

氏名	アメッド シャラム エディアント Achmed Shahram Edianto
授与学位	博士(学術)
学位記番号	学術(環)博第325号
学位授与年月日	令和4年9月26日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院環境科学研究科(博士課程) 先進社会環境学専攻
学位論文題目	The long and winding road to a global coal phase-out: Overseas financing and future lock-in trends (世界的な石炭火力発電のフェーズアウトへの長く曲がりくねった道: 国際融資および将来のロックインの動向)
指導教員	東北大学教授 松八重 一代
論文審査委員	主査 東北大学教授 松八重 一代 東北大学教授 中谷 友樹 東北大学准教授 小端 拓郎 東北大学客員准教授 Gregory TRENCHER(京都大学)

論文内容要旨

Many countries are phasing out or expediting retirements of coal-fired power plants (CFPPs) to mitigate climate change. However, some 6,500 units totalling 2,000 GW of capacity remain installed globally. In addition, 450 GW of new construction will prolong the lifetime of this fleet. Because of high costs and technological hurdles, construction in developing countries is primarily assisted by public finance from wealthier nations. Troublingly, financing has provided more support to coal-fired electricity than to renewables in recent years. There is thus a need to determine the reasons that explain why funds go to coal more than renewables.

Funding to coal has largely slowed down, with many bans on CPFF financing in place. But the global CFPP fleet has expanded, and there is a need to understand how long it will operate for, what the emissions will be, when retirements will occur, and what factors will drive or prevent this. Predicting the remaining operational lifetime of existing CFPPs is, therefore, a vital step to understand what countries will suffer most from coal lock-in.

In this way, this research aims to elucidate the factors that hamper coal phase-out in the global power sector from two perspectives: international financing and the early retirement of CFPPs.

Specifically, it fixes to objectives:

1. Determines the factors that push international public financing towards coal more than

renewables.

2. Systematically identifies factors that influenced historical CFPP retirements and predict the future retirement ages, estimate carbon emissions based on predicted retirement ages, and quantify how particular countries are locked into coal power.

Data for the first objective was obtained from the Natural Resources Defense Council database (NRDC, 2017), which covers the international investments in coal and renewables from government-affiliated institutions from January 2013 to August 2017. Data for the second objective was collected from Global Energy Monitor to build a sample of retired, operating and under construction units of CFPP. Both quantitative and qualitative approaches are employed to address the research objectives, including analytical framework construction to identify factors from literature and conduct analysis by applying Coincidence Analysis and Supervised Machine Learning.

For the first objective, by applying Coincidence Analysis to 10 factors, two combinations of influencing factors affecting international financing to the power sector are identified in this study: countries with: (i) a bilateral agreement to promote coal industry development and weak or absent carbon pricing; or (ii) weak policy support for renewable energy and weak or absent carbon pricing, will receive more financing to coal than renewables.

For the second objective, the historical analysis revealed that in all country groups, plant-level annual CO₂ emissions are the most important factor influencing the retirement age over the period 2010-2020. This study additionally found that the penetration of renewables in the electricity mix exerts a strong influence on early plant retirement. Based on the retirement prediction analysis, this study found that the future CO₂ emissions based on the remaining lifetime of the operating unit in this study are 38% less than the reference scenario. Despite the less future emissions from coal power, the challenges of some countries being locked in to coal will not disappear. Shown by the analysis on coal lock-in, this study predicts considerable difficulties in achieving early retirements in many countries, especially those characterized by a high dependence on coal power, a large capacity or number of units, and with young fleet ages. This analysis leads to important policy implications to overcome the lock-in situation by

promoting an international financing shift to renewables. First, rather than merely trying to curb the flow of international financing to coal power, recipient countries could focus efforts on improving their investment environment to be more friendly to renewable energy. This dissertation suggests that negotiating bilateral or multilateral agreements that affect infrastructure and energy resource development is a crucial instrument where commitments to decarbonized electricity generation need to occur. In parallel, the importance of carbon pricing regulation should be accounted for. As suggested by the prevalence of carbon pricing schemes in the sampled countries receiving more financing for renewables, the political and socio-economic feasibility to introduce such regulations in the many countries still building CFPPs may be a crucial determinant of the carbon intensity of future financing in the power sector.

Second, this study highlights the need to further strategies to mitigate the effect of coal lock-in. The global climate policy discourse tends to put a heavier weight on pushing retirement of CFPPs when it comes to addressing climate change, without considering the challenges that individual countries face. Nevertheless, this dissertation provides evidence that there is a potential of massive reduction of CO₂ emission from coal power in the future due to the early retirement. However, the risk for being locked-in in the future is still high among developing economies. The implication of this is that to reach the target of climate stability in the future, the focus should not only be limited to push the coal phase-out globally. Instead, the discussion should start from addressing the coal lock-in problem in country with high lock-in, large capacity or number of units, and with young fleet ages of coal power, which represent more than 68% of coal power operation globally.

博士論文審査結果の要旨及びその担当者

論文提出者氏名	Achmed Shahram Edianto		
論文題目	The long and winding road to a global coal phase-out: Overseas financing and future lock-in trends (世界的な石炭火力発電のフェーズアウトへの長く曲がりくねった道: 国際融資および将来のロックインの動向)		
論文審査担当者	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; vertical-align: top;"> 主査 教授 <u>松八重 一代</u> 教授 <u>中谷 友樹</u> 准教授 <u>トレンチャー・グレゴリー</u> (京都大学) </td> <td style="width: 40%; vertical-align: middle; text-align: center;"> 准教授 <u>小端 拓郎</u> </td> </tr> </table>	主査 教授 <u>松八重 一代</u> 教授 <u>中谷 友樹</u> 准教授 <u>トレンチャー・グレゴリー</u> (京都大学)	准教授 <u>小端 拓郎</u>
主査 教授 <u>松八重 一代</u> 教授 <u>中谷 友樹</u> 准教授 <u>トレンチャー・グレゴリー</u> (京都大学)	准教授 <u>小端 拓郎</u>		

論文審査結果の要旨

パリ協定の下で図られている通り、産業革命以降の世界平均気温上昇を 1.5°Cあるいは2°C未満に抑えるためには、世界中の石炭火力発電所を段階的に廃止させることが急務となっている。そのためには、現在計画・建設中の新設事業を中止させた上で、既存の石炭火力発電所の早期廃止を計画的に実現することが、IPCC や、国際エネルギー機構 (IEA) 日本が加盟する G7 などから要請されている。にもかかわらず、多くの発展途上国において電源開発を行う際に、優れた経済性などがゆえに他の電源より石炭火力が優先される傾向が続いている。また日本においても、エネルギー安全保障のために石炭への依存度が依然として高い。同時に、中国や日本、韓国は、産業政策の一環として自国の石炭火力発電技術の海外展開を積極的に推進し、発展途上国への投融資の支援も行ってきた。これらの理由により、世界的に石炭火力発電所の基数および全体設備容量が依然として増加中である。この状況を鑑み、今までになぜ先進国から大量の資金が海外における石炭火力発電の新設事業に流れ込まれたのか、今後それを再生可能エネルギー (以下、「再エネ」) へ向かわせるのには、如何なる課題を打開する必要があるのかを解明することが求められている。他方で、世界的に石炭火力発電所の全体設備容量が増加したため、現在稼働中あるいは建設中の発電所の今後想定される稼働年数、それに伴う二酸化炭素排出量を予測し、それに影響する諸条件を明らかにすることは、世界の温暖化対策にとっても、学術研究にとっても極めて重要な課題であるといえる。

本博士論文は、上記の状況を問題意識とし、次の通り 5 つの章で構成される。第 1 章は序論であり、本研究の背景、先行研究とその限界を概説上で、本研究の目的、方法、新規性を述べた。第 2 章では、世界的に石炭火力発電所の新設事業および全体的発電容量が増加している状況に着目し、石炭火力発電の増加率が最も顕著な国々を紹介した上で、それを可能とした国際的な投融資動向を俯瞰的に考察した。また、その資金の大部分が再エネではなく、石炭火力発電所の建設へ投入されたことを明らかにした上で、本博士論文の学術的な新規性と先行研究への貢献を詳細に説明した。次に第 3 章では、再エネおよび石炭火力発電への投融資に関する世界的動向に着目し、なぜ特定の国において再エネではなく石炭火力発電へ資金が大量に投入されてきたのかを定量的に明らかにすることを主たる目的とした。そのためには、先行研究から関連する影響要因に関する説明を抽出して、最も重要なものを決定するために電力業界の専門家へのアンケート調査を実施した。その後、国際的な電源開発に対する強い影響力が認められた要因が、2013~17 年の間に公共機関からの投融資の支援を受けた電源開発事業に対して実際にどの程度影響を与えたのかを解明するために、「Co-occurrence analysis (偶然分析手法)」という数学的算出方法を採用し、世界銀行や IEA などのデータを用い、23 カ国の投融資状況を検証した。その結果、再エネと比較して石炭火力発電所を建設するのに多くの国際的投融資を受けた国には、炭素の価格付けの規制がなかった、再エネ推進政策が弱った、投融資先の国と石炭業界を発展させるための二国間協力協定が締結されていた、という共通点があることを明らかにした。

第 4 章では、世界の既存石炭火力発電所の稼働状況に着目し、次の 3 つの点を定量的に予測することを目的とした。すなわち、①将来各国において廃止されるまでの個々の石炭火力発電所の稼働年数の予測、②それらの稼働年数による総合的二酸化炭素排出量の定量化、③早期廃止の実現を妨げる「ロックイン」の影響に対する各国の評価。そのためには、各国の石炭火力発電状況に関するデータを Global Energy Monitor や世界銀行、IEA などから取得し、機械学習および「Random Forest」という回帰式の手法を駆使し、過去にいかなる要因が早期廃止に貢献したのかを明らかにした上で、66 カ国における 6541 基の発電所の将来廃止年数、排出量、ロックインの状況の予測を試みた。結果、2010~20 年の間に早期廃止が行われた発電所には、平均より二酸化炭素排出量が多かった、またその国において再エネの割合が拡大したという共通点を明らかにした。また、その国の電源構成において石炭への依存度が高いことや、設備容量が多い、もしくは築年数が少ないという要因が将来、現在稼働中の発電所の廃止の早期化を阻害することを立証した。最後に第 5 章では、本博士論文の主たる結果と含意を取りまとめた上で、政策提言を提示した。

以上のとおり、本博士論文は、気候変動対策のみならず、世界経済と人間活動を支えるエネルギーシステムの脱炭素化を推進する上で極めて重要な課題に挑んだといえる。これまでに石炭火力発電所の新設増加および既設の早期廃止へ影響した諸要因を明らかにし、将来早期廃止を妨げる要因を表す各国におけるロックインの状況を予測したことで、政策立案者、企業実務家、投資家のいずれにとっても大いに注目に値する。また、従来の研究では見られなかった形で新規性の高い方法論を独自に展開し、膨大なデータを地道に収集・分析したことで、学術研究への貢献も非常に大きいと考えられる。さらには、氏の研究成果は、著名な国際雑誌『Energy for Sustainable Development』(Elsevier; Q1, IF 5.655 掲載済) および『Environmental Research Letters』(IOP Publishing; Q1, IF 6.947 査読審査進行中) に投稿された、あるいは査読審査に回されたことから、論文の核心となる部分の科学的価値が国際的に認められたといえる。

以上のような研究成果を踏まえ、本審査会は、本博士論文が合格要件を十分満たしており、氏が自立して学術研究を遂行するのに必要な研究能力および科学知見を取得したものと判断した。

よって、本論文は博士 (学術) の学位論文として合格と認める。