



東京大学 大学院工学系研究科  
電気系工学専攻 教授 (対談時)

### 山地 憲治

Yamaji Kenji

日立製作所 執行役常務  
電力システム社 社長

### 田中 幸二

Tanaka Koji

産業革命以降、大気中のCO<sub>2</sub>濃度は280 ppmから380 ppm以上に高まり、地球の平均地表気温は0.74℃上昇したことが観測されている。科学・技術の発達をもたらした工業と経済の発展に起因する、地球の温暖化。人類を含めた地球の生態系に深刻な影響が及ぶ前にその進行を止めるのも、科学・技術の発展にかかっている。

社会の基盤である電力・エネルギー分野

は、地球温暖化の進行を防ぎ、低炭素社会を実現するうえでも大きな役割を担う。そのために必要となる技術は何か。ビジョンはどうあるべきか。

エネルギーシステム工学の第一人者であり、IPCC第3次・第4次報告書の主執筆者も務める山地憲治東京大学教授(対談時)をお招きし、日立製作所電力システム社を統括する田中幸二執行役常務と論を交わした。

システム思考で挑む、  
新たな地球温暖化対策  
低炭素社会の構築を技術開発の駆動力に

第一回



### より少ない負担で、より多くの排出削減を

**田中** 地球環境問題、特に地球温暖化は世界共通の課題となっています。私ども日立製作所電力システム社も、事業領域に深くかかわる問題として、動向を常に注視しています。

山地先生は、エネルギーシステム工学をご専門に、早くから環境とエネルギーの問題に取り組んでこられました。また、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の発足当初から活動に参加しておられるとのことですが、現状をどのようにご覧になっていますか。

**山地** 地球温暖化対策では、各国の温室効果ガス、特にCO<sub>2</sub>の削減が議論となっていますが、どれだけ削減すれば環境に深刻な影響を与えないのか、科学者間で統一した見解が出されてはおりません。2009年のラクイラサミットでは、2050年までに世界のCO<sub>2</sub>排出量を少なくとも半減、先進国は80%減という目標で合意がなされました。こうした高い目標を掲げることは、大きな方向性を示すという政治の役割を考えれば、もちろん意味があることです。ただ、あまりに困難な目標は、挑戦意欲の低下にもつながりかねません。私は、IPCCで対策に関する

部分を担当し、温暖化抑制シナリオに沿って、利用できる技術と制度、必要なコスト負担などの定量的な関係を分析していますが、現実の対策では、分野ごとの地道な積み上げがものを言います。削減目標を負担ととらえず、いかにチャンスとして生かすか。発想の転換と、効果的な施策が問われます。

**田中** 具体的にはどの分野に力を入れていくべきだと思いますか。

**山地** 重点的に対策を行うべき分野とは、より効率的に、つまりより少ない社会的負担でより多くの排出削減を達成できる分野ということになります。一つは発電で、原子力の利用拡大、再生可能エネルギーの普及、火力発電のさらなる高効率化やCCS（Carbon Capture and Storage）などの取り組みが有効です。もう一つは、特に家庭や業務用施設などの省エネルギーです。簡単な例では、すべての白熱灯を蛍光灯に変えるだけでもかなりの効果が見込めます。省エネフロンティアには大きな可能性があります。

### 再生可能エネルギーの課題に応える

**田中** 日立グループは、2025年度までに日立グループ製品によって年間1億tのCO<sub>2</sub>排出抑制に貢献することを目標としています。その中で、原子力発電、火力発電、水力・風力・太陽光発電などの再生可能エネルギー、電力流通機器などを手掛けている電力システム社は、エネルギー革新技術の開発で貢献すべく力を注

いでいます。

経済産業省の新エネルギー部会委員、低炭素電力供給システムに関する研究会座長などを歴任されてきた中で、山地先生は再生可能エネルギーに関する国の導入目標と課題についてどのようにお考えですか。

**山地** 近年の太陽光・風力発電の伸びは著しく、全世界の設備容量は風力発電が1億kWを、太陽光発電は1,000万kWを超えています。日本では鳩山政権が、ポスト京都議定書の国際的な枠組みにおける公平で意欲的な目標での合意を前提に、2020年までに1990年比で25%の温室効果ガス削減という目標を掲げました。25%のうち、どれだけ真水（国内削減）で実現するかによってシナリオは変わるものの、2020年に太陽光発電は数千万kW規模、風力発電も1,000万kWオーダーの目標値が検討されているようです。日本の2007年時点での導入実績は、太陽光が約192万kW、風力が約168万kWですから、かなり高い目標になりそうですね。

いずれにせよ、再生可能エネルギー、中でも太陽光・風力などの自然エネルギーの導入量を増やさなければいけないのは間違いありません。その際に課題となるのは、まず設備容量・発電量当たりの価格がまだ高いことです。そして、発電量が天候などに大きく左右されるため、導入量が増えると電圧と周波数の変動が大きくなり、電力系統が不安定になることです。

**田中** 系統安定化については、知見を集めて新技術の開発に積極的に取り組んでいます。風力発電では、富士重工業株式会社と共同で、日本で立地点の多い丘陵・山岳地などの吹き上げ風が強い場所で、約8%の出力向上が可能な2 MWのダウンウィンド型風車を開発しました。通常、風力発電は風の強さによって出力が大きく変動しますが、この風車では、可変速揚水式水力発電システムで活用されている「有効電力優先制御システム」を適用することで、有効電力を直接制御し、風速が変動しても電力変動が少ない、安定した電力の供給を可能にしました。

大規模太陽光発電システムでは、山梨県北杜市で行われているNEDO(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の実証実験において、株式会社NTTファシリティーズからの再委託により、系統安定化機能を持った大容量PCS(Power Conditioning Subsystem)の開発を進めました。開発した400 kW級のPCSでは、発電による有効電力とともに、電力系統の状況に応じて適切な量の無効電力を連系インバータから出力することで、系統電圧の変動を抑制する機能や、瞬時電圧低下時の運転継続機能など、電力系統への影響を軽減する技術を実現しています。また、PCS以外にも、監視制御システム、変圧器、遮断器など、幅広く手掛けています。

### 総合的な取り組みとして期待される スマートグリッド

**田中** 再生可能エネルギーの導入拡大に伴う課題には、どのような対応が必要とお考えですか。

**山地** 太陽電池などの小規模分散型電源は大量生産によってコストが低減しますから、今回導入される電力買取制度は需要拡大に伴う生産コスト低減を後押しするためにも必要な施策でしょう。配電系統の安定化については、電圧と周波数の変動をいかにして吸収するか。先ほど挙げられた新開発の風車のように、発電側が出力を平滑化する機能を備えるというのも画期的な方法です。

電圧変動対策としては、無効電力制御や、柱上変圧器の強化が挙げられます。周波数変動対策としては、現在行っている火力発電、可変速揚水式水力発電などによる需給変動の調整に加え、負荷周波数制御の調整容量を増やす必要性があります。また、余剰電力を蓄電する設備も拡充しなければなりません。

これらの課題を総合的に解決する手段がスマートグリッドです。メリットの一つは、情報通信技術を利用した送配電網の自動化により、電力供給の信頼性を向上できることです。日本の電力網ではすでに実現しています。新たな可能性として注目されるのは、需要家のエネルギー機器との協調など、DSM(Demand Side Management)による需給を統合した全体最適化が可能になる点です。さらに、EV(Electric Vehicle)

やPHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)の蓄電池、ヒートポンプ給湯器の貯湯槽など、家庭のエネルギー貯蔵設備をスマートグリッドに取り込んで変動吸収に活用することが、エネルギーシステム全体で環境負荷軽減と電力安定供給を両立する鍵になります。

**田中** スマートグリッドは、電力インフラ技術と情報通信技術の両分野をグループ内に有し、効果的に融合できる日立が強みを発揮できる領域だと考えています。2009年4月には、再生可能エネルギーやスマートグリッドにかかわる機器・システム事業を強化し、日立グループ全体で統括的に進める「新エネルギー推進本部」を設立しました。情報制御システム社を中心に、先進的自動検針インフラのAMI(Advanced Metering Infrastructure)やアモルファス変圧器、配電用の無効電力保証装置、リチウムイオン蓄電池など、関連デバイスの開発や普及に努めています。







**山地** 一般にはあまり知られていませんが、変圧器では無負荷損が発生するので、これが小さいアモルファス変圧器のCO<sub>2</sub>削減効果は大きいですね。私の研究室の試算では、柱上変圧器をアモルファス変圧器に代えると、100万tオーダーのCO<sub>2</sub>削減になります。地球温暖化対策には、このような個々の機器からインフラまで含めたエネルギーシステム全体の構造改革が必要です。総合的な取り組みで世界をリードしてください。

#### 低炭素社会のキーになる原子力発電

**田中** CO<sub>2</sub>排出削減で重要な発電分野の取り組みに関して、原子力の利用拡大を挙げていらっしゃいました。世界的にも原子力発電への期待が高まっており、最も大きな効果が出せるものとして、また安定的なベース電源として、私どもとしてもたいへん重視しています。

**山地** 太陽光や風力発電などの自然エネルギーは、2020年に政府の意欲的な導入目標が達成された場合でも、わが国の一次エネルギー供給の10%程度にとどまる見込みです。発電時にCO<sub>2</sub>を発生せず、安定的に電力を供給できる原子力発電は、低炭素社会においても重要な存在となることは明白です。政府の需給見通しでは2020年の最大導入ケースで、全発電電力量の40%以上を原子力が供給する見込みとなっています。

課題は、設備利用率を諸外国並みに高めることです。検査制度改革や保守管理の高度化も含め、中長期的に90%台を実現して原子力発電の実力を発揮できるようにしなければなりません。さらに、既設原子炉の出力向上を図り、できるだけ活用するとともに、新設計画も進め、新エネルギーとの両輪で着実な導入を図っていく必要があります。

**田中** 日立は、50年ほど前から原子力発電の研究開発を開始し、BWR (Boiling Water Reactor) に取り組んできました。日本のBWRは商業炉化されてから40年が経過し、現在は、安全性、運転性、経済性などに優れたABWR (Advanced BWR) が実用化されています。ABWRは国内の電力会社とプラントメーカー、およびGE社 (General Electric Company) が共同開発したもので、日立は、これまでの国内6基すべてのABWRプラント建設に携わってきました。北米をはじめとするグローバル市場に対しても、パートナーであるGEH (GE-Hitachi Nuclear Energy Americas LLC) とともに、ABWRなどの最先端BWRを提供していく計画です。

ご指摘の既存設備の稼働率向上にも、電力会社のお客様と協力しながら取り組んでいく考えです。また、国のプロジェクトに参加し、ABWRの次世代となる原子炉の開発にも取

り組んでいます。50年後、100年後といった長期的な視点での技術開発の方向性については、どうお考えでしょうか。

**山地** 現在、世界全体で原子力発電の設備容量は約4億kW、供給している電力は約2兆6,000億kWhで、全世界の発電量のほぼ16%に相当します。これが今世紀中には20億kW、30億kWと増大していくでしょうし、それぐらいにならないと、ほんとうの低炭素社会は実現できません。一方で、そうなると、軽水炉を利用している限りはウラン資源の枯渇問題が起き、ウランの利用効率向上が求められます。使用済み核燃料を再処理し、リサイクルするプルサーマル、そして長期的には高速増殖炉の技術を、コスト面での成立性も吟味しながら確立していかなければならないでしょう。

**田中** 技術とコストの成立性を両立させることは難しい課題ですが、私どもは長期的な視点で、中間貯蔵、燃料再処理、高速増殖炉、廃棄物処理処分などの事業、および技術開発を積極的に推進していく考えです。高速増殖炉に関しては、一次冷却系を中心とした「もんじゅ」までの実機機器開発・製作・据付・メンテナンス経験を生かし、実証炉は2025年ごろ、実用炉は2050年ごろの運転開始をめざして取り組んでいます。

#### 大きな効果が見込める 火力発電の高効率化とCCS

**田中** 再生可能エネルギーや原子力に比べると目立ちませんが、全世界

の電力量の7割近くを生み出しているのは火力発電です。その活用についてはいかがですか。

**山地** 火力発電にはベース電源としての役割に加えて、需要変動に対応する負荷調整電源としての役割があり、発電システム全体で考えたときにきわめて重要な役割を果たしています。重要なのは、埋蔵量が多く、低コストで安定供給が可能な石炭を効率よくクリーンに使っていく「クリーンコールテクノロジー」で、これによるCO<sub>2</sub>削減効果は莫(ばく)大です。石炭をガス化したうえでガスタービン燃料とし、排熱を蒸気タービンで回収して複合発電するIGCC (Integrated Coal Gasification Combined Cycle) では、発電効率48~50%が見込まれています。最新鋭のUSC (Ultra Super Critical) 微粉炭火力発電でも、従来の石炭火力より約10%も高い、43%前後の発電効率を達成しています。例えば、中国やインド、米国などの従来型石炭火力発電所がすべてUSCに置き換われば、1年間に約13億t、日本が排出しているのと同じ量のCO<sub>2</sub>を削減できるのです。

今後は、既設の石炭火力プラントを改善しながら、長期的にはIGCCやA-USC (Advanced USC) の実用化、さらに、2050年に温室効果ガス半減という目標を達成するには、火力発電で発生したCO<sub>2</sub>を分離・回収するCCS技術も不可欠です。

**田中** 石炭火力に関して、私どもは蒸気条件の高温・高圧化による高効

率化に積極的に取り組んでおり、蒸気温度566°C以上のUSC発電所は、建設中を含め、国内8機、海外23機の建設実績があります。さらに高効率化をめざした700°C級A-USCの開発も急いでいます。

IGCCについては、電源開発株式会社が進めているEAGLEプロジェクトに参画しています。石炭処理量150 t/日の運転研究を通し、ガス化とガス精製において高い性能を達成しました。IGCCは、ガスタービンに投入する前の高圧ガスからCO<sub>2</sub>を除去しやすく、CO<sub>2</sub>回収においても総合効率が優れると期待されています。すでに、世界に先駆けて実施したパイロット試験において目標性能が得られることを確認しています。

CO<sub>2</sub>の回収技術に関しては、欧米の電力会社や大学との共同開発、実証試験を進めています。化学吸収液により石炭火力プラントの煙道でCO<sub>2</sub>を回収する化学吸収法では、当社はエネルギー消費量の少ない吸収液を開発しています。また、空気から窒素を除いた酸素に排ガスを混ぜた新しい燃焼法で、CO<sub>2</sub>濃度を高めて回収する酸素燃焼システムでは、燃焼安定性の高いバーナ・燃焼システムを開発しました。これらのCO<sub>2</sub>の回収技術の実証試験が北米と欧州を中心に計画されており、米国と欧州のグループ会社を拠点としてプロジェクトに参加しています。

**山地** 低炭素社会はエネルギー利用の高効率化やCO<sub>2</sub>回収をはじめと

する、多様な技術がなければ実現不可能です。本日のお話から、あらゆる種類の発電、送配電変電、インフラ、情報通信、利用機器など、日立がさまざまな領域をカバーした技術開発に取り組んでいることを再確認しました。システム工学の視点から環境問題を考えると、一つの革命的な技術というよりも、全体的な視点から幾つもの優れた技術を最適に組み合わせるシステム思考が有効だと言えます。日立グループの総合的な力を次世代のエネルギーシステムに生かし、地球温暖化問題解決の、リーディングカンパニーになるものと期待しています。

**田中** 環境とエネルギーに関するご卓見をうかがい、日立グループの技術やビジョンへの自信を深めることができました。技術開発を通して社会に貢献することは、創業当初からの理念です。低炭素社会の構築と電力安定供給の両立に貢献するため、グループ全体で努力していきます。本日はありがとうございました。

#### 山地 憲治

東京大学 大学院工学系研究科  
電気系工学専攻 教授 (対談時)

1977年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、同年 財団法人電力中央研究所に入所。1994年より東京大学教授。2010年4月より財団法人 地球環境産業技術研究機構理事・研究所長。近著に『エネルギー・環境・経済システム論』(岩波書店)、『システム思考のすすめ』(日本電気協会新聞部)、『原子力の過去・現在・未来』(コロナ社)など。

#### 田中 幸二

日立製作所 執行役常務  
電力システム社 社長

1974年日立製作所入社、電力グループ電機システム事業部長、同日立事業所長などを経て、2009年10月より現職。