

【特集】新エネルギー

「地中海地域における集光型太陽熱発電(MED-CSP)」(2/2) (ドイツ)

- ドイツ航空宇宙センター (DLR) による研究報告 (概要) -

第5章「エネルギー / 水資源供給安全保障のシナリオ」(訳注1)

この章は、地中海地域における再生可能エネルギーの段階的発展の可能性を、2050年までの期間に渡り定量化している(図5参照)。持続可能な供給システムを獲得するための再生可能エネルギーと化石エネルギーの構成バランスは各国で異なる(図8参照)。EU-MENA 諸国は、それぞれ独自の天然エネルギー / 水資源を有しており、需要パターンにも大きな違いがある。本研究のシナリオ (MED-CSP シナリオ) は、技術・経済・環境・社会各方面における規制の枠組みの中で、各国が持続可能な手法で資源の供給と需要とを合致させるための進路を示している。下記の項目は、再生可能エネルギーの市場開発の方向性を絞り込むために MED-CSP シナリオで考慮した、潜在的な障壁と枠組み条件 (シナリオのガードレール) である。

- ・再生可能エネルギー資源の潜在量
- ・再生可能エネルギー技術による生産量の最大成長率
- ・人口増加と経済成長に基づく電力・水資源の年間需要
- ・ピーク電力需要と必要な常時電力量
- ・老朽化し建て替えが必要となる発電所の設備容量 (投資循環)
- ・競合技術との発電コストの比較
- ・投資機会
- ・政策とエネルギーに関する経済的な枠組み条件
- ・既存の送電網インフラと送電網への接続コスト

これらは不変の要素としてではなく、持続可能なエネルギー計画への移行期間に大幅な変化を遂げるものとして分析している。再生可能エネルギーは導入の初期段階では公的支援を必要とするが、ニッチ市場で堅実に成長し、事例の蓄積から得られた知識並びに規模の経済性(訳注2)を活かして、価格は低下していくであろう。2025年以降は、化石燃料の消費に伴う社会的外部費用(訳注3)を勘案しない場合であっても、大半の再生可能エネルギー電力は化石燃料で発電する電力に比べ安価になる(図9参照)。エネルギーコストを長期に渡り低いレベルで安定させるには、再生可能エネルギーが唯一の手段である。

多くの MENA 諸国は経済成長が著しく、今世紀半ばには欧州と同レベルの経済規

模となるであろう。しかし、従来通りの戦略を採った場合、化石燃料/天然水資源は数年で減少し、エネルギーと水のコストは跳ね上がり、社会的対立が生じる可能性がある。その結果、助成金の拠出や社会的対立によって経済の発展は打撃を受けることになる。加えて砂漠化、耕作地の消失、洪水等の気候変動の影響を受ける可能性もある。水資源が不足すれば食糧の輸入量が増えるが、その資金をどのように賄うかは定かではない。

再生可能エネルギーへの転換だけがエネルギー/水資源の適正価格を保障する可能性を持っている。再生可能エネルギーは、化石燃料/原子力発電のように長期の助成金制度を必要としない。EU-MENA 諸国が再生可能エネルギー新技術導入のために協調行動を取る中で、唯一求められるのは初期投資である。図7と8を比較すれば、MENA で増加している電力需要を満たす持続可能な手段は、再生可能エネルギーだけであることが明確になる。2050年にはエジプト、トルコを始めとするMENAの多くの国において、電力消費量がイタリア等のEU諸国の現在の消費量を遙かに上回る。また、イラン、イラク、サウジアラビアといった石油輸出国も同じような傾向を示すようになる。これらの国では、石油という貴重な商品について、輸出品としての価値と国内消費向けの用途という二面性による葛藤が高まるであろう。

MED-CSP シナリオの後期になると、発電用の化石燃料消費量はEU諸国で大幅に減少する。ところが、大半のMENA諸国では再生可能エネルギーの集中的な利用にも関わらず、化石燃料の消費量は増加するか、良くて横ばい状態となる。EUではバイオマス、水力と風力、そしてこの3者ほどではないが他の再生可能エネルギーが最も重要な電力供給源となるであろう。MENAの桁違いに豊富なエネルギー資源は、集光型太陽熱発電設備(Concentrating Solar Thermal Power Plant: CSP)で得られる太陽エネルギーであり、MENAのほとんどの国で電力供給の核となる。なぜなら、CSPは要求される多量の電力を供給するにとどまらず、需要に応じて常時電力量としても供給できるためである。

これに加えて、モロッコ、エジプト、オマーンでは風力も主力エネルギー資源であり、トルコ、イラン、サウジアラビア、イエメンの各国は地熱発電も利用可能である。水力/バイオマスエネルギー資源の多くはエジプト、イラン、イラク、トルコに局在している。太陽光発電設備(PV)は、初期の段階では分散型・遠隔地での利用が主な適用例となる。今後更にコストが下がれば、PVで発電した電力の送電網に占める割合は増加していくであろう。MED-CSPシナリオの後期では、砂漠地域での大規模PVシステムの導入が実現可能になる。しかしながら、常時電力量に占めるPVの発電量はごく限られた範囲である。一方、CSPは需要に対応して常時電力量に相当する電力を供給することができる。

図5(発電量)と図6(導入容量)を比較すると、2050年までにCSP設備導入容量は風力、PV、バイオマスそして地熱発電設備の合計にほぼ等しくなることが分かる。ただし、建物一体型の太陽熱発電システムの蓄熱能力によって、CSPが供給する年間発電量はこれらのエネルギー資源の2倍に相当する。

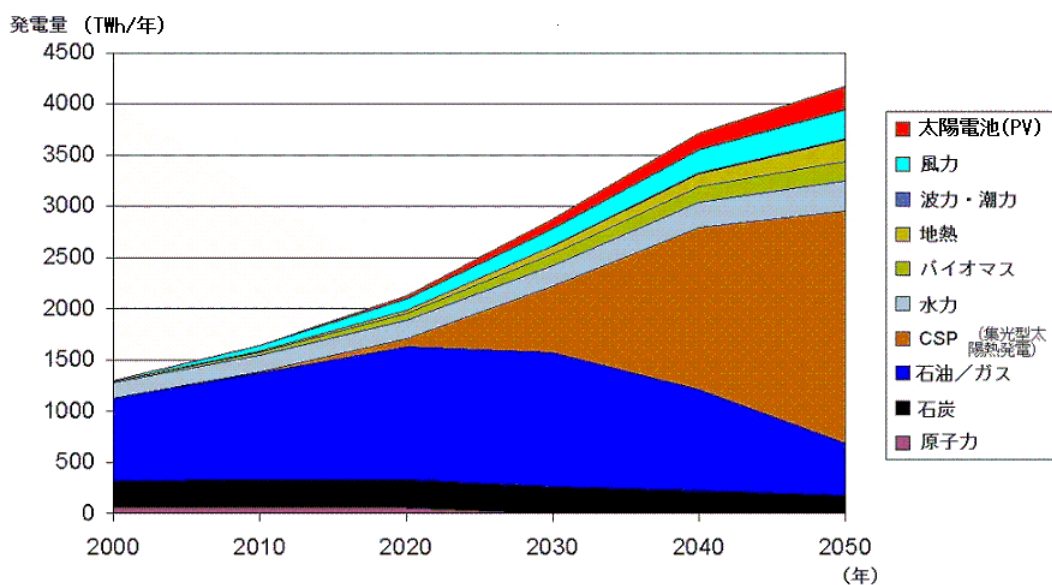


図5. MED-CSP シナリオの対象各国における年間発電量

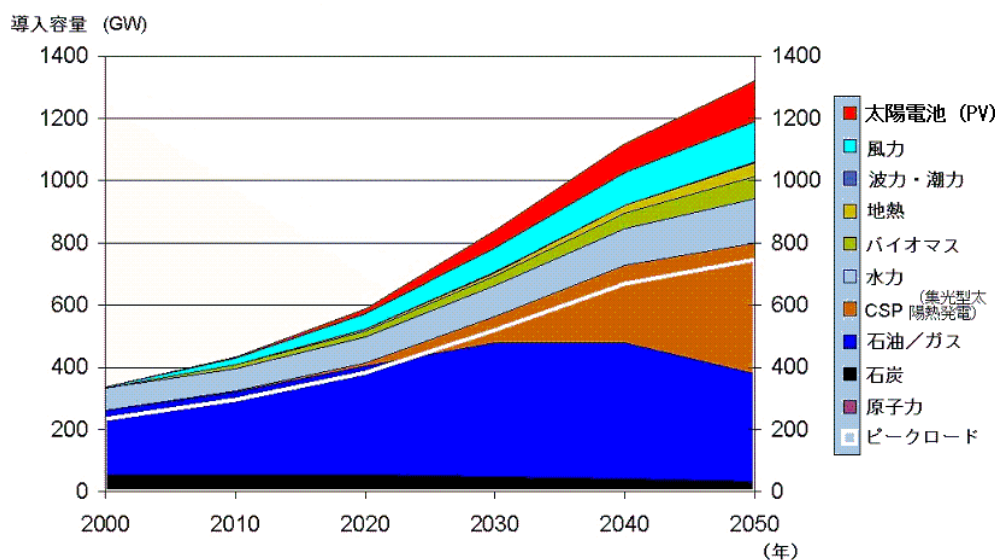


図6. MED-CSP シナリオの対象各国における発電設備導入容量とピークロード

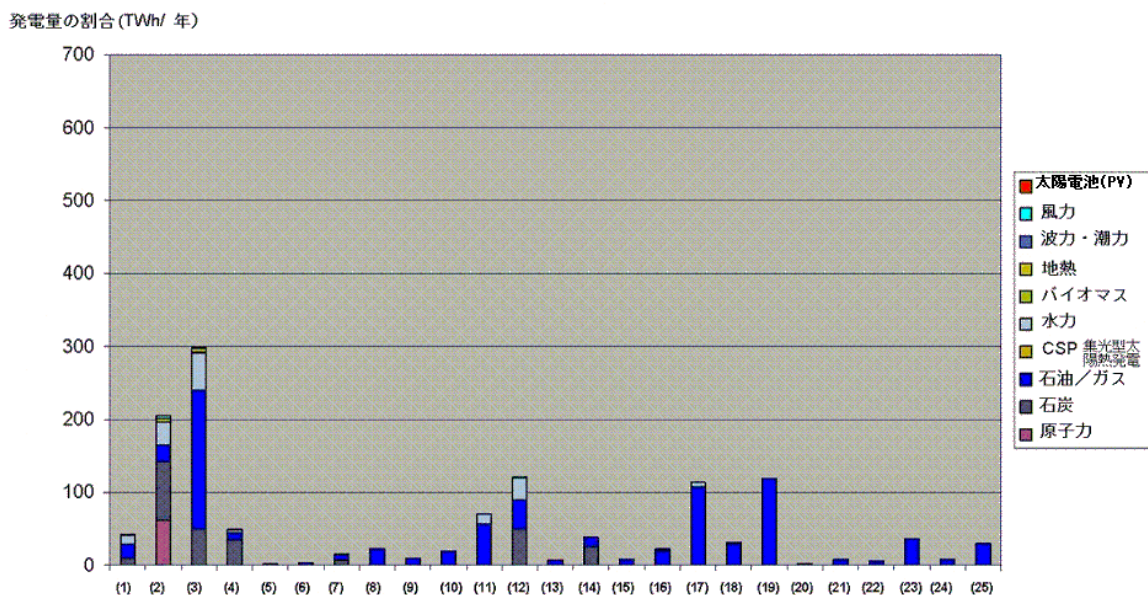


図 7. 発電量に占める各技術の割合 (2000 年)

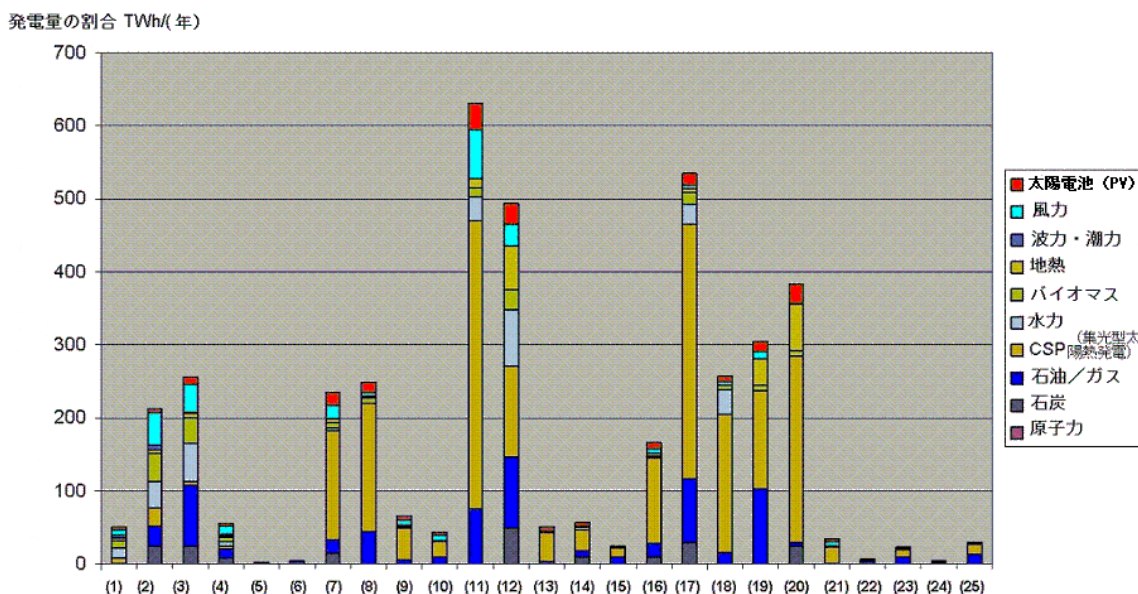


図 8. MED-CSP シナリオの対象国における電力消費量の合計
並びに発電量に占める各技術の割合 (2050 年)

図 7・8 の国名は次のとおり：(1)ポルトガル、(2)スペイン、(3)イタリア、(4)ギリシャ、(5)マルタ、(6)キプロス、(7)モロッコ、(8)アルジェリア、(9)チュニジア、(10)リビア、(11)エジプト、(12)トルコ、(13)ヨルダン、(14)イスラエル、(15)レバノン、(16)シリア、(17)イラン、(18)イラク、(19)サウジアラビア、(20)イエメン、(21)オマーン、(22)バーレーン、(23)アラブ首長国連邦、(24)カタール、(25)クウェート

第 6 章 「MED-CSP シナリオの社会経済への影響」

この章は、本研究で開発されたシナリオが社会経済面に及ぼす影響について述べている。最も重要性の高い利点は、発電コストを低レベルで安定化させ、エネルギー部門に要する助成金を削減することである。殆どの国ではエネルギーの輸入依存度が低下し、産業開発に伴う新規雇用機会が創出される。2050 年までに、EU-MENA 地域では再生可能エネルギー部門の直接 / 間接的な雇用者数が 200 万人に達するかも知れない。

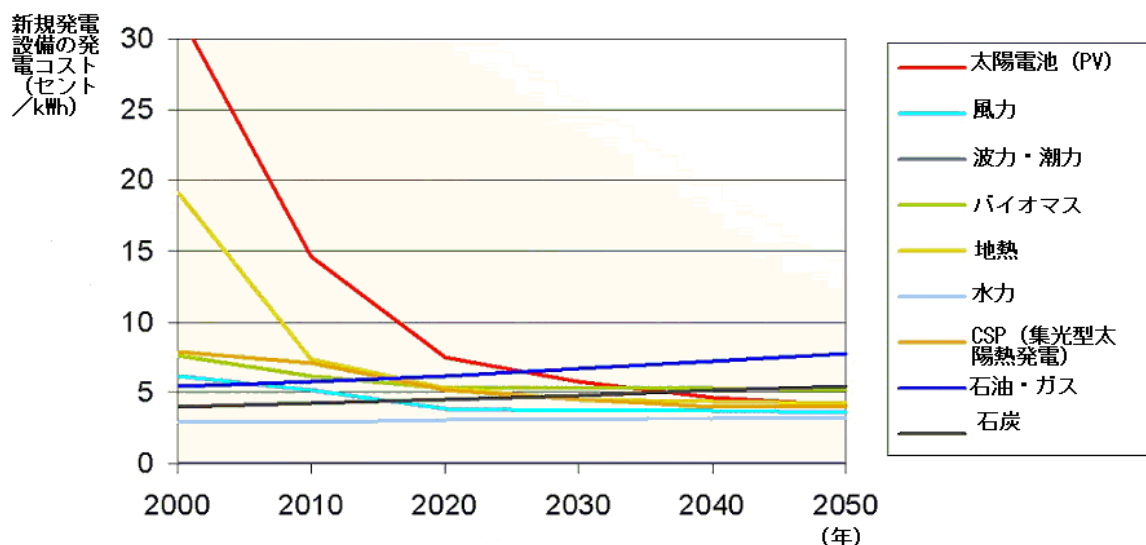


図 9. MED-CSP シナリオによる発電コストの例

再生可能エネルギーは多額の公的援助を要するとの憶測から、経済性と環境保全の二律背反性を揶揄する声もしばしば聞かれる。確かに、CO₂ 隔離等の手法は追加の発電コストを発生させるが、これは再生可能エネルギーに該当することではない。再生可能エネルギーは電力市場に定着するまでの一時的な措置として、初期段階のみ援助を必要とするが、短期間でより安価な発電技術の選択肢となるだろう (図 9・10 参照)。欧州委員会 (EC) は、化石燃料発電について 5 セント / kWh の外部費用を内在化することを認めているが、この金額を考慮しない場合にも、再生可能エネルギーの方が安価になる。現在、化石燃料 / 原子力発電に対する助成金は長期の拠出が必要で、金額も確実に増加しており、優先的に適用されている。これと対照的な再生可能エネルギーに対する一時的な公的援助は、より適切で安価な電力供給システムへの公共投資と見なすべきである。

電源構成に再生可能エネルギーを組み込み、発電コストを 2020 年までに化石燃料と同額にするためには、計算上、その間に累計 750 億ドルの初期投資費用がかかる (図 10 参照)。しかし、従来通りのシナリオに準拠した場合に比べ、分析対象の国々

は 2020 年以降 2050 年までに 2,500 億ドルのエネルギーコストを回避できる。ここで留意すべき点は、比較対照の化石燃料ベースのシナリオが、石油 1 バレル当たり 25 ドル、石炭 1 トン当たり 49 ドルという価格を起点とし、年間上昇率はわずか 1% と設定していることである。現在の状況からは、この価格はかなり控えめと思われる。（現在の価格レベルは石油 55 ドル/バレル、石炭 65 ドル/トンであり、2003 年以降の年間上昇率は 40% である。）

従来通りのシナリオでは、MENA の経済成長に伴う電力需要の増加によって温室効果ガス排出量が EU と同レベルになり、各国の経済に多額の外部費用をもたらす。燃料価格の高騰と CO₂ 隔離の追加費用は経済発展上の深刻な負担となる。化石燃料とは対照的に、再生可能エネルギー技術のコストは減少していく（図 9 参照）。これは化石燃料資源の欠乏に由来する現象ではなく、最先端の技術と知見によって導かれる結果である。この場合、経済が停滞した状況に比べ、経済成長が著しい場合には効果的な再生可能エネルギー関連施策の適用性が高まり、エネルギー需要とコストの削減が速やかに進行する。したがって、再生可能エネルギーは経済に負担を与えず、その成長を助長することになる。

MENA 諸国が再生可能エネルギーから受ける恩恵は、エネルギー部門への助成金削減であるが、世界市場から燃料を購入しなければならないヨルダンやモロッコのような国々では特にメリットが大きい。低コストで供給を保障されたエネルギーによって、これらの国々の経済成長が支えられる。石油/ガスの輸出国は、国家第一の輸出商品を消費せずに済み、長期的には太陽エネルギーで発電した電力を輸出する可能性も出てくる。MENA の再生可能エネルギー産業が強化されれば有能な人材の雇用機会が増え、現在発生している頭脳流出の防止にもつながる。

差額（百万ドル/年）

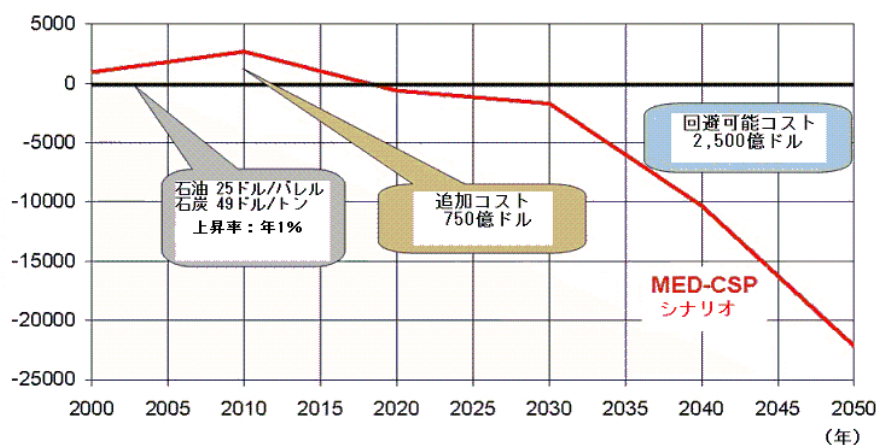


図 10. MED-CSP シナリオと化石燃料を主なエネルギー源とした従来通りのシナリオとの分析対象国における発電コストの差額（年間合計金額）

- ・ プラスの金額 = 初期の追加コスト、マイナスの金額 = 従来通りのシナリオと比較した場合の回避可能コスト
- ・ 2050年までの初期追加コスト累計額は750億ドル、回避可能コストの累計額は2,500億ドルとなる。初期追加コスト/回避可能コストは、石油・石炭の価格並びに価格上昇率、CO₂排出量削減政策等により変動する。詳細は、報告書本体に記載されている。このような変動要因をすべて勘案しても、再生可能エネルギーと化石燃料エネルギーの発電コストはいずれかの時期に同額となる。

MENAの水資源供給問題は非常に危機的な状況である。ある地域では、地下水の水位が年間6メートルも下降している。イエメンの首都サナアのような大都市では、給水量が減り、地下水資源も10年以内には枯渇してしまうかも知れない。考えられる唯一の解決策は大量のエネルギーを消費する海水淡水化技術である。しかし、化石/原子力エネルギーを基本とする戦略では適正な価格の水資源供給システムを構築できないだろう。そこで前述のとおり、太陽熱発電を始めとする大きな潜在力を持つ再生可能エネルギーが、MENAにおける水資源の枯渇問題を解決する鍵となるであろう。

第7章「MED-CSP シナリオの環境への影響」

この章は、シナリオの環境面に対する影響に主な焦点を当てている。電力需要の増加に関わらず、発電によるCO₂排出量は40%減少する(図11参照)。再生可能エネルギーは広大な土地資源を必要とするという考え方は、よくある誤解である。化石燃料と原子力を含む全ての発電技術の中でも、必要な土地面積が最も狭いのは太陽エネルギー発電である。というのも、化石燃料/原子力発電設備は立地場所だけでなく、採掘、輸送や廃棄に関するインフラについても別途土地を使用するためである。このような土地資源の必要量は発電設備のライフサイクルを通して全体のバランスを考慮した上で判断すべきものであり、太陽エネルギー発電システムは、このような追加のインフラに広大な土地資源を要しない。

更に、風力発電地帯は農業や放牧等の用途にも活用でき、太陽電池(PV)システムは建物の屋根や壁面に組み込まれることがある。そして集中太陽熱コレクター施設では、集熱器がブラインドのような役目を果たし設置場所の下に一部日陰ができるため、養鶏場や温室等の農業用途にも利用できる。これらの発電設備は土地を消費するのではなく、砂漠地域において新たな土地の活用場所を獲得するだろう。

ほとんどの再生可能エネルギー発電技術は、発電中にCO₂を排出しない。発電設備のライフサイクル全体で見ると、CO₂が排出されるのは設備建設時のみである。しかし、電力部門に占める再生可能エネルギーの割合が増加すれば、結果として建設時のCO₂排出量も減っていくだろう。なぜなら、化石エネルギーの消費がCO₂の排出要因だからである。

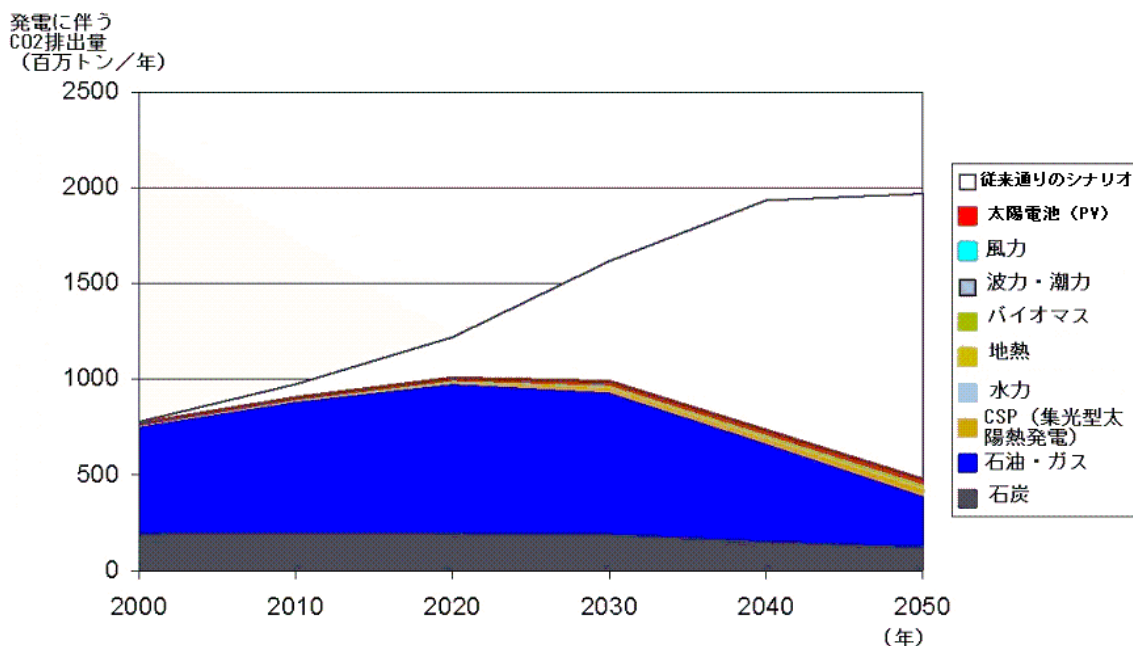


図 11. MED-CSP シナリオの全対象国における発電に伴う CO₂ 年間排出量
並びに従来通りのシナリオに基づく CO₂ 年間排出量 (百万トン)

化石エネルギー発電システムによる CO₂ 排出量は、再生可能エネルギーに比べ 1 ~ 2 桁多い。CO₂ 隔離技術はエネルギーを消費するために更なる排出量の増加を招き、隔離すべき CO₂ が増えるという一つの悪循環に陥る。しかし、この技術は持続可能性を実現する戦略の一手段にはなるだろう。

従来通りのシナリオによれば、分析対象の国々が排出する CO₂ は人口増加と経済成長によって現在の 7 億 7,000 万トン/年から、2050 年には 20 億トン/年となり、地球全体並びに地域の気候に多大な影響を及ぼす。MED-CSP 研究から我々が導き出した戦略の場合、2050 年の年間排出量はわずか 4 億 7,500 万トンとなる。これはドイツ連邦政府地球気候変動諮問委員会 (WBGU) が設定した目標に一致しており (図 11 参照) 電力部門からの排出量は 1 人当たり年間 0.58 トンという数値を達成する。従って、2050 年までには 280 億トンの CO₂ 排出量が削減されることになる。この量は現時点における世界全体の年間排出量に匹敵する。

第 8 章「再生可能エネルギー技術に関する政策導入」

この章は、京都議定書から減税措置、電力買い取り法、国際グラントに至るまでの政策手段と財政措置の可能性について述べている。MENA 地域では再生可能エネルギー電力 (RES-E) の導入戦略が必須である。この戦略は、根本的な政策変更により発生が想定される投資家のリスクを、各国の RES-E 奨励策を機能させて削減すると

いう国際的な合意に基づいて実施すべきである。電力部門の規制は国によって様々であるため、それぞれの国で異なる政策手段を講じることが望ましい。国内で実行する政策手段は、特定あるいは一連の技術に関連付けるべきである。送電網の拡大と送電網への公平な接続は必須要素である。金融機関の支援は他の手段を補完するためのもので、プロジェクトベースでの導入が求められる。RES-E 技術の導入には国際間の合意が条件となるので、支援を行う特定の金融機関を設立するか、既存の金融機関に対し、資金の流れが二国間にまたがる場合の処理方法の変更、または特別信用保障枠の提供も発生するかも知れない。

プロジェクトの計画に際しては、化石燃料に関する機会費用^(訳注4)の実際の額を使用しなければならない。通常は、国際市場価格を流用する。化石燃料に対して助成を行う国においても、同様である。

「再生可能エネルギーと化石エネルギーの発電コストが同額になる 15 年後まで、再生可能エネルギーの市場シェア増加に必要な 750 億ドルという初期投資費用は誰が負担するのか」という質問は理にかなったものである。原則的には、この戦略で直接恩恵を受ける電力消費者である。仮に、初期投資費用を EU-MENA 地域の全電力消費者が平等に負担した場合、年間 10 ドルが電気料金に追加され、15 年間で(必要な量の)再生可能エネルギーを市場に導入する資金が賄える。15 年を経過した後、全ての消費者は低額で安定したエネルギーコストの利点を享受し、従来通りのシナリオに従った場合の、変動しやすく高いエネルギーコストの負担を免れることができる。

750 億ドルという金額は、2050 年までに商用第 1 号機の核融合炉を開発・建設するために必要な(そして既に費やした)投資費用に相当する。2050 年までに最初の融合炉が実現するなら、その間に再生可能エネルギーの導入で削減可能な CO₂ 排出量、280 億トンとは全く削減できない。更に、化石エネルギー発電を実施しない場合に回避できるコスト約 2,500 億ドル(外部費用を考慮しない場合の金額)も EU-MENA 地域で負担しなければならない。核融合炉の開発事業者によれば、商用第 1 号機の発電コストは 10~12 セント/kWh となる。この金額は 2050 年までに化石燃料発電設備との競合が可能になると思われるが、同期間に電源構成に再生可能エネルギーを導入した場合の平均発電コストに比較すると約 2 倍である(図 9 参照)。従って、賢明で信頼性のある政策を用いて再生可能エネルギーを支援することが肝要である。

各国政府並びに国際政策の責任範囲は、EU-MENA 地域において再生可能エネルギーに関する公平な財務計画を体系化することである。その目的は、現行のエネルギー政策が抱える明らかなリスクを回避すると共に、富、発展及びエネルギー/水資源の供給保障を持続可能にすることである。

MED-CSP 研究チーム

- ・ドイツ航空宇宙センター
(German Aerospace Center : DLR、ドイツ)
- ・国立エネルギー研究センター
(National Energy Research Center : NERC、ヨルダン)
- ・国立科学技術研究センター
(Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique : CNRST、モロッコ)
- ・Nokraschy Engineering 社 (ドイツ)
- ・新・再生可能エネルギー庁
(New and Renewable Energy Authority : NREA、エジプト)
- ・新エネルギーアルジェリア
(New Energy Algeria : NEAL、アルジェリア)
- ・再生可能エネルギー国際研究センター
(The International Research Centre for Renewable Energy : IFEED、ドイツ)
- ・ハンブルク国際経済研究所
(Hamburg Institute of International Economics : HWWA、ドイツ)

謝辞

MED-CSP 研究チームは、本研究を支援してくださった各位に感謝申し上げます。

- ・ドイツ連邦環境・自然保護・原子力安全省 (BMU): プロジェクトへの出資
- ・BMU 所属の Ralf Christmann 氏並びにドイツ技術者協議会 (VDI)・ドイツ電子技術者連盟 (VDE) 他所属の Ludger Lorych 氏 : プロジェクトの効率的な管理運営
- ・世界保護基金 (WWF、米国) の Bernhard Lehner 氏並びにカッセル大学の Lukas Menzel 氏 : WaterGap2.1 モデルに基づいた水資源マップ作成用データの提供
- ・BESTEC 社 (ドイツ): 地熱資源マップの提供
- ・太陽エネルギー技術研究所 (ISET、ドイツ) の Gregor Czisch 氏 : 風力並びに地球全体の日射マップの提供
- ・地中海エネルギー観測所 (OME、フランス) の Manfred Hafner 氏 : Mediterranean Ring プロジェクトの情報提供
- ・中東淡水化研究センター (MEDRC、オマーン) の Mousa Abu-Arabi 氏 : 海水淡水化技術の考察についての多大な協力
- ・バーレーン大学の Waheeb Al-Naser 教授 : 需要サイドの分析に関する支援
- ・環地中海再生可能エネルギー協力委員会 (TREC、ドイツ) 特 に Gerhard Knies 氏 : 有益なディスカッション・フォーラムの機会を設定
- ・その他、本研究を成功へと導くために助力を頂いたすべての方々

(完)

翻訳 : 千葉 朗子

(出典 :

http://www.dlr.de/tt/MED-CSP/Executive%20Summary/MED-CSP_Executive_Summary_Final.pdf, Copyright 2005. German Aerospace Center (DLR), All rights reserved. Used with permission)

(訳注 1) 報告書本体の各章参照先 URL は下記のとおり

(第 5 章 「 エネルギー / 水資源供給安全保障のシナリオ 」)

A Scenario for Energy and Water Security

http://www.dlr.de/tt/MED-CSP/Final%20Report%20on%20PDF/WP5%20Scenario_Final.pdf

(第 6 章 「 MED-CSP シナリオの社会経済への影響 」)

Socio-Economic Impacts of the MED-CSP Scenario

http://www.dlr.de/tt/MED-CSP/Final%20Report%20on%20PDF/WP6%20Socio-Economics_Final.pdf

(第 7 章 「 MED-CSP シナリオの環境への影響 」)

Environmental Impacts of the MED-CSP Scenario

http://www.dlr.de/tt/MED-CSP/Final%20Report%20on%20PDF/WP7%20Environmental%20Impacts_Final.pdf

(第 8 章 「 再生可能エネルギー技術に関する政策導入 」)

Deployment Policies for Renewable Energy Technologies

http://www.dlr.de/tt/MED-CSP/Final%20Report%20on%20PDF/WP8%20Policies_Final.pdf

(訳注 2) 生産規模の拡大によって産出単位当りのコスト低減がもたらされること

(訳注 3) エネルギー利用に伴う人への影響、自然生態系、人間環境への影響といった社会的費用のことであり、エネルギーの市場価格に反映されていないという意味で外部費用あるいは外部性と呼ばれている

(訳注 4) ある経済活動 (選択) に対して、選択されなかった最善の選択肢を選んだ時に得られる価値で測った費用である。逸失利益とも呼ばれる。