

■ 論 説 ■

高度エネルギー源を待望する

Prospect to the Advanced Energy Resources

山 中 千 代 衛*

Chiyoë Yamanaka



1. はじめに

20世紀のはじめ、科学は革命的な発展をとげた。物理学と化学の融合は量子論の世界の描像に成功したのである。今世紀中期以降、科学と技術の結合が、進展し、すばらしい応用が開かれてきた。電子計算機、レーザー、バイオ化学、超安全原子炉、核融合研究などの進歩は次世紀にかけて、人類の幸福と民生の進進に多大の影響を及ぼすものと期待されている。

しかし今日、新聞を開けば幾多の問題が山積していることが分る。すなわち地球の温暖化現象、開発途上国の飢餓、天災による惨害、原子炉事故……など枚挙にいとまがない現状である。これらは果して不可避な事柄であろうか。いやそうではあるまい。解決策は既存技術や目下開発中の手段により対応出来ると考えられる。ただこれらの対策には人的、物的に莫大なエネルギーが必要となる。あらゆる行動にはエネルギーが基礎的要件である。人力は言うまでもなく、食糧の生産にも、輸送にも、物品の製作にも、研究の遂行にもいろいろの形のエネルギーが必須である。安価にして且入手可能なエネルギーこそ人類全体にとって本質的に必要な存在であると言えよう。

世界の人口は来世紀末までに2倍になり、エネルギー需要は4倍になると言われている。巷間の予測では環境問題も考慮に入れると、今後30~40年以内に、相当量のエネルギーを非化石燃料にたよらねばならぬとされている。これらのテーマは本年カールスルーエで開催された第5回ICENES'89 (International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems) の主題であった。

2. 新エネルギー源

地球上で人口一人当たり毎年1噸の炭素を大気中に放出している勘定になる。これは毎日人々が呼吸する空気に1300万噸の炭素を添加している訳で、毎年西独と同面積の森林が減少していると言われている。二酸化炭素による温室効果も今や地球規模の問題になりつつある。

今日の文明社会を維持し、来世紀にかけてより健全な環境を保存するためには今世紀末までに化石燃料に代わるエネルギー源を開発することが必要である。エネルギー危機は遠のいたと思われているが、危険信号はすでに点滅していると言えよう。石油埋蔵資源の略半分は消費されてしまい、残存の半分も数10年のうちに底をつくものと推定される。

したがって安全にしてお環境保全に役立ち、その上経済的に引き合うエネルギー源を開発することは科学技術の最重要課題と言はねばならない。図-1は世界のエネルギー消費量を年代と共に示したものである。これは世界の人口推移により評定されたもので、人口とその増加率は中世1500年までは殆んど一定であったが、近代においては人口爆発が見られ、増加率は2%、35年毎に人口は倍增する傾向にある。現在すでに総人口50億に達しているが、最近の推計によればやがて来る増加率の低下を考慮しても来世紀末に人口は100億

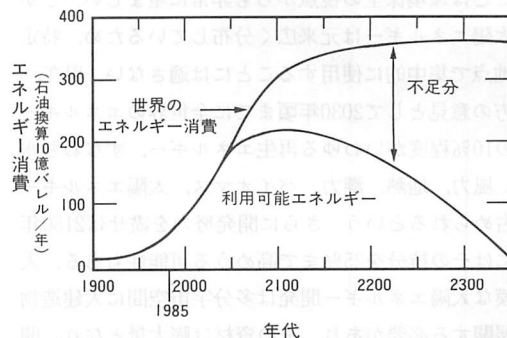


図-1

* (株)レーザー技術総合研究所所長
大阪大学名誉教授・近畿大学教授
〒565 吹田市山田丘2-6

となり、そこで一定値に落ちつくのではないかとされている。図-1のシナリオは化石燃料と核分裂エネルギーおよび再生可能エネルギーを使いつつ、新エネルギーに移行せざるを得ない様子を明白に示している。温室効果によ地球温暖化と酸性雨の被害を防止し、また石油化学原料を確保するため化石燃料の使用を保留するとすれば、エネルギー資源の不足はこのシナリオよりさらに顕著にならざるを得ないのである。

増大する人口の下、先進国のみならず発展途上国の人々が文明生活をエンジョイし、なお、地球環境をクリーンに保持するためには、次の3つの選択しかないのは明白である。

- (1) 超安全型原子炉の開発と使用済核燃料の安全処理対策の確立
- (2) 地上ならびに宇宙空間での大規模太陽エネルギー利用施設の建設
- (3) 核融合エネルギーの開発

ウラン核分裂による原子力エネルギーは発電用として適当であり、技術的にも最も開発が進んでいる。しかし原子力工業は世界的にみて10年以上も沈滞を余儀なくされている。これは一般大衆の原発反対ムードとその結果として原子炉運転に対する厳しい制約ならびに発電所立地の困難さによる処が大きい。その上スリーマイルアイランドやチェルノブイリにおける原子炉事故は原子力開発に対し追打をかけることになり、一段と強い大衆の反撥を生んでいる。核分裂原子力は核融合発電所が実現するまでのエネルギー需給の大切な架橋である。このためぜひ超安全な方式を開発実現することが重要である。現にいくつかの構想が研究開発中であるから、この努力をさらに増強して、大衆の理解を獲得することが肝要である。

太陽エネルギーを直接熱源にしたり、電力に変換することは環境保全の観点からも非常に望ましい。しかし太陽エネルギーは元来広く分布しているため、特定の地点で集中的に使用することには適さない。現在、大方の意見として2030年頃までに全世界のエネルギー源の10%程度がいわゆる再生エネルギー、すなわち水力、風力、地熱、潮力、バイオマス、太陽エネルギーで占められるという。さらに開発努力を盡せば2150年頃にはその持分を25%まで高めうる可能性もある。大規模な太陽エネルギー開発は多分宇宙空間に大建造物を展開する必要がある、その資材は膨大量となり、開発に50年、建設に100年を要するという算定もあながち荒唐無稽ではない。勿論今回の技術レベルからして

は相当困難と思われるが、それでも全世界を上げて未曾有の対応を施せばこのシナリオも全く不可能とは言いきれないであろう。

核融合は、太陽で発生しているエネルギーを地上で人工的に実現する手段として、長い間渴望されてきた。核融合の燃料は水の中に多量に存在する重水素であり、その機構は核分裂とは異なり、常に安全側に進行し、環境的にも燃料廃棄の問題がないとされている。また別の利点として、100万kwの核融合発電所を運転するのに一年当たりわずか100kg程度の燃料を供給するだけでよい。核融合より有望な新エネルギー源は外に見当たらないのである。過去30年にわたっていわゆる「磁気閉じ込め核融合」が精力的に研究され、可成りの成果を上げてきた。近年になって、新しい概念に基づく「慣性閉じ込め核融合」が著しい進歩を示している。これは核融合を点火するのにレーザーを用いる方式が中心で、国際的にも高い評価を得つつある。米国エネルギー省でも新核融合部長R. Hunter氏がレーザー核融合の強力な研究推進を表明している。

3. レーザー核融合エネルギー

レーザーによる核融合研究の原点は、今から20年前、1968年ソ連レベデフ研究所のニコライ・バゾフ氏が出力約100MWのルビーレーザーをリチウム重水素(LiD)ターゲットに照射し、中性子をわずかに検出したという実験報告をもって嚆矢とする。1969年大阪大学ではガラスレーザーの技術開発に着手し、1971年には固体重水素をターゲットにして核融合中性子を検出すると共に、レーザーのプラズマ中パラメトリック異常吸収の現象を発見した。

本格的なレーザー爆縮核融合のスタートは1972年である。エドワード・テラー氏がこの年「新式内燃機関」と題して爆縮方式の可能性を公表した。以来各国とも精力的にこの研究に究入し、国際的な石油危機、エネルギー問題の台頭と共に一挙に計画が進展したのである。

1975年には大阪大学において、爆縮核融合用新型ターゲット「キャノンボール」が発案されており、この方式は後日我が国の研究を著名にした考案の一つである。1976年にはキャノンボールと関連して、多層膜ターゲット中に金属薄膜があると、レーザー光が異常透過する現象が発見され「おおさか効果」と命名されている。1983年世界最大のガラスレーザー「激光XII号」、12ビーム、出力30kJ、55TWが完成し、ロチェスター大学

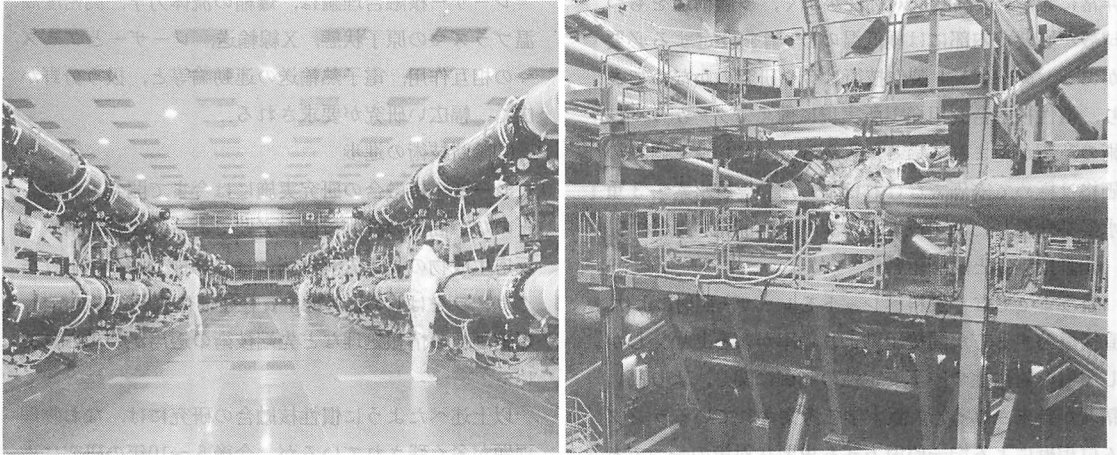


図-2 激光12号とレーザー照射棟

ガラスレーザー（世界最大級）
大阪大学レーザー核融合研究センター

「OMEGA-X」レーザーが記録したD-T反応中性子記録4,000億個をしのいで世界記録1,25兆個を達成した。これは大阪大学発案にかかる新型ターゲット「LHART」によるもので、早速リバモア研究所はこの方式を採用し、1986年のIAEA京都国際会議では、大阪大学、リバモア研究所が同時にD-T反応中性子10兆発生のスーパーショットを報告することとなった。1988年になって、激光12号のブルー光をドライバーにしたX線レーザーの実験が、大阪大学—ラザフォード研究所共同研究として実験され、Alプラズマによる波長38,79 Å H α 線の発振に成功した。またD置換プラスチックシェルターゲットを用い、爆縮密度100g/cm³の世界記録が大阪大学において達成されている。

現在のレーザー核融合研究は、高出力レーザー技術の開発、燃料ペレットの新設計の実現、計算機シミュレーションによるデータの評価、および新しいプラズマ診断法の実現と相まって急速に進展し、1990年代には所期の目的である「ブレークイブ」の達成に到達するものと期待されている。

慣性核融合研究の最終目標はレーザーにより重水素・3重水素燃料に核融合反応点火を実現し、このエネルギーを炉外に取り出し、発電に利用することである。核融合炉の概念設計が進められている。炉構成の技術的問題点は磁気閉込め核融合よりはるかに容易であるとも推定され、この方式の研究は更に追及されるべきものである。

しかし、炉心物理の解決には次のような重要な課題があり、今世紀末までにぜひ解決が望まれている。

(1) 駆動エネルギーの低減

核融合は既に水爆の開発で実現している。問題はいうまでもなく制御した状態での微少爆発を利用するいわゆる「新型内燃機関」の実現である。核燃料に点火するため必要なレーザー等のエネルギーを可及的に小さくすることが重要な課題である。必要なドライバーエネルギーが大きくなると、経済性を失う恐れがあると共に、発生エネルギーを処理することが困難になる。

現在の評価では核融合炉運転には1~10MJのレーザーが必要とされている。この建設は技術的に不可能ではないが、ジュール当りの建設費を一けた以上減少させることが望まれる。ちなみに現在ジュール当り30万円である。

(2) 均一圧縮の実現

燃料ペレットをレーザー照射により均一に固体密度の1,000倍まで圧縮し、200g/cm³の密度を達成することが必要である。爆縮のメカニズムにより燃料を安定に圧縮するにはアブレーションの一様性、先行加熱の除去が大切である。またプラズマ中の不安定性によるラマン、ブリルアン散乱も除去しなければならない。燃料の密度こう配の急しゅん化はレイリーテイラー不安定性を誘発するので、この対策も必要となる。これには当然高度なターゲット技術の開発と新しい圧縮方式の研究が要請される。大阪大学で研究が進められているスタグネーションフリーの爆縮もその重要な鍵を握っている。現在達成密度は100g/cm³である。

(3) ターゲット技術

理論上要求される条件を満たすターゲットの製作は

非常に難しい。高度に対称性がよく、多層構造をもつ球殻が必要で内部には極低温のDT層を設定する必要がある。ターゲット製作技術は今や研究のかなめであり、慣性核融合商用発電所実現に備えてターゲット技術の革新が望まれている。もちろん、ペレット個々の価格は極めて安価でなければならない。重水素・3重水素を含浸したフォームターゲットの開発が急がれる。

(4)直接駆動と間接駆動

言うまでもなく燃料ペレットをレーザー照射により、直接爆縮する方が間接駆動より効率がよろしい。しかし照射の対称性や、不安定性の制御に関し、より高い精度が要求される。大阪大学で考案されているランダム位相板による均一照射方式も重要な対策の一つである。直接駆動では大直径高アスペクト比ターゲット(LHART)を用い、スタグネーションフリー爆縮法を採用することにより、今まで実現できなかった大量の中性子の発生をみた。この大阪大学方式は国際的に高く評価され、Nature誌にも掲載されている。

また、キャノンボールターゲットで代表されるX線駆動方式は間接駆動の中心課題である。二重構造の球殻の中間部にレーザーを照射し、外殻内面で発生するX線で燃料をもつ内球を照射し、爆縮を実現する。均一圧縮は容易に実現されるが、X線変換、ホット電子、光吸収、光散乱、レーザー光の反射屈折状況、レーザー照射後の時間変動などの特性を調べる必要がある。また間接駆動を実用化するには数段強力なレーザーを必要とする。米国では「アテナ」レーザーの建設が提案されている。

(5)計算機シミュレーション技法の向上

極めて複雑なプラズマ爆縮を精密にシミュレートするため、ふく射と熱輸送を正しく取り入れた多次元コードの開発が進められている。この種の演算を遂行するにはベクトル機が必要となり、いろいろのタイプのスーパーコンピューターが研究に導入されている。

レーザー核融合理論は、爆縮の流体力学、高密度高温プラズマの原子状態、X線輸送、レーザーとプラズマの相互作用、電子熱輸送の運動論等と、扱う分野が広く、幅広い研究が要求される。

(6)診断技術の進歩

レーザー核融合の研究実施には今まで開発されたことのない高度の計測技術が必要である。放射計測や核反応生成物の高速分解計測にはピコ秒分解のストリークカメラをはじめ、X線や α 粒子、中性子の飛跡解析、爆縮画像の情報処理など先端技術の適用が要求されている。

以上述べたように慣性核融合の研究には、なお物理課題が多く残されているが、今後5~10年の研究により、基本的な問題は解決されるものと思われる。炉心でのエネルギー利得100が確保された暁には、技術的問題の処理は一瀉千里に進められることになる。

4. おわりに

エネルギー源の開発は、世界的な問題であり、これには地球規模の対応が必要である。技術大国日本としては世界の先頭に立ってエネルギー問題解決に格段の努力を担うことが要請されている。科学的実証研究の完成を契機としてこれを工業的実用化につなげなければならない。エネルギー研究は長期間のリードタイムと莫大な研究資金が必要である。しかしやがて訪れるエネルギー危機の時代に備えて、研究の展開を計って行かなければならない。高度エネルギー源は言うまでもなく人類待望の的である。

参考文献

- (1)山中千代衛；レーザー核融合研究の進歩，電子情報通信学会誌，71巻，7号(1988) 697~718。
- (2)山中千代衛；レーザーと未来社会(1985) 三田出版

