

## 21世紀のエネルギーと技術革新

東京大学 名誉教授 大島 恵 一

総合技術研究所設立20周年を記念して、昭和60年4月17日本店5-1会議室において講演会を開催した。その講演要旨を紹介する。

### 1 はじめに

いまや、我々の住む産業・社会が21世紀へ向けて大きな転換をしているということは疑問のない現実として痛感されるようになった。その原動力が今日の激しい技術革新にあることはいうまでもない。

第2次世界大戦以後の技術革新は、原子力、宇宙といった巨大技術を中心として組織的・戦略的な形で進められ、その産業技術における成果は、戦後経済の高度成長をもたらし、世界の繁栄を約30年間にわたって支えた。しかし、主として産業技術や国家プロジェクトという形で一般市民の目に映っていたこのような巨大システムによる技術革新は、必ずしも社会の実生活の変革と直接結び付けて受け取られなかった。その間に脱工業化社会・情報化社会や知識集約化産業という言葉は、しばしばキャッチフレーズとして掲げられていたが、実体は明確ではなかった。しかし、1973年の石油危機のショックを口火として産業転換へと動きだした先進工業国は、単なる産業転換を越えて本物の脱工業化社会へと大きく移行する結果となった。その背景には、巨大技術からエレクトロニクス、新素材、バイオテクノロジーなど“先端技術”とよばれる精緻微細な技術革新へと大きく変化した新しい技術革新の波がある。これらの精緻微細な新技術の多様な組み合わせと、これを組み立てる“ソフトウェア”の爆発的な開発は、技術革新の“新しい波”が産業技術のみならず直接我々の身近な社会生活に根本的な変革をもたらす兆しをみせている。

21世紀を展望するとき、この1980年代に始まった技術革新の“新しい波”が、まさに第2の産業革命として21世紀の産業社会を過去の天然資源やエネルギーへの依存を基本とする構造から技術と人知を基盤とする構造へと変革しつつあるといえ



る。18世紀の産業革命によってもたらされた工業化社会は天然資源と労働力としての人的資源を基盤として成立してきた。いまや、この二つの基盤を技術力によって克服して技術と人知を基盤とする情報化社会や知識集約化産業へと移行しつつあるという事実は、21世紀は、“技術”こそが産業・社会の最も基本的資源となることを意味している。

### 2 産業革命と技術

エネルギーを中心として産業・社会の発展と技術進歩との関係を考える時、1760年にイギリスに始まった産業革命の主役が蒸気機関とそのエネルギー源としての石炭であったことが想起される。1779年には、J. ウィリキンソンが最初に鉄橋を作り、1787年には最初の鉄の船を作っている。産業革命にあっては、構造材料としての鉄が生産機械として産業技術の革新をもたらすとともに、建築物、水路など社会生活を大きく変えていった。

1776年のJ. ワットの蒸気機関の発明は今さらいうまでもない。この動力は産業社会の飛躍的な変化をもたらし、これがカルノーなどの熱力学と結び付いてエネルギーの統一的な概念を形成することになった。動力、化学反応、熱、光、電気などが統一的にエネルギーという形で理解されると

ともに、エネルギーの概念は哲学、芸術においても大きな変革をもたらし、ロマン派の源流となったといわれる。

産業革命は、技術と産業の新しい時代を開いたという以上に1776年のアメリカの独立、1789年のフランス革命とともに新時代をもたらした社会的革命であるといわれている。その推進力が英国の清教徒、パーミングハムのLunar Societyに集まった職人技術者や既存権力に対立するフリーメーソンなどであったことや、技術革新が大陸の貴族社会の科学に対して英国では大衆に直結する日常的なものにむけられていたことが指摘される。

1820年、産業革命が完成する頃には過去の零細企業から工場生産が一般的になり、大量生産・大量消費という近代工業の構造の基礎ができあがっていった。また、産業活動の源泉としてのエネルギー供給の重要性が確立することになる。世界のエネルギー消費が1800年代から急速に指数関数的に上昇し、この傾向は1973年の石油危機まで150年以上、200年近くも続いたのである。

このため、天然資源やエネルギーの確保が近代工業の最も重要な基盤となった。産炭地を支配することは産業活動のみならず国家の安全保障上からの最大関心事となり、産炭地の争奪はしばしば国家間の戦争にまで発展している。また、天然資源、原料の確保は工業生産の中心であり、植民地による天然資源の獲得はヨーロッパ諸国の経済的・政治的繁栄の基礎となった。

技術革新の役割は新しい可能性を開拓するとともに、生産技術として天然資源とエネルギーをいかに効率的に利用して大量生産・高生産性を実現するかにあった。

エネルギー・材料の技術に注目すると、この関係はエネルギー産業と素材産業との関係に顕著にみることができる。石炭時代にあつては、鉄鋼業と石炭業はコークスを通じて密接に結び付いていた。初期の素材産業としての化学工業は規模においても1桁小さいもので、この2者に従属する形

をとることが多かった。アルミニウムやプラスチックなどの新素材が後に主役の一翼を担うようになるためには、力学的な構造材料としてよりは新材料としての独自の機能性が確立される必要があったのである。この事実は、第2次大戦後にわが国の復興計画で石炭・鉄鋼の傾斜生産方式がとられたことにも現われている。これはあたかも石炭時代の終焉の時にもあたっていたのである。

それに続く石油エネルギー時代は、戦後の技術革新における新しい大型技術開発の時代と相まって、高度成長の大量生産・大量消費最盛期の新時代を開くことになった。豊富・低廉な中東石油は世界のエネルギー事情を大幅に変えることになり各国は国産エネルギーとしての石炭から国際エネルギーとしての中東原油をエネルギー源として利用し、エネルギー立地は資源立地から消費地立地へと変わっていった。

一方、化学工業は石油化学へと大きく原料転換が行われ、鉄鋼業においても高炉への石油吹き込みなどコークスに対するエネルギーとしての石油の大幅な補完がなされるようになった。石油精製大型火力発電所、石油化学の組み合わせが大型コンビナートとして基幹産業の中核となったのである。低廉な石油エネルギーと消費地立地は無資源国のわが国にとって、技術力によって国際市場での競争を可能にし、1960年代の日本産業の台頭をもたらす大きな要因となった。

### 3 戦後の高度成長と石油危機

原子力開発におけるマンハッタン計画は大規模技術開発の組織的・総合的な技術革新の新しい典型を作った。技術革新が一人の天才の発明・発見と少数の独創的研究者のグループによる工業化という20世紀初頭までのロマンチックな発明物語から、戦後は組織的な開発計画と巨大機構による総合的なオペレーションへと変わっていった。原子力・宇宙などの国家的計画のみならず、産業技術においても高分子材料や半導体・コンピュータの開発にみられるように技術革新は、この大型

技術開発の方式をとるようになった。

戦後の復興から1960年代の世界経済の高度成長期を支えたものは、このような産業技術を含む大型技術開発であった。技術開発は基礎技術・生産技術・市場開発までを含む総合システムとしてとられ、産業においても巨大システムによる高生産性、大量市場支配を指向することになった。世界経済が有史以来の繁栄をみせ、先進工業国のみならず発展途上国も“NICS”と呼ばれる中進工業国を先頭に経済的テイクオフから持続的な成長期を迎えるかに見えたのがこの1960年代である。わが国は、このように経済的・政治的条件と生産技術における優位によって急速に産業の技術高度化と国際市場における競争力を確立して、戦後のいわゆる“日本の奇跡”を実現した。

生産規模の拡大と資源の大量消費による1960年代の高度成長は60年代末になって、天然資源の限界、市場の飽和、自然環境の劣化などに直面して“成長の限界”が論ぜられるようになった。また工業化社会の成熟は社会的にも巨大システムによる管理社会の傾向を強め、学生運動、反社会的ヒッピーや反科学技術などの運動が起こってきた。わが国でも激しい環境運動や学生運動が行われたが、高度成長による利益が他国に比較して大きかったためか、欧米にみられた反科学技術の傾向はそれほど強くなかったといえる。

この当時、OECDの科学技術政策委員会などでも社会的問題、医療福祉など市場原理によって、研究開発が推進され難い分野に政府の研究開発投資の重点を移すべきであると強調された。また、各国の宇宙、原子力、軍事等の大型技術開発費を減らすことが科学技術の整合ある進歩のために必要であるとの論がなされた。事実、1960年代末から1970年代初頭にかけて各国の大型研究開発への投資は抑制され、研究開発投資の鈍化がみられるようになった。一方、技術革新に関しても米国国家科学財団(National Science Foundation)などの報告を始め新しい技術の停滞が指摘された。

このように、工業化社会の限界と永久に続くときえみえた世界の経済成長への陰りが生ずるとともに、これまでの産業社会の転換を求める声が高まり、脱工業化社会、情報化社会や知識集約産業への指向となっていったのである。通商産業省の1970年代の産業政策にもこの方向が強く反映されている。

中東戦争による1973年の石油危機は、アラブ諸国のイスラエル支援国に対する対抗的石油禁油という政治的原因によって引き起こされたものであったが、世界的エネルギー資源の大量消費と過度の中東依存、また、工業製品と原料資材との価格の不均衡など先進工業国の築いてきた工業化社会の基盤にある脆弱性にこれが直接の打撃を与える

### 総合技術研究所設立20周年記念行事

総合技術研究所は昭和40年6月に設立され、今年20周年を迎える。これを記念して次の行事を行った。

- |          |                        |                 |
|----------|------------------------|-----------------|
| 4月5日(金)  | 社長による記念植樹              |                 |
| 4月12日(金) | 研究室長OBによる座談会           | 総合技術研究所 2F会議室   |
| 4月17日(水) | 特別講演会「21世紀のエネルギーと技術革新」 | 本店 5-1 会議室      |
| 5月29日(水) | 総合技術研究所公開 関係会社、地元関係者招待 |                 |
| 5月30日(木) | “ ” 社内関係者招待            |                 |
| 5月30日(木) | 技術開発シンポジウム             | 総合技術研究所 1-1 会議室 |
- なお、20年誌「20年のあゆみ」とパンフレット「研究の成果」を作成し、関係者に配布する。

ことになった。

石油価格の数十倍という高騰によるインフレ、経済不況、失業、貿易不均衡は、単なる直接的な影響のみならず一挙に産業・社会の構造的欠陥を露呈する結果となった。そのため産業構造の転換と新エネルギー・省エネルギーなどエネルギー危機克服のための研究開発への努力が各国において行われたのである。

わが国は無資源国として先進工業国でも最も中東原油に対するエネルギー依存度の高い国でありまた戦後の大規模工業化を最も顕著に達成した国として石油危機の打撃も大きかったが、またこれに対する対応の努力も最も積極的に行われた。その際だった成功が国際収支の大幅な黒字と貿易摩擦にまで至ったことは周知の通りである。

しかし、他方ここで指摘したいことは、石油危機で口火を切られたこの産業社会の転換が技術革新の面においての質的な変化を伴っていたことである。1970年代の中頃から行われたこの研究開発への新たな努力は、1980年代に入ってマイクロエレクトロニクスを始め、バイオテクノロジー、新素材などを含む“先端技術”の技術革新の“新し

い波”となって爆発的な活動を導いた。米国などの研究開発投資が1980年代になって再び急上昇をみせていることはこの事実を反映したものといえる。

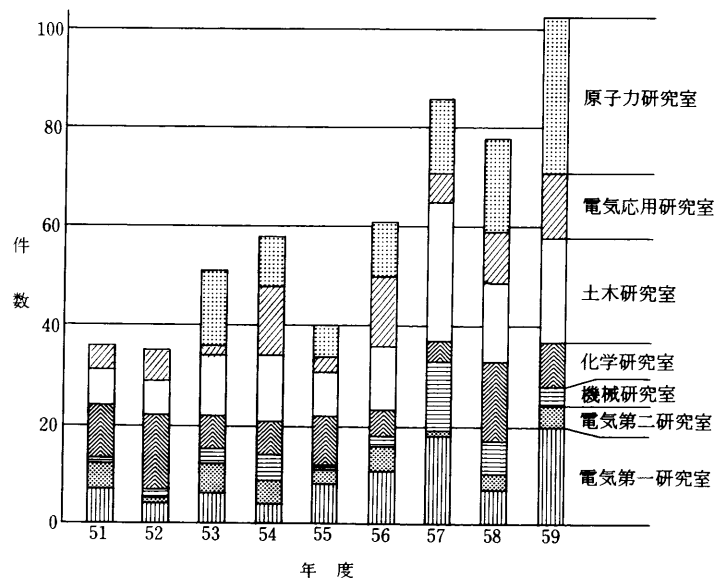
技術革新が、巨大技術の開発から極めて精緻微細な技術へと変化するとともに、1960年代末にみられた技術革新の停滞は全く様相を一変してしまった。情報化と知識集約化は現実のものとなりつつあるとともに、大量生産、大量消費市場は多品種少量生産、高品質、高付加価値の多様化市場への変化が起こっている。工場生産も中央集権から分散化、大企業から中小企業化が進んでいる。一方、我々の社会生活も情報化、先端技術化が進み宗教、芸術、文化の変貌さえも論ぜられるようになった。

#### 4 エネルギー技術

石油危機はわが国の技術開発に新しい時代を開いた。すでに述べたように、石油の高価格の克服と産業構造の転換は世界的に先進工業国に新たな技術革新の課題を投じたが、わが国にとっては自ら課題を解決しなければならないという点で、過去のすでにお手本のある導入型あるいはキャッ

総合技術研究所が提出した研究報告書

設立以来これまでの20年間に提出された研究報告書は、約1,170件（年平均約60件）であり、年々増加傾向にある。



チ・アップ型の技術開発からの転換を余儀なくされた。

エネルギー技術における最初の総合的プロジェクトは新エネルギーのサンシャイン計画であり、今ここに10周年を迎えている。注目すべきは、サンシャイン計画がすでに石油危機以前に発想されていることである。このことは高度の石油依存の産業構造の矛盾がすでに石油危機以前から認識されていたといえる。石油危機は口火とはなったがこれによって引き起こされた産業社会の変革への原動力はすでに一つの大きな底流として蓄積されていたといえる。

サンシャイン計画の新エネルギーは石油代替エネルギーとして研究開発が進められてきた。しかし、今日の研究開発の成果をみる時に、新エネルギーがもつ意義は石油エネルギーを量的に代替することにあるのではなく、技術革新による質的に新しいエネルギーの供給源の創造にあることは明らかである。たとえば、太陽光発電の成果をみるとアモルファス光電池の開発など、単なる代替の

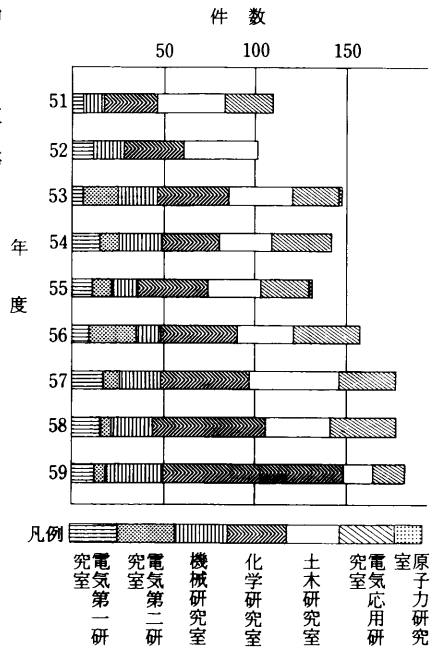
ためのエネルギーではなく、新しい技術革新による電力の全く新しい供給形態を可能にしている。配電網の及ばない条件下で民生用あるいは特殊目的の装置用としての利用は、コスト的には大型石油火力と比較にならなくても、すでに独自の可能性を開きつつある。その他の新エネルギーにおいても多少にかかわらず、このようにエネルギー供給の質的な変化をもたらしている。このことは、新エネルギーの研究開発がエネルギー供給における天然資源の制約を打破して、技術による供給の多用性をもたらしたといえる。

エネルギー源の資源集約性から技術集約性への移行はすでに原子力エネルギーにおいて顕著に現われている。技術によっていままでエネルギー源とは考えられていなかったウランが重要なエネルギー源としての価値をもつようになったことは勿論である。

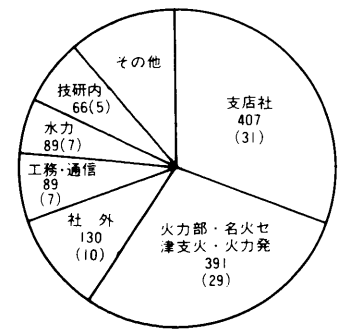
しかし、さらに原子力にあっては技術開発の進歩が利用可能なエネルギー量を大幅に増大する。軽水炉が天然ウランの全エネルギーの約0.7~0.8

総合技術研究所への依頼調査・試験

最近9年間の依頼件数は、約1,300件（年平均約150件）にのぼり、支店・社からの依頼が最も多く、火力関係、社外、工務関係の順となっている。



依頼元別構成比(51~59年度)



数字上段：件数  
下段：構成比(%)

%しか利用できないのに対して、増殖炉は理論的には100%、実際的にも80~90%の利用が達成される。この事実は、天然ウランの利用率の増大により経済的に採掘可能な天然ウランの量の増加を考慮すれば、増殖炉の実用化によって実際的にはエネルギー資源量がほとんど無限大になり、天然資源の制約がなくなることを意味している。

新エネルギーの太陽、地熱などにおいても同様な意味で、エネルギーの技術集約性が高まっている。石炭液化のような既存の化石燃料資源の利用においても、利用可能な液体炭化水素燃料の供給における天然資源制約を脱却する意味において技術集約性の増大をもたらすものである。

このような技術革新により、電気事業を始めとするエネルギー産業自体の性格がかなり変化すると考えられる。従来の豊富、低廉なエネルギーの供給から、最近のコジェネレーション、あるいは太陽光発電などのローカルエネルギーにより多様化するエネルギー需要に対して供給も多様化してくる。電気事業と地域との関連についていうと、需要と電源の組み合わせの合理化を行うなどソフト的なアプローチが必要になってくる。この場合他の事業との連携は、このような技術変化あるいは情勢変化からみれば不思議ではない。

## 5 21世紀と技術資源

エネルギーにおける技術集約性の増大は、21世紀の産業・社会における技術の役割を示唆している。研究開発による技術革新のリード・タイムが15年から20年かかることを考えると、現在みられている技術革新の芽は、21世紀に花開くことになる。“21世紀を担う基幹技術”は現在の延長線上にあるのではなく、むしろ21世紀の新しい産業社会、さらには新しい文化の創造の根幹をなすものである。今日の先端技術革新をみると要素技術の高度な“成熟”が自由自在なソフトウェアの開発を可能にしつつある。

すなわち、技術は“技術資源”という意味でこれをいかに我々が利用するかということが、21世

紀にいかなる産業・社会を創出するかという鍵を握るものとなっている。今日の新しい技術革新によって起こりつつある変化は：(1) 多品種少量生産、(2) 生産と創造の接近、(3) 伝統産業と先端技術の結合、(4) 新しい価値の創出、(5) 生産と生活の一致、(6) 新立地、などいずれも21世紀の産業社会の性格を暗示するものである。

21世紀がいかなる産業社会となるかは、我々がいかなる社会と文化を求めるのか、また創り出そうとしているのかという価値観によって決定される。しかし、これを具体的に構成するものが技術革新をもたらす新技術であるとするならば、技術革新による“新しい波”はただ技術に留まるものではなく、社会、文化との接点へ大きく広がっていくものと思われる。

18世紀末から19世紀初頭の第1次産業革命が単なる技術の革新ではなく、多くの社会的・文化的変革の引き金であり、また、一環であったという事実は、この新しい21世紀へ向けての第2次産業革命が、ただ産業のみならず我々の生活そのものの変革をもたらす社会革命にまで至るであろうことを暗示している。

天然資源や人的資源の制約から解放されて、人知の生み出す“技術資源”を基盤とする21世紀の産業社会が人類にとっての究極的なユートピアとなりうるのか、技術支配の非人間的な管理社会に落ち込んでしまうのかは、まさにこの“技術資源”を駆使すべき人類の英知いかんによるものであろう。(文責 編集事務局)

### 講演者略歴

昭和19年9月 東京帝国大学第一工学部応用化学科  
卒業

昭和36年6月 東京大学工学部教授

昭和49年3月~51年9月 OECD科学技術工業局長

昭和56年5月 東京大学名誉教授

通商産業省産業技術審議会委員、総合エネルギー調査  
会委員、電気事業審議会委員など