縮にもつながる。設計と生産の近接化にもつながる。都市部のオフィスで設計をし、そのままビルの中で3Dプリンターからプロトタイプを生産し、すぐにモックアップで実証することも可能となる。今までビルは事務を行うものであったが、ビルが生産現場にとってかわる可能性も十分にある。

オフィスビルに生産設備が導入されることはオフィスのインフラは生産に耐えられる強靱性が必要になる。電気以外のエネルギーインフラでは配管の延長や燃料の供給など困難が伴う。しかし電気であれば利用時間のシフトや蓄電池などと組み合わせることで既存ビルでも導入の可能性はある。

5. 温暖化対策における再エネ電気と電化促進への期待

電化を前倒して実施するためには様々な課題がある。それら課題をクリアしなければならない地に足の着いた対策にはなり難い。しかしながら、ロックイン効果を考えると2050年に向けた対策は今から着手する必要がある。かつて環境省は概算要求に「化石燃料由来の熱利用脱炭素化に向けた電化シフトによる省CO₂促進事業」を計上した。このような促進事業でモデルケース・ユースケースを作り、その類似ケースを増やすことで裾野を広げまたモデルケースを基に更なる合理性の高いモデルにブラッシュアップしていくことは可能なことである。残念ながら予算案の時点で取下げられてしまったが、今後に期待したい。

第5次エネルギー基本計画（2018年閣議決定）において、国は再生可能エネルギーを主力電源として位置付けた。再エネ電源の普及に舵をきるものであるが、供給側での対策に限られており、需要側はまだ省エネルギー中心の取り組みとした。2020年度は第6次エネルギー基本計画に向けた見直しの年である。2050年に向けてCO₂を80%削減するため

には需要側対策として再エネ電源の活用を推し進めることが肝要である。国策として需要側の脱炭素化の具体策として電化を謳う時期に差し掛かっている。供給側の再エネ電源促進のためにもエネルギー基本計画での電化率の数値目標化、電化転換への支援事業など需要側対策は不可欠である。

去る2020年1月に政府は「革新的環境イノベーション戦略」を取りまとめた。革新的環境イノベーション戦略はパリ協定長期戦略の中で技術開発における横断的な取組みとして、社会実装可能なコストを実現し、非連続なイノベーションを創出するために策定されたものである。国によるコスト等の明確な目標、官民のリソースの最大限投入、投資額を含めた長期にわたるコミット、国内外における技術シーズの発掘や創出、ニーズからの課題設定、革新的なテーマに失敗を恐れずに挑戦することへの柔軟な制度による支援などを含め、世界に発信するものである。

エネルギー供給と運輸・産業・民生・農林水産のエネルギー需要において重要かつ共通的な16の技術課題に分類し、温室効果ガス削減量が大きく日本の技術力による大きな貢献が可能な39のテーマを設定した。中でも産業分野では素材産業においても化石資源依存からの脱却を目指し、再生可能エネルギー由来の電力や水素の活用を目指している。

将来の取組として先送りせずに、小さな規模でも従来の蒸気インフラなどと異なり電化に向けた取り組みは可能である。社会の変化が激しい昨今、各企業は備えるだけでなく、そのような社会に対して先行して手を打つことが求められている。

※本稿は個人の見解であり、所属する組織の意見を代表するものではありません

略歴



矢田部 隆志

東京電力ホールディングス（株）技術戦略ユニット技術統括室 プロデューサー

東京電力株式会社並びに財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターで電力負荷平準化機器・システムの開発・普及促進や省エネ技術であるヒートポンプの普及促進に従事。水素社会の実現に向けた東京推進会議委員、産業電化研究会委員、エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会臨時委員などにも委嘱される。2018年7月より現職。現在、主として東京電力グループでのエネルギー利用技術・電化の方策策定に従事。著書に「図解ヒートポンプ（オーム社）」などがある。