ヒートポンプによるエネルギー集積システム

Energy Accumulation System by Heat Pumps

成田 勝彦

Katsuhiko NARITA

- 1937 年 2 月生まれ
- 1960 年東京大学工学部卒業。同年東京電力株式会社、建設部、技術開発研究所、省エネルギーセンター副所長。現在、営業開発部長
- 東京電力株式会社 (〒100 東京都千代田区内幸町1-1-3)

1. はじめに

「エネルギーと文明—21 世紀の文明社会を支えるエネルギー技術—」という今回の特集は、1972 年ローマ・クラブの「成長の限界」と題する報告書の提案から 20 年たち、21 世紀まで 10 年に満たなくなった現代の「不確実性・模索の時代」に最も適したテーマであるように思われる。

地球のエネルギーや資源の有限性について疑う者はいないが、果たして「成長の限界」がくるのかどうか、人類の将来に行き詰まりがあるのかどうか、仮にあるとしても自分にどんな関わりがあって、何が出来るのか、現代は正に「不透明で不確実で模索を続けている時代」といってよいと考える。

言うまでもなく、人類の歴史は、エネルギー獲得の歴史であった、と言われるほど人類の生存は、エネルギーと深い関わりをもっており、人類の歴史において偉大な発展をとげた古代文明が、エネルギー（森林—薪）の枯渇によって、突然にその文明を人類の歴史上から消滅させ、近代に至るまでその存在すら知られず、その滅亡の原因が謎であったケースもある。日本の古代史におけるたびたびの遷都も人口増大に伴うエネルギー・資源の消費と廃棄物の増加、それに起因する環境悪

化などによる疫病などのまん延がその大きな理由であったと推測されているものがある。

人間はたかだか 70 W の電球 1 個程度の力しか持ち合わせていないが、薪炭や石油などエネルギーの利用技術を開発し、エネルギーの力を借りて文明を築いてきた。現代、私たちは平均して 100 人近い忠実な奴隷を持っていると同等の力を享受している、と言われている。そしてこれから、21 世紀を見ると高齢化、労働力不足、都市の過密化、そしてなによりも発展途上国を中心とする人口増加と生活水準の向上意欲が、エネルギー需要の増大をもたらさずにはおかないと予測される。

しかし、一方私たちの身の回りに「成長の限界」で指摘された限界をうかがわせる現象が出始めている。近年の異常気象、オゾン・ホール、地球温暖化など具体的な現象が、科学的に十分解明されないまでも、観測されるようになってきている。

果たして 21 世紀の文明をささえるエネルギー技術はあるのだろうか。

2. 資源・エネルギー・消費・廃棄

「エネルギーとは何か」という問に正確に答えることは難しい。一般には、エネルギーの語源のとおり、エネルギーとは仕事をする能力などと言われているが、物理学上はともかく今日的な意味では、この定義ではとても十分とは言えない。中国語の「能源」という当て字も面白いが現代の問題意識からすると、エネルギーは、資源と深い関わりを持っている。例えば、省エネルギーとは単に建物や生産プロセスのエネルギー利用の効率化

表 1 世界のエネルギー資源埋蔵量

	石 油	天 然 ガ ス	石 炭	ウ ラ ン
(注1) 究 極 埋 蔵 量	2 兆バレル (自由世界 1.5 共 産 圏 0.5)	204 兆 m ³	8.4 兆 t (うち高品位炭 5.5 兆 t)	不 詳
(注2) 確認可採埋蔵量 (R)	1989 年末 10 016 億バレル (自由世界 9 175 共 産 圏 841)	1989 年末 113 兆 m ³ (自由世界 69 共 産 圏 44)	1987 年末 13 113 億 t うち高品位炭 10 755 億 t (自由世界 3 292 共 産 圏 7 463)	1987 年 1 月 230 万 t (\$ 80/kgU 以下 162 万 t \$ 80~130/kgU 68 万 t)
地域別賦存状況	北 米	3.2%	高品位炭 10.9%	26.4%
	中 南 米	12.5	1.1	8.3
	西 欧	1.9	2.7	8.0
	中 東	65.9	0	0.2
	アジア・太平洋	2.3	10.1	25.5
	ア フ リ カ	5.9	5.8	31.6
	共 産 圏	8.4	69.4	不詳
(注2) 年 生 産 量 (P)	1989 年 218 億バレル (自由世界 162 共 産 圏 56)	1989 年 210 億バレル (自由世界 123 共 産 圏 87)	1987 年 (高品位炭) 32.8 億 t	1988 年 3.7 万 t (共産圏を除く)
可 採 年 数 (R/P)	1989 年 全世界 46 年 (自由世界 57 年 共 産 圏 15 年)	1988 年 全世界 54 年 (自由世界 56 年 共 産 圏 51 年)	高品位炭 全世界 328 年	62 年 (共産圏を除く)
出 所	(注1) Moody(1975 年)	Weeks(1971 年)	世界エネルギー会議 (1989 年)	—
	(注2) Oil & Gas Journal	Oil & Gas Journal	同 上 うち生産量 Coal Information 1989	OECD/NEA/IAEA (1988 年)

石油については、他のエネルギー資源に比して、可採年数が短いこと、および賦存状況が著しく中東地域に偏っていることが特徴である。

- 注) 埋蔵量 (1989 年末), 生産量 (1989 年)
- (1) 世界の石油の究極可採埋蔵量の推定には、不確定要素が多いが、約 2 兆バレル前後といわれており、現在確認埋蔵量は、約 1 兆バレルとなっている。
 - (2) 1989 年の生産量は、約 217 億バレルであるので、可採年数は約 46 年である。
 - (3) 地金的には、中東の可採年数が 112.8 年、共産圏が 15.0 年に対し、アメリカの可採年数は 10 年以下となっている。
- (出所) Oil & Gas Journal

図 1 世界の原油確認埋蔵量と可採量

をはかるだけでなく、その建物や生産プロセスの建設に必要な資材の生産、運搬、加工、組立て、そして運用し、やがて耐用年数がつきて除却処分されるまでの施設の全生涯にわたって消費されるエネルギー全般について効率化することであり、さらにこの施設がライフサイクルの過程で環境汚染物質を発生させるならば、その処理に必要な(処理が可能だとして)エネルギーまでを対象として考えるようになってきている。

実際、エネルギーの表面的な利用効率は、環境面を犠牲にすれば、かなりの向上が可能なものがある。自動車も NO_x 対策をはずせば、燃費が向上することは確かである。また、各種の工業製品の廃棄に伴う環境負荷がいろいろの場面で問題化しており、企業者の製造物責任のなかに含めて製品の廃棄とその際起こる環境汚染の責任を考えるべきであるとの意見も強い。このような事情がただでさえ複雑なエネルギー問題をますます難しくしているように思えるが、避けて通るわけにはいかない問題であると考えられる。

3. エネルギー・資源の有効利用

有限な地球資源と有限な地球の環境容量、そして今後とも増大していくエネルギー需要を考えると、エネルギー・資源を有効に利用していかなければならないことは言うまでもない。

エネルギー・資源を有効に利用していくことは、エネルギー・資源の消費を抑制し、限られた地球のエネルギー・資源を私たちの子孫に出来るだけ残すことであり、またエネルギー・資源の消費の結果発生する環境汚染を防ぐ方法でもある。

そのための原則は、

① 第一にエネルギーや資源の消費が少なくて済む社会や生活様式を造り上げていくことである。

② 第二にエネルギーの利用効率の高い機器やシステムを使い、それらをよく管理運用することである。そして、

③ 第三にこれまで利用されていなかった自然エネルギーを活用することである。

しかし、これまでの人類の歴史において一時的にエネルギーや資源の消費の抑制がはかられたこ

とはあっても、人類の歴史は、エネルギー消費増大の歴史であったことは明白である。

果たして、私たちはライフ・サイクルの視点にたってエネルギーと資源の有効利用を考える社会を造ることが出来るだろうか。論理的に言えば限界が示されており、早晚行き詰りがくることがわかっており、それが人類存亡の危機につながりかねないとわかっていても、大衆民主主義社会においては、強力なリーダーシップなしには、その実現は極めて困難であると思われる。

4. ヒートポンプ技術の歴史

このような非常な困難が予測されるなかで大げさに言えば、わずかな希望の光を与えてくれるのが、ヒートポンプ技術である。

ヒートポンプの理論は、1820年代から発表されているが、燃焼によって容易に熱を発生させる技術があったため、長い間実用化されることはなかった。

しかし、ヒートポンプの歴史をたどると、ヒートポンプの優れた機能と大きな可能性に着目した先人たちの努力の跡をみることが出来る。地域的あるいは、その社会的な必要に迫られて燃料の節約を訴え、ヒートポンプがその有効な手段となりうることを示し、実用化への努力をした例として、1800年代末オーストリアの製塩プロセス(燃料として薪が使われ、周辺の森林伐採が進んだことに対する危機)や大正末期の日本の京都大学大塚博士の論文(燃料節約の一策として冷凍機を暖房機に流用するの議一戦後の不況のなかでの燃料不足)などがある。日本では、この論文がヒートポンプに関する最初のまとまった論文であり、ヒートポンプの可能性についての認識を大きく広げ、これが契機となり主として地下水を利用するヒートポンプ設備が実際にいくつか造られたが、そのうち、昭和12年に建設された京都電燈(株)の本社建物は、全館ヒートポンプによる冷暖房を行う本格的な実施例であった(図2)。しかし、これらの動きも第二次世界大戦へ向けて戦時体制が進む中で冷暖房のような民生用に貴重なエネルギーを利用することは禁止する、という政府の政策により、ヒートポンプの育ちかけた芽はな

えんでしまった(図3)。

戦後の窮乏と混乱の中から、ひたすら物資の確保、増産につとめた日本は、昭和30年代から高度成長時代に入るが、生産に伴うエネルギー消費と廃棄物の増大、不十分な環境対策が災いして、各地で公害問題が起こった。とくに都市部では石炭や重油をボイラで燃やす際発生する大気汚染物質による公害がむごくなり、各都市で良質な燃料への転換が勧められ、ヒートポンプが再び登場する舞台が出来てくる。さらにヒートポンプが注目されることになったのは、昭和48年の中東戦争に始まる石油危機である。このときの日本の狼狽

と混乱ははなはだしいもので、無資源国日本を今更のように思い知らされると同時に、日本の危機管理の不備が指摘された。見方によっては、今度の湾岸戦争にしても、過去の世界大戦にしても、資源とそれに関わる利権の争いと言ってもよいものである。それはともかく、この石油危機は、ヒートポンプに今一度脚光を当てた。この機会に先進工業国24箇国で国際エネルギー機関が設立され、共同の危機に対処する共同戦略を関係の専門家を集め2年間の月日をかけてまとめた報告書のなかで、最終需要段階で最優先で開発し普及を計るべき技術の第一としてヒートポンプがあげら

図2 京都電燈本社冷暖房図

図3 製塩用ヒートポンプ

れたのである。

その後の日本におけるヒートポンプ技術の進歩とそれに伴う普及は目覚ましいものがあつた。毎年数百万台に達する家庭用ヒートポンプ冷暖房機を始め、ビル用、産業用と広く適用領域を広げていった。それは、ヒートポンプ発展に貢献した先人が着目したとおり、ヒートポンプが周辺環境に賦存する低品質の熱を有用な温度レベルまでわずかなエネルギーの消費によってくみ上げて利用出来るようにするからである。したがって、ヒートポンプがくみ上げた熱量分、新しい燃料の燃焼を必要としないから、その分の化石燃料が節約され、化石燃料の燃焼によって発生する環境汚染物質の発生も防ぐことが出来るので、一石二鳥の効果があると言える。さらに、都市の過密化と大量のエネルギー消費の結果起こる都市のヒートアイランド現象を予防する一助になると考えられる。

こうしてヒートポンプは、エネルギー有効利用の立て役者としてクローズアップされてきたが、地球のエネルギー・資源の問題、環境問題の解決には、まだまだ力不足であることは否めないであろう。

5. スーパーヒートポンプのプロジェクト

地球のエネルギー・資源問題や環境問題の解決にヒートポンプが力不足であることは、問題の大きさを考えれば当然すぎるほど当然であるが、ヒートポンプにも、まだ残された課題や技術開発の余地があることも事実である。

例えば、日本における家庭用ヒートポンプ冷暖房機の普及をみても関東地区以西であり、東北、北海道における普及台数は微々たるものである。また、従来のヒートポンプは、くみ上げる温度も 120°C 程度までであり、それ以上の高温を必要とする産業用需要を賄うことは出来ない。また、コスト意識の厳しい産業界では、ヒートポンプ設備への初期投資のペイバックを考えると、現状のヒートポンプの効率ではまだ不十分で一層の効率向上が望まれる。

そもそも、ヒートポンプは、熱の発生機ではなく、熱の輸送機（くみ上げ機）であるから、くみ上げる熱源が不可欠であるが、対象となる熱源

は、量、質とも不安定であることが多い。熱需要側も変動する。

こうした問題を少しでも解決するためにスーパーヒートポンプのプロジェクトが計画された。スーパーヒートポンプ・プロジェクトは、これまでもいろいろの機会に各種の雑誌や報告書に紹介されているので詳細は述べないが、次の3点を主な目標としていると思われる。

① ヒートポンプの効率化：現状のヒートポンプの効率（成績係数）を2倍程度にあげた高効率ヒートポンプの開発。

② ヒートポンプの適用領域の拡大：冬季の気候条件の厳しい東北、北海道地域でも安定して効率よく運転できる寒冷地用ヒートポンプの開発と産業用の高温需要にこたえる出力温度 300°C 程度の高温ヒートポンプの開発。

③ 安定供給のためのエネルギー集積（蓄熱）システムの開発（ケミカル・ヒートポンプ）

そしてこれら要素技術を総合して実用分野に適用した場合、どのようなエネルギー効率が実現でき、その結果大気汚染物質の発生をどれだけ削減できるかなどを検討するトータル・システムの研究を行っている。

1984年から始まったこのプロジェクトは今年8年目を迎え、1000kW級のパイロットプラントの実証試験運転を行い、最終評価を行うところまでこぎ着けた。研究の成果については、大半の目標についておおむね達成したかに見えるが、これからの実用化に向けて解決しなければならない数多くの難問がある。

このプロジェクトは、世界的にも注目され有名となったが、一般的に新技術の導入には経済的な障害に加えて、心理的な不安などかずかずの抵抗があり、人類の将来を左右しかねないエネルギー・資源問題に対する一つの鍵ともなりうるヒートポンプのいっそうの効率化と適用領域の拡大、安定運転の実現を目指すスーパーヒートポンプの成果は、各種の誘導策やデモンストレーションなどによって広く一般に導入され実効をあげられるよう切に希望する。

現在、各地で都市の再開発が活発に行われているなかに、いかにしてこうした人類の将来をかける新技術を織り込むかは、単に経済性の問題を超

越して、この研究テーマに携わってきた人々の責任であるといってもよいかも知れない。

6. おわりに

限られた地球資源、環境容量、増大する人口、生活レベルの向上によるエネルギー需要の増大、それに伴う環境悪化と言う制約条件のなかで人類の将来を考えると、エネルギー・資源の効率利用は、人類の存亡をかけた課題であると言える。そして、その解決は現在ほとんど見通しが立たず、不透明な霧のなかに覆われている、と言ってよいかも知れない。そのなかで、わずかに希望をもたらすヒートポンプ技術も新しい社会システムのなかにどれだけ組み込めるかによってその効果は大きく変わってくる。

単なる機器・システムの効率化や適用領域の拡大の研究に止まらず、限られたエネルギー・資源を最も効率よく利用する社会を造り上げていくためには、エネルギーの全体的な現状のフローと将

来にわたる動向を正しく把握して、それに適したシステムを社会システムとして組み込んでいくリーダーシップと経済的インセンティブの付与が必要であるし、それらを適切に評価する手段を用意し、施策に反映するシステム造りが不可欠である。こうした努力を通じて、私たち人類共通の意識改革やそれを基盤とした国際協調が初めて実現できる運びになることと思う。

文 献

- (1) 松井賢一、世界のエネルギー世論を読む、(1991-7)、電力新報社。
- (2) 通商産業省編、地球時代のエネルギー新潮流、(1991-2)。
- (3) ヒートポンプ・システム-IEA 技術評価報告一、(1983-6)、(財)省エネルギー・センター。
- (4) 次世代ヒートポンプ、(1990-11)、(財)ヒートポンプ技術開発センター。
- (5) スーパー・ヒートポンプ・エネルギー集積システムの研究成果報告書、(1988-4) など、新エネルギー総合開発機構。
- (6) 通商産業省立地公害局監修・(財)地球産業文化研究所編・翻訳、温暖化への世界戦略、気候変動に関する政府間パネルの温暖化対策 (EIS 報告) と提言、(1991-5)。

(原稿受付 1991 年 11 月 5 日)