

日本グローバル・インフラストラクチャー研究財団

2021年度受託研究プロジェクト報告書概要

## 中東・北アフリカ・欧州広域電力網の経済分析

2022年4月

研究代表者 東京理科大学・教授

高嶋 隆太

## 研究実施者

高嶋隆太 東京理科大学・教授

高森寛 青山学院大学・名誉教授

伊藤真理 東京理科大学・講師

伊藤和哉 政策研究大学院大学・大学院生（博士課程）

綾田雅宏 東京理科大学・学部生

篠村夏椰 日本 GIF 研究財団・インターン（客員研究員）

田中桃花 日本 GIF 研究財団・インターン（客員研究員）

足立紗彩 日本 GIF 研究財団・インターン（リサーチアソシエイト）

## 第1章 序論

湾岸協力会議（GCC/Gulf Cooperation Council）（加盟国：サウジアラビア，カタール，バーレーン，クウェート，アラブ首長国連邦，オマーン）において，エネルギーは，近年の GCC 経済の基盤となっている．GCC6 か国のうち 4 か国でエネルギー関連の輸出が輸出総額の 65%以上を占める．残り 2 か国（アラブ首長国連邦とバーレーン）では，エネルギー関連の項目が，国の輸出全体の 3 分の 1 以上を占めている．GCC 諸国は，世界の原油埋蔵量の 3 分の 1 ほど，天然ガス埋蔵量の約 5 分の 1 を保有し，世界の原油生産量の約 2 割，天然ガス生産量の約 1 割を産出している．これらの化石燃料の輸出は経済成長を支え，この地域に広範な繁栄と急速な発展をもたらした．しかしながら，一方で，工業化，人口増加，海水淡水化の増加により，GCC の各国におけるエネルギー需要が大幅に増加し，一部の GCC 諸国では，長期にわたって輸出レベルを維持することが困難になる可能性があることが指摘されている．このように，GCC 国内における電力需要の増加は，将来的な輸出レベルの維持を困難にし，結果として，政府はエネルギーの多様化戦略に着手せざるを得なかった．すなわち，新たなエネルギー源として，GCC においては，他のエネルギーが豊富であるがゆえに，これまであまり検討されてこなかった再生可能エネルギーを含む他のエネルギー源を，この地域のエネルギーミックスに加えることで，国内のエネルギー生産を輸出のため確保しつつ，二酸化炭素排出量を削減することが可能となる．再生可能エネルギー源の中でも，とりわけ太陽光発電システムの面からは，世界的なサンベルトの中心に位置する GCC 諸国は，世界で最も高い太陽光の当たる場所に位置しており，豊富なエネルギー源を持つ．このことから，この地域の太陽光発電システムでは，年間 1,750~1,930 時間の全負荷運転が期待できる．他の地域と比較すると，これは，年間平均 940 時間の運転しかできないドイツの太陽光発電所とは対照的である．このように，GCC 諸国の太陽光発電は，ドイツや同様のヨーロッパの国の 2 倍の出力を生み出す可能性がある．さらに，GCC の太陽光発電の出力は，日々の需要と季節変動に適している．GCC 諸国のピーク時の電力消費の大きな要素となる空調需要は，太陽光発電の生産量と並行して上昇している．対照的に，寒い気候の国では，太陽光発電システムの生産量が最も少ない寒さと暗い冬の日により電力需要が一般的に最も高くなる．以上より，再生可能エネルギーは GCC 電力システムの全体的な効率を向上させるような電源となりうる．

本研究では，GCC 諸国と欧州，アフリカ地域との合理的な価格決定のシステムを導入し，電力系統が接続されておらず各国が独立である場合，GCC 諸国および他地域の電力系統が接続されている場合，電力系統が接続されていて再生可能エネルギーの発展を見込んだ場合の 3 つのシナリオについて，コスト最小化問題と相補性問題により GCC 諸国または全体の便益について考察する．特に，電力系統の接続による各国の経済的な効果や再生可能エネルギーの発展を見込んだ場合の発送電量，利潤や社会余剰の変化について分析する．

## 第2章 モデル

本研究の基本的な設定として、各国にそれぞれに消費者、生産者が存在し、それぞれのエネルギーの需要と供給があるとする。また、GCCの各国は、模式的に、以下のようにアラブ首長国連邦を中心として、他の5か国と送電網でラディアルに接続されているものと仮定する。また、GCC諸国内の全体での送電網の管理者としてISO(システムオペレータ)が存在し、ISOは、GCC内における短期の電力の需要と供給を、調整する役割を持つと仮定する。本研究では、アラブ首長国連邦を参照ノードとして仮定し、この国を基準にどの程度の電力融通が行われているかに着目する。

まず、発電事業者のコスト最小化問題を解き、各国の需要と価格の情報を得る。また、これらの情報と併せて、各国の発電事業者の発電量と各国間の電力融通の量、発電コストから相補性問題により市場での均衡量を求める。さらに、これらのモデルを用いて、消費者、生産者、ISOのセクター間での均衡について分析する。

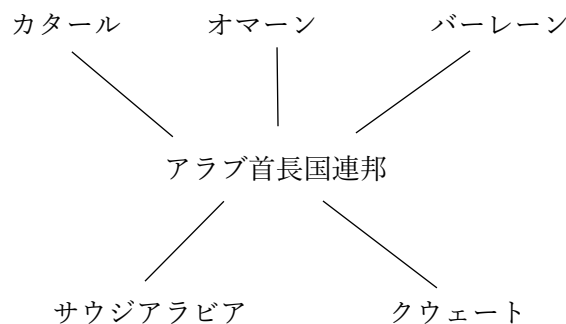


図1: GCC諸国の電力系統の接続

## 第3章 結果及び考察

GCC諸国が他地域と電力網で接続され、電力融通を行うケースを考える。近年、実際に、国際電力網と呼ばれる多国間の電力融通は、欧州や北アメリカを中心に行われている。特に、再生可能エネルギーのさらなる普及の観点から、日射量が多く、太陽光に代表される自然エネルギーの豊富な中東やアフリカ諸国との国際的な電力網の接続は、今後さらに重要度が増すものと考えられる。本分析では、GCC諸国が、EU方面とアフリカ方面へ電力網を拡張し、電力融通を行うケースを考える。EU方面への電力網の拡張は、トルコとの接続、アフリカ方面への電力網の拡張は、エジプトを仮定する。

電力系統が接続されておらず各国独立な場合、電力系統が接続されている場合、電力系統が接続されており再生可能エネルギーの発展を見込んだ場合の3つのケースの社会余剰の結果について比較する。ここで、社会余剰は消費者余剰(CS)と生産者余剰(PS)、ISOの

余剰の合計とする。また、ISO の余剰については、電力網が接続されている国々全体での余剰であることから、分配が難しいことに加え、消費者余剰や生産者余剰と比べて値が小さいことから、個別での分析は行わない。図 2 の結果から、電力網の接続なし、接続あり、電力網の接続と再生可能エネルギーの導入ありの順で社会余剰が大きくなっていることが分かる。特に、GCC 諸国と他地域との電力網の接続と再生可能エネルギーの導入を考えたケースでは、消費者余剰と生産者余剰ともに大きく増加し、より社会余剰を拡大する可能性があることが示された。このことから、GCC 諸国と他地域との電力網の拡大や、今後のさらなる再生可能エネルギー電源の導入は、GCC 諸国のみならず周辺地域も含めた社会余剰を増加させる可能性がある。また、GCC 諸国のみを対象に、社会余剰の比較をしても、他地域との接続を考えたケースでの GCC 諸国をみの社会余剰の合計の方が大きくなり、他地域との接続の優位性が示唆された。

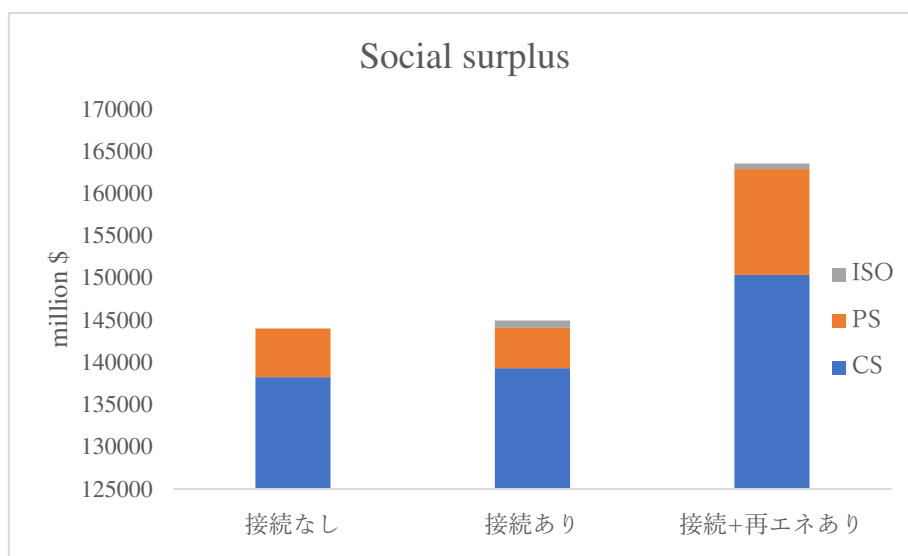


図 2 社会余剰の比較

## 第 4 章 結論

本研究では、GCC 諸国と欧州、アフリカ地域の電力系統が接続されている場合の GCC 諸国の余剰の変化について分析を行った。社会余剰においては、他地域との接続を考えたケースでの GCC 諸国をみの社会余剰の合計の方が大きくなり、他地域との接続の優位性が示された。特に、再生可能エネルギーが普及された場合、この優位性は顕著なものとなる。近年、国際電力網による電力融通は、欧州や北アメリカを中心に行われており、再生可能エネルギーのさらなる普及の観点から、日射量が多く、太陽光に代表される自然エネルギーの豊富な中東やアフリカ諸国との国際的な電力網の接続は、今後さらに重要度が増すものと考えられる。本研究では、GCC 諸国の電力融通に関する社会的便益のみならず、他の地域でも考えられている再生可能エネルギーの普及に関して示唆を与えた結果となっている。

## 参考文献

欧州風力エネルギー協会, "風力発電の系統連用-欧州の最前線-", <http://www.jwea.or.jp/publication/PoweringEuropeJP.pdf>, (01/06/2022).

中国電力(株)エネルギー総合研究所, エネルギー地域経済レポート No.468,2013.

野村証券, "原油価格の急落の持つ意味", [https://www.momuraholdings.com/jp/services/zaikai/journal/p\\_201504\\_01.html\(2022/01/14\)](https://www.momuraholdings.com/jp/services/zaikai/journal/p_201504_01.html(2022/01/14)).

Adnan Z. Amin: RENEWABLE ENERGY MARKET ANALYSIS,2019.

Churkin, A., J. Bialek, E. Sauma and N. Korgin, "Review of Cooperative Game Theory applications in power system expansion planning," Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021.

David Wogan, Shreekar Pradhan, Shahad Albardi: GCC Energy System Overview – 2017, KAPSARC, 2017.

David Wogan, Frederic Murphy, Axel Pierru: The costs and gains of policy options for coordinating electricity generation in the Gulf Cooperation Council, Energy Policy, 452-463, 2019.

KAPSARC, "kapsarc data portal", <https://datasource.kapsarc.org/explore/dataset/electricity-generation-and-peak-load-monthly/information/>, (2021/11/16).

Martin Kristiansen, Francisco D. Muñoz, Shmuel Oren, and Magnus Korpas, A Mechanism for Allocating Benefits and Costs from Transmission Interconnections under Cooperation: A Case Study of the North Sea Offshore Grid, The Energy Journal, 209-234, 2018.

Statista Research Department, "Installed capacity of electricity in 2018, by type", <https://www.statista.com/statistics/975478/saudi-arabia-electricity-generation-capacity-installed-by-type/>, (2021/10/29).

Murphy, F., Pierre, A., Smeers, Y., A tutorial on building policy models as mixed complementarity problems. *Interfaces* 46, 1-17, 2016.

<https://doi.org/10.1287/inte.2016>.