

●基調講演 14:35～15:35 司会：吉川 遯 理事

講演題目：「2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題」

講師：石原 慶一 氏（京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授）

略歴：

1957年京都市生まれ。1981年京都大学工学部金属加工学科卒業、修士課程、博士課程修了、1986年同助手として着任。1996年エネルギー科学研究科に移籍、2002年より京都大学エネルギー科学研究科教授。2008-2013年 GCOE「地球温暖化時代のエネルギー科学」においてエネルギーシナリオチームのリーダーとしてゼロエミッション研究に従事。



要旨：

2021年、菅首相は2050年までにCO₂排出を実質ゼロにする新たな目標を掲げたが、その詳細は不明である。一方、我々は2013年に2100年までにCO₂排出をゼロにするシナリオを発表した。そのシナリオでは2050年から2100年にかけての人口減少に伴う需要減少がCO₂排出削減の重要な要因であった。また、低炭素化が進んでいる九州（日本全体の10%規模）において太陽光発電のさらなる導入の影響を調査した。本講演では、これらの結果に基づき、2050年のカーボンニュートラル目標達成の課題について議論する。

講演のまとめ：

世界のCN50の動向の中で我が国政府のCN50への政策とその背景、実現性の考察に始まり、講師が中心となってエネルギー科学研究科で主導してきたCNに関わるCOE研究の経過と結果、それをもとにした日本の今後のCN50達成への予想について、多岐にわたる基調講演であった。その講演の流れに沿って、①我が国政府による2050年カーボンニュートラル宣言の内容、②京大エネルギー科学研究科によるエネルギーシナリオ研究、③九州地区の電力需給分析研究、④我が国の2050年カーボンニュートラルのグロス分析、の4つの項目のそれぞれの要点を箇条書きにしてまとめる。

① 我が国政府による2050年カーボンニュートラル宣言の内容

2015年パリ宣言以来、日本を含めて世界の多くの国が2050年にCN達成の声明を出している。世界では既にCN50を達成している国もあるが、中国、インド、シンガポールのように50年以降にCN達成を目標にしている国もある。そこで日本政府はどのようにCN50を達成しようとしているのかその要点は以下の如し。

★日本政府が菅政権時に公表の2050年カーボンニュートラル実現の道は、2019年全温暖化ガス10.3億トン、2030年には2013年比で46%減、2050年に温暖化ガスの排出と“吸収”（植林やDACCSなどの炭酸ガス除去）で実質ゼロとするというものである。

★2019年全温暖化ガスは、民生1.1億トン、産業2.8億トン、運輸2.8億トンの非電力利用と電力4.4億トンの総和である。2030年の46%減の達成計画（計画は後述）が比較的詳細であるが、2050年実質ゼロ排出については非電力部門は電化、水素、合成燃料・メタネーション、バイオマス、電力部門は脱炭素電源、非電力と電力部門で排出ガスをゼロにできない残余は植林、DACCS

等で炭素除去としても具体的な数値目標が設定されていない。

★日本のNDC（国が決定する貢献）では2013年に比し、2030年目標を温室効果ガス排出量・吸収量を46%減、エネルギー起源炭酸ガスを45%減とし、部門別の削減目標では家庭部門は66%減と最も厳しい。

★発電電力量・電源構成を2030年度目標に照らして2020年の目標達成率を示すと、下表のようになり、とくに原子力と風力は拡大すべき。

種類		目標比率	2020年比率	非達成度(1以下は目標オーバーで減らすべきもの)
化石燃料	石油等	2	6.3	0.3
	石炭	19	31.0	0.57
	LNG	20	39.0	0.48
原子力		20-22	3.9	5.05
再生可能エネルギー	太陽光	14-16	7.9	1.73
	風力	5	0.9	5.67
	地熱	1	0.3	3.67
	水力	1.1	7.8	1.24
	バイオマス	5	2.9	1.61
水素・アンモニア		1	—	—

・今年8月24日岸田政権は、電力需給ひっ迫が足元の危機として今冬のみならずここ数年あらゆる政策を総動員して不測の事態に備えるべき、とくに原発は再稼働済みだけでなく設置許可済み原発も再稼働に向けて国が前面に立って対応すると声明している。

② 京大エネルギー科学研究科によるエネルギーシナリオ研究

講師がエネ科21世紀COEプログラム後半に着手し、その後GCOEプログラムに発展したゼロカーボンエネルギーシナリオ研究の成果が紹介された。その主なポイントは以下の如し。

★講師らが提唱した統合シナリオ解析（GIESAM）の特徴として、①一般にはコスト最小解を求めるのに対し、技術・投資制約下にCO₂排出量最小解を求める、②1時間ごとの電力需給量バランスをはかることを挙げた。

★当初は2030年のCO₂排出量を2004年比50%減のエネルギー需給シナリオを求めた。その結果は、福島事故後の現在の日本のエネ基でNDCが2030年46%減にしているのと似た結果となった。

★その後2100年に世界のCO₂排出量ゼロのシナリオ策定に目標を大きくして取り組んだ。日本については2100年に日本の人口が半減するのを前提にすると2100年CO₂排出量ゼロを達成するシナリオは導出できた。そのための投資は毎年5,6兆で総額は約560兆円の投資額。このシナリオは今後電化率が上がるので原子力を増やさないと成立しない（原子力を最大50GWのシナリオ）ものだったが、福島事故後民主党政権の方針が脱原発に替わったため歓迎されなかった。

★この 2100 年排出量ゼロのシナリオ研究の結果では 2050 年は 2010 年比で 3 分の 2 の削減であり、2050 年ゼロエミッションの達成は難しい。

③ 九州地区の電力需給分析研究

今後の日本の電力需給を分析するために九州地区を選択した理由を述べたのちに 2021 年の九州電力の実績データを示して大規模に太陽光を導入する上で生じる出力抑制の問題を論じた。主なポイントは以下の如し。

★九州地区は人口、エネルギー需要は日本全体の約 10%で太陽光の導入が最も進み 36%の原子力を含めると非炭素電源が 6 割となっていて日本の 2030 年の姿を先取りする地域で、日本の将来を分析するのに適している。

★原子力 36%、火力 36%の九州電力の 2021 年の月間電力供給曲線を見ると 5 月が最も電力消費量が少ないこと、夏冬にピークがあること。

★ゴールデンウィーク中の 5 月 3 日の日間データを見ると日中の太陽光発電が余剰となり出力抑制し、太陽光で揚水ポンプを動かして電力貯蔵している。

★冬場の正月 1 月 7 日のデータを見ると日中の太陽光発電量が少なく、電力需要は火力で主に賄っている。つまり火力は年間全体では運転しなくても冬場の需要ピークに対応できるだけの容量が必要なことを示す。

★さらに発電容量・需要量対太陽光導入量の曲線を示して太陽光導入量が現状の 10GW を越えて大きくなればなるほど、太陽光の出力を抑制すべき量が大きくなることから、揚水発電以外の出力抑制手段として電気自動車と蓄電池でどれだけカバーできるかを検討した。結果として 30GW の太陽光導入では 50%が出力抑制されること、これを電気自動車と蓄電池の導入で出力抑制量を 5%まで減らせるが、蓄電池では季節変動を吸収できない。

④ 我が国の 2050 年カーボンニュートラルのグロス分析

講師は 2013 年以降 2050 年のカーボンニュートラルを対象にモデルを改良して計算をしているがまだ結果はでていないのでその前段として行っているグロス分析の結果を紹介した。

その主なポイントは以下の如し。

★CO₂ 排出量を 90%カバーする 8 業種が 2050 年にカーボンニュートラルとなることを検討対象とする。これらはナフサ、窯業、住居、運輸、自動車、鉄鋼、化学、電力である。

★これらの業種別に現在のエネルギー需要量ないし CO₂ 排出量をすべて水素ないし電力により CO₂ を排出しない技術に転換すると仮定し、それによって必要となる水素ないし電力量を求める。このようにして講師が概算した必要水素量 33.7–45.6Mt を、政府予想値 20Mt や松尾らの予測値 (IJJE) 22-40Mt と比較して妥当と評価。

★電力部門については EV、家庭部門、人口減少、効率化、産業部門の需要量の変化を想定し、原子力、風量・太陽光、水素の 3 種の組み合わせでどのように需要量を賄うのかという問題に帰着

★2021 年の 8 部門の年間エネルギー需要の季節変動は水素火力で調整するとして検討

★2050 年カーボンニュートラル実現に世界中に水素取引ネットワークが形成されると予測してそのイメージを提起

★以上をまとめ、日本の 2050 年カーボンニュートラルを実現するため、①毎年 20 兆円、28 年間で計 560 兆円の投資が必要、②再エネ、原子力を最大限導入しても水素由来の燃料の輸入利用が必要（水素換算で 33.7–45.6Mt）、③国内の水素インフラ整備に加えて国外に水素の安定供給先を確保する必要がある、④鉄鋼、化学、セメント産業の脱炭素化は未解決課題である。

講師は、最後に資料にはあえて記載していないが折角 2050 年にカーボンニュートラルを日本で達成しても 2100 年に向けて人口が減少していく中で 2050 年以降どうして投資を回収していくのか問題視しているとのコメントで講演を締めくくった。

【発表 PPT】 [こちら](#)

質疑応答：

A－水素製鉄について

Q：鉄鋼は純粋の鉄ではなく、炭素との固溶体で、炭素の存在が鉄鋼の物性に重要な役割を果たしているものであり、水素製鉄の場合どこかで炭素を入れる必要が出てくる。新たな工程が加わるのではないか。

A：鋼鉄の中の炭素量は、0.数%程度と少なく、既存の廃鉄鋼を混合して溶融すれば達成できると考える。鉄鋼にするための水素還元の際には 3 つの方法があるが、もともと CO₂ 排出量は多くなく問題にならない。

Q：化学平衡のためには水素を過剰にしないといけないのにそれで還元できるのか？

A：直接還元は 80 年代に実現化されている。

Q：技術は実証できてもその技術による生産はコスト的に成り立つのか？

A：コスト高は考えていない。

Q：コスト的に高ければ国際競争力で負けてしまうことにならないか？

A：水素還元した鉄鋼しか国際的に取引させないという話がある。鉄鋼連盟では確か今の 3 倍くらいコストアップという話もきく。

B－アンモニア製造について

Q：水素からアンモニアを作るのは今のやり方のハーバー法なら温度を下げるため水素と窒素が過剰に必要で装置のサイズも大きくなるのではないか？

A：ハーバー法の設備は今でもそれほど大きくならない。

Q：水素システムで使うとなると、大きなものになるのではないか。

A：確かにその場合は大きなものになる。なおエネルギーキャリアとしてすべてを NH₃ にするのは難しいと思っている。今は、アンモニアは石炭との混焼を考えており、2050 年段階ではメタンとの混焼などがある。

C－水素タービンについて

Q：水素は燃焼速度が早いので、タービンに効率よく力を伝えるのがむづかしいのではないか。

A：それほど問題でないと聞いている。当面の天然ガスとの混焼なら問題でないが、水素ガス 100% になれば話は別である。

Q：科学の知識は既に大量に集積されているのに、それを考慮することなく、未来の技術を描く

ことに危うさを感じる。熱力学や反応速度論の素晴らしい理論がある。それを考慮してプロセスの検討をすべきでないか？

A：私はまずエンタルピー的に成り立つかが大事だと、トップダウンに成立性を調べているが、方法論としては八尾先生のおっしゃるようなボトムアップの検討との調和が必要である。

D－水素の交易

Q：東南アジアのASEANが将来水素ハブになるとのことだが、資源はどこからくるのか？

A：もともとは豪州からアセアンに入ってきてそれから日本へということだ。

E－海洋エネルギー

Q：海洋エネルギーは再生可能エネルギーの1割くらいはあると言われるがなぜ日本では入れないのか？

A：洋上風力は入っているがその他波力などは資源がない。

F－シナリオの状況依存

Q：シナリオは状況によって変わってくると思うがロシアのウクライナ侵略問題をもとにロシアとの天然ガスの供給はどうなってくるのか？

A：70年代の石油ショック後のように天然ガス確保は今後困難になってくる。これまでのような生活水準の維持についても状況は変わってくることも加味したシナリオを考えることは大きな将来課題である。