

産官学連携による GX

— Science Tokyo GXI と GXI VISION 2050 —

東京科学大学総合研究院ゼロカーボンエネルギー研究所所長／教授

加藤 之 貴

1. はじめに

過去数億年オーダーで蓄えた有限の化石燃料を数百年オーダーで大量消費している現代社会は持続可能とはいえない。とくに日本は化石燃料をほぼ全量海外に依存している。人為的な二酸化炭素(CO₂)の排出と大気温暖化、気候変動に対してさまざまな議論があるが、多くの国々でCO₂排出削減は社会の持続的な発展、経済的な繁栄、エネルギー供給安全保障の観点から必須である。カーボンニュートラル (Carbon Neutrality, CN) (あるいは脱炭素、Net-Zero) には経済性、公平性などに課題があり実現には時間を要するが、エネルギー利用の変化として準備が必要である。日本政府は2022年にグリーン・トランスフォーメーション (GX) 実行会議を設置し、GXを「産業革命以来の化石燃料中心の経済・社会、産業構造をクリーンエネルギー中心に移行させ、経済社会システム全体を変革すべく、エネルギーの安定供給・経済成長・排出削減の同時実現を目指す」¹⁾ ことと定義し、国を挙げてGXの推進を進めている。一方で例えば、2025年1月の米政権の交替に伴い、米国は地球温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」の2026年離脱を表明し、化石燃料の増産に転じている。社会は常に動揺し短期的には不安定であるが、現状を俯瞰し、社会のあるべき姿を長期的に展望し、その実現のための課題技術の抽出と課題克服が必要である。この実現は個人、一組織では成しえず、社会の連携、協力が必要である。この目的にむけて筆者らは、グリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ (Science Tokyo GXI, GXI) 事業を展開し産官学が連携したCN実現を目指している²⁾。本稿ではGXIにおける産官学連携によるGXの取組みを示す。

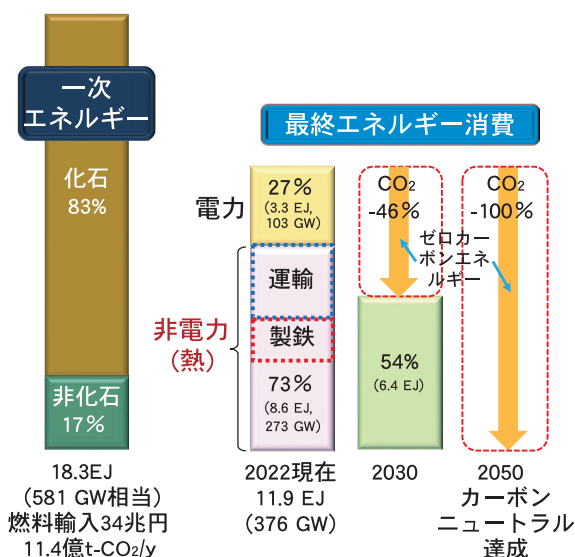


図-1 日本のCN達成に向けたエネルギーの量的推移の関係 (2022年度基準)³⁾

2. Science Tokyo GXI

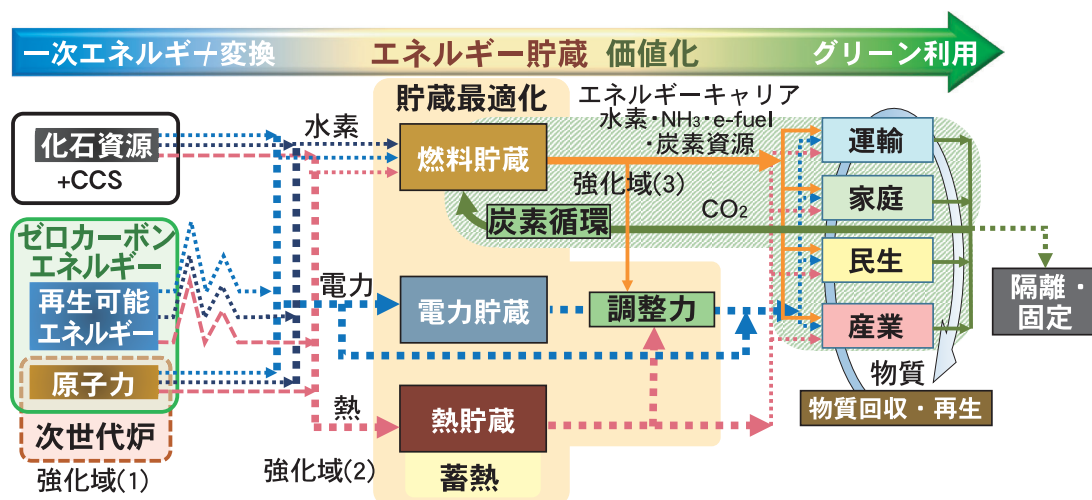
Science Tokyo GXIは文部科学省ミッション実現加速化経費事業として旧東京工業大学科学技術創成研究院ゼロカーボンエネルギー研究所を本部として2022年から活動を進めている。2024年10月1日に東京工業大学は東京医科歯科大学と統合し東京科学大学 (Science Tokyo) が誕生した。大学名の変更に伴い呼称をTokyo Tech GXIからScience Tokyo GXIへと変更している。

CN達成にはゼロカーボンエネルギーである再生可能エネルギー、原子力エネルギー、バイオマスエネルギーを一次エネルギーとしたエネルギーシステムが必要である。特に日本は他国とエネルギー環境が異なり、他国の事例の模倣だけでは達成困難であることの意識共有が必要である。GXIではゼロカーボンエネルギーを駆動源として社会のCN化をGXと定義し事業を進めている。GXIではGXビジョンを描きCN実現に向けてGX技術開発による達成を目指し、産官学さらに地域、社会が連携したオープンイノベーションで検討を進めている。

3. 日本におけるCN展望

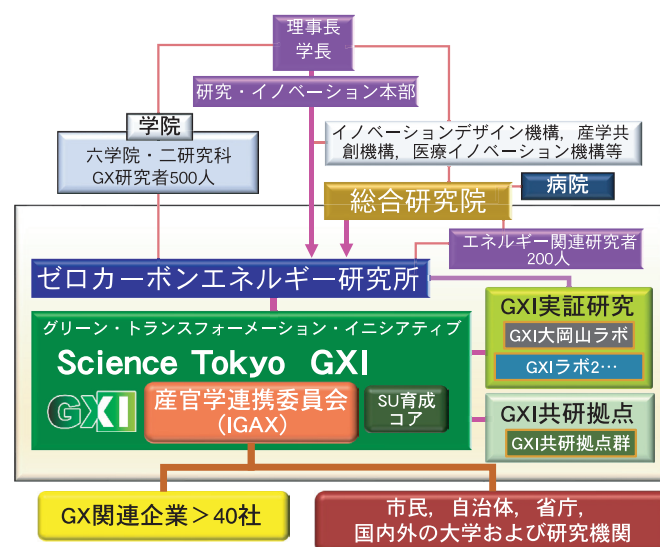
GXを検討するにあたり日本のエネルギーシステムの現状を俯瞰する。図-1に日本のエネルギーの流れを基としたカーボンニュートラル達成のための量的関係 (2022年度基準) を示す³⁾。一次エネルギーの83%は化石燃料であり、ほぼ全量が輸入である。この部分がCO₂発生源であり11.4億t-CO₂/年排出と約34兆円/年の購入費用を伴っている。非化石エネルギーは17%であり再生可能エネルギー(再エネ)は太陽光発電(PV)と水力発電が主である、原子力発電(原発)は再稼働が始まり3%程度である。今後、CN達成には化石燃料の大幅な低減とそれを代替するための非化石エネルギー＝ゼロカーボンエネルギーが必要でありPV、風力発電の更なる導入、原発の利用増大が量的に必要である。

利用側の最終エネルギー消費は電力と非電力に分類される。熱量基準で電力は3割に過ぎず、非電力が大半である。現在CNに向けて電源構成が活発に議論されているが、対象が主に電力分野に限られており、非電力の検討が後手になって



図ー2 CN達成のためのScience Tokyo GXIが目指すグリーン社会ビジョンと、その実現に向けたGXI VISION 2050で提案する技術強化域^{2, 4)}

いる傾向がある。非電力は燃料を熱に変換しそのエンタルピーを運輸、鉄鋼など日本の基幹産業で利用し、国富を得ている。例えば非電力の運輸部門（CO₂排出基準で日本全体の25%）の電動化が技術的に可能になったとしても必要な電力供給には、現状の日本の全電力量に相当する発電設備を新規に準備する必要がある。日本は2030年度に温室効果ガス2013年度比46%削減を目指しており、2030年において電力の完全な非化石化に加えて他部門の非化石化も実現する必要がある。このためには早急にゼロカーボンエネルギーの導入とGXが必要である。



図ー3 Science Tokyo GXIのオープンイノベーションネットワーク

4. GXIのグリーン社会ビジョン

CN実現には従来の化石燃料依存のエネルギー社会からの応用的な達成は困難であり、非線形な技術的、社会的改革としてのGXが求められると予想される。GXIではCN実現のためのGXのあるべき姿＝グランドデザイン構想を産官学、社会が密に連携し立案、解決をめざしている。グランドデザインの基礎となるGXIの提案するグリーン社会ビジョンを図ー2に示す²⁾。

このビジョンの実現に向けて各組織が有する技術を連携し新しい技術創成をオープンイノベーションにより進めている（図ー3）。エネルギー関連企業、行政、自治体と共に産学連携委員会（IGAX, The Industry-Government-Academia Collaboration Committee for GX）を組織し、IGAX企業会員43社（㈱大林組、鹿島建設㈱、清水建設㈱、大成建設㈱、

東急建設㈱、前田建設工業㈱らを含む）、地方自治体21地域、本学のエネルギー研究関連教員60余名（2024年度末時点）が参画し、IGZXは本邦随一のGX産学連携組織と判断される。IGAXではシンポジウムに各省庁関係者を講師に招聘し、最新のGX課題を学び、またGXIセミナー、GXIテックミーティングにおいてGXI協力教員、IGAX企業会員とベンチャー企業との最新の技術交流、ネットワーキングを通じた産－学、産－産連携の機会提供を行い、活発な産官学連携活動を行っている。2024年度はEPRI（Electric Power Research Institute、米国電力研究所）、BASF（ドイツの総合化学メーカー）もメンバーとなり国際連携も進んでいる。GXI活動のアウトカム・成果として協働研究拠点の形成がある、共同研究は企業－教員の1対1の連携であるのに対し、

協働研究拠点は同1対複数の大型研究体で、2024年度までにGXIに関連する5拠点が開設されている。また自治体－市民－産官学が連携した地域創生型のプロジェクトの検討も進めている。さらにスタートアップ（SU）育成コアを通したSU企業の創出も重要なGX活動成果でありGXI第1号SUとしてGX Energyが創業しており、GXに関わる新たなSU創出の準備も進んでいる。

5. GXI大岡山ラボとGX研究

GXIにおいては本学教員による実際のGX研究開発を重視している。文部科学省基盤的設備等整備分の支援のもとGXI大岡山ラボを本学大岡山北地区の建屋を全面改装し、炭素循環グリーン産業システム実証研究施設を開設した。GXのゴールとして炭素循環産業システムを構想し、

この実現に向けて学内教員が連携し実証研究を開始している。大岡山ラボではCO₂資源化、高温ケミカルヒートポンプ、低コストのリチウムイオン／非リチウム電池開発、CO₂高温回収、CO₂低エンタルピー回収、CN製鉄、余剰再生可能エネルギーの効率的な貯蔵技術として高温ケミカルヒートポンプ、低コスト全個体電池、さらにケミカルループなどの研究に取り組んでいる。究極のCN産業スタイルである炭素循環産業システムに関わる研究ショーケースとして世界初の取組と判断される。幸い IGAX メンバー、省庁関係者、MIT (米国)、Royal Society (王立協会、英国) など海外を含む多くの産官学関係者の来訪を受け、高い評価を得ている。協力教員のGX研究は多岐にわたり、今後研究テーマは拡張される予定である。

6. GXI VISION 2050

これまでのGXIにおける産官学連携活動において日本企業・大学の有する技術は優れ、その社会貢献ポテンシャルは国際基準で非常に大きいことが確認されている。また、各組織で萌芽、進展が見られるGX技術は日本、世界への貢献性が高いと判断される。そこで、GXIの活動を基礎として、上記の状況を鑑み、日本政府の第7次エネルギー基本計画の立案に際して（その後、2025年2月に閣議決定）、2050年を見据えてのGXIとしてポジションペーパーを2024年9月にWebページにて日本語版、英語版を表明した⁴⁾。ペーパーは「社会的慣性*を見越したアフォーダブル**な移行でカーボンニュートラルを達成」を主張点として2050年に向けたGX技術展開のビジョンを提示した。著者グループが9か月にわたりGX実現に向けて日本において産官学が連携して取り組むべき必要なGX技術を検討し、結果として次の三点を主張した。

- (1) 十分なゼロカーボンエネルギーの確保
- (2) エネルギー貯蔵システムの合理的な大容量化と調整力の確保
- (3) 炭素循環によるGX強化

図-2に上記三点に応じた技術強化域を示した。

強化域(1):日本では一次エネルギーについて化石燃料利用の削減に伴い、ゼロカーボンエネルギーとして変動性再生エネルギー(VRE)の主電源化が検討されている。VREは天候に依存し、出力変

動が大きく稼働率が低い点が課題である。十分なゼロカーボンエネルギーの確保には安全な次世代原子炉の計画的な利用普及が必要である。

強化域(2):近年、余剰のVRE発電を抑止するための出力制御が頻発している。VRE導入が進むほどに出力制御は増え、VREが2050年に50%程度のシェアとなった場合の出力制御は70TWh/年程度と予測され、2兆円/年規模の経済損失に相当する。そのため出力制御の克服に向け、安価で大量のエネルギー貯蔵として熱貯蔵や燃料変換貯蔵としてのエネルギーキャリア製造技術が必要となる。VRE電力から水電気分解で得られるグリーン水素がVREのエネルギーキャリアの候補である。水素は低密度のためe-fuelsに可能性がある。e-fuelsは産業排出される二酸化炭素(CO₂)とグリーン水素から合成された炭化水素である。持続可能な航空燃料(SAF)とe-fuelsは水素のエネルギーキャリアであり、これらの活用は水素によるCNに貢献する。そして需要側には高品質なエネルギーの同時同量の供給が求められ、そのためには製造エネルギーの価値化とそれを実現する調整力の確保が必要である。

強化域(3):エネルギー需要側は多くの分野で炭化水素燃料を必要としている。特にディーゼルエンジンから電動化への代替が困難な重機械、船舶などである。そこでエンジン使用を許容し、燃料としてe-fuelsを用い、燃焼排出されるCO₂を回収し、ゼロカーボンエネルギーで再度e-fuelsに変換して循環再利用する炭素循環が望まれる。

*社会的慣性(social inertia):質量に比例する力学的な慣性とのアナロジーで、長期利用を前提としたインフラ、巨額な生産設備、複合的で総体的に巨大なサプライチェーンなど、さまざまな要因で急激な変化が困難なことを表す。

**アフォーダブル(affordable):手頃で十分受容可能な、の意味。単純に安価や導入のハードルの低さだけを追求しない姿勢のこと。

7. おわりに

GX実現は個人、個社で成しえず、それぞれ能力を活かし、連携することが肝要と考える。日本には世界から高く評価される技術、擦り合わせ力、協力的な組織運営能力を有している。これらを活

用することがGX達成に向けて日本独自の強み、国際貢献性と期待される。GXIでは引き続き皆様からの貴重なご意見を踏まえて、GX研究技術開発そして成果の社会実装を産官学そして社会の連携で達成を目指している。皆様にGXI活動に共にご参画を頂ければ心強く光栄である。GX達成に向けてGXIに対してご指導、ご鞭撻を頂ければ幸いである。

【参考文献】

- 1) 経済産業省、我が国のGX実現に向けて(2025/04/26確認).https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/
- 2) Science Tokyo GXI,<https://www.gxi.iir.titech.ac.jp/about/>
- 3) 資源エネルギー庁、総合エネルギー統計(2022FY), 2024/04.https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/xls/stte/stte_jikeiretu2022fykaku.xlsx
- 4) Science Tokyo GXI, GXI VISION 2050, 2024/9/17公開,<https://www.gxi.iir.titech.ac.jp/research/gxi-vision-2050/>



加藤 之貴
(かとう ゆきたか)
横浜市出身。
1991年東京工業大学化学工学専攻修了、工学博士。
2015年同大学教授、2024年より東京科学大学総合研究院ゼロカーボンエネルギー研究所所長/教授。東京科学大学グリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ(Science Tokyo GXI)統括。エンジンバラ大学客員研究員、MIT客員教授、東北大学客員教授。元化学工学会エネルギー部会長。

<連絡先: 03-5734-2967>