

■ 展望・解説 ■

資源エネルギーとしての中性子利用

Role of Neutron in Resources and Energy Problem

平 山 省 一*

Shoichi Hirayama



1 はじめに

人間は、文明の繁栄と経済の成長にともない、限度を超えた大量のエネルギー資源を消費し、資源枯渇と環境破壊の問題に直面、その都度新エネルギー資源の利用技術を開発してこれを乗り越えて繁栄を続けてきた。

20世紀に入って開発された原子力技術は、ほぼ無尽蔵のエネルギー源であり、人間の資源・エネルギー問題を究極的に解決し、地球全体の持続可能な繁栄を保障するものとして期待されている。原子力技術は、まず、常温の核分裂連鎖反応を可能にする中性子をブレイクスルーにして核分裂技術が実用化された。中性子は、原子力技術の早期実用化を可能にしたが、容易に物質を放射化し放射線汚染の原因となり、原子力技術にダークなイメージを与えた元凶でもある。

原子力技術は、核兵器に対する脅威と放射線に対する不安から、平和利用の原子力の社会的定着が大きく妨げられている。最近の国際情勢は核兵器の脅威を大きく緩和し、平和利用原子力の安全運転の実績は放射線の不安を解消し、21世紀迄には原子力技術の社会的容認(PA)が得られて、社会的に定着するものと期待される。

中性子を利用しないクリーンな原子力の核融合技術の開発が早期実現を目指して進められているが、中性子を利用しない核融合技術の早期実用化は難しい。21世紀は中性子利用の核分裂技術の時代で、その間に、核融合技術に相応しい動力炉を実現するブレイクスルーの発見を期待したい。

本解説では、資源・エネルギー問題について原子力登場までの経緯を通観し、核分裂技術の問題点、核融合技術開発の現状と問題点を展望し、最後に中性子利

用技術の概要を解説して、資源・エネルギー問題における中性子の役割を論ずる

2. 資源・エネルギー問題と原子力の登場

2.1 これまでの経緯

人間は太古の昔から、「第1の火」と言われる化学反応の酸化から得られる熱を、調理・暖房・照明などに利用するほか、天然に存在する資源からの人工物質の製造や加工にも使い、科学技術を進歩させて今日の豊かな文明社会を築いてきた。昔は、この熱源の燃料には再生可能な薪炭が主として使用された。

17世紀に入って、製鉄産業など産業規模の拡大で薪炭の消費量が増大し、自然の再生限度を超え森林破壊を招き、当時、産業の盛んであった英国・北欧などにおいて、最初の資源枯渇と環境破壊の問題に直面した。これは、化石資源の石炭を利用する製鉄技術などを開発して乗り越えた。

18世紀には、熱源から動力を作り出す蒸気機関が発明され、規模的・場所的に自由な動力源を入手して「産業革命」を成し遂げた。19世紀に入り、「電磁力」の存在を突き止め、熱機関と結合した発電機が発明されて、「第2の火」電力ともいわれる極めて便利で安全な動力源が使われるようになった。

19世紀の後半には、固体の石炭より技術的に取り扱いが容易な液体の石油の採取と精製に成功し、石油を燃料とする強力な内燃機関が開発され、人間の豊かな文明生活は格段に飛躍した。この文明生活は化石燃料資源の大量消費の上に成立ち、活発な生産活動による大量の資源消費とそれに伴う各種の廃棄物の増大は、再び、資源枯渇、公害発生、環境破壊の問題を招いた。

2.2 原子力の登場

これを解決するエネルギー源として、「原子力エネルギー」が登場した。19世紀の末から20世紀の始めにかけ、原子核の奥に潜む巨大な原子力エネルギーの存在が突き止められ、それまで謎であった太陽のエネルギー

* 神奈川工科大学工学部機械工学科教授
〒243-02 厚木市下荻野1030

源も、水素などの核融合連鎖反応による原子力エネルギーで説明がついた。人間は「第3の火」として、この原子核反応による原子力エネルギーを利用し、ほぼ無尽蔵のエネルギー源を入手できることになった。

しかし、原子核はプラスの電荷を持ち、原子核反応は電磁力に抗して起こさなければならないから、これまでの日常生活や在来技術では未経験の超高温・超高エネルギーを必要とする。更に、工業規模でゲインを得るには、反応数をアボガドロ数のオーダー 10^{23} 以上にしなければならない。20世紀のはじめには、原子力利用はまだまだ多くの未知のブレイクスルーを要し、その実用化は遥かに遠い先のことと考えられた。このブレイクスルーとして登場したのが中性子である。

1932年、中性子の存在が発見され、中性子は電荷を持たないので室温で原子核と反応し、中性子を用いて高エネルギーの巨大な実験装置を必要としない核反応実験が可能になった。1939年に、1個の中性子で2個以上の中性子を発生する核分裂反応が発見された。中性子を介して起きるこの核分裂反応は常温で連鎖反応を維持し、在来技術の僅かな延長で原子力利用の道を開いた。1942年、核分裂連鎖反応の維持と制御を実証した世界最初の核分裂（原子）炉CP-1が実現、米・旧ソ連の核兵器開発競争に助けられて、1950年代半ばには商用原子力発電が実現した。

原子核反応は化学反応に比べて反応出力密度が 10^6 のオーダー違うので、これを利用する原子力技術は、化学反応を利用する在来のエネルギー技術に比べて、出力当たりの燃料資源の消費も廃棄物の発生も桁違いに少ない。また、エネルギー生産中に地球温暖化の元凶の2酸化炭素を発生しない。原子力技術は、資源・エネルギー問題と地球環境問題を解決して経済成長を持続するという現代のトリレンマを解決できる決め手と期待される。

3. 核分裂技術の問題点とその社会的定着

原子力エネルギーは宇宙規模の威力を持ち、地球を破壊し人類を破滅し兼ねない核兵器を作りだし、地球環境を広く破壊する可能性のある放射能汚染という新しい環境破壊要因を持ち込む。その脅威と不安から、原子力は社会的容認(PA)がなかなか得られず、核分裂技術の社会的定着は難航している。

最近の国際情勢、冷戦状態の解消は全面核戦争勃発の可能性をなくし、核兵器の決定的な脅威は消滅したが、放射線被曝や放射能汚染に対する不安は残ってい

る。常温で核分裂連鎖反応を維持し早期の原子力の実用化を可能にした中性子は、死の灰とも言われる核分裂生成物を生成し、簡単に物質を放射化し放射性廃棄物を増やし、中性子を利用する核分裂技術は、特に、ダーティとして嫌われている。

原爆の被害や、拙速開発の軍事施設の杜撰な放射線対策や安全管理による放射線災害は、容認できる範囲を遥かに超え、一般の人がこれを見聞して不安を感じるのも無理はない。然し、平和利用施設の放射線対策と安全管理は、軍事利用の災害だけでなく、在来技術の公害発生、環境破壊の苦い経験を繰り返さないように、原子力を導入しても、既存の社会的リスクが増大しないことを目標とし、以下のような厳重な管理目標を立てている。

- 通常運転で放射線被曝の自然バックグラウンドを現在以上に増やさないこと。
- 事故時の個人被曝は、即発の医学症状がでる値より十分低く抑え、晩発の疫学的影響も、ガン発生率などの増大が他の要因と有意の差がでない範囲に抑えること。
- 原子力事故に伴うリスクも、潜在的災害の巨大さから、天災のリスクとして許容されている 10^{-6} よりさらに低く抑えること。

このような厳格な目標は、次のような理由から十分実現可能である。

- 放射線は人間の5感には感じないが、簡単な計測器で、原子核1個からの放射線も検出でき、これは化学物質汚染の検出限度PPB (10^{-9}) に対し 10^{-23} に相当し、厳格な管理が可能である。
- 原子力技術が発生する放射性廃棄物の量は、在来の産業廃棄物に較べて、桁違いに少なく、技術的・経済的に十分安全に処理可能である(表1)。
- 最新の情報技術にサポートされた工業技術は、原子力施設の厳重な安全管理に応えられる信頼性の高いシステムを提供できる。
- 技術者は勿論国民の安全に対する意識は、潜在的災害の大きな原子力技術を取り扱うのに十分なレベルまで高まっている。IAEAは原子力を使いこなす人間の新しい文化として「安全文化」の確立を提唱している¹⁾。

今後、原子力施設の安全運転の実績も蓄積されて国民の不安は緩和し、21世紀には、核分裂技術を含む原子力技術が社会的に定着すると考える。

表1 日本の廃棄物発生量の比較

分類	一般廃棄物		産業廃棄物		放射性廃棄物	
	一般	し尿	汚泥	その他	低レベル	高レベル
一人当りの発生量	410kg	290kg	1400kg	1800kg	0.082kg	0.0029kg
合計	3900キログラム				82グラム	2.9グラム

4. 核融合技術開発

4.1 現状

核融合（原子）炉は燃料の核融合連鎖反応を維持、制御して、エネルギーや反応生成物を生産する装置で、中性子には依存しない。

核融合反応を起しやすい燃料の主な組み合わせには、

重水素と3重水素： $D+T=n+\alpha+17.6\text{MeV}$,

重水素と重水素： $D+D=p+T+4.03\text{Mep}$
 $=n+{}^3\text{He}+3.27\text{MeV}$

重水素とヘリウム3： $D+{}^3\text{He}$

$=p+\alpha+18.4\text{MeV}$

などがある。このうち最も核融合反応を起し易く低い温度状態で核融合炉が成立するのはDT核融合で、まず、DT燃料の核融合炉の科学原理とそれを実現する技術の実証が進められている。

核融合反応を起すには、プラスの電荷を持つ原子核を電磁力に抗して十分接近させなければならない。核融合炉実現の方式には、超高温プラズマを一定時間安定に閉じ込める、(1) 磁場閉じ込め(MCF)方式、(2) 慣性閉じ込め(ICF)方式と、プラズマによらず、電子と同種の素粒子ミュオンの触媒的作用で核融合反応を起させる、(3) ミュオン触媒核融合(μCF)方式の3方式がある。

核融合反応を制御せず核融合エネルギーを爆発的に放出させると核融合(水素)爆弾になる。この軍事利用開発は、米・旧ソ連などが、核分裂と組み合わせて燃料を爆縮するICFによる水素爆弾を1950年代初期に完成している。平和利用の開発では、世界のプラズマ物理学者が、「地球上にミニ太陽を実現する」ことを目指して、平和利用の核分裂炉の開発開始とほぼ同時期の1950年代初期から研究を開始し、苦心の末、1950年代末に旧ソ連が考案したトカマク方式というドーナツ状磁場で高温のプラズマの閉じ込め成功の見通しを得た。その後、段階的に、実験装置を大型化して性能をアップ、閉じ込め時間とプラズマ温度を向上させ、1990年代初めに漸く、世界の3大トカマク実験装置、日本原研のJT-60、ECのJET、アメリカのTFTRで

数億度のプラズマを安定に閉じ込めて、ブレイクイーブン条件*1達成の科学的実証に成功した。これに続く自己点火条件*1を実証する次期装置は、経費とリスクを一国で負担するには装置が巨大すぎ、日・米・欧・露を軸にした国際プロジェクトが発足し、21世紀初めにはDT燃料を自己点火させ、プラズマ物理学者の悲願の「ミニ太陽の地上での実現」が達成される見通しとなった。

ICF方式では、燃料粒子に強力なレーザーを照射して爆縮着火させるレーザー核融合が、大阪大学のレーザー核融合センターでアメリカと追いつ追われつの研究競争を展開している。本方式は、燃料粒子を自己点火条件にするレーザーの発生部と、燃料が着火してエネルギーを発生する炉心部とが完全に分離しており炉心部は構造が簡単で、耐放射線の強い新構造材の開発も不要という魅力を持っている。現在、レーザー出力をもう一段30KJから100KJに高めれば自己点火条件を実証出来る段階に達している。核融合炉として成立させるためには、もっと小型でレーザー発生の効率がよく頻度も高いレーザー(例えば、半導体レーザー)の実現がのぞまれる。

μCF 方式は、電子より約200倍重いミュオンが電子に代わって原子核の周りを回るDT μ 分子を作ると、その軌道が約1/200になり、DとTの原子核が接近して常温で核融合を起すことができるという原理を利用するものである。1個のミュオンが生成して消滅するまでに何回核融合を起こせるかが自己点火条件達成の鍵を握る。ミュオンの寿命は約2.2マイクロ秒と小さいが、 μ 分子を形成して核融合を起こし次の μ 分子形成までの時間はこれより十分短く、自己点火条件達成の可能性がある。しかし、それには、核融合で生成した粒子(DT核融合では α 粒子)に捕獲され消滅

註1) 核融合炉で、核融合反応発生条件を維持するために必要な入力とその核融合反応出力との比Q(出力/入力)が1に等しくなる条件がブレイクイーブン条件、連鎖反応維持が可能なQが1より大きく ∞ に近づく条件が自己点火条件である。ブレイクイーブンを臨界と呼ぶことがあるが、核分裂の臨界は自己点火に相当する。

することなく核融合反応を繰返し、ミュオン生成に要した以上のエネルギーを生成しなければならない。 μ CF方式の科学原理の実証が、日本の東大・理研を中心に世界各国で行われ、実際にDT μ 分子の「常温核融合」は確認され、 α 捕獲率などの核融合炉成立確認に必要なデータの収集が行われている。 μ CFが核融合炉として成立するには、ミュオンを効率よく簡便に生成するブレイクスルーが不可欠であるが、原子・電子・中性子に続いて、今後人類が利用できるようになる素粒子ではないかと、世紀の時間スケールで考えて、今後の展開が楽しみである²⁾。

1989年3月に発表され世を騒がした、水素吸蔵性の特殊金属の電極で水を電解するとき発生する「室温核融合」と言われる異常現象は、核融合によるものかはまだ疑問であり、その応用を判断できる段階ではないが、異常現象の存在はほぼ確実で、現象の発生条件を同定し理論的根拠を明らかにし再現性を確認する必要がある。1993年から通産省の補助金が出されてその解明が進められており³⁾、固体表層の現象として意外なブレイクスルーを産む可能性がある。

4.2 早期に動力炉の実用化は可能か

一核分裂技術と対比して一

核融合研究者は、3大トカマクでDT核融合のブレイクオープン条件を実証し、国際協力プロジェクトのITERで自己点火条件を実証し、後は、核分裂炉開発と同様、原型炉と実証炉を建設し、動力炉を21世紀半ばには実用化できると期待している。核融合炉も核分裂炉も核反応の連鎖反応を維持して原子力エネルギー解放するものであるが、中性子を利用する核分裂炉と利用しない核融合炉とでは、その自己点火条件実証、原子炉の技術構成、研究開発段階毎の実験内容など全く相違し、技術開発の難易度が異なり、このような早期達成の期待は楽観的すぎる。

1) 自己点火条件実証

a) 核分裂反応

核分裂反応は常温で起き、反応を起こす状態を作るのにエネルギーの入力は不要、連鎖反応を起こす条件(臨界条件*)は、中性子のバランス、即ち中性子の発生量と消滅量が等しくなる容積だけで決まる。自己点火条件確認の臨界実験装置は、簡単に組み立てられる

註2) 各分裂炉の臨界は、連鎖反応が成立する状態を言い、核融合炉の自己点火に相当する。

ゼロ出力の常温の実験装置である。

b) 核融合反応

電磁力に抗して原子核を接近させ一定時間閉じ込めなければならない、反応を起こす条件を作るのに相当のエネルギー入力が必要である。連鎖反応を維持する自己点火条件は、この入力と核融合反応の出力との比 Q (出力/入力) = 無限大で、自己点火条件確認の実験装置には $Q = 5 \sim 20$ が要求され、その出力は入力 Q の倍、ITERではGW(100万kW)の桁になる。ほぼゼロ出力の核分裂炉の臨界実験装置とは桁が違ふ。核融合開発のITERは、物理的には核分裂炉開発のCP-1に相当するのに、出力と構造は技術的に実用動力炉並である。

2) 原子炉の技術構成

a) 核分裂炉

核分裂で発生するエネルギーは、反応生成物(中性子と核分裂生成物)の運動エネルギーとして配分され、その大部分は燃料内の物質に止められて燃料を発熱させ、燃料の外表面を流れる冷却材で外部に取り出される。この燃料の構造と機能は、熱工学的にみれば、電子により発熱する電気ヒーターと全く等価で、核分裂炉の燃料要素は中性子により発熱する中性子ヒーターである。核分裂炉の除熱冷却や動力転換の要素技術は、在来技術の電気ヒーターを用いた電気ボイラーの要素技術がそのまま適用できる。核分裂炉の実用化は放射線遮蔽技術、放射能閉じ込め技術及び耐放射性材料の開発を加えた在来技術の僅かな延長で可能であった。

b) 核融合炉

実用核融合炉は、大出力を要する自己点火条件実証炉と技術的にはあまり差がない。しかし、自己点火実証炉で要求される要素技術の信頼度は条件実証の間だけ保障されればよく、実用炉で要求されるものとは程度が違う。実用化のためには、更なる開発と習熟が必要である。

核融合炉の出力は、一部は、プラズマを加熱し核融合連鎖反応を維持し、残りは、取り出されて、エネルギー源として利用される。核分裂炉が電気ボイラーと技術的に等価であったのに対し、核融合炉は、化石燃料の燃焼炉に概念的には相似であるが、技術的には等価性は全くなく、未知未開発の「超高温プラズマの閉じ込め加熱技術」や「燃料の定常核燃焼技術」などを実証、習熟しなければならない。

現在、開発を進めているDT核融合は中性子と α 粒子を生成、発生エネルギーは各粒子の運動エネルギー

となる。核融合研究者は、動力炉構想として、 α 粒子の運動エネルギーはプラズマを加熱し核融合連鎖反応を維持させ、中性子は、プラズマの外でトリチウムの増殖に用いるほか、ブランケットを発熱させ熱機関とドッキングして動力転換させることを考えている。この動力炉構想は原理的に可能であり、物理的・技術的に整合性を持った概念設計も発表されているが⁴⁾、ユーザーが魅力を感じ関心をひく構想とは思えない。核融合炉では、分子現象応用の熱機関とのドッキングの必然性はなく、高エネルギーの荷電粒子がいっぱいのミニ太陽炉心に相応しい動力転換技術を開発すべきであろう。

3) 技術開発の段階

新技術の開発には、研究開発 (SEEDS PUSH) 段階と実用開発 (NEEDS PULL) 段階がある。前者は、研究開発機関の研究者が主導し、新しい科学原理を実証しその原理を応用する技術を開発するための実験装置を逐次建設していく。後者は、これを受けて、産業界の技術者が主導し、その新技術の実用化を目指し、ユーザーが魅力を感じずる実用プラント構想に基づき、その構想の技術とシステムを実証する小規模の実験プラント、経済性の可能性を探る中規模の原型プラント、経済性を実証する実用規模の実証プラントを逐次建設する⁵⁾。新技術の実用化は社会的経済的制約があり、研究開発段階を終了しても直ちに実用開発段階に入れるとは限らない⁶⁾。

a) 核分裂炉

核分裂炉は、科学原理の実証 (自己点火条件の確認)

がゼロ出力の簡単な臨界実験装置で達成出来、難しい未知未開発の要素技術はほとんどなく、軍事利用の開発にも助けられて、1950年代には実用化を完了、現在は、高速増殖炉など新型炉の開発が実用開発段階として進められている。それでも、図-1に示すごとく、初期に多くの中性子源炉が試験炉、研究炉として建設されて、中性子利用に実用されると共に、発電炉の要素技術の開発・習熟に貢献している⁷⁾。

b) 核融合炉

核融合炉の開発は、研究開発段階の最終実験装置として、自己点火条件を実証するITERプロジェクトが進められている。核融合炉の場合、ITERは出力も大きく、必要な要素技術をほとんど含んでおり、核融合研究者は、ITERを実用開発段階の実験炉の役割を果たさせ、そのあと原型炉、実証炉の建設を経て、21世紀半ばには実用化できるとしている。

しかし、核融合炉は技術開発の難易度の高い多数の未知未開発の新技術と在来技術を含んでおり、21世紀初頭に建設を完了するITERには、自己点火条件を実証するぎりぎりの要素技術の採用が精一杯で、ITER以後も、更に厳しい実用炉向けの要素技術の開発と習熟が必要であろう。また、在来技術の要素技術のうち、これまで必要がなかったから未知未開発である場合は開発が容易であるが、これまでの使用条件の極限に近い仕様が要求される場合、実用炉の使用条件に耐え、ユーザーがその使用を容認できる迄の開発実証は極めて困難である。このような極限技術は回避するプレイクスルーを探索するのが新技術開発の通念である。

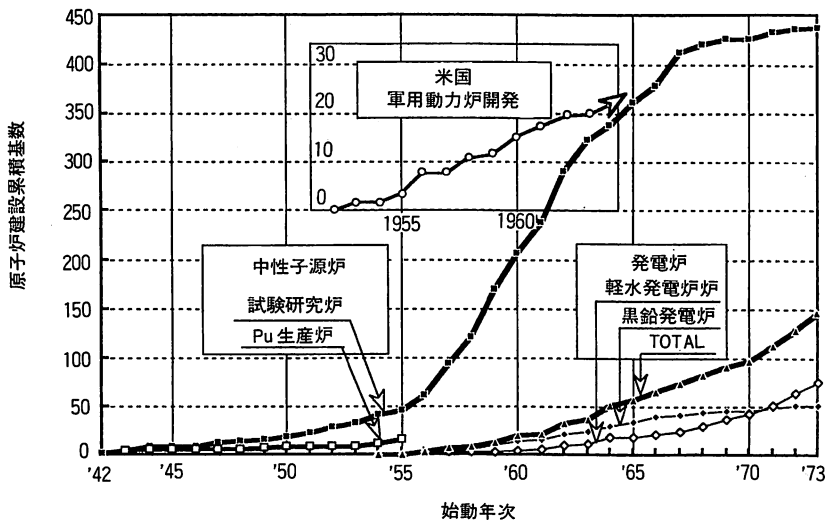


図-1 核分裂原子炉の建設経過

5. 中性子利用時代

5.1 中性子利用の種類

核分裂発電は中性子を利用するもっとも典型的な原子力技術であるが、この他に中性子は、以下に示すごとく、科学研究の分野から産業分野、医療分野と極めて広く利用されており、21世紀の原子力技術は、中性子利用の時代と言えよう。

1) 核変換利用

RI製造、燃料製造 (Pu・U-233・T)、超ウラン元素変換、放射性廃棄物の消滅処理

2) 照射利用

放射化分析、物性変化 (材料照射試験・燃料照射試験・半導体製造・高分子材料・宝石変色)、

3) 中性子ビーム利用

中性子散乱 (回折・散乱・透過)、中性子ラジオグラフィ、即発γ線分析、医療・生物照射

4) エネルギー利用

熱源、動力・発電源

このうち、資源・エネルギーから見て重要なのは、

1) エネルギー利用、2) 核変換利用の燃料製造、3) 放射性廃棄物の消滅処理である。

1) エネルギー利用: 中性子利用の核分裂発電と化石燃料発電の排ガス量を比較すると表2のとおりで、地球環境問題を解決する決め手であることが判る。また、高温ガス炉では、原子炉から直接1000度近くの高温を得ることができ、今後の展開が注目される。

2) 核燃料生産: 天然のウラン中に0.72%しか含まれていないウラン235だけに依存していたのでは、ウラン資源は石油資源と大差ない数10年で枯渇する。中性子利用で、ウラン238からのプルトニウム生産やトリウムからのウラン233生産などで未利用資源を活用すれば、核分裂燃料の資源は数千年の寿命となり、資源枯渇の心配はなくなる。また、DT核融合の燃料トリチウム(T)は天然に存在せず、リチウムからの核変換で生産しなければならない。

3) 放射性廃棄物の消滅処理: 核分裂発電の使用

済み燃料から発生する半減期が長い放射性廃棄物を、天然ウラン鉱石の持つ自然放射能レベルまでなるべく早く低減させ放射性廃棄物の処理を容易にするため、中性子を利用して半減期の短い核種に転換しようとするもので、まだ研究開発段階ではあるが、社会的容認を得る上に今後の展開が期待される中性子利用技術の一つである。

5.2 中性子源の種類

核分裂炉が実現するまでは、天然の放射性同位元素のα線を用いた中性子発生量の微小な中性子源しかなく、中性子利用は原子物理学の実験に限られていた。核分裂炉が実現して大量の中性子が生産され、「中性子利用」時代の幕を開いた。中性子利用に用いられる中性子源には、次のような種類がある。

1) 原子炉型中性子源

中性子生成核反応の連鎖反応を利用して工業規模で中性子を生産できる。核分裂炉とDT核融合炉がある。

2) RI中性子源

RIとターゲットを組み合わせ、RIの放射線で中性子を発生させる。原子炉型中性子源でいろいろな特性をもったRIが作られるようになり、目的に応じた特性を持つ中性子を発生する線源が作れようになった。中性子の発生量は少なく、主に研究用や、核分裂原子炉の起動用に使われている。

3) 加速器型中性子源

加速器で強力な重イオンビームをつくり、ターゲットを照射し中性子を発生させる。ビームの種類と強度、ターゲットの選択でいろいろなスペクトルの中性子が得られる。主なものに、(1) D-T核融合反応型、(2) D-Liストリッピング反応型、(3) p-重元素スポレーション反応型などがある。RI線源より中性子の発生量が多く、中性子利用技術の開発用に使用される。

5.3 核融合技術開発と中性子利用

現在、開発が進められているDT核融合は、核分裂に比べて、中性子リッチ・エネルギーブアーな反応で、エネルギー源よりは中性子源に向いている。DT核融合動力炉構想で、中性子の持つ運動エネルギーを

表2 発電プラントの排気ガスの比較

発電方式	石炭火力	石油火力	LNG火力	原子力
SO _x (kg/kWh)	0.0125	0.0058	0.000003	0.0002
NO _x (kg/kWh)	0.0045	0.0024	0.0027	0.00008
CO ₂ (kg/kWh)	1.078	0.874	0.605	0.044
放射能 (mSv/Yr)	0.01	0	0	0.02

ただ熱に変え発電するのは技術的合理性に欠ける。核分裂性物質は大きな中性子とエネルギーの増倍力を持っている。これを用いて、核分裂反応の増倍出力を核融合炉出力に加えて、 Q (出力/入力) を考えれば、核融合炉出力が小さくてもエネルギー生産のためのバランスは成立し、小出力の核融合動力炉が成立する。この構想はハイブリッド炉であり、純核融合動力炉より未知未開発の範囲が少なく経済性も優れており、早期実用化可能と思われる⁹⁾。しかし、このハイブリッド構想は、核分裂のダーティさから核融合研究者には敬遠されている。

DT核融合炉を中性子源として利用する場合は、 Q の値は中性子の経済性に影響するだけで、核融合出力が小さく Q が1以下の核融合炉でも技術的には意味があり、小出力の実用中性子源炉として照射試験や燃料生産に役立てることが可能である。

核分裂炉の開発でも、技術的に容易な中性子源炉が多数先行建設されて、中性子利用で実用に供し、動力炉の技術開発を助けた(図-1参照)。DT核融合炉の開発でも、中性子源炉開発路線を追加し、中性子利用時代をサポートしつつ、動力炉の要素技術の実証と習熟を巨大な自己点火炉でなく、小型の中性子源炉から始めて、段階的に自己点火炉に迫る方が核融合動力炉実用化の近道であろう^{9), 7)}。

6. むすび

原子力技術は人間規模、あるいは地球規模の在来技術を超える宇宙規模の巨大技術である。この原子力技術を利用するには、人間は全く新しい安全に対する考え方に基づいた文化を築く必要があり¹⁾、20世紀は、

その過渡期として、かなりきわどい崖淵に立った。しかし、人間の英知はこれを避け、安全方向に向けて歩き出そうとしている。

21世紀は、核分裂技術を中心にした「在来技術と原子力のハイブリッド」とも言うべき「中性子利用」時代であろう。核融合技術は、DT核融合技術でこの中性子利用に貢献し、ブレイクスルーを探索しつつ核融合動力炉の技術開発を進め、22世紀の「純真正原子力」として実用化されよう。

かくして、定員をオーバーする乗員を乗せた宇宙船地球号の現代のトリレンマ(資源枯渇問題、地球環境保全問題を解決して持続可能な繁栄を続ける)が原子力技術で完全解決されることを期待したい。

参考文献

- 1) International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG) INSAG-3, (IAEA, Safety Series No.75).
- 2) 永嶺謙忠; ミュオンの科学, 丸善出版, (フロンティア・サイエンスシリーズ, 1988) 原子力工業 (Vol.38, No.1, 1992).
- 3) 特集常温核融合などに包まれた原理解明を追う, 日本の科学と技術(財)日本科学技術振興財団, (Vol.35, No.271, 冬, 1994).
- 4) 菊地満, 関泰, 本島修, 特集実用炉の成立と材料技術 I, 2 磁場核融合実用炉の設計, プラズマ・核融合学会誌 (Vol.70, No.6, 1994)
- 5) 平山省一; ワイド特集, 21世紀の“原子力”を予測する, 核融合, 原子力工業 (Vol.38, No.1, 1992).
- 6) 平山省一; 核分裂炉開発からみた核融合炉開発の問題点, 電気学会誌 (Vol.103, No.11, 1983)
- 7) 平山省一, 河辺隆也; 核分裂炉開発から見た核融合炉開発, 日本原子力学会誌 (Vol.36, No.6, 1994)
- 8) 中性子利用ワーキンググループ報告書第3分冊; 第5章核燃料生産用核融合炉, 中性子利用ワーキンググループ, FNT研究専門委員会, (日本原子力学会, 1989)

協賛行事ごあんない

「超高温材料国際シンポジウム'94 in たじみ」

<日 時> 平成6年11月30日(水)~12月1日(木)
 <場 所> 多治見市文化会館
 (岐阜県多治見市十九田町2-8)
 <参加・交流会費> 15,000円
 (昼食, 交流会費含む)

<問い合わせ先>

(株)超高温材料研究所 岐阜研究所
 (〒507 岐阜県多治見市東町3-1-8
 TEL 0572-25-5380, FAX 0572-21-1045)