解	説
---	---

高速炉による砂漠の緑化と地球再生

(電力中央研究所) 服部 禎男†, 湊 章男,
(關東芝) 飯田 式彦, 橋 詰 健一

地球上では急速な勢いで砂漠化が進んでいる。その砂漠化を防止するための技術開発が、いま先進国に求められている。特に、南半球では砂漠に緑を復活し、生活に必要な電力を供給できるエネルギーが必要である。

本稿では、安全性、メンテナンス性に優れた小型の高速炉を用いた電力の供給と、砂漠の緑化、さらにそれに伴う地球の再生に必要な淡水化プラントについて述べる。

I. ま え が き

砂漠化によって年間600万ha(九州と四国の面積の合計に相当する)もの土地がほとんど回復不能なまでに荒廃し、そのほとんどは年間の降水量の少ない地域に集中している。

砂漠化を防止するために、まず、緑化により表層土の安定化を図る必要がある。水が得られない地域で緑化をすすめるためには水、とりわけ淡水を確保することが第1の条件である。さらにエネルギーを得るための森林の伐採を防止するため、発電・淡水化の二重目的プラントが重要である。この場合、より安価な水資源をどこに求めたらよいのだろうか。本稿では、高速炉を利用してこの水資源を海水に求め、これを淡水化設備により淡水化し、砂漠の最前線に送り、ここに緑地帯を形成させる構想を考えてみたい。

II. 砂漠化の現状

1. いま砂漠化は

UNEP(国連環境計画)によれば、砂漠化とは世界の乾燥地・半乾燥地における土地生産力の低下をいう。砂漠化によって年間600万haもの土地がほとんど回復不能なまでに荒廃し、また、すでに砂漠化している土地は程度の軽いものを入れると約35億haに及んでいる。一方、深刻な砂漠化の影響を受けている人々は、1984年において2億3,000万人と推定されている。これは、1977年の8,000万人と比較して大幅に増大しており、砂漠化の進行がより深刻なものとなっていることを示している。

砂漠化の現状は、乾燥の度合、ユネスコによる危険度などをもとに、第1図のように示されている⁽¹⁾。これによれば、砂漠化の可能性が非常に高い地域は、アフリカのサハラ砂漠周辺、南アフリカ共和国、中国西北部などである。

2. 砂漠化の防止は可能

現象的にみれば、表層土の不毛化が生じ、安定性を失うことが砂漠化であるので、これを防止するために緑化により表層土の安定化を行い、徐々に土壌の回復を図る必要がある。さらに、風による流砂を抑制するために、近くの砂丘を固定する必要もある。

現在までに、次のような砂漠化防止対策が試みられてきた。

- (1) 1982年、米国の救済機関CAREは、ニジェールに畑の保護のために250kmにわたる防風林を植え、砂漠の進行を防止した⁽²⁾。
- (2) エジプトでは、沿岸砂丘の固定のために、柵状の砂障と乾草による障壁づくりを行なっている⁽³⁾。
- (3) リビアでは、大陸砂丘が農業地帯近辺にあるため、この移動を防止することに努力している。碁盤の目状に乾草を設置し、次いで耐乾性の樹種を植栽していく方法がとられている⁽³⁾。

Plantation of Desert and Renewal of Earth with Small LMRs: Sadao HATTORI, Akio MINATO, Norihiko HANADA, Kenichi HASHIZUME.

(1990年12月17日 受理)

† 東京工業大学原子炉工学研究所 客員教授

砂漠化の危険度： 1. 現存の砂漠， 2. 非常に高い， 3. 高い， 4. 中程度

第 1 図 世界の砂漠化地図

- (4) チュニジアでは、砂丘の安定化のために、1982年までに3万haの森林を造成した。オアシス付近では、オアシスを保護する目的で、300m程度離れたところに防護壁を設けている⁽³⁾。
- (5) 中国の毛鳥素砂漠では、砂丘を固定するために、固砂林、防風林、護牧林を組み合わせた森林造成法をとっている。また、砂表面を直接被覆するために、侵食防止剤の散布も試みられ、表面にある厚みを形成できる浸透性の薬材が有効のようである⁽⁴⁾。

以上の防止対策が試みられてきた地域は、地下水位が高く、植物成長に十分な水分が存在する地域である。しかし、砂漠化が進行しているどの地域でも、十分な水が得られるわけではない。したがって、このような地域の砂漠化を防止するためには、まず十分な水を得る必要がある。水が得られれば、これを散水して草地を発生させ、表層土を安定化する。次いで植物の自然な遷移を図る。このために、必要な時に必要なだけの水を得る方法、水を効果的に散水する方法を検討する必要がある。

Ⅲ. 原子力による海水の淡水化⁽⁵⁾

1. 淡水化の方法

海水はおよそ3.5%の塩分を含んでいるので、通常の水として使用するためにはこれを0.05%以下まで低減しなければならない。この塩分濃度低減の操作を淡水化(desalination)と呼んでいる。海水を加熱すれば水分のみが蒸発し、冷却すれば水分のみが凍結して結晶となる現象はよく知られており、この原理を利用した相変化を伴う淡水化が一般的であるが、特殊な膜を用いれば相変化を伴わずに塩分濃度を低減することもできる。第1表にはこのような淡水化の方法の主なものを示してある。これら諸方法の詳細については各所で解説がなされているので、本章では本題の観点からごく簡単に説明しよう。

多段フラッシュ法(Multi-Stage Flash Distillation; MSF)は、減圧度が順次大きくなる蒸発室(フラッシュ室)を多数並べて、ここに加熱昇温した海水を順次送り込んで蒸発させる方法である。現在、世界の淡水化プラントの80%をMSFが占めている。

膜蒸留法(Membrane Distillation; MD)では、蒸気は通すが水は通さない疎水性膜の片側に昇温した海水を流し、逆側を冷却して淡水を得る。蒸発法でありながら大気圧運転ができるので、構造が極めて簡単になる。

多重効用法(Multi-Effect Distillation; MED)は、蒸発室(効用缶)を多数並べて、最初の効用缶中の海水を加熱する。ここで蒸発した蒸気を次の効用缶の加熱蒸気として使用し、これを順次繰り返して蒸発させる方法である。最初の効用缶の加熱も、この効用缶から蒸発する蒸気の一部を圧縮して行う蒸気圧縮法(Mechanical Vapour Compression; MVC)もある。MSFやMDに比べてエネルギー消費量が少なく、また海水の最高温度を低くできることから、次世代の主流のひとつと見られている。

冷凍法(Freezing Process; FP)は、海水を冷却して水分だけの結晶を作り、これを分離融解して淡水を得る方法である。水の凝固潜熱は蒸発潜熱に比べてはるかに小さいので、原理的に蒸発法よりもエネルギー消費量は少ない。

逆浸透法(Reverse Osmosis; RO)は、水は透過するがイオンや分子は透過しない性質を持つ半透膜を用いて、海水の浸透圧以上の圧力をかけて水のみを透過させて淡水を得る方法である。近年の膜技術の飛躍的な進歩によってMEDとともに次世代の主流のひとつと見られている。

電気透析法(Electrodialysis; ED)は、陽イオンだけを透過する膜と、陰イオンだけを透過する膜とを交互に並べて、両端に直流電流を流して海水中のNaイオンとClイオンを除去する方法である。

第1表 海水淡水化の方法

プ ロ セ ス				エネルギー源
相変化あり	蒸 発 法	多段フラッシュ法		熱
		膜 蒸 留 法		
		多 重 効 用 法		
		蒸気圧縮法		
	冷 凍 法		軸動力（電力）	
相変化なし	逆 浸 透 法			
	電 気 透 析 法		電 力	

2. 発電・淡水化二重目的プラント

海水淡水化の需要には電力の需要も伴う場合が多いので、1つのプラントで発電と淡水化を同時に行う二重目的プラントが早くから検討されてきた。IAEA(国

際原子力機関)主催で1968年にマドリッドで開催された「原子力淡水化」国際シンポジウムにおいても、二重目的プラントの計画・構想が中心話題であった。実プラントでは、高速増殖炉BN-350を用いて1973年に運転を開始したソ連のシェフチェンコプラントが有名である。発電と淡水化を個別に行う場合に比べて二重目的プラントは、次のような有利性を持っている。

- (1) エネルギーの有効利用: 淡水化プラントでは海水を高々100数10℃まで加熱すればよいのに対して、原子炉プラントからの熱出力温度は数100℃以上であるから、高温領域を発電に利用してその排熱で淡水化を行えば、エネルギーを有効に利用することができる。
- (2) 電力および生産水(淡水)単価の低減: 取水設備など主要設備の共用化、発電プラントの復水器と淡水化プラントの海水加熱器の一体化、運転・保守要員の削減、上記(1)によるエネルギーコストの低減などによって電力単価および生産水単価を低減することができる。
- (3) 原子炉出力を一定で送電量調整: 電力の経済的な貯蔵は現時点では困難であるのに対して、生産水は貯水槽あるいは貯水池に容易に貯蔵できるので、発電と淡水化の出力比率を変えれば、原子炉の出力を一定にしたままで送電量の調整が可能になる。

淡水化の方法が蒸発法の時代には(1)と(2)が主な有利性であったが、近年では(3)の有利性が重要な意義を持ってきた。その理由の1つは逆浸透法の普及で、エネルギー源として熱を用いないので、(1)の有利性は意義を失ってしまう。もう1つの理由は系統に占める原子力発電の比率増加である。原子力発電の比率が増加すれば、原子炉プラントにも電力需要に対応した送電量の調整が要求されてくるが、原子炉出力一定のままで送電量の調整が可能であれば、原子炉システムの構成は単純になり、低価格化とともに安全性も高めることができる。本題の砂漠化防止を目的としたプラントにおいては、さらに植物自身も蓄エネルギー機能を有している点、電力系統が整備されていない地域で電力供給を行うという点で、(3)の有利性はより一層の意義を持ってくる。

発電・淡水化二重目的プラントにおいて、2つのプラントを結合する方法は、第1表に示した淡水化の方法によって次の3つに分類できる。

(1) 熱的結合法

エネルギー源を熱とする蒸発法(MSF, MD, MED)

はこの方法による。最も単純な方法は、発電プラントの蒸気タービンの排出蒸気をそのまま淡水化プラントの加熱蒸気とする方法である。もう1つの方法は、蒸気タービンの排出蒸気で海水を加熱して蒸発させ、淡水化プラントの加熱蒸気とすると同時に、この時の凝縮水も生産水の一部として利用するものである。

(2) 軸動力結合法

蒸気タービンの軸出力で、蒸気圧縮法の圧縮機、逆浸透法の高圧ポンプ、冷凍法の冷凍機を駆動する方法である。この駆動を電動機で行う次の電気的結合法に比べて発電機と電動機を削除できるので、建設費を低減でき、エネルギー変換に伴う損失も避けられる。

(3) 電気的結合法

発電プラントからの電力の一部を淡水化プラントに供給する方法で、エネルギー源を電力とする電気透析法にはこの方法しかないが、蒸気圧縮法や逆浸透法にも電動機駆動で適用できる。発電プラントと淡水化プラントを分離でき、立地の自由度が増す。

3. 高速炉の利用

砂漠化地域に原子力発電所を設置する場合、原子力発電所に要求される第1の条件は、中枢部である原子炉はできるかぎりメンテナンスの必要性が軽減されたものでなければならない。さらに、第2の条件は優れた安全性である。

このような観点からは、以下の理由により高速炉の利用が最良と考えられる。

- (1) 液体金属であるNaの電気的特性を利用して、回転部をもたない電磁ポンプを採用し、原子炉内から動的機器を削除できる。
- (2) 内部転換率が高いという特性を利用して、燃料使用期間を延長し、原子炉の寿命中燃料交換を不要にできる。
- (3) 減速材を用いない原子炉の特性を利用して、原子炉容器の外側に設置する外部反射体により炉心を制御し、制御棒駆動機器の削除が可能となる。
- (4) 小型炉にすれば、外気による自然通風除熱と冷却材の自然循環といった静的機器のみにより、炉心の崩壊熱除去が可能となる。
- (5) 超小型炉心の特性から、Naボイド反応度をはじめ冷却材温度係数も負にすることができるために、炉心に係わる事故を仮定しても炉心出力が低下する現象となり、自己制御性が高く安全特性は極めて優れたものになる。

以上の単純さと優れた安全性を有する設計を可能とすることで、メンテナンスフリーともいえる原子炉を構築できる。

特に超小型炉にすれば、保有する放射能が非常に少なく、機器も小型かつ極端な簡素化が可能となり、砂漠化地域に要求される原子炉の条件を満足できる。

Ⅳ. 超安全を指向した小型高速炉

1. 設計の概要

小型高速炉^{(6)~(8)}はその地域の電力需要に応じ、10 MWe(10,000 kW)と50 MWe(50,000 kW)のユニットを用意している。原子炉構造概念図を第2図に示す。以下では、この小型高速炉を4 S/PEN(Super Safe, Small and Simple Primary Engine)と呼ぶ。

第2図 小型高速炉の原子炉構造概念図

10 MWe 4 S/PENは、30年間のプラント寿命中に一切燃料交換は不要である。炉心の燃焼制御には、原子炉容器外からの反射体(材料はグラファイト)制御を採用している。この結果、頻繁なメンテナンスを必要とする炉上部の各種駆動シール部および制御棒駆動機構を削除できる。

1次系は、炉心上部にヘリカル型伝熱管中間熱交換器を配し、原子炉容器と炉心吊り胴間のアニュラス空

間を冷却材が下降し、炉心に再流入する方式を採用している。この結果、炉容器はいつも低温側に維持され、従来、高速炉で必要とされていた炉壁保護構造、隔壁構造、スタンドパイプを削除することができた。

1次冷却材の駆動には電磁ポンプを用いる。電磁ポンプは、容器径のより小さい10 MWe 4 S/PENでは炉容器外に、1 m ϕ クラスの容器径となる50 MWe 4 S/PENでは炉容器内に設置した。この結果、容器内から動的機器を削除することができた。50 MWe 4 S/PENの炉心寿命は10年間として設計している。より長尺の燃料を用いることで寿命延長は可能である。1次系流路構成、中間熱交換器型式については10 MWe と同一仕様である。

2. 長寿命炉心

4 S/PENの炉心は長期間燃料交換不要で、冷却材密度係数およびボイド反応度を負にし、かつ制御棒を不要とする反応度制御が可能のように設計された。

まず反応度制御方式については、原子炉容器内に動的機器を持ち込まない考え方で、容器外から反射体の動作により炉心を制御する方式とした。

冷却材密度係数、ボイド反応度を負にするため、縦長炉心とし、径方向の中性子の漏洩を増大させている。これらの条件で、長期間燃料交換を不要とするので金属燃料炉心により、径方向富化度分布、反射体の材質と厚さについて最適化を図り、炉心特性を決めた。

3. 超安全性の指向

ここでいう超安全性とは、安全確保の対策をいかに単純に、いかに確実に、いかに安心感をもたせて構成できるかという点にある。これに対応し、4 S/PENは次の特徴を備えている。

反射体の誤挿入を原理的に排除するために、原子炉の運転時間に対応して反射体の最大挿入位置を規制する機構を同期電動機を用いて行い、電源系の異常に対処できる方式とした。

ボイド反応度をはじめ、その他の温度反応度係数はすべて負である。スクラム機能が喪失したと仮定しても負の反応度が挿入されて、出力は急速に低減し燃料破損が生じないことを解析で確認している。外部電源喪失時に反射体が落下しない(スクラム機能喪失)という極端な仮定をした場合にも、被覆管過渡時最高温度は、燃焼初期で約660℃、燃焼末期で約860℃にとどまる。

炉心圧損を従来炉の約1/10に低減させている。この

結果、1次ポンプが停止しても定格の約14%の自然循環流量が得られる。この大きな自然循環流量は、崩壊熱を安全容器から直接、熱を外気に伝えて除去することで達成される。

4 S/PENの安全性上のもう1つの魅力は、超小型であるため炉心が保有する放射能が小さいことである。この影響を原子炉施設に必要な敷地境界距離の観点から考察してみると、必要とする離隔距離は極めて小さく原子炉から20 mも離れていれば、目標線量を満足し、立地上有利となる。

4. 制御性の革新

4 S/PENの起動操作を考察することで、小型高速炉の別の魅力を引き出すことができる。4 S/PENのすべての温度反応度係数は負である。これは温度上昇時にも安心感がある。温度を下げると出力が上昇し、この操作に失敗しても元の温度状態にもどる固有のフィードバック制御が働く。

そこでまず、1次系全体の温度を何らかの方法で上昇させ、次に反射体を運転位置に上昇させて炉をゼロ出力臨界にし、このあと2次系の流量を増大させて炉心の入口温度を低下させるとともに、出力温度を上昇させて、定格運転に移行させる流量制御方式が考えられる。このとき、初期の1次系温度は、反射体がたとえ急速に挿入されても炉心の安全性に影響を与えない温度まで予熱する。検討によれば、燃焼初期に1次系温度を430℃まで上昇させておけば、反射体の誤った急速上昇に対しても安全上の問題は生じない。

このようにすれば、核加熱のための複雑な反射体の制御動作、1次系の流量制御は不要であり、タービンあるいは2次系の流量制御で、原子炉を短時間のうちに起動させることが考えられる。この特徴を負荷追従性に応用すると、さらに一層の制御性の革新が期待できる。定格運転から出力を下げようとする場合、1次系の流量を一定に保ちながら2次系の流量を出力降下に見合うだけ低下させればよい。

5. 課題

4 S/PEN特有の課題は、原子炉容器、炉内構造物の照射による脆化の問題である。通常の炉心と違い、径方向の遮蔽体を有しない4 S/PENでは、オーステナイト系ステンレス鋼はHe脆化のために著しく破断延びが低下する。しかし、高クロム鋼では照射温度が、少なくとも400℃以上であれば、破断延びの低下がみられないことが知られている。また、8Cr, 9Cr鋼であ

れば、脆性遷移温度の上昇も50℃にとどまり、高速炉の運転温度範囲では問題にならないことが知られている。これらの知見をもとに、4 S/PENの原子炉構造は高クロム鋼(現時点ではMod. 9 Cr-1 Mo 鋼をリファレンス)で設計することを考えている。

超安全を指向する高速炉一般の課題に、Na-水反応の問題を回避できる発電システムを採用できるかということにある。4 S/PENに関する最近の研究では、このために、Na-水反応が生じない種々の発電方式が検討された。この中でもっとも実績があり、プラント効率もLWR並み(約30%)を確保できる方式として、ブレイトンサイクル(中圧)Heガスタービンが有力候補として上がっている。

V. 緑の生産

1. 海岸地帯の砂漠化防止

(1) 発電・淡水化二重目的プラント

砂漠化の進行を止め、後背地の牧草地あるいは農耕地を保護するためには、砂漠の最前線に緑地帯を形成させることが有効である。必要な緑地帯の規模は対象とする地域に依存し、特定することはできないので、ここでは、出力50,000 kW程度 of 原子炉を利用して形成できる緑地帯の大きさを検討する。

淡水化設備は2ユニットとする。これは1ユニットが故障あるいはメンテナンス状態にあっても、水の供給を途絶えさせないために必要な冗長性である。原子力設備の方もこれに対応して2ユニットとする。1ユニットを出力50,000 kW of 原子炉とタービン設備で構成する。

海岸地帯に近接している都市へは、約10,000 kW程度の電力を送電するものとする。砂漠化防止の対象地域を、海岸から数km～数10km離れていると想定すると、海水を淡水化して得た水を送水するためのパイプラインが必要になり、送水に必要な電力は約10,000 kW程度となる。

淡水化プラントは第Ⅲ-1節で述べた方法の中で、負荷応答性が良く省エネルギー化のポテンシャルが高い逆浸透法を選定し、発電プラントとは電氣的結合を行うものとする。この時の消費電力を近年の技術的進歩からみて4 kWh/m³とすれば、生産水量は48万m³/日となる。

(2) 緑化方法

進行している砂漠の前縁に生産水(淡水)を送水し、これを散水することで草地を出現させる。ここで対象

とするのは広大な地域の緑化であるので、造成工事を行わず現地地形をそのまま利用し、地形なりの草地の出現を期待した粗放な緑化計画とする必要がある。このため、散水方法として放水銃の使用を計画する。放水銃は射程100 m級の性能のものを200 mおきに正方形配列させる。

散水の方法としては、表層部の塩類化の軽減と表面流亡や蒸発による水の逸散とを考慮し、極力、土壌浸透、植物への水吸収を促すよう、土壌温度が低く蒸発量の少ない夜間に散水を行い、また時間的な降水強度を低く抑えるため数回に分けて散水を実施する。

散水のコントロールは、植生状況、気象状況に応じて散水時間、散水間隔、散水圧力、散水方向等の散水パターンを自由に選択できるようにする。運用に当たっては、特に緑化の初期において、水の落下の衝撃力による幼植物の破壊、表土の滅亡が起こらないように注意する。

植生の対象とする植物は、貧栄養状態や悪循環条件のもとでも生育できる植物を選定する必要がある。種子は空中から散布し、地形なりの植生を期待する。植生の種類は、早期緑化の実現のために、まずは草地とし、その後草地の安定化に伴い表層部には有機物に富んだ表土層が発達し、植物の生育に適した土壌環境が形成されていくと考えられる。

植物の選定には、類似条件による植栽試験が必要であるが一般には、乾燥、半乾燥地域に生育でき、しかも耐塩性の強いマメ科(アルファルファ、パーシムなど)およびイネ科(スーダングラス、ローズグラス、バミューダグラスなど)の植物が適している。

生産水量は、2基の淡水化設備合計で48万m³/日である。砂漠化地域の蒸発量を考慮し、草地の出現に必要な散水量を年間降雨量2,000 mm相当、形成させる緑地帯の幅を1 kmとすると、緑地帯の長さは約100 kmとなる。

2. 内陸地の砂漠化防止

内陸地においては地下水の利用が考えられる。内陸地の地下水の多くは塩分を含んでおり、そのまま散水すれば塩害をもたらす恐れがあるので、淡水化を行う必要がある。しかしながら、地下水の塩分濃度は通常、海水の約1/10以下であり、逆浸透法を用いれば、淡水化に必要な消費電力は海水の約1/5以下である。これは、50,000 kW of 発電所を2基で、内陸地において5 km×100 kmの緑地帯を形成することができる。前述の小型高速炉のメンテナンスフリー化をさら

に進めた自然循環型の高速炉の適用も考えられる。

内陸地の水源として、もう1つのオプションは、海岸地帯で淡水化した生産水をパイプラインで内陸地まで送水する計画である。しかしながら、長大なパイプラインの敷設はコストがかかるし、送水のための必要電力も大きい。例えば1,000 km のパイプラインを用い、標高700mの高地に、先の約50万m³の淡水を送水する場合、約10万kWeのポンプステーションが必要となり、淡水化に必要な電力と同じだけの電力を送水のために用意しなければならない。したがって、地下水源に期待できる地域では、地下水源を利用の方が経済的である。

Ⅶ. 地球再生に向けて

1. CO₂の吸収源

100億tを超えるCO₂をコントロールするために様々な提言があるが、本章では、緑によるCO₂の固定を考える。しかも、この緑は新たに作る緑ではなく、かつて人々の営みで失った緑を再生させることに限定する。

現在、世界中で砂漠化による影響を受けた土地の面積は、35億ha(3,500万km²)に上ると推定されている。このうち、北米大陸を除く砂漠化地域は約2,800万km²である。かつて緑があって、いま緑を失ったこの地域の緑化が実現できるならば、膨大なCO₂の吸収源を手に入れることができるはずである。

植物のCO₂吸収能力は、吸収したCO₂を葉、茎、実などの乾物として固定化できることにある。この能力は、第2表のように調査されている。

第2表 生態系の植生によるCO₂固定化能力
(g/m²/年)

植 生	生 産 量	植 生	生 産 量
熱 帯 林	2 0 0 0	農 耕 地	6 5 0
温 帯 林	1 3 0 0	ツンドラ	1 4 0
寒 帯 林	8 0 0	高山地帯	1 4 0
熱帯草地	7 0 0	灌木砂漠	7 0
温带草地	5 0 0	外 洋	1 2 5

約2,800万km²の南半球の砂漠化地域を、少なくとも草地程度に回復できるのであれば、

$500(\text{g}/\text{m}^2)/\text{年} \times 2,800\text{万km}^2 = 140\text{億t}/\text{年}$
のCO₂吸収源を得ることができる。

この量は、南半球で将来放出されるCO₂の量に相当するので、南半球の砂漠化地域の植生の回復により

CO₂の吸収・固定が実現される。

2. CO₂を放出しない原子力

世界の海水淡水化の需要は、人口の増加、産業の発展、特定地域への人口集中などによって急激に増大している。淡水化プラントの総容量は1960年当時わずか20万m³/日程度であったものが、1988年には1,200万m³/日に達し、今世紀中にはこの2倍を超えるであろうと予測されている。現在稼働中の淡水化プラントのほとんどは化石燃料をエネルギー源としており、これはごく大雑把には効率40%の火力発電所2,000万kWの燃焼量に相当している。すなわち、もしもいま、海水淡水化をすべて原子力で行えば、2,000万kWの火力発電所が放出するCO₂を削減することができる。

3. 有限なエネルギー源

砂漠化が進行している地域は、多くの場合、乾燥地域か半乾燥地域に位置する。降雨量は少なく、一度植生が失われると再生が難しい。この地域に水、とりわけ淡水が必要である。

海水の淡水化に必要な電力を前述のように1m³当たり4kWとし、緑化に必要な水量を年間降雨量2,000mm相当とすると、10,000kWの電力では約10km²を緑化できる。南半球の環境問題を解決するために必要な緑化面積約2,800万km²を、海水の淡水化により緑化するとすれば、 280×10^4 万kWの電力が必要という試算となる。しかし、一度植生が回復すれば、同量の永続的な降水は不要と考えられるため、散水期間と散水量を適切に調整することにより、その電力量は、上記の1/10、すなわち 28×10^4 万kW程度にはできるであろう。

いま、これを100年間かけて進めるとしても、毎年約2,800万kWの発電量の増加が必要になる。100万kW級の発電プラントであれば、年間28基建設することになる。

さらに、社会の営みのために必要な一般エネルギーの需要である。将来の開発途上国は、約1kWe/人のエネルギーが使用されるという試算に基づけば、約70億を超える人口に達する南半球が必要とするエネルギーは、2050年に 700×10^8 万kWに上る。将来人口増加が抑制されたとし、2100年にこの人口に達するとしても、100年間は年間7,000万kWのエネルギーが必要となる。この約10%を原子力発電で賄うとしても、平均年間700万kWの原子力発電プラントの建設が必要である。

この膨大なエネルギーの供給を考えた場合、化石燃料は前述のように今後あまり期待できない。また、CO₂を放出しないクリーンエネルギー源として、太陽光発電など自然エネルギーの利用も考えられるが、主要電源としてそのような膨大なエネルギーの供給は不可能である。

このような観点から考えると、原子力の利用が最も有効であると考えられる。特に原子力の中でも高速炉は現在確認されているウラン埋蔵量(約400万t)を、軽水炉の約100倍もの有効利用が可能であり、将来長期に及ぶ上記活動を考えると、これに期待せざるを得ない。

VII. ま と め

現在、世界では年間600万haもの土地の砂漠化が進み、ほとんど回復不可能とさえいわれている。この砂漠化を防止するため、海水の淡水化などによる水の供給を行うことはわれわれ先進国の重要な役割と思われる。

本稿では、その淡水化のエネルギーに原子力発電プラント、特に高速炉の利用を前提としたシナリオを考えてみた。この高速炉は、淡水化のほかに、電力の供給と二重目的プラントとしての役割を果たすことが可能である。

また、砂漠地方に設置される原子炉は、運転が十分自動化されるばかりでなく、メンテナンスフリーで、

かつ安全性確保が十分でなければならない。ここで提案した超小型の高速炉は、そのような条件を十分満足しているものと思われる。特に、砂漠地方での電力の需要は、先進国のように1個所に集中することではなく、分散配置にせざるを得ない場合が多く、この超小型炉はそれに十分適合できる。

これまで述べたように、超小型の高速炉は砂漠地方の緑化のみならず、電力の供給源として有効に役立つものであり、また限られた資源の有効かつ長期安定利用という点からもその研究開発を進めていく必要があると思われる。

— 参 考 文 献 —

- (1) 市川正巳：世界における砂漠化とその研究の現状，地理学評論，89 (1988)。
- (2) ロイド・ティンバレイク：“アフリカはなぜ飢えるのか”，(1988) 亜紀書房。
- (3) “世界における砂漠ならびに砂漠化の概況”，(1984)，日本緑化センタ。
- (4) 小橋澄治，奥村武信：乾燥地における砂漠緑化と農業開発 (5)，農業土木誌，57，143 (1989)。
- (5) Use of nuclear reactors for seawater desalination, “IAEA-TECDOC-574”, (1990)。
- (6) HATTORI, S., HANDA, N.: Use of super safe, small and simple LMRs to create green belts in desertification areas, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 60, 437 (1989)。
- (7) 植田伸幸，他：超小型安全高速炉の概念検討(I)，(II)，原子力学会「1990年会」要旨集，D38，D39。
- (8) 服部慎男：超安全を目指す超小型高速炉，エネルギー，24(1)，(1991)。

○核融合科学研究所・教官 公募○

装置技術研究系電源技術開発部門

公募人員 (A)助教授1名，(B)助手1名

担当分野 大型ヘリカル装置の試作開発・設計・建設に関する技術開発を行う装置技術研究系にあって、大型超伝導コイル系の励磁および制御用の電源に関する技術開発および新しい核融合電力技術の開発研究を行う。

着任時期 採用決定後なるべく早い時期

応募資格

(A)助教授 ①博士(工学または理学の分野)の学位を有することが望ましい、②超伝導マグネットの電流制御または電力機器・制御のいずれかの分野に関する研究または技術開発の経歴を有すること。

(B)助手 ①電気工学に関して、大学院修士課程と同等程度以上の学力を有し、すでに博士(工学または理学の分野)の学位を取得しているか、あるいは学位を取得する意志と能力のある者、②超伝導コイルの電流制御に関するソフト、ハード両面の設計と実験に従事することに意欲のある者。

提出書類 ①履歴書(市販の用紙を使用し、可能な就任時期を明記)、②研究歴、③就任後の抱負、④発表論文リスト(和文と英文は別葉とする。共著の論文については、共著者名をすべて記入する。なお、論文について、レフリーによる審査(査読)を経たものであるか、否かの区別を明確にする)⑤論文別刷(主要な論文(投稿中または投稿予定を含む)3編程度の別刷(A各6部(B各4部)、⑥推薦書(推薦者がある場合)または応募者について参考意見を述べ得る人がある場合は、その氏名(2名程度)と連絡先を記載した文書。

上記の書類は、履歴書以外は原則としてA4判横書きとし、それぞれ別葉とすること。また、各書類のすべてのページの右上隅に応募者氏名を必ず記入すること。

公募締切 (A)助教授 7月12日，(B)助手 6月28日 必着
書類提出先 (〒464-01)名古屋千種区不老町

核融合科学研究所 所長 飯吉厚夫

問合せ先 核融合研・装置技術研究系主幹 山本純也

(052-781-5111, 内線 4546; 0572-57-4777 (土岐地区))

(郵送の場合は封筒に(A)は「助教授公募関係書類」、(B)は「助手公募関係書類」と朱書きし、書留とする)