

VII-21 死海発電と逆浸透(RO)膜法による海水淡水化計画

高知工科大学工学部	学生員	○中本良徳
高知工科大学工学部	学生員	公文勇喜
高知工科大学大学院	学生員	福原隆一
高知工科大学工学部	正会員	村上雅博

1. はじめに

近年、新水資源開発が中東和平構築のプロセス上で望まれるなか、死海とヨルダン川地域の水資源・エネルギー総合開発プロジェクトの一つとして死海発電と逆浸透(RO)膜法による海水淡水化技術を利用した水資源開発が再検討されている。本論は、死海発電とROによる海水淡水化計画のポテンシャルについて検討したものである。

2. 死海発電計画の経緯

死海発電計画は中東和平プロジェクトとして、20世紀初頭から検討され始め、地中海・紅海と死海を結ぶ27にも及ぶルートの中案計画が1980年代から検討された(図-1参照)¹⁾²⁾。

死海発電計画は平和プロジェクトの一つとして提案されたのだが、政治的対立と火力・原子力発電計画との経済比較において、企業化適性プロジェクトとしての条件を欠く結果となり中座した。ところが1991年に開かれたマドリード和平会議でパレスチナとイスラエルにより地中海-死海ルート(Mediterranean-Dead Sea)が中東和平構築の象徴として死海発電計画の再検討が始まった。

1994年にはイスラエルとヨルダンによる和平協定により、紅海-死海ルート(Red-Dead Sea)での水力発電を主目的とした提案がなされたが、両国の国境線を通るルートであり政治的に大変デリケートな問題を含んでいたこと、地質(リサン苦灰岩層)が軟弱地盤であること等から、プロジェクトの実行が困難と見なされていた。

しかし、2002年8月にヨハネスブルグで開かれた国連環境開発サミットによって死海の環境保全を主目的に提案された紅海-死海ルートが再検討され始めた。それは、1995-2001年の間に死海が低下し、水循環系と周辺気候への悪影響が沿岸国の問題として認識されたことによる。

3. 地中海-死海発電計画

地中海-死海発電計画では、死海水面の実蒸発量16億m³/年に相当する地中海の海水(比重:1.03)をガザからブースターポンプで100m引き上げ、山岳導水トンネルを経由し、有効落差500mを利用した水力発電が計画されていた(図-1.2参照)²⁾。

本論では、紅海-死海発電計画(理論包蔵水力は310MW、理論発電施設容量は264MW、年間発電能力は23.1億kWh)で用いられた水理条件(ブースターポンプ200m、有効落差600m)を使用し、理論包蔵水力(kW)、理論発電施設容量(kW)、年間発電能力(kWh)を、以下の(1),(2),(3)式を用いて、死海発電が有するポテンシャルを評価した¹⁾²⁾³⁾。ただし、比重: $W_s=1.03$ 、有効水頭: $H_e=600\text{m}$ 、流量: $Q=50.7\text{m}^3/\text{s}$ 、合成効率: $E_f=0.85$ と仮定する。

$$\begin{aligned} \text{理論包蔵水力: } P_{th} \text{ (kW)} & \quad P_{th} = 9.8 \times W_s \times Q \times H_e & \dots\dots\dots (1) \\ \text{理論発電施設容量: } P \text{ (kW)} & \quad P = P_{th} \times E_f & \dots\dots\dots (2) \\ \text{年間発電能力: } W_p \text{ (kWh)} & \quad W_p = 365 \times 24 \times P & \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

地中海-死海ルート(理論包蔵水力は307MW、理論発電施設容量は261MW、年間発電能力は22.8億kWh)となり、紅海-死海ルート案とほぼ同じ発電能力があることになるが、導水路の距離が短く(図-1参照)、プロジェクトの経済性は地中海ルートの方が遥に有利になる。しかし、政治的問題(イスラエル/パレスチナ紛争)のために具体的な検討作業に入れない状況にある。

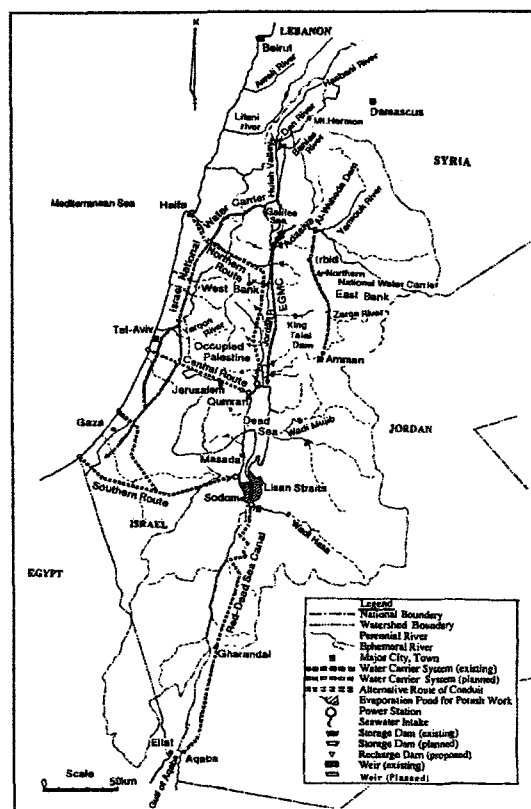


図-1 死海発電計画の代案ルート

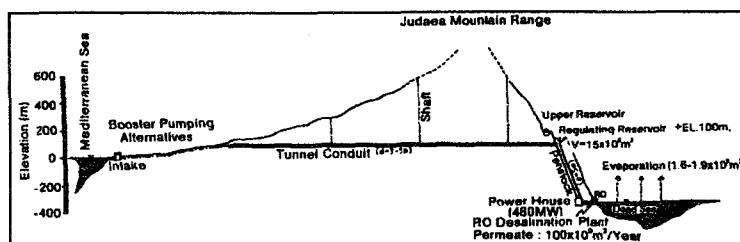


図-2 地中海-死海発電計画の断面図

4. 死海発電に海水淡水化を組み合わせた複合開発計画

4-1. 逆浸透 (RO) 膜法による海水淡水化

海水淡水化と膜分離(RO)技術は、21 世紀の世界の水資源問題解決のためのキーテクノロジーとなっており、逆浸透(RO)膜法による海水淡水化は、河川や地下水に恵まれない乾燥地域や離島上における重要な水源の一つになっている。RO 海水淡水化プラント造水コストは、逆浸透膜技術の進歩と省エネルギー化により、この 10 年間で 1.6US\$/ m^3 から 0.6–0.9US\$/ m^3 に半減³⁾し、有効な技術代案になってきた。RO 海水淡水化プラントの基本構成は、取水設備、前処理設備(砂濾過・薬品注入)、高圧ポンプ、RO ユニット、後処理設備から成る(図-3 参照)²⁾。高圧高回収率を達成するためには従来圧(6.5MPa、淡水回収率 40%)より更に高い圧力での逆浸透操作を行い、供給海水量や排出される濃縮海水量を減少させ、前処理設備や動力費を削減することにある。

プラントの心臓部をなす逆浸透膜モジュールを別に考えると、取水や前処理工程にかなりの設備費やスペースが占められている。運転費では高圧ポンプによる電力費が最も大きい。従って、造水コスト低減には取水・前処理設備の容量縮減及び高圧ポンプ所要動力削減が重要となる。回収率(海水から真水を生産する割合)を上げれば、供給海水量を減らせるため、取水・前処理の容量を下げる事が出来る。しかし、高回収率になれば逆浸透モジュール内の海水の濃縮比率が上昇し浸透圧が上がってしまうため、高圧操作が必要となる。最近、運転圧力 8.3MPa、淡水回収率 60%の高圧高回収モジュールが開発され、従来法に比べて約 20%の造水コストの削減が可能となってきた⁴⁾。

4-2. 複合開発計画のポテンシャル評価

本論では、最新の技術を取り入れて、地中海-死海発電に RO 海水淡水化を組み入れた複合開発計画のポテンシャルを評価した。

回収率 60%と仮定すると、死海周辺地域の 2020 年の水需要量に相当する年間 1 億 m^3 の淡水を生産するためにはその 1.67 倍 (=1/0.6、年間 1.67 億 m^3)の海水取水が必要である。地中海から死海への年間導水量は死海の実蒸発量に相当する 16 億 m^3 であり、そのうち 10.4%の 3.17 m^3/s が RO 淡水化プラントに供給され、残る 89.6%の 45.42 m^3/s が水力発電に使われる。そこで、(1)、(2)、(3)式を用いてポテンシャルについての計算を行うと、理論包蔵水力は 275MW、理論発電施設容は 234M、年間発電能力は 20.5 億 kWh となる。電気料金を国際標準価格の 0.1US\$/kWh と仮定すれば電力収入は年間 2.1 億ドルとなる。また、水の価格を 1US\$/ m^3 と仮定すれば水道収入は年間 1.0 億ドルとなる。

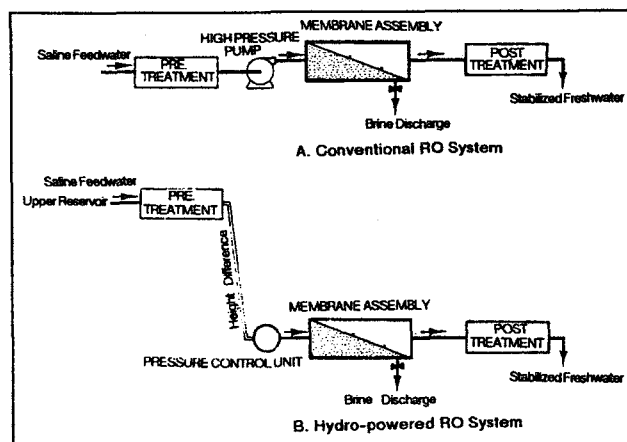


図-3 RO 海水淡水化プラントの基本構成

5.まとめ

死海は、国際水域である為に国際水利権問題が生じるので、死海発電と逆浸透膜(RO)膜法による海水淡水化計画は平和的国交がなければできないため、実現のためには包括的な中東和平が重要なポイントとなる。この計画は、水力発電のみのために開発をするのではなく、RO 膜を利用した淡水化も行うことによって、同時に年間 20.5 億 kWh の電力と 1 億 m^3 の淡水を効率的に生産することができるため経済的である。

6.おわりに

逆浸透(RO)膜式海水淡水化設備普及の最大の課題は、プラント建設費と造水コストの低減である。本研究は経済性、特に造水コストとプロジェクトのフィジビリティについての検討が不可欠である。その経済性の検討については、共著の公文氏の論文である「死海発電・海水淡水化複合開発計画」に述べられている。

参考文献

- 1) 村上雅博, 1994, “死海とヨルダン川の水政治”, 水文・水資源学会誌, Vol.7.No4, pp305-314
- 2) Masahiro Murakami, 1995, “Managing Water for peace in the Middle East”, United Nations University Press, pp202-244
- 3) 大久保光章, 福原隆一, 村上雅博, 2002, “海洋深層水における環境保全システムとミチゲーションに関する一考察”, 四万十・流域圏学会誌第一巻第一号
- 4) 関野正昭, 藤原信也, 1999, “中空糸型逆浸透モジュールによる高圧高回収率海水淡水化技術”, 日本海水学会誌, 第 53 巻第 6 号, pp439-444
- 5) Totaro Goto, Yoshio Taniguchi, Keiichi Ohta, Mitsuyoshi Hirai, 2001, “Progress in SWRO Technology in Japan”, Desalination & Water Reuse, MAY/JUNE 2001・VOL 11/1, pp31-36