T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	脱炭素社会実現に向けた日本のエネルギー・トランジションによる雇用への影響分析：京都議定書によるCO2削減施策の事後評価を踏まえて
Title(English)	
著者(和文)	栗山昭久
Author(English)	Akihisa Kuriyama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11493号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:阿部 直也,村山 武彦,坂野 達郎,時松 宏治,錦澤 滋雄,増井 利彦
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11493号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

脱炭素社会実現に向けた日本の
エネルギー・トランジションによる雇用への影響分析：
京都議定書による CO_2 削減施策の事後評価を踏まえて

環境・社会理工学院　融合理工学系

地球環境共創コース

栗山昭久

概要

本論文は、「脱炭素社会実現に向けた日本のエネルギー・トランジションによる雇用への影響分析：京都議定書による CO_2 削減施策の事後評価を踏まえて」と題し、全 6 章により構成されている。第 1 章では、パリ協定が目指す、産業革命以降の気温上昇を 1.5℃あるいは 2℃に以内に抑えて、気候を安定化させるために、今世紀後半の出来るだけ早い段階に脱炭素社会の構築が喫緊の課題となっている現状を確認し、欧州を始めとする様々な国が再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションの必要性を掲げ、実際の取り組みを進めている現状を確認した。一方、日本では、福島第一原子力発電所の事故以降に、原子力発電所の安全性に関わる見直しは行われているもの、従来と同様の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換が中心的施策であり、エネルギー・トランジションを志向したエネルギー政策への転換は実現しておらず、その課題をまとめた。

第 2 章では、本論文に関連する重要な既存文献のレビューを通じて、従来と同様の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換を進める政府方針から、再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションを進める方針への軌道修正の必要性を明らかにするとともに、エネルギー・トランジションを進めるための必要な施策について、主要な論点を整理した。その上で、本論文は、トランジション研究の理論的体系の一つである多層的視座（Multi-level perspective）を適用する妥当性を説明し、本論文の目的として、京都議定書の CO_2 削減効果およびエネルギー・トランジションによる雇用の影響の分析を示し、これらの意義を示した。

第 3 章では、第一に、世界レベルでの京都議定書の CO_2 削減効果を定量的に分析し、京都議定書期間において、既存のエネルギー供給システムや制度が維持された背景や、電力部門の取り組みが CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか考察した。その結果、京都議定書の発効は、議定書に署名した各国に削減インセンティブをもたらしたものの、削減目標以上の削減を促すような制度設計になっていなかった課題を明らかにした。第二に、日本では電力部門を中心に、京都議定書目標達成計画で定められた部門別の削減目標を達成するために、2.75 億 tCO_2 の京都メカニズムクレジットを取得したため、日本国内の電力部門の取り組みが進まないだけでなく、日本の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減を進める方針が維持された一因であったと考察した。

第 4 章では、日本国内の原子力発電の CO_2 削減効果を検証し、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果を定量的に評価した。その結果、京都議定書第一約束期間の目標を達成するために、原子力発電の利用促進を中心に電力部門の排出原単位を改善し、CO_2 排出量の削減を計画していたにもかかわらず、実際には、削減を実現していなかったことを明らかにした。これらの結果より、脱炭素社会実現のためには、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換ではなく、再生可能エネルギーや関連技術の導入といった既存のエネルギー供給システムを大きく変えるような変革、すなわち、エネルギー・トランジションを進め

るエネルギー政策の方針の転換を図る必要性があることを指摘した。

第 5 章では、再生可能エネルギーを中心とした　エネルギー・トランジションによる雇用へ影響について、特に発電部門の雇用にもたらされる可能性のある正・負影響を定量的に試算した。その結果、負の影響として、発電事業者や政府を含む利害関係者が火力・原子力発電の早期退役の政策判断を下した場合、中部、中国、四国、九州地域などの一部の地域では火力・原子力発電に関わる発電技術者の余剰が発生することが明らかとなった。余剰となった技術者には、他地域のバイオマス・地熱発電への再就職、同一地域で太陽光・風力発電への再就職、まったくの異業種への再就職のいずれかが選択肢としてありうるが、生活的、心理的負担がかかることからエネルギー・トランジションの障害要因となる可能性を指摘し、これらの技術者に対しては、専門的技能更新や住居移転への政策的支援措置を講じ、雇用者の視点に立った円滑な再就職支援を行うことを提案した。正の影響として、発電部門の脱炭素化を達成することは地方地域で安定した雇用を供給し、地方経済の活性化に貢献する可能性を明らかにし、再生可能エネルギーを維持するための発電技術者及びメンテナス技術者の育成の必要性を指摘した。

第 6 章では、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換を進める政府方針から、再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションを進める政策へ修正する必要性を実証的に示し、その上で、エネルギー・トランジションによる雇用への影響の正負両面から試算した結果を述べ本論文の結論とし、残された研究課題を提示している。

目次

目次 3

1　章　序論 10

1.1.　脱炭素社会に向けたエネルギー・トランジション 10
1.2.　トランジションの位置付けとエネルギー・トランジション 13
1.3.　エネルギー・トランジションの課題 14
1.3.1.　エネルギー・トランジションと社会問題 14
1.3.2.　諸外国と日本におけるエネルギー・トランジションの状況 15
1.4.　本研究を進める上での問題提起 21

2　章　既往研究のレビュー 24

2.1.　本章の目的と構成 24
2.2.　トランジション研究の理論的体系 25
2.2.1.　トランジション研究の視座 25
2.2.2.　エネルギー・トランジションと雇用の関係 29
2.2.3.　トランジション研究の今後の展望 31
2.2.4.　日本におけるエネルギー・トランジションに関わる既往研究 32
2.2.5.　トランジションの多層的視座に基づく研究課題の位置付け 36
2.3.　京都議定書の CO_2 削減効果分析に関する文献レビュー 38
2.3.1.　京都議定書と京都メカニズム概要 38
2.3.2.　世界全体での京都議定書の CO_2 削減効果分析 41
2.3.3.　日本国内での京都議定書の CO_2 削減効果分析 43
2.4.　日本国内の気候変動政策とエネルギー問題 45
2.4.1.　京都議定書が発効するまでの日本の気候変動政策 45
2.4.2.　京都議定書第一約束期間中の地球温暖化対策推進法及び京都議定書目標達成計画 46
2.4.3.　京都議定書第一約束期間後の CO_2 削減目標 46
2.4.4.　日本のエネルギー政策と気候変動政策の関係性 48
2.5.　日本におけるエネルギー・トランジションと雇用問題に関わる文献レビュー 50
2.5.1.　エネルギー・トランジションと雇用問題の分析の焦点 50
2.5.2.　技術者全般に対する労働市場の現状 51
2.5.3.　エネルギーの脱炭素化に向けた政策実施による地域雇用への影響 52
2.6.　日本のエネルギー・トランジションと雇用問題に関する政策事例研究 56
2.6.1.　石炭産業からのフェーズアウト施策 56
2.6.2.　近年の産業施策の教訓 58
2.6.3.　地方地域に雇用をもたらす「緑の雇用」政策からの示唆 59
2.7.　本研究の意義と目的 62

3　章　パネルデータ分析に基づく京都議定書の世界レベルでの CO_2 削減効果分析 64

3.1.　本章の背景と目的 64
3.2.　京都議定書による CO_2 削減インセンティブ 64
3.2.1.　京都議定書と各国の関連性 64
3.3.　分析手法 65
3.3.1.　STIRPAT モデルに基づく附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析 66
3.3.2.　STIRPAT モデルに基づく附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析に用いたデータ 69
3.3.3.　非附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析 72
3.3.4.　非附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析 に用いたデータ 74
3.3.5.　実削減を伴わない京都メカニズムクレジット量の算定 74
3.4.　結果と考察 76
3.4.1.　附属書 B 国における京都議定書による CO_2 削減効果 76
3.4.2.　附属書 B 国における京都議定書による CO_2 削減効果分析の今後の課題 79
3.4.3.　非附属書 B 国における京都議定書による CO_2 削減効果 80
3.4.4.　京都議定書第一約束期間の CO_2 削減効果 81
3.4.5.　京都議定書第一約束期間中の実削減を伴わないクレジット量 81
3.5.　3 章まとめ 84

4　章 CO_2 排出量要因分解分析に基づく京都議定書の日本における CO_2 削減効果分析 85

4.1.　本章の背景と目的 85
4.2.　日本の CO_2 排出量の増減要因分析手法とデータ 85
4.2.1.　要因分解分析の分析手法 85
4.2.2.　要因分解分析に用いたデータ 88
4.3.　結果と考察 89
4.4.　4 章まとめ 93

5　章　日本の電力部門の脱炭素化に向けたエネルギー・トランジションによる雇用への影響分析 .. 94

5.1.　本章の背景と目的 94
5.2.　分析手法及びデータ 95
5.2.1.　地域別の 2050 年電源構成及び 2050 年までの排出の作成手法とデータ 95
5.2.2.　雇用係数の作成手法とデータ 98
5.2.3.　火力・原子力発電のフェーズアウトパスの作成 102
5.2.4.　労働年齢人口の分布に関するジニ係数の計算 103
5.3.　結果と考察 104
5.3.1.　エネルギー・トランジションシナリオにおける電力部門の地域別雇用量の結果 104
5.3.2.　火力・原子力発電所の技術者数の余剰量と再就職の機会に関わる分析 106
5.3.3.　地域別の労働人口に対するジニ係数 110

5.3.4.　本分析における雇用者数推定の手法的限界 111
5.4.　5 章まとめ 113
6　章　結論 115
6.1.　本研究の結論 115
6.2.　今後の課題 118
付録 1　拡張平均グループ（AMG）推定量の理論的背景 120
付録 2　十地域別の電源構成の作成プロセス 121
付録 3　CO_2 排出量の変動の主要要因の時系列変化 123
付録 4　十地域別の電源構成の作成結果 128
付録 5　太陽光発電および風力発電のメンテナンス要件に関する動向 133
参考文献 136

図目次

図 1-1　全世界の歴史的排出量と気温上昇に応じた将来の排出量経路..... 11
図 1-2　リファレンス技術シナリオから 2℃目標整合シナリオに向けた技術別削減ポテンシャル 11
図 1-3　脱炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー及び火力発電が電源構成に占める割合推移 12
図 1-4　トランジションの時間軸と様々な経路 14
図 1-5　現行の政策が導入された場合の全発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合15
図 1-6　電力制度改革の工程と電事事業法改正スケジュール 21
図 1-7　京都議定書期間中の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減を進める社会階層 23
図 1-8　パリ協定採択以降の再生可能エネルギーを中心とするエネルギー・トランジションによる CO_2 削減を進める社会階層出典：Geels (2002)を基に筆者作成 23
図 2-1　様々なイノベーションの組み合わせによるトランジション 27
図 2-2 トランジション研究における多段階的視座と多層的視座の関係性 27
図 2-3　動的多層的視座(dynamic multi-level perspective)の概念図 28
図 2-4 トランジションの様々な経路図 29
図 2-5　京都議定書期間中の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減を進める社会階層（図 1-7 再掲） 37
図 2-6　パリ協定採択以降の再生可能エネルギーを中心とする 37
図 2-7　すべての附属書 B 国が取得した京都メカニズムクレジットの種類別内訳..... 39
図 2-8　GHG 排出量とエネルギー起源 CO_2 排出量の推移 49
図 2-9　 2015 年と 2045 年における総人口に対する労働年齢人口の割合 53
図 2-10　十地域別の火力・原子力発電所の既存発電容量及び再生可能エネルギーの発電ポテンシャル 54
図 3-1　京都議定書附属書 B 国における CO_2 緩和に寄与する政策の数..... 65
図 3-2　附属書 B 国においてプロジェクトタイプごとの CER の追加性評価の結果..... 80
図 3-3　附属書 B 国による他国からの排出枠の取得結果 83
図 3-4　附属書 B 国に償却されたの CER の追加性評価の結果..... 83
図 4-1　産業部門における直接および間接 CO_2 排出の時系列変化（1990～2015 年）。..... 87
図 4-2　LMDI 手法を用いた要因分解分析の結果 89
図 4-3　日本の原子力発電の設備利用率推移とエネルギー政策..... 90
図 4-4　各国の再生可能エネルギー導入容量の 2000 年比 90
図 4-5　大規模施設における ESCO 事業の進捗状況..... 91
図 4-6　中小施設に対する省エネ・節電診断の実績と省エネに関する予算額の推移..... 92
図 5-1　様々なエネルギーおよび経済モデル分析による 2050 年の全国レベルの電力構成の比較 97

図 5-2　エネルギー・トランジションシナリオにおける発電技術者、メンテナンス技術者の推移 105
図 5-3　全国レベルでの火力・原子力発電所のフェーズアウトシナリオとエネルギー・トランジションにおける技術者数 106
図 5-4　地域レベルでの火力・原子力発電所の自然減シナリオとエネルギー・トランジション 108
図 5-5　火力・原子力発電の自然減シナリオ（新規採用なし）における余剰技術者と 109
図 5-6　地域別の労働年齢人口のジニ係数変化 110

表目次

表 1-1　トランジション研究におけるトランジションの定義 13
表 1-2　欧州主要国のエネルギー・トランジションのフェーズ 17
表 1-3　エネルギー基本計画における各電源の位置付け 20
表 2-1 トランジション研究の視座 26
表 2-2 トランジション・マネジメントの要素 28
表 2-3 多層的視座の各要素の研究の特徴と課題 32
表 2-4 日本におけるエネルギー・トランジションの各フェーズにおける既存研究まとめ. 33
表 2-5　日本におけるエネルギー・トランジションの社会技術規範要素に関連する文献一覧 35
表 2-6　京都議定書に係る日本の気候変動政策 45
表 2-7　地球温暖化対策推進法の成立・改正の経緯 46
表 2-8　期目標検討委員会における 6 つの選択肢 47
表 2-9 エネルギー基本計画の変遷 49
表 2-10　十電力地域の定義 53
表 2-11　再生可能エネルギーによる雇用の特徴 55
表 2-12 地域に雇用を生むための様々な施策 59
表 3-1　分析のための附属書 B 国のグループ 66
表 3-2　STIRPAT モデルの適用例 67
表 3-3　パネルデータ分析に用いたデータの概要 69
表 3-4　基本統計量 70
表 3-5　変数間の相関 70
表 3-6　コントロールグループとして用いた米国の各州 71
表 3-7　パネルデータの横断面依存（cross-section dependence, CD）検定 71
表 3-8　位根検定の結果 72
表 3-9　分析に用いた CDM プロジェクトに関わるデータベースの特徴 74
表 3-10　STIRPAT モデルによる推定結果 78
表 3-11　京都議定書による CO_2 削減効果の推計結果 81
表 4-1　選択した期間の特徴 88
表 5-1 環境省低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査 98
表 5-2　再生可能エネルギープロジェクトタイプ別の雇用係数（人/GWh・年） 100
表 5-3　火力発電、原子力発電、大規模水力発電の電源別の雇用係数（人/GWh・年）. 101
表 5-4　部門別の労働生産性の改善率 101
表 5-5　火力原子力発電フェーズアウトシナリオにおける技術者数 102

1　章　序論

1.1.　脱炭素社会に向けたエネルギー・トランジション

国連気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change）による第 1 次評価報告書（1992 年）による科学的知見蓄積や 1992 年に気候変動枠組条約といった気候変動問題に対応する政治的合意から、CO_2 排出量を抑えることに必要性に対する認識が高まり、その後も科学、政治の双方の分野で気候変動問題に対する取り組みが活発化した。そして、1998 年には京都議定書が合意され、温室効果ガスの排出増加を抑えるために、先進国全体で 1990 年比 5%削減を目標とする京都議定書が採択され、その第一約束期間が 2008 年から 2012 年に実行された。しかし、先進国のみならず、途上国においても温室効果ガス(GHG)排出量が増加する一方で、GHG 排出量の増加が自然生態系や人間社会にあたえる影響が次第に明らかになってきた。そのような中、2015 年 12 月において第 21 回気候変動枠組条約締約会議(COP21)にて、「平均気温上昇を産業革命前から 2℃より十分低く保ち、また、1.5℃以下に抑える努力を追求」するパリ協定が合意された。本稿では、これを 2℃/1.5℃目標と呼ぶ。図 1-1 は、Climate Action Tracker という各国の排出量と気温上昇を 2℃または 1.5℃以下に抑える排出経路との整合性を半年に一度計算している研究機関による、全世界の CO_2 排出量の歴史的推移と気温上昇に応じた GHG 排出量の将来経路を示すものである。この経路を達成するには、図中の黄色ないしは、緑色の経路で GHG 排出量を削減していく必要がある。特に、1.5 目標を達成するには、CO_2 排出量を 2050 年までに、世界全体でほぼネット・ゼロにする必要性が明らかになっている(IPCC, 2018)。従って、少なくとも先進国では、2050 年頃まで、GHG 排出量と吸収量の合計がゼロ以下となる脱炭素社会の達成が求められている。

一方で、図 1-1 の青色の部分は現在の各国が導入している政策が今後継続された場合の経路あるいは、今後導入が予定されている政策がすべて導入された場合の GHG 排出経路を示している。この場合、2050 年時点の GHG 排出量が現在の水準よりも高まることが予想され、脱炭素社会の構築には程遠い状況であり、前者の場合は、2100 年までの気温上昇が 3.0℃から 3.4℃と予想され、後者は気温上昇が 2.6℃から 2.9℃予想される。そのため、このような排出ギャップを埋める施策や取り組みが求められている。

脱炭素社会の達成には、エネルギー効率改善及び再生可能エネルギーの導入による電力部門の脱炭素化に大きなポテンシャルがある。図 1-2 に世界エネルギー機関(IEA)によるリファレンス技術シナリオから 2℃目標整合シナリオに向けた技術別削減ポテンシャルを示している。電力部門の脱炭素化は、世界全体で講じうる GHG 排出量の緩和策のうち、35%の削減ポテンシャルがあるとされる(Gielen et al., 2019; IEA, 2017a)。特に、再生可能エネルギーについては、図 1-3 に示される通り、これまでに主として電力を供給してきた火力発電の利用を段階的に廃止（フェーズアウト）し、反対に、再生可能エネルギーを増やしていく、電源を転換していくことが想定される。従って、エネルギー・トランジションとは、単に再生可能エネルギーを増やしていく施策を

講じるだけではなく、従来の技術を前提としていた既存のエネルギー供給システムや制度を改革し、新たな技術を入れることが出来るような手段を講じるということが重要な理念である。なお、エネルギー効率改善及び再生可能エネルギーの導入による電力部門の脱炭素化に大きなポテンシャルがあることは、日本国内においても同様で、2050 年に 80%削減目標を達成するためには、省エネルギーの導入によって、CO_2 排出量を 2013 年比 4 割削減する効果があり、再生可能エネルギーによって 2 割の削減効果が見込まれている(岩田 et al., 2017)。

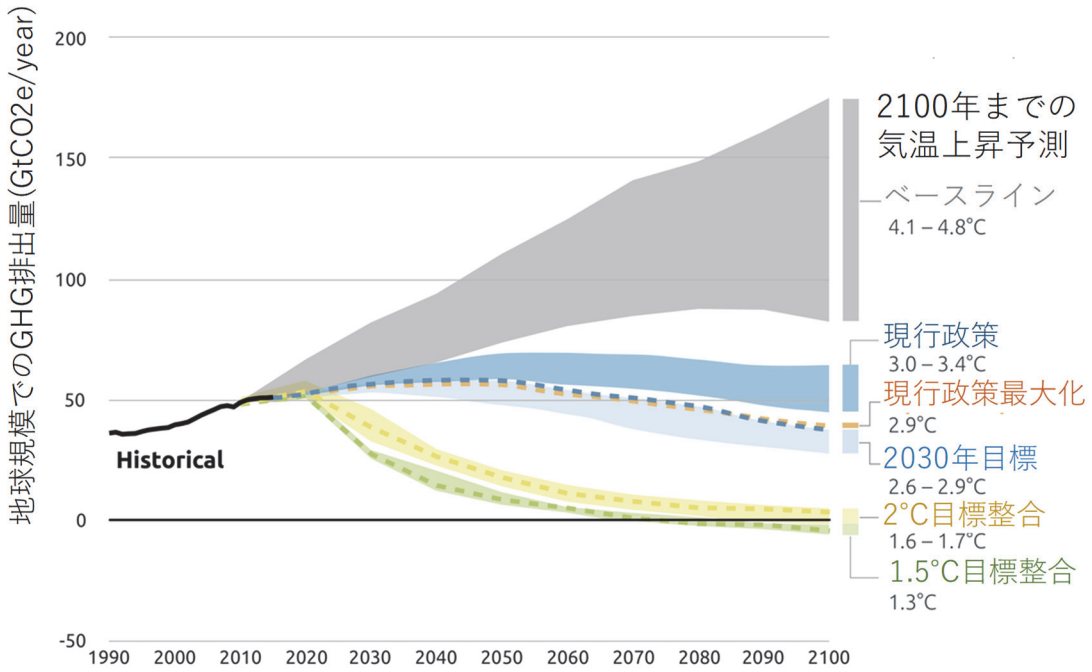


図 1-1　全世界の歴史的排出量と気温上昇に応じた将来の排出量経路

出典：Climate Action Tracker (2019)より筆者加筆。

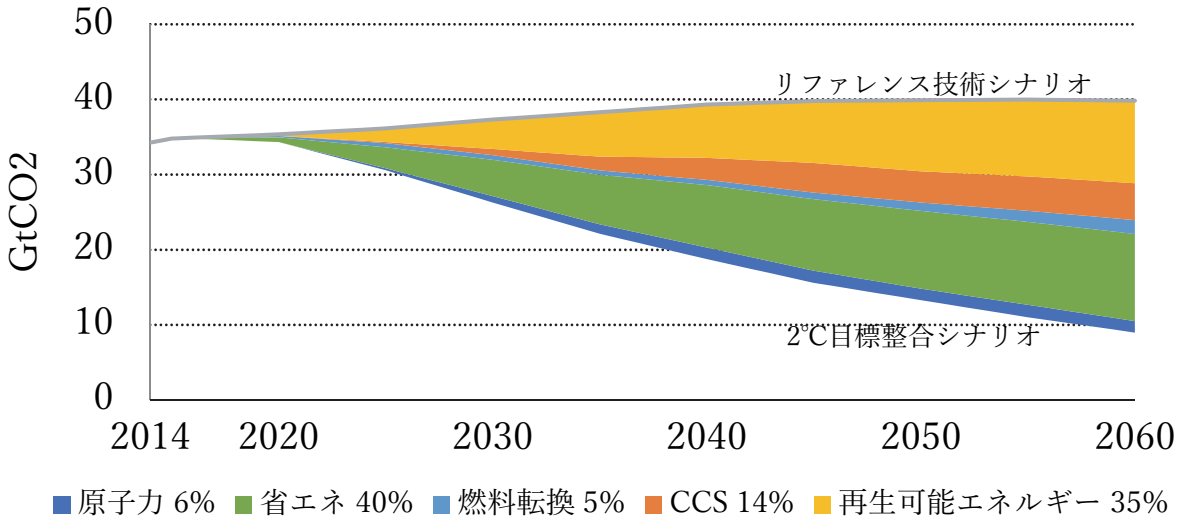


図 1-2　リファレンス技術シナリオから 2℃目標整合シナリオに向けた技術別削減ポテンシャル

出典：IEA(2017a)を基に筆者作成

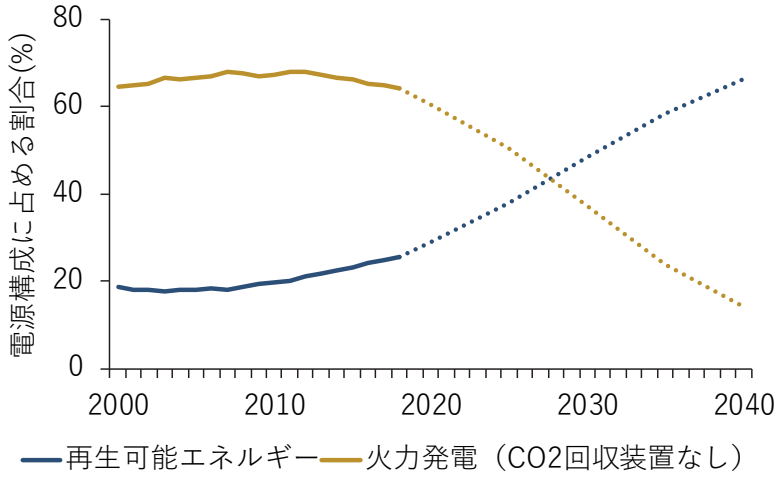


図 1-3　脱炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー及び火力発電が電源構成に占める割合推移

1.2. トランジションの位置付けとエネルギー・トランジション

トランジションの概念は国土の 60%が、ゼロメートル地帯にあるオランダにおいて、気候変動がもたらす急激な降雨による水面上昇と地球規模での温度上昇に起因する海面上昇に対処するために発達し体系的に整理されるようなった(Brugge and Rotmans, 2006)。トランジションの定義は、表 1-1 に示されるように様々な表現があるが、技術的の進歩といった個別の事象だけでなく、社会または社会における様々な要素の変化及びそのプロセスを扱うという点で一致している。従って、本研究においても、トランジションは「社会の構造（または市民の慣習、規制、産業構造、社会インフラ、自己のアイデンティティ、プライドや価値観に関わる物や行動の象徴的な意義などの社会のサブシステム）が大きく変化するプロセス」として位置づける。

表 1-1　トランジション研究におけるトランジションの定義

出典	トランジションの定義
Geels, (2002)	トランジションは、技術的な進歩だけでなく、市民の慣習、規制、産業構造、社会インフラ、自己のアイデンティティ、プライドや価値観に関わる物や行動の象徴的な意義などの要素の変化が含まれる。 Transitions do not only involve technological changes, but also changes in elements such as user practices, regulation, industrial networks, infrastructure, and symbolic meaning.
Rotmans et al. (2000)	トランジションは、社会または社会における重要なサブシステムの構造が段階的に変化するプロセスである。 “A transition is a gradual process of societal change in which society or an important subsystem of society structurally changes”
Brugge and Rotmans, (2006)	社会の構造（または社会のサブシステム）が根本的かつ継続的に変化するプロセスである。そのようなプロセスでは、技術、経済、生態学、社会文化、制度が大きく発展するとともに、各要素がお互いに影響し合うものである。トランジションは半世紀以上の時間を要する長期的なプロセスである。 ‘A continuous process of societal change, whereby the structure of society (or a subsystem of society) fundamentally changes and has the following characteristics. It concerns large scale technological, economical, ecological, socio-cultural and institutional developments that influence and reinforce each other. It is a long term process that covers at least one generation, e.g. 25 years.
Loorbach et al., (2017)	トランジション研究の中心的な考え方は、破壊的なシステムの変化は、社会（または社会のサブシステム）が支配する規範における破壊的な変化を捉えるものである。 The core idea in transitions research is that disruptive systemic change can be located in socalled regimes: the dominant order in a societal (sub)system.

1.3.　エネルギー・トランジションの課題

1.3.1.　エネルギー・トランジションと社会問題

図 1-4 にトランジションの様々な経路を示す。トランジションは任意の技術が社会に普及し、最終的にその技術を包含するシステムが段階的に変化をし、最終的には最適な状態に達すると同時に、成し遂げた変化が安定期になることが理想である。そのため、トランジションは 4 つの段階に分類される。第一段階である“Pre-development”では、社会レベルで目に見える変化はほとんどないが、ニッチレベルで様々な取組が試験的に行われている段階である。第二段階である”Take off”の段階では、変化のプロセスが進行し、社会システムの状態が変化し始める。第三段階である”Acceleration”では、相互に反応する社会文化的、経済的、生態学的、制度的変化の蓄積を通じて、構造的な変化が目に見える形で起こりまる。この段階では、集合的な学習プロセス、拡散および埋め込みプロセスなどがある。最終段階である”Stabilization”では、社会的変化の速度が低下し、新たな動的平衡に達するものである。しかし、必ずしもトランジションは最適な状態へと変化をするわけではない。変化が途中まで望ましい状態まで進んだとしても、その変化が一時的に逆戻する「後退(Backlash)」をしてしまう場合もある。また、社会システムの変化が中途半端状態で終わってしまうような「ロックイン(Lock in)」や、トランジションを促そうとした結果、かえってシステムが「破綻(System braekdown)」してしまう場合もある。そのため、トランジションの各段階で適切な施策を講じて、望ましいトランジションの結果を導くためにトランジション研究が重要となる。

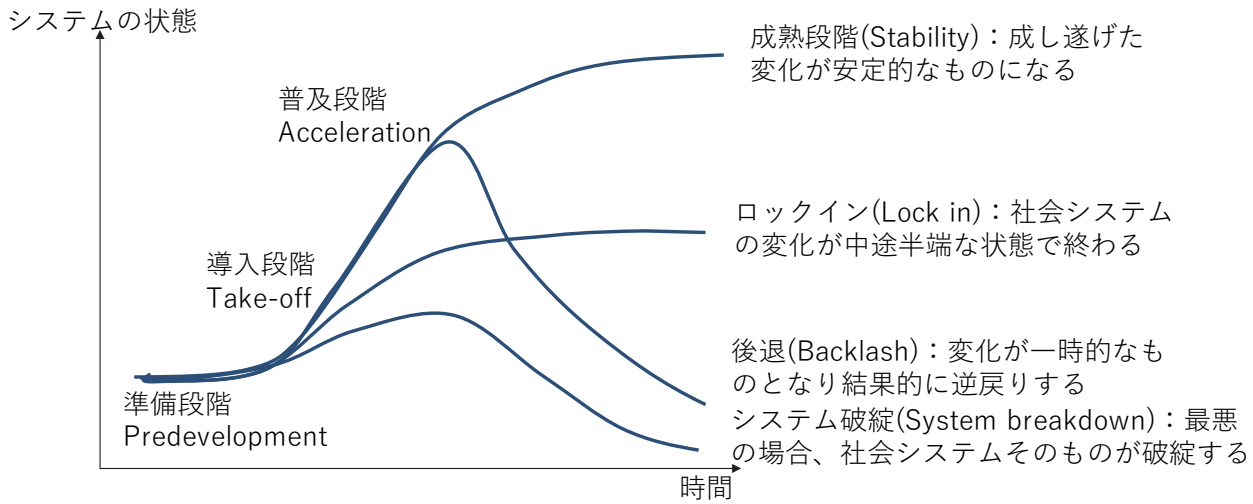


図 1-4　トランジションの時間軸と様々な経路

出典：Brugge and Rotmans (2006)を基に筆者作成

図 1-3 で示したように、トランジションは新しい技術を普及させるだけでなく、既に社会に存在する様々な制度や法律などの変化を伴うものである。そのため、その変化は多用であり図 1-4 に示すようにトランジションは様々な経路を取りうる。その理由として、トランジションは社会に存在する様々な制度や法律、人々の慣習と呼ばれる規範を変える必要があることが挙げられる(環

境省, 2016)。そのような中、トランジションを進めると、従来の生活の変化への抵抗、変化に伴う雇用喪失への不安、短期的な生活費用の上昇、これまでの生活や技術に対するアイデンティティやプライドを損なうこと、既得権益の失うことといった人々の懸念が生じ、これらが大きな抵抗力となると考えられる。特に、エネルギー・トランジションは化石燃料を使用する産業をフェーズアウトしていくことになる。そのため、多くの国において、化石燃料の利用はプライドやアイデンティティの源、エネルギーセキュリティ、約束された富の創出手段として捉えられていた。従って、これらの化石燃料に対する人々の利用は既存の化石燃料ベースとしたインフラ、組織、電力及びエネルギーシステムに根強く存在している(Prinz and Pegels, 2018)。その結果、既存の社会技術システムでより大きな力を行使することが可能である政治および業界の幹部たちは、政治的影響力を及ぼすことが可能である限り、自身の利益を最大化するような行動をとる傾向にある(Jenkins et al., 2018)。以上より、エネルギー・トランジションを進めるためには、エネルギーの技術的な側面だけでなく、エネルギー・トランジションに係る政治経済的な側面を捉えることの必要性が指摘されている(Meadowcroft, 2009, 2005; Prinz and Pegels, 2018)。

1.3.2. 諸外国と日本におけるエネルギー・トランジションの状況

日本及び諸外国のエネルギー・トランジションの概観として、図 1-5 に現行の政策が導入された場合の全発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合を示した。EU では、2040 年に全発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合を現行政策だけで 60%以上になると国際エネルギー機関(IEA)によって予測されており、エネルギー・トランジションを進めていることが分かる。一方で、日本は、2040 年において現行の政策が導入された場合の全発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合が 27%と世界平均あるいは東南アジア諸国よりも下回ることが予想されている。

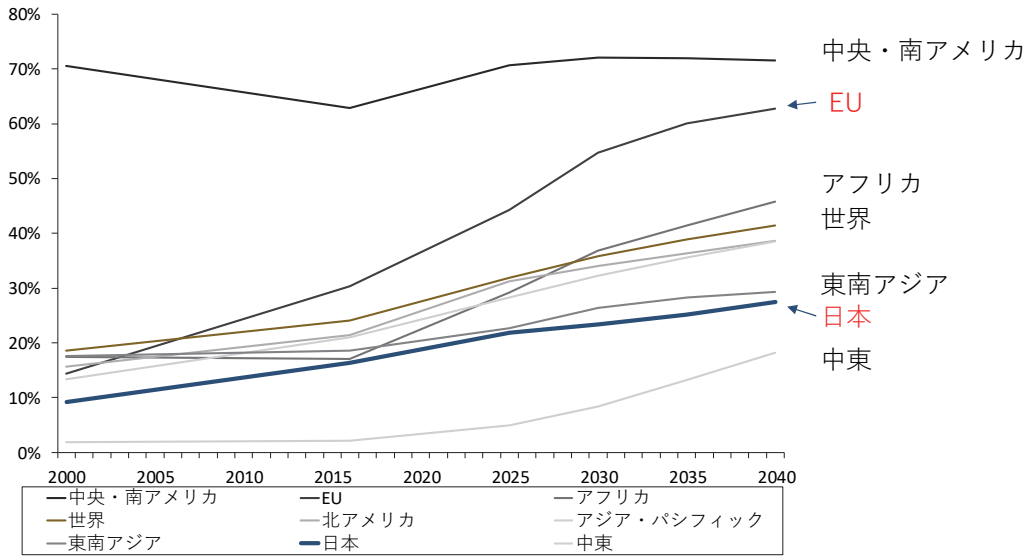


図 1-5 現行の政策が導入された場合の全発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合

出典：IRENA, (2018a)を基に筆者作成

従って、本項では、エネルギー・トランジションが諸外国でどのように起きているのか、欧州において比較的エネルギー・トランジションが進んでいるドイツ、英国、オランダの状況について、Laes et al., (2014)による論文を基に表 1-2 まとめる。ドイツにおいて、エネルギー・トランジションの議論は、1986 年にチェルノブイリの原子力発電所事故が受けて、ドイツ国内における原子力発電の利用からフェーズアウトする動きが高まった。原子力発電の代替電源として、石炭火力発電所の新規建設が提案されたが、この頃から地球温暖化問題について世論の関心が高まっていたことから、必ずしも石炭火力発電の新規建設が支持されなかった。実際に、ドイツ政府は 1990 年 6 月に CO_2 を含む温室効果ガスの排出を 2005 年までに 1987 年比で 25%削減する目標を掲げていた。このような状況の中で、ドイツは 2000 年に原子力発電の「フェーズアウトを 2010 年までに完了させる法律が可決されたが、温室効果ガス削減との両立の観点から、その期限が延長されていた。しかし、2011 年に日本において福島第一原子力発電所の原子力発電所事故が起きると、ドイツ国内においても原子力発電所利用の廃止の機運が高まった。その結果、2022 年までに原子力発電のフェーズアウトが決まり、エネルギー・トランジションを進める方針が固まった。ドイツ国内における再生可能エネルギーについて、およそ 1975 年から 1990 年の間に再生可能エネルギーの研究開発が行われ 1990 年初頭にドイツ国内で固定価格買取制度が導入され、再生可能エネルギーの導入が後押しされた。このような中、2000 年に再生可能エネルギー法が可決され、再生可能エネルギーに対する支援が強化された。また、2011 年には、”Energikonzept”という 2050 年の電源構成のうち 80%が再生可能エネルギーによって供給するという目標が定められるなど、長期目標においても再生可能エネルギーが主要な役割を果たすことが明記された。同時に、多くの再生可能エネルギーを導入できるように、電力システムやインフラストラクチャーの整備に対しても、支援されるようになった。このような背景から、Laes et al., (2014)は、1980 年から 2000 年ごろまでをトランジションの第一段階である準備段階とし、2000 年から現在までを第二段階の導入段階として位置づけている。

オランダでは、トランジションあるいは、それを政策的に促していくトランジション・マネジメントを政策的に扱っていくことが、第四次国家環境計画(The fourth national environmental planning)に 2001 年に定められ、エネルギー問題に特化した”Energy Transition Programme (ETP)”が立ち上げられたことからエネルギー・トランジションについても、市民の関心が高まった。特に、2004 年から 2005 年において、市民参加も含む初めてのステークホルダーコンサルテーションが実施され、将来のエネルギーシステムについて 4 つのシナリオが構築された。同時に、エネルギー問題について議論を行うワーキンググループとしての“transition platforms”あるいは”transition arena”が立ち上げられた。2011 年には“transition platforms”のすべての活動が終えて、再生可能エネルギーの導入をオランダ国内で増やすことを目的としたイノベーション政策がとられ、様々な研究や実施活動が進んでいる。このような背景から、オランダのエネルギー・トランジションについて、Laes et al., (2014)は、2000 年から 2010 年頃までをトランジションの第一段階である準備段階とし、2011 年から現在までを第二段階の導入段階として位置づけている。ただし、ドイツとは異なり、導入段階においても、再生可能エネルギーの導入量については限定的であり、今後導入にむけた更なる取り組みや施策が必要であると指摘されている。

英国では、1990 年から 1998 年にかけて、Non-Fossil Fuels Obligation が導入され、一定量の非化石燃料電源の使用が義務付けられていたが、ほとんど原子力利用を促進させる結果となり、再生可能エネルギーの導入への効果は限定的であった(Geels et al., 2016b)。2003 年のエネルギー白書で、原子力への過度な依存を避け、再生可能エネルギーを増加させる必要性について言及された。また、2002 年には Renewables Obligation が施行され、発電電力量のうち 10%が再生可能エネルギーによって供給されることが義務付けられた。Laes et al., (2014)によると、エネルギー・トランジションに関して着目するべき事項として、2008 年の Climate Change Act とされる。Climate Change Act は、世界で初めて策定した長期 GHG 排出削減目標であった。Climate Change Act は英国が世界で気候変動問題について世界をリードするためのフラグシップとなる政策として位置づけられており、その内容の精緻化や国内の幅広いステークホルダーからの支持をえる必要があった。そのため、国内では 2005 年ころから産業界、環境 NGO、地域住民など多岐にわたるステークホルダーとコンサルテーションを実施した。また、2006 年には、スターン報告書が公表され、気候変動問題に対する世論の関心も高まった。Climate Change Act では、GHG 削減目標として 1990 年比で 2020 年まで 34%削減、2050 年までに 80%削減という目標だけでなく、炭素バジェットという概念を取り入れて、2008 年から 2012 年、2013 年から 2017 年、2018 年から 2022 年、2023 年から 2027 年までの 4 年ごとの排出量の上限を自ら定めている。従って、2008 年以降は、再生可能エネルギーなどの具体的な削減策を進めるインセンティブが働く。このような背景から、英国のエネルギー・トランジションについて、Laes et al., (2014)は、1990 年から 2012 年頃までをトランジションの第一段階である準備段階とし、2008 年から現在までを第二段階の導入段階として位置づけている。

表 1-2　欧州主要国のエネルギー・トランジションのフェーズ

エネルギー・トランジションのフェーズ	ドイツ	オランダ	英国
準備段階	1980 年から 2000 年頃	2000 年から 2010 年頃	1990 年から 2008 年頃
導入段階	2000 年から現在	2011 年から現在	2008 年頃から現在

次に、日本におけるエネルギー・トランジションの変遷について、エネルギー基本計画を基にまとめる。日本の第一エネルギー基本計画は 2003 年に策定された。ここでは、原子力が電源構成の期間電源と位置付けられた。2007 年に策定された第 2 次エネルギー基本計画では、「2030 年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を 30～40%程度以上」と原子力の利用を高めていく施策がとられた。2010 年の第 3 次エネルギー基本計画では、「2020 年までに原子力の比率を 40%以上」と原子力の比率の達成が前倒しにされ、「安全の確保を大前提とした原子力の新増設（2030 年までに少なくとも 14 基以上)」と多くの原子力発電所の新設が目標とされた。第 1 次、第 2 次、第 3 次のエネルギー基本計画において副次的な技術として位置づけられたのが火力発電ある。天然ガス利用の促進やクリーンコール技術として石炭火力の利用が促進された。対照的に、再生可能エネルギーは、「補完的なエネルギー」として位置づけられ、第 3 次エネルギー基本計画

においても、「2020 年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合について10%程度」となっていた。

しかし、2011 年に東日本大震災時に福島第一原子力発電所の事故が発生して以降、従来のエネルギー基本計画の各電源の位置付けに変化が生じる。原子力に代わり火力発電が、2014 年の第 4 次エネルギー基本計画では、「重要なベースロード電源の燃料として再評価」され、最も重視する電源として位置づけられた。一方で、原子力については、「可能な限り原発依存度を低減する」され、その割は副次的なものとなっていった。ただし、2018 年の第 5 次エネルギー基本計画では、「再構築」の必要性が強調され、「2030 年のエネルギーミックスにおける電源構成比率（20%～22%程度）の実現を目指し、必要な対応を着実に進める」と、第 2 次、第 3 次エネルギー基本計画よりは、電源構成に占める比率が下がっているものの、原子力利用をやめるに方針をとるに至っていない。再生可能エネルギーについては、第 3 次エネルギー基本計画までの内容と比較して、その役割が高まっているものの、第 4 次エネルギー基本計画では、「2013 年から 3 年程度導入を最大限加速していく」と期間が限定されている。また、第 5 次エネルギー基本計画では、「主力電源化」という言葉が入るも、「主力電源化への布石としての取組」と、再生可能エネルギーを直ちに主力電源化する指針は示されていない。

以上のように、京都議定書に定められた CO_2 削減目標を達成するために、日本では、エネルギー・トランジションとしての再生可能エネルギー導入よりも既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換としての原子力利用が進められた。しかし、東日本大震災及び福島第一原子力発電所における事故を経て、中長期的に脱原子力依存を進めていくためにも再生可能エネルギーに対する期待が高まった。これを受けて、2012 年に固定価格買取制度が導入され、日本においても再生可能エネルギーの導入が進み始め、エネルギー・トランジションが進み始めた兆しがある。具体的には、日本の電力システム改革が 3 段階で進められている（図 1-6）。第一段階として、2015 年に電力広域的運営推進機関が設立され、需給計画・系統計画を取りまとめ、周波数変換設備、地域間連系線等の送電インフラの増強や区域を超えた全国大での系統運用といた機能を集中させた。第二段階として、2016 年に電力小売り全面自由化が実施された。しかし、送配電に係る料金規制は一般送配電事業者に対しては残されている。第三段階として、2020 年に送配電分離が行われ、料金規制も撤廃される。また、再生可能エネルギーの発電費用も世界レベルでは劇的に低下している。黒崎（2019)によると、2019 年の太陽光モジュール価格は、2010 年比 85%低下し、風力タービン価格は 49%低下した。この結果、米国では、風力と太陽光がガス火力よりも安価になっている。日本でも、再生可能エネルギーの固定買取が商業用の電気料金よりも安価になっており、今後近いうちに、低圧の電気料金よりも安価になるとしている。さらに 2050 年には、グローバルでは、発電電力量の 7 割が非化石電源となり、日本では 78%が再生可能エネルギーになるという分析結果を示している(黒崎, 2019)。加えて、2019 年の蓄電池の価格も 2010 年比 87%低下しており、2025 年における全世界の蓄電池の生産能力は、2019 年の 3 倍になると試算している。このような背景を受けて、日本でも使用電力を 100%再生可能エネルギーに転換することを宣言する「RE100 イニシアティブ」や日本独自の、中小規模企業や、企業以外の団体を対象と

した「再エネ 100 宣言 RE Action」が相次いで発足しており、エネルギー需要側の再生可能エネルギーに対する意識が高まっている。

しかし、最新の第 5 次エネルギー基本計画をみても、原子力発電の利用促進、高効率火力発電及び CCS を利用した火力発電の重要性が強調される一方で、長期的な再生可能エネルギーの主力電源化が記載されており、日本のエネルギー利用の在り方に関わる方向性が不明瞭である。例えば、日本の GHG 削減に関する 2030 年目標と基礎となる 2015 年に発表された長期エネルギー見通し(METI, 2015)では、電源構成において、石炭火力が 26%、ガス火力が 27%、 原子力が 20～22%を占めており、従来の発電所への依存度が高く想定されている。さらに、2017 年 10 月現在、新しく建設された石炭火力およびガス火力発電の計画は、それぞれ少なくとも 16.9 GW および 16.2 GW とされる。これらの新しい建設計画が実施されると、2030 年時点での稼働年数が 40 未満の石炭火力発電所とガス火力発電所の容量は、それぞれ 45.5 GW と 63.5 GW になる(METI, 2018a)。この結果、従来への発電所へのロックイン効果によって、電力部門が化石燃料資源に大きく依存するインセンティブが生じる。従って、今後の日本のエネルギー利用の在り方、これまでの CO_2 削減を目的とする既存のエネルギー供給システムを前提として個別技術転換の効果の検証に基づいて再度検討される段階に差し掛かっていると考えられる。

表 1-3　エネルギー基本計画における各電源の位置付け

制定・改訂年	原子力	火力	再エネ
エネルギー基本計画:2003年10月	基幹電源	天然ガスクリーンコール技術の推進	「当面は補完的なエネルギー」
第2次エネルギー基本計画：2007年3月	基幹電源として位置付けと確認され、「2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を 30～40%程度以上」と明記。	天然ガスの安定供給 「石炭は今後とも不可欠なエネルギー」と位置付け	燃料電池や交通部門におけるバイオ燃料や言及されるも補完的なエネルギーとして位置づけ
第3次エネルギー基本計画：2010年6月	「安全の確保を大前提とした原子力の新増設（2030 年までに少なくとも 14 基以上)」「2020年までに原子力発電の比率を 40%以上」	化石燃料の天然ガスへのシフト CCS や IGCC 技術を利用した石炭利用の推進	「2020 年までに一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーの割合について 10％程度」
エネルギー基本計画:2003年10月	基幹電源	天然ガス クリーンコール技術の推進	「当面は補完的なエネルギー」
2011 年 3 月　福島第一原子力発電所事故、2012 年固定価格買取制度の導入による再生可能エネルギーの導入拡大を加速化			
第4次エネルギー基本計画：2014年4月	2030 年の電源構成目標は、電源構成のうち原子力発電の割合が「20～22%」とされる	化石燃料の天然ガスへのシフト CCS や IGCC 技術を利用した石炭利用の推進 また、重要なベースロード電源の燃料として再評価	「２０１３年から３年程度導入を最大限加速していく」と期間が限定され、「コスト面で様々な課題が存在」と指摘
第5次エネルギー基本計画：2018年7月	「可能な限り原発依存度を低減する」としつつ、「再構築」の必要性を強調。 「２０３０年のエネルギーミックスにおける電源構成比率の実現を目指し、必要な対応を着実に進める」	化石燃料の天然ガスへのシフト 石炭については、CCS や IGCC 技術を利用した石炭利用の開発をさらに進める。利用可能な最新技術の導入による新陳代謝を促進	「確実な主力電源化への布石としての取組を早期に進める」としつつ、「コスト面で様々な課題が存在」と指摘

出典：経済産業省（2018a, 2014, 2010, 2007, 2003)を基に筆者作成

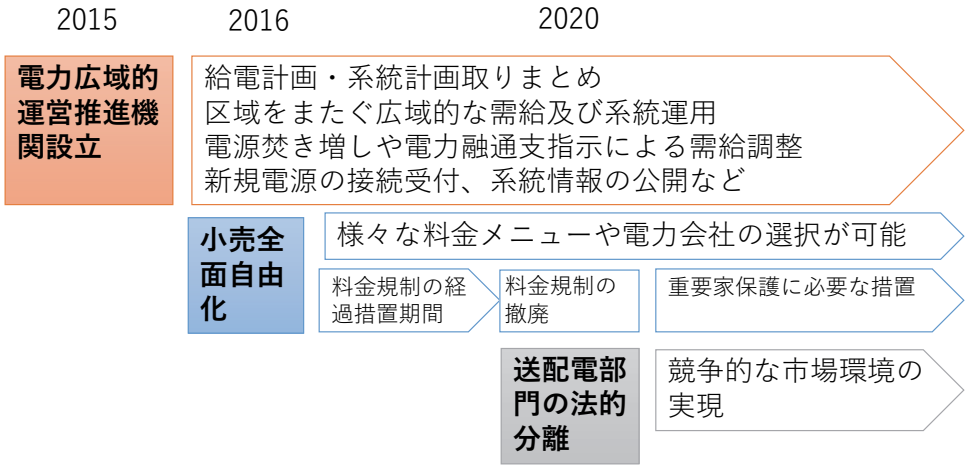


図 1-6　電力制度改革の工程と電事事業法改正スケジュール
出典：筆者作成

1.4.　本研究を進める上での問題提起

IPCC 第 1 次評価報告書や第 2 次評価報告書といった科学的知見の蓄積や、1992 年に採択された気候変動枠組条約における政治的議論を通じて、CO_2 を始めとする GHG 排出量の増加によってもたらされる気候変動が人々の成果に深刻な影響を与えることが次第に明らかになっていった。そして、1998 年に京都議定書が採択されて以降、先進国を始めとする多くの国で、CO_2 削減に関する取り組みが行われてきたものの、温室効果ガスの排出量は年々増加している。そのような中、パリ協定が目指す、産業革命以降の気温上昇を 1.5℃あるいは 2℃に以内に抑えて、気候を安定化させるために、今世紀後半の出来るだけ早い段階に脱炭素社会の構築が喫緊の課題となっている。これに対し、エネルギー・トランジションを着実に進める必要が指摘されており、欧州を始めとする様々な国において、実際の取り組みが進められている。しかし、日本は、福島第一原子力発電所の事故以降に、原子力発電所の安全性に関わる見直しは行われているもの、代替手段としての CCS 付火力の発電の重要性が強調されるなど、従来と同様の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換が中心的施策であり、再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションに大きく舵を切るまでには至っていない。

従って、本研究では、世界で初めて CO_2 排出削減に関する国際的な取り決めがなされた京都議定書の第一約束期間に、日本の原子力を中心とした従来と同様の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換が CO_2 削減に効果があったのか検証する。得られた結果を受けて、日本におけるエネルギー・トランジションを進める必要性について考察するともに、エネルギー・トランジションを進めるために、それによって影響をうける電力部門の雇用の変化量を分析し、雇用問題に関わる具体的な施策を提案する。これらの分析を行う際には、Geels (2002)を中心に発展してきたトランジション研究の理論的体系の一つである多層的視座（Multi-level perspective）に準ずる。多層的視座は、トランジションをマクロレベルとしてのランドスケープ要素、メソレベ

ルとしての社会技術規範要素、ミクロレベルとしてのニッチ技術要素の 3 つの階層の変化から捉える（図 1-7 参照。詳細は 2.7 で説明）。

京都議定書期間の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減の社会的構造をトランジションと比較するために、トランジション研究の多層的視座から敢えて論じると、ランドスケープ要素として、国レベルでの京都議定書に定められる CO_2 削減目標や CO_2 削減を促す京都メカニズムがあり、社会技術規範要素である既存の電力システムや制度は固定し、個別技術要素である原子力発電を進める構造になっている。従って、ランドスケープ要素が、個別技術要素に与えた影響を明らかにするために、世界レベルでの京都議定書の CO_2 削減効果を分析し、京都議定書期間において、既存の電力システム・制度の維持が維持される背景や電力部門の取り組みによる CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか分析する。次に、個別技術要素として、日本国内の原子力発電の CO_2 削減効果を検証する、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果を定量的に評価する。京都議定書の効果分析を行う背景として、2.4 で既往研究のレビューを行ったところ、これまでの研究では、「効果が極めて限定的であった。」あるいは、「京都メカニズムという柔軟性メカニズムが機能しなかった。」という国際制度に関する評価にとどまっている。しかし、トランジション研究の観点からは、ランドスケープ要素としての国際制度の評価のみならず、ランドスケープ要素が社会技術規範要素のエネルギー供給システムや制度に与えた影響やそれによってもたらされた実際の CO_2 も削減量について、評価することが有益であるものの、この点についてほとんど論じられていない。さらに、京都議定書の先進国全体で 1990 年比 5%削減という目標から、パリ協定の先進国は各国少なくとも 80%削減するという目標に合意されたことから、大きく国際的潮流が変わっても、日本においては、現在の社会技術規範を固定して、エネルギー・トランジションなしのロックインの状態で達成することが主流化される状況にある。従って、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による国内の CO_2 削減効果について検証し、エネルギー・トランジションの必要性を検証することは、現在のエネルギー政策の方針の有効性を議論に貢献しうる。さらには、国際制度としての京都メカニズムが、日本国内のトランジションを促進できなかったのか、世界レベルでの CO_2 削減制度が日本の電力部門にもたらした影響を分析し、トランジションを進める上での示唆をえることができる。

本研究では、上述の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減に効果分析結果を受けて、エネルギー・トランジションの必要性が明らかにする。従って、エネルギー・トランジションを進めるためには、既存のエネルギー供給システムや制度の改正や発電所や送電網などエネルギーインフラの再整備など、様々な社会や制度の変化を必要としており、講じうる施策も多岐にわたる。中でも本研究では、十電地域別の発電電力量の計算を基に、2050 年までの電力部門の雇用量の変化を分析し、その変化によってもたらされうる正負の影響を定量化することで、エネルギー・トランジションを進める意義を明らかにし、必要となりうる施策を提示する（図 1-8 参照。詳細は 2.7 で説明）。

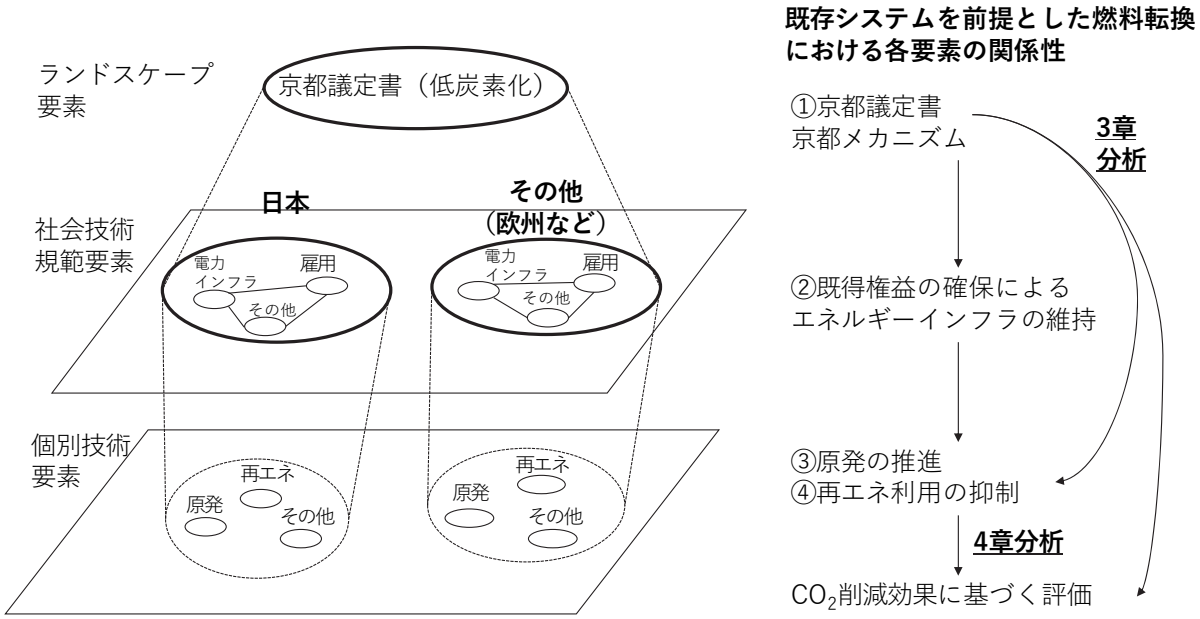


図 1-7　京都議定書期間中の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減を進める社会階層

出典：Geels (2002)を基に筆者作成

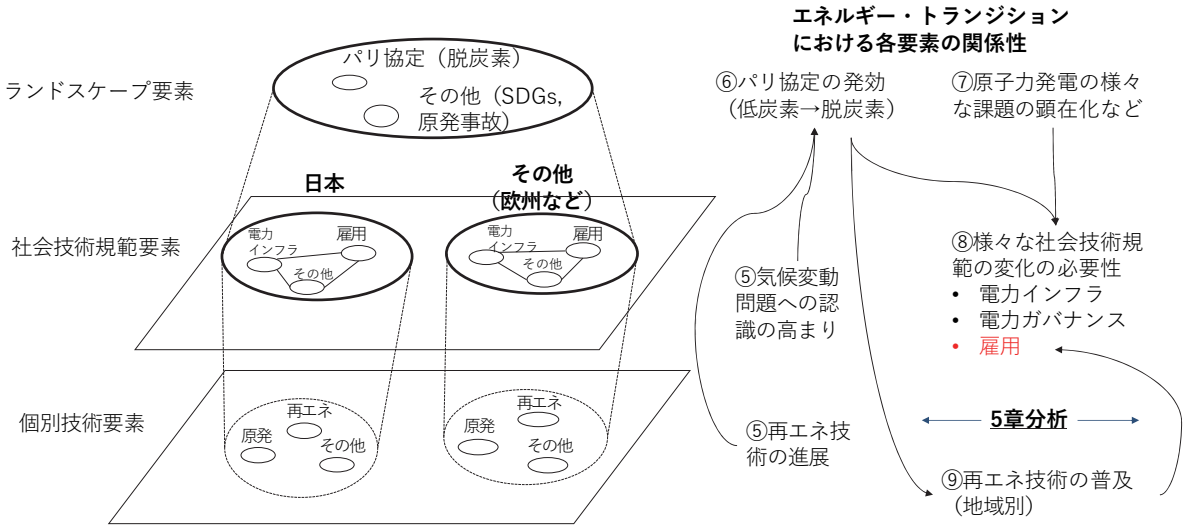


図 1-8　パリ協定採択以降の再生可能エネルギーを中心とする エネルギー・トランジションによる CO_2 削減を進める社会階層

出典：Geels (2002)を基に筆者作成

2　章　既往研究のレビュー

2.1.　本章の目的と構成

第 1 章で論じた通り、脱炭素社会の構築するために、エネルギー・トランジションを進めることが国際的な潮流となっているが、日本では京都議定書第一約束期間から進められてきた既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減を進める戦略からのエネルギー政策の更新はみられない。その背景として、エネルギー・トランジションは、既存のエネルギー供給システムや組織体制、制度などの変革といった社会的な影響も大きいことが背景にあると考えられる。従って、エネルギーの技術的観点だけでなく、技術の導入や運営する体制といった社会的な側面を捉えて、既存のエネルギー供給システムや組織体制や制度が現在構成されている背景の特定や、今後どのように変化をもたらしてくか示唆を与える研究が求められている。したがって、本研究では、以下の構成で既往研究のレビューを行った。

第一に、トランジション研究の理論的体系について既往研究をまとめた。本研究にどのように適用するか「多層的視座に基づくトランジション研究における本研究の位置付け」として示した。

第二に、京都議定書期間の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減の社会的構造をトランジションと比較するために、トランジション研究の多層的視座から敢えて論じると、ランドスケープ要素として、国レベルでの京都議定書に定められる CO_2 削減目標や CO_2 削減を促す京都メカニズムがあり、社会技術規範要素である既存の電力システムや制度は固定し、個別技術要素である原子力発電を進める構造になっている。従って、ランドスケープ要素が、個別技術要素に与えた影響を明らかにするために、世界レベルでの京都議定書の CO_2 削減効果を分析し、京都議定書期間において、既存の電力システム・制度の維持が維持される背景や電力部門の取り組みによる CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか分析した。

第三に、本研究では、個別技術要素として、日本国内の原子力発電の CO_2 削減効果を検証することから、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果に対する既往研究の結果をまとめた。

第四に、日本におけるエネルギー・トランジションの既往研究のレビューを行った。特に、社会技術規範要素のうち、電力体制、電力エネルギー供給システム、原子力発電に関わる問題（社会的受容性や廃炉問題、エネルギー安全保障）、火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題、エネルギー・電力部門における雇用問題の各論別に既往研究のレビューを行った。これにより、本研究でエネルギー・電力部門における雇用問題に関わる分析の位置付けを明らかにした。加えて、エネルギー・トランジションにおける雇用問題の中心的なステークホルダーである発電部門の技術者に関わる課題についてまとめた。

2.2. トランジション研究の理論的体系

2.2.1. トランジション研究の視座

トランジション研究は国土の 60%が、ゼロメートル地帯にあるオランダにおいて、気候変動がもたらす急激な降雨による水面上昇と地球規模での温度上昇に起因する海面上昇に対処することを目的に議論が活発にとなり、トランジションとトランジション・マネジメントの理論的体系が発達した(Brugge and Rotmans, 2006)。オランダでトランジションに関わる論点が国民的な議論となった経緯は、1993 年と 1995 年に起きた大規模な洪水により、世論の関心が高まったことにあった。さらに、1998 年と 2003 年には、高潮が起き、Wilnis (ウィルニス)地域に洪水をもたらし、農業に大きな被害を与えた。洪水の原因は、オランダ国内の都市化や産業化によって、降雨が土壌に吸収されず、短時間で河川に流入することが主要な原因であることが市民に共有された。さらに、今後気候変動による影響が顕著になると予想される中で、洪水による被害を抑えるには、社会が水管理に係る優先順位を検討すること、時間や規模の観点から様々な観点から意思決定をしなければならないこと、水管理に関する既存の制度や組織を変えていかなければならないことの必要性が明らかになった。その結果、これらの課題を対処するために、トランジションとトランジション・マネジメントの理論的体系が発達した。トランジションについて、様々な角度から議論されるようになり、代表的な理論的体系が Rotmans et al., (2001)が示す多段階的視座(multi-phase concept) と Geels, (2002)が提唱した多層的視座(multi-level concept) がある (表 2-1)。

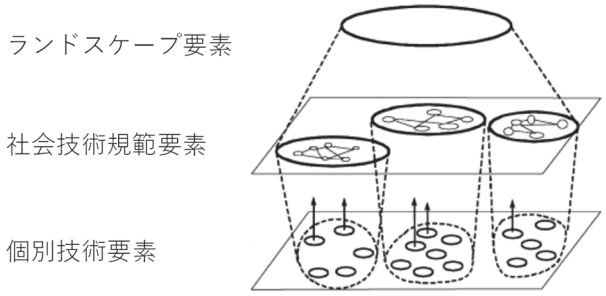
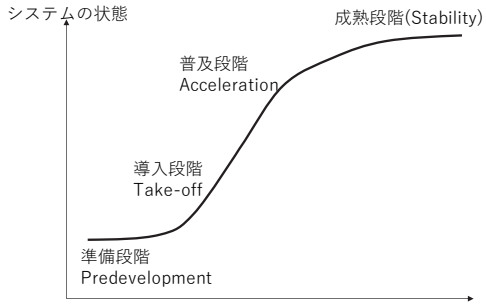
多層的視座は、マクロレベルである”ランドスケープ (Landscape) 要素”、メソレベルである”社会技術規範(Socio-technological regime)要素”、ミクロレベルである”個別技術(Niche)要素”の三つの段階における改革の相互作用の結果として捉えるものである。多段階的視座の重要な点は、新しい技術が発展し、社会に浸透するには、個別技術要素単独で発展するだけでなく、社会技術規範要素の一つである既存の組織体制と社会技術的ランドスケープ要素のレベルでの変革が伴う(Kemp et al., 2001)。

多段階的視座について、第一段階である“Pre-development”は、社会レベルで目に見える変化はほとんどなく、ニッチレベルで様々な取組が試験的に行われている段階である。第二段階である”Take off”は、変化のプロセスが進行し、社会システムの状態が変化し始める。第三段階である”Acceleration”では、相互に反応する社会文化的、経済的、生態学的、制度的変化の蓄積を通じて、構造的な変化が目に見える形で起こる。この段階では、集合的な学習プロセス、拡散および埋め込みプロセスなどがある。最終段階である”Stabilization”では、社会的変化の速度が低下し、新たな動的平衡に達するものである。

社会全体のトラジジションは、図 2-1 に示されるように、短期的に成し遂げられる個別技術要素レベルの変化が積み重なることで達成される。トランジションは、内因的及び外因的の両方の要素から発展する。従って、トランジションを考える際には、個々の因果パターンではなく、複数の因果関係を考え、トランジションが発展する全体のプロセスの説明が必要となる(Kemp and

Loorbach, 2003)。また、図 2-3 が示すように、ランドスケープ要素が社会技術規範要素に影響を与え、それがニッチ（個別技術）に影響を与えることで、社会の変革が起きるということを示している。図 2-3 に明示的に示されていないものの、ランドスケープ要素と社会技術規範要素が影響し合う場合もある。多段階的視座が時間軸を示し、多層的視座が社会の階層を示していることから、図 2-2 が示すようにその組み合わせも議論されている。すなわち、多段階的視座で示す試行段階(pre-development)、導入段階(take-off)、普及段階(acceleration)、成熟段階(stabilization)の各段階で多層的視座の各要素（ランドスケープ、社会技術規範、個別術）の変化を捉えるというアプローチも考えうる。実際に Geels, (2002)は、多段階的視座(multi-phase perspective）を多層的視座(multi-level perspective）組み合わせて、動的多層的視座（図 2-3）を提唱しており、近年のトランジション研究の基礎となっている(Geels et al., 2016a)。

表 2-1 トランジション研究の視座

トランジションの特徴	具体的特徴
多層的視座(multi-level perspective)	 出典：(Geels, 2002)
多段階的視座(multi-phase perspective)	トランジションは以下の 4 つの段階から構成される。①試行段階(pre-development)、②導入段階(take-off)、③普及段階(acceleration)、④成熟段階(stabilization)  出典：(Rotmans et al., 2001)

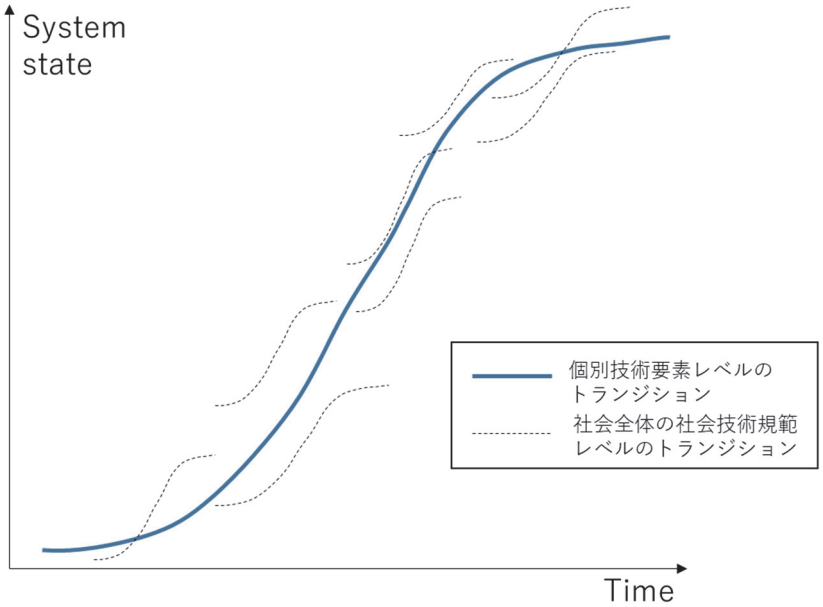


図 2-1　様々なイノベーションの組み合わせによるトランジション
出典：　Brugge and Rotmans (2006)を基に筆者作成

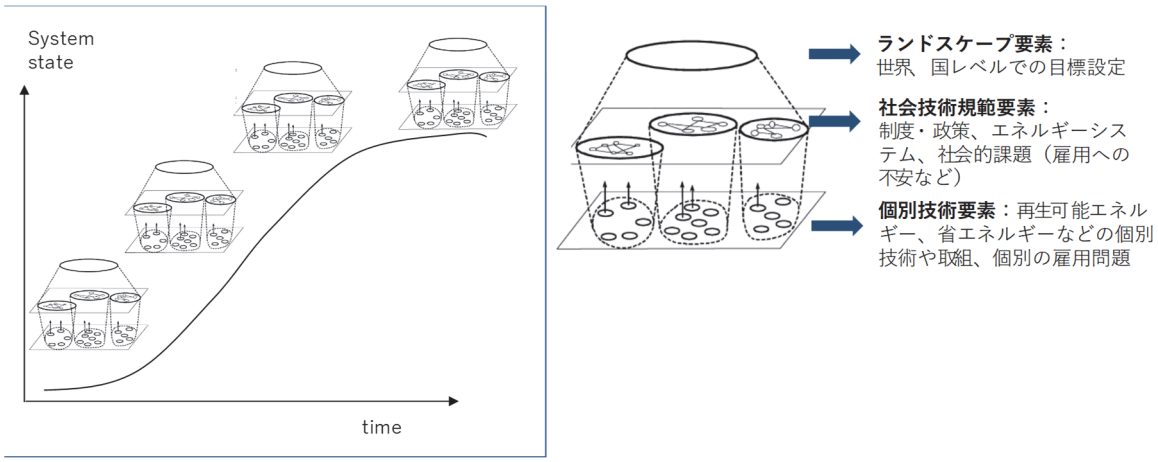


図 2-2 トランジション研究における多段階的視座と多層的視座の関係性
出典：Rotmans et al., (2001)及び Geels (2002)を基に筆者作成

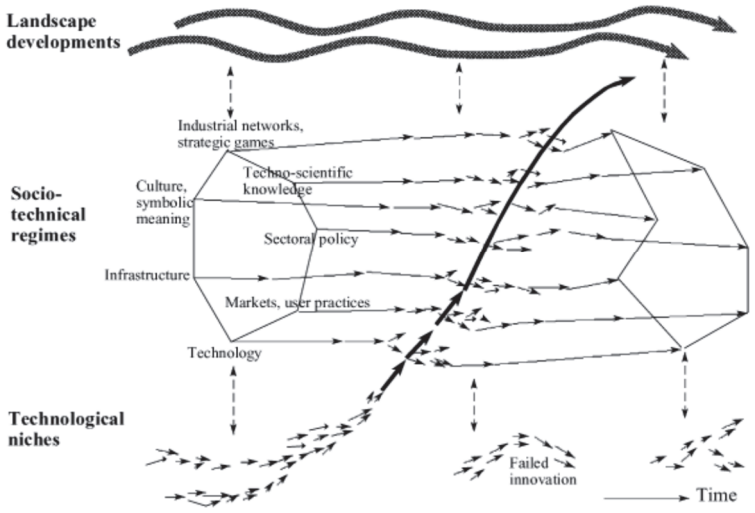


図 2-3　動的多層的視座(dynamic multi-level perspective)の概念図

出典：Geels (2002)

なお、図 2-4 に示される通り、トランジションの結果として、もたらされる状態は、必ずしも最良のものなるとは限らない。”Take-off”の段階で解決するべき課題がうまく対応できない、あるいは、既存のシステムを十分に改革することができずに、社会システムの変化が中途半端な状態で終わる”Lock-in”と状態や、最悪の場合社会システムそのものが破綻する”system breakdown”を引き起こしてしまう可能性がある。また、トランジションがうまく”acceleration”しても、その変化が一時的なものとなり結果的に逆戻りする”Backlash”も起こりうる。そのため、トランジションを”stabilization”の状態に、成し遂げた変化を安定的なものにするトランジション・マネジメントという概念が提唱されている。Kemp and Loorbach (2003)によると、トランジションはミクロレベルの決定の積み重ねによって、マクロレベルの成果がでることが望ましいとされる。それらは、社会に存在する社会技術の下で、個人的および集団の決定の相互作用から生みだされるものとなる。 したがって、管理（マネジメント）できない要素が多数あるが、トランジション・マネジメントは主に表 2-2 に示される作業が含まれる。

表 2-2 トランジション・マネジメントの要素

作業 1	最適ではないソリューションに縛られないようにする。
作業 2	既存の意思決定フレームワークにトランジション政策を組み込み、トランジション・マネジメントを正当化する。
作業 3	変化の動的なメカニズムを理解し、肯定的な結果がすぐに実現しない場合においても、トランジションのプロセスが停止しないようにする。
作業 4	様々なレベルの調整を行う。トップダウンでは政策面、ボトムアップアップでは主体的な取組を調整することとなる。

従って、トランジション・マネジメントは、現在進行中の社会の動的変化を利用し、ボトムアップの取り組み支援を行うことが核心的内容となる。この中には、Goddard and Farrelly, (2018)が指摘するように「トランジションによる負の影響を緩和し、参加型アプローチを通じて、エネル

ギーの意思決定から疎外されるグループの地位を高める」ことも含まれる。

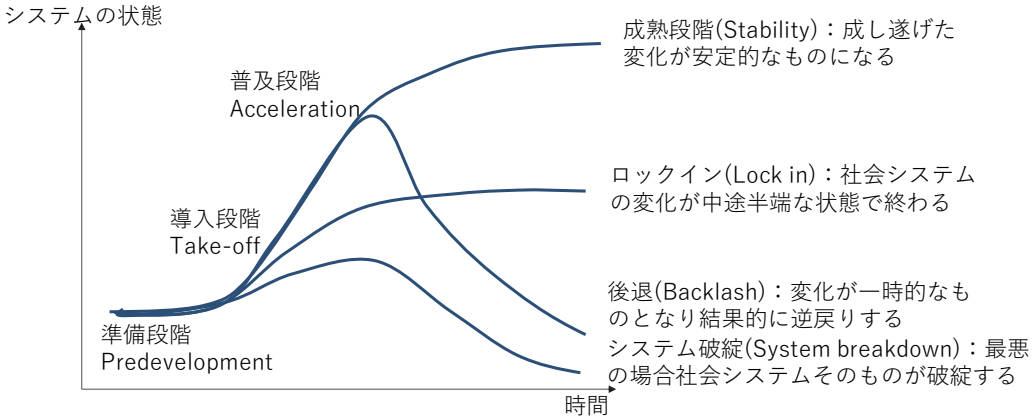


図 2-4 トランジションの様々な経路図

出典：Brugge and Rotmans (2006)を基に筆者作成

2.2.2. エネルギー・トランジションと雇用の関係

エネルギー・トランジションの中でも、ステークホルダー間のトレードオフを最小限に抑えながらエネルギー・トランジションを進める方策として、雇用問題を主に扱う「公正な移行」が、国際的な政策分野で主要事項となりつつある(COP24 PRESIDENCY OFFICE, 2018; IPCC, 2018; OECD, 2016)。日本においても、2019 年 7 月に公表された日本版の長期戦略である「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」によって、公正な移行を扱う章が設けられ、その中では、「脱炭素社会へ向かう際の労働移行を円滑かつ遅滞なく進めるため、国、地方公共団体及び企業が一体となって、各地域における労働者の職業訓練、企業の業態転換や多角化の支援、新規企業の誘致、労働者の再就職支援等を推進していく。あわせて、地域社会・地域経済についても、円滑に移行できるよう取り組んでいく。」と、雇用問題の重要性が強調されている。このように、世界的には、エネルギー制度やシステムが変わることで雇用への影響の重要性が認識されており、以下では、その背景について研究的視点からまとめる。

Vona (2019)は、マクロレベルでは、エネルギー・トランジションによって、国内に便益をもたらされることが、一般的な見解となりつつある[1]にも関わらず、CO_2削減策が雇用に関して大きな政治的論点となる理由を以下の通り説明した。第一に、人々は、気候変動よりも雇用問題に関心が

[1] 応用一般均衡分析、ポストケイジアン分析、産業連関分析などを用いた多くの分析の結果では、CO2 削減策によって、減少するエネルギー集約型産業関連の雇用量は、再生可能エネルギー、建物の改修、廃棄物管理などのグリーン産業での新たな仕事（それも、賃金が高い）によって相殺される可能性が高いことが示されている。

高いことが、2008 年の経済危機によって示された。さらに、欧米においては、雇用を守るために、たびたび環境規制を弱体化するようなロビー活動が行われている。このような事象から、雇用の問題が、雇用者自身の大きな懸念事項であり（場合によっては、健康被害の問題よりも関心が高くなる）、グローバリゼーションによる雇用減の状況が気候変動対策による雇用減の懸念を増長している可能性をしてきした。米国においては、帰属するグループのアイデンティティが雇用減の心配を増長している可能性があるとした。例えば、石炭炭鉱や石炭火力発電に従事していた雇用者が負の影響は受けるが、彼らは正規職員でかつ高所得者である（Walker, 2013）。このような背景からトランプ政権は、Clean Power Plan の廃止をいち早く着手し、国内の有権者の票獲得を狙った。同様に、ドイツの脱石炭の方針によって、安定的で高所得な炭鉱従事者の反発があり、脱石炭産業の政策を進めるために、炭鉱事業者への所得補償余儀なくされた。また、米国、ドイツの事例においても、CO_2 削減策によって負の影響をうける労働者は国全体の労働者のうち 5%程度しか占めていない。一方で、日本は、同労働者は、6%程度占めていることが示されている（Walker, 2013）。

Prinz and Pegels, (2018)は、ドイツの電力部門において、雇用への影響がエネルギー・トランジションに対して、どのように影響力をもっているか分析した。結論として、持続可能な状態へのトランジションにおける雇用への関心を持つ労働組合を中心とする層は、政治分野において中心的な存在であるとした。そのような層は、化石燃料を使い続けて、現在の雇用を守ることに対する優先順位が気候変動政策に対応することよりも高い。そして、そのような関心事項は、気候変動政策によって、エネルギーのトランジションを起こそうとする関心事項よりも、政治的な影響力が大きい傾向にある。ドイツの電力部門におけるエネルギー・トランジションは進んでいるが、今後、潜在的に障壁となりうる社会的受容性のなかでも、労働問題が大きくなると指摘した。

その他、Healy and Barry (2017)は、「雇用対環境または気候変動問題」の枠組みがエネルギー転換における労働組合の主要な関心事項であることを示した。Goddard and Farrelly (2018)は、急速に展開されるエネルギー転換の結果としての雇用の減少を回避するために、段階的な既存設備の廃止計画を調整することの重要性を指摘した。同時に、安定した気候変動政策と生じうる雇用問題に対処する政策の必要性を強調した。Vona (2019)は、汚染物質を排出する産業における失業をめぐる議論はロビイストの交渉材料となっていることを指摘し、有効となりうる政策は、雇用者の職業訓練政策や補償であるとした。Sievers et al., (2019)は、エネルギー転換による雇用への正負の影響を分析について、マクロレベルの影響よりも地域レベルに分解した分析をするこの重要性を指摘した。

2.2.3. トランジション研究の今後の展望

トランジション研究は、社会変化のプロセスに着目する研究であるため、時間的視座と社会の階層に関する二つの視座が重要となる（図 2-2）。特に、トランジション研究は多層的視座の 3 つの要素（ランドスケープ要素、社会技術規範要素、個別技術要素）を様々な段階（試行段階、導入段階、普及段階、成熟段階）で議論することで社会の変化を体系的に整理する研究が進められてきた。ランドスケープ要素については、統合評価モデル(IAM)やエネルギーモデルを用いて、国別あるいは経済活動部門別の CO_2 削減ポテンシャルの評価や CO_2 削減目標を達成するための費用分析といった研究、社会技術規範要素については各国のエネルギーシステムや制度について焦点をあてた研究、ニッチ技術要素については、個別技術の進展や community energy など地域レベルの活動に焦点を当てた研究がなされてきた(Geels et al., 2016)。

しかし、Geels et al., (2016)は、多層的視座の個別の要素のみに着目した研究では不十分であると指摘している（表 2-3 参照）。例えば、ランドスケープ要素として用いられる IAM やエネルギーモデルといったモデルアプローチは、マクロレベルの政策評価といった研究は、世界レベルや国レベルの事象に着目することが多く、地域レベルの事象に着目されることが少ない。従って、組織、社会、ビジネスにおける革新的な事象を捉える事が難しい。特に、多くのモデルアプローチは経済理論に基づくことから、モデルアプローチは全ての行動が十分に情報を当てられて最適な決定に基づくことを仮定している。しかし、現実には、人々の能力、財政、選挙、法律などの様々な制約条件の中で決定される。モデルアプローチでは、市場メカニズム（価格メカニズム）によって人々の行動が決定されるが、現実に取り得る政策的オプションとして、税率の調整、補助金の付与や廃止、省エネ基準の設定などが主流である。IAM では、GHG 排出量制約下の費用最適解を導くが、実際には、エネルギー安全保障、健康、雇用、国際競争力取った観点から政策オプションがとられる。総じて、IAM は、“First-best world’s”を想定するが、現実社会では、”Second best world”で成り立っている。また、モデルアプローチの結果は、技術革新の変化に対して保守的になる傾向があり、目標を達成するにあたり、費用が過大推定になる傾向があることに注意が必要である。個別技術要素は、コミュニティエネルギー、草の根活動、都市部の変革といった実際の事象を捉えることで、信頼、協調、コミットメントなど経済的なインセンティブ以外の動機を分析できる。しかし、研究対象は、個別事例に限定されており、結論を一般化することが困難である。社会技術規範要素を中心とする研究は、ニッチな技術や社会変化を捉え、それが社会全体の変革に与える影響を定性的に論じることで、政策的戦略が扱われている。しかし、定量的評価や将来展望が難しいことが課題である。従って、トランジション研究では、多層的視座の個別の要素のみに焦点をあてて研究をするのではなく、各要素のつながりに着目して研究を行うアプローチが求められるようになっている。具体的には、第一に、モデルアプローチから示されたランドスケープ要素としての大局的な結論に対して、社会技術規範要素での実現可能性な政策を特定することが挙げられる。第二に、事例研究などの実践的な研究アプローチによって、実際にどのようなプロジェクトが誘発され、それが大局とされる方向性と合致しているのか検証することが有効であるとしている。

表 2-3 多層的視座の各要素の研究の特徴と課題

分析アプローチ	特徴と課題
ランドスケープ要素：目標志向型の技術経済分析を行う統合評価モデル分析(IAM)やエネルギーモデルなど	**特徴**：緩和策の必要性や CO_2 削減効果を分析する観点から、気候変動政策に大きな貢献を果たしてきた。 **課題**：IAM はグローバルスケールに着目することが主流であり、組織、社会、ビジネスにおける革新的な事象を捉えることが難しい。IAM では、CO_2 排出量制約下の費用最適解を導くが、実際には、エネルギー安全保障、健康、雇用、国際競争力といった観点から政策オプションがとられる。CO_2 削減の“費用”に限って注目しているが、CO_2 削減の実行に伴う“便益”は論じられていない総じて、IAM は、“First-best world's”を想定するが、現実社会では、”Second best world”で成り立っている。社会科学的な視点から得られる重要な結論が見落とされる可能性がある。
社会技術規範要素	**特徴**：ニッチな技術や社会変化を捉え、それが社会全体の変革に与える影響を定性的に論じる。政策的措置よりも政策的戦略に重点が置かれている。 **課題**：定量的評価や将来展望が難しいことが挙げられる。
個別技術要素	**特徴**：コミュニティエネルギー、草の根活動、都市部の変革といった取り組みと研究者をつなぐ研究アプローチ。実際の事象を捉えることで、信頼、協調、コミットメントなど経済的なインセンティブ以外の動機を分析できる。また、実際の行動を通じて意思決定が変わるといった“Learning by doing”の効果を測定できる。 **課題**：一般化することが困難であること、視点が短期的である。

出典：Geels et al., (2016)を基に筆者作成

2.2.4. 日本におけるエネルギー・トランジションに関わる既往研究

1 章で示した通り、これまでに、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換がとられていたが、東日本大震災及び福島第一原子力発電所の事故以降、日本においてもエネルギー・トランジションの必要性を指摘する議論が活発化している。本節では、日本におけるエネルギー・トランジションの既往研究をまとめた。

東日本大震災及び福島第一原子力発電所の事故以前、日本では、エネルギー・トランジションに関する議論はほとんどなされていなかったと指摘された(Chapman and Itaoka, 2018)。その理由として、Valentine and Sovacool (2019)が論じるように、1990 年代以降の原子力開発政策はイデオロギー的定着と依存(ideological entrenchment and path dependency)の結果である考えられる。すなわち、従来の電力業界の主たるステークホルダーが現在の電力制度を大きく変えずに、エネルギー・トランジションに対応するという意向が強く反映されたことが、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換が進められた背景であると指摘された。同様に、大島(2010)は、エネルギー政策において、原子力については、過度に楽観的な想定とし、原子力開発だけは、あらかじめ既定路線として決められてしまうという、原子力発電一辺倒で進められたと指摘した。また、経済産業省が所管する独立行政法人である経済産業研究所のレポートでは、電力業界の政府に対する強力な自立性があり、原子力政策を含むエネルギー政策に多大な影響を与えていたことを指摘した(牧原, 2017)。

このような中、Chapman and Itaoka, (2018)も論じるように、日本におけるエネルギー・トランジションに関する議論は、福島第一原子力発電所の事故の影響及びパリ協定採択以降に活発化している（表 2-4 参照)。ランドスケープ要素に関する既往研究については、将来のエネルギー供給システムや電源構成について分析するエネルギーモデルを用いた伝統的な研究分野が該当し、数多くの知見が存在する(Oshiro et al., 2017b; Silva Herran et al., 2019; Sugiyama et al., 2019)。

表 2-4 日本におけるエネルギー・トランジションの各フェーズにおける既存研究まとめ

多層的視座の三要素	エネルギー・トランジション
ランドスケープ要素	脱炭素社会を達成する電源構成などのエネルギーのモデル分析(Oshiro et al., 2017b; Silva Herran et al., 2019; Sugiyama et al., 2019)
社会技術規範要素	表 2-5 参照。
個別技術要素（技術や取組）	再エネ導入事例研究や市民調査、エネルギー消費(Chapman and Okushima, 2019; Fraser, 2019; Mochizuki and Chang, 2017; Wakiyama et al., 2014) 個別技術(Mah et al., 2013; Trencher and van der Heijden, 2019)

出典：筆者作成

個別技術要素に対しては、様々な個別の取り組みに関する研究がある。Mochizuki and Chang (2017)は、東日本大震災で被災した地域では、他の地域よりも太陽光発電の導入量が多い理由について、被災地の特性（被害の程度、住居移転の有無、危険災害区域の指定の有無）によって説明できることを明らかにした。Chapman and Okushima (2019)は、エネルギー・トランジションと家庭におけるエネルギー貧困について、アンケート調査を通じて分析したところ、低所得者はエネルギー・トランジションに対して、支持をしない傾向にあるが、低所得者層に配慮した政策を講じることで、エネルギー・トランジションに対する支持率が増加することを示した。Trencher and van der Heijden (2019)は、再生可能エネルギーと水素技術の関連に着目し、福島第一発電所の事故以降、人々の再生可能エネルギー導入への関心が高まると同時に、国レベルの水素利用戦略がどのように地方レベルでの水素利用戦略に影響したのかについて言及した。Ahl et al. (2020)は、エネルギー・トランジションによって再生可能エネルギーを促進するために有用なブロックチェーン技術を普及させるためには、様々なステークホルダーによるイノベーションを統合していく必要性を指摘した。

本研究において特に、着目している社会技術規範要素を表 2-5 に示す通り文献の分類を細分化した。Kucharski and Unesaki (2018)は、電事連を中心とする“原子力ムラ”の電力政策への影響力が大きく、トランジションを阻んでいるという既往研究が多い中で、日本のエネルギー業界の組織構造に着目している。特に、福島第一原子力発電所の事故以降に、エネルギーのガバナンスについて、開かれた議論が行われるようなり、日本のエネルギー・トランジションが進行中であることを指摘し、日本のエネルギー・トランジションは特殊であり、他国の事例と分けて考える必要性を指摘した。Mori (2019)は、既存の電力制度や体制を維持する期間が長くなればなるほど、既得権益の政治的影響力が大きくなり、新たな技術や取組の導入が遅れ、結果として、持続可能なトランジションが遅れることを指摘している。Li et al. (2019)は、日本では、2012 年以降に再生

可能エネルギーのうち、風力発電の導入量が伸びず、太陽光発電のみが急激に導入された理由について、太陽光発電業界の政治的影響力の観点から分析を行い、当該業界が太陽光発電の電力買取価格を適正価格より高く設定することが出来たことを理由として挙げた。Mah et al. (2013) は、日本のスマートグリッド実証事業を促進する政府のガバナンスについて着目し、エネルギー・トランジションの個別技術要素であるスマートグリッドに係る技術を社会に実装するためには、現行制度の改革の必要性を指摘した。

電力エネルギー供給システムについては、工学的観点から、既存の送配電網における再生可能エネルギーの立地の最適化を解く研究がある。また、再生可能エネルギーの導入量を増やすための必要な送配電網や調整電源の投資コストの分析が行われていた(Esteban and Portugal-Pereira, 2014; JST, 2019; 安田 and 濱崎, 2018)。

原子力発電の組織や制度について、Behling et al. (2019)は、日本は文化的、地理的要因が相まって原子力発電のシビアアクシデントを起こす傾向が他国よりも強いことを指摘するとともに、福島第一原子力発電所事故の対策費用は 5,000 億ドルを超える可能性があることを試算した。Hayashi and Hughes (2013)はこれまでの日本のエネルギー政策は、原子力の促進が中心に行われてきたが、福島第一原子力発電所の事故以降に再生可能エネルギーの促進も検討するようになるという危機対応型であることを指摘した。Nakamura (2018)は、オンラインによるアンケート調査の結果から、回答者の 70～85%が核廃棄物管理に関する政策に関する議論について、回答者の 35%が、国レベルまたは県レベルのエネルギーと環境政策に関する市民参加への参加意欲を示すなど、福島第一原子力発電所事故以降にエネルギーの関心が高まっていることを明らかにした。Valentine and Sovacool (2019)は、政策立案者が特定の技術を推進する方針をとると、その変更は容易ではないことを明らかにし、原子力の推進に重きが置かれていた日本のエネルギー制度改革も同様であり、これを変えていくには、各ステークホルダーの利害を踏まえて、より持続可能で公正な変革を進めていくことが必要であることを示した。Vivoda (2012)は、福島第一原子力発電所事故以降の原子力発電の低下から日本のエネルギー安全保障が危機的に陥っていることを示し、これを解決するには、当面の間は原子力発電を再稼働しつつ、中長期的に原子力発電からフェーズアウトしつつ再生可能エネルギーを増やしていく必要性を指摘した。

火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題について、日本の新規石炭火力の建設は、CO_2の 80%削減目標を達成する CO_2排出経路と整合していないことから、政府による温暖化対策引き上げによる稼働率が低下するリスクや、気候変動リスク回避の観点から投資家によって資金が引き上げられ、座礁資産となるリスクが高まっていることが指摘されていた(Caldecott et al., 2016; Climate Analytics, 2018; Gray et al., 2019; Trencher et al., 2019)。

しかし、電力体制、電力エネルギー供給システム、原子力発電に関わる問題、火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題などがあるが、これらは既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換でも課題となることから、様々な先行研究が行われていた。一方で、雇用の問題は

エネルギー・トランジション特有の問題であり、研究的知見が限られている。特に、電力部門の脱炭素化による雇用の影響について、地域内の付加価値と従業員の収入といった金銭的な影響分析(Nakayama et al., 2016)や、一部の自治体における事例調査(Ogawa and Raupach, 2018)などは存在するもの、既存の雇用量や各地域の雇用量に与える影響を網羅的かつ定量的に行った研究は、本研究の調査では、見受けられなかった。

表 2-5　日本におけるエネルギー・トランジションの社会技術規範要素に関連する文献一覧

社会技術規範要素として含まれるもの	主な文献
電力に関わる組織体制・構造	(Chapman and Itaoka, 2018; Kucharski and Unesaki, 2018; Li et al., 2019; Mah et al., 2013; Mori, 2019; 大島, 2010)
電力エネルギー制度	(Esteban and Portugal-Pereira, 2014; JST, 2019; Komiyama and Fujii, 2019, 2015; Wakiyama and Kuriyama, 2018; 安田 and 濱崎, 2018)
原子力発電に関わる問題（社会的受容性や廃炉問題、エネルギー安全保障）	(Behling et al., 2019; Hayashi and Hughes, 2013; Nakamura, 2018; Valentine and Sovacool, 2019; Vivoda, 2012; 経済産業省, 2018b)
火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題	(Caldecott et al., 2016; Climate Analytics, 2018; Gray et al., 2019; Trencher et al., 2019)
エネルギー・電力部門における雇用問題	(Nakayama et al., 2016; Ogawa and Raupach, 2018)

既往研究のレビューを以下にまとめた。日本におけるエネルギー・トランジションに関する研究は、IAM やエネルギーモデルを用いたランドスケープ要素に対する研究、短期的かつニッチな事象の研究を通じた個別技術要素に対する研究が中心的であった。また、社会技術規範要素に対する研究ついては、電力体制、電力エネルギー制度、原子力発電に関わる問題、火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題などがあるが、これらは既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換においても関連する課題であり、様々な既往研究がある。しかし、既往の研究において、既得権益の政治的影響力による既存のエネルギー供給システムの固定化が指摘されているが、それによって、CO_2 排出量にどのような影響をもたらしたとか論じられておらず、日本において、気候変動政策の観点からエネルギー・トランジションを進める意義が明確ではないことが明らかとなった。加えて、世界的には、エネルギー・トランジションの社会技術規範要素の中でも、雇用問題の重要性が認識されている中で、日本では、そのような研究的知見が十分に無いことが確認された。また、各要素間の関連性を十分に踏まえて研究は見受けられない。例えば、ランドスケープ要素であるモデルアプローチによって示された国レベルの CO_2 削減目標や電源構成について、個別技術要素のレベルでどのように変化するか捉え、それを社会技術規範要素における実現可能な政策を特定するといった、各要素間をリンクさせるような研究はなされておらず、さらなる研究が求められる分野であることが明らかとなった。

2.2.5. トランジションの多層的視座に基づく研究課題の位置付け

以上の背景により、本研究では、パリ協定以前の京都議定書を主とするランドスケープ要素が、個別技術要素に与えた影響を明らかにするために、世界レベルでの京都議定書の CO_2 削減効果を分析し、京都議定書期間において、既存のエネルギー供給システム・制度の維持が維持される背景や、電力部門の取り組みによる CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか分析した。次に、個別技術要素として、日本国内の原子力発電の CO_2 削減効果を検証し、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果を定量的に評価した（図 2-5）。

エネルギー・トランジションを進めるための政策提言の一環として、エネルギー・トランジションの下での十電力地域別の電源構成を計算するとともに、電力部門の雇用量の変化を分析し、その変化によってもたらされうる正負の影響を定量化することで、トランジションを適切に促す施策（トランジション・マネジメント）を示すことを目的とする（図 2-6）。2.3 から 2.6 では、個別の研究課題に関わる文献レビュー結果を示す。

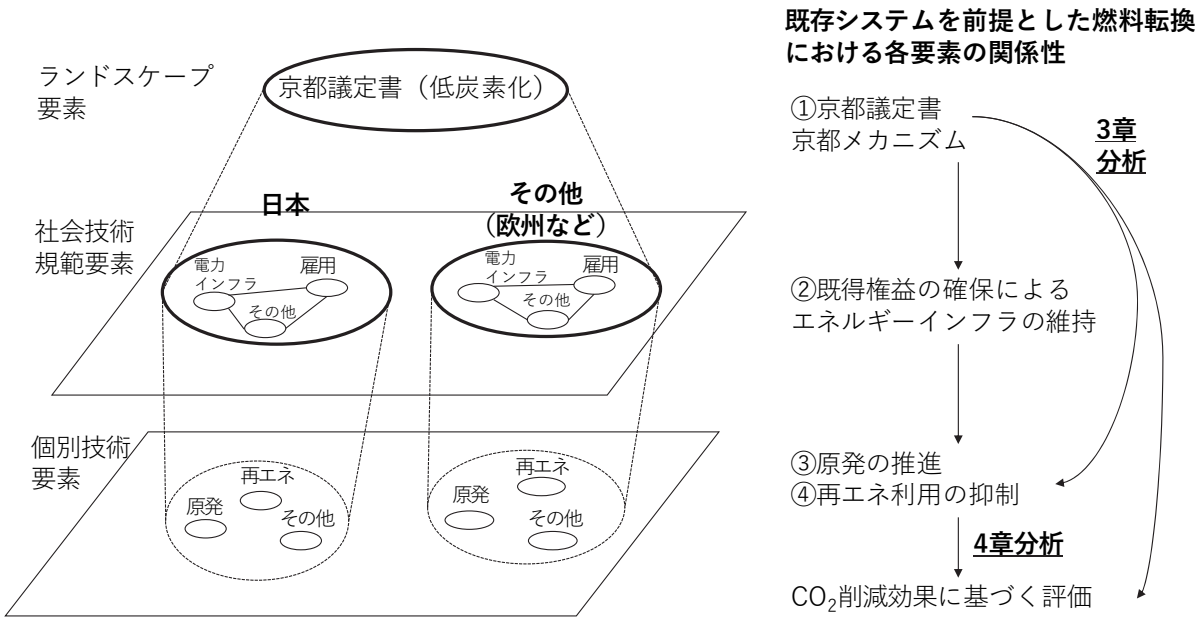


図 2-5　京都議定書期間中の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減を進める社会階層（図 1-7 再掲）

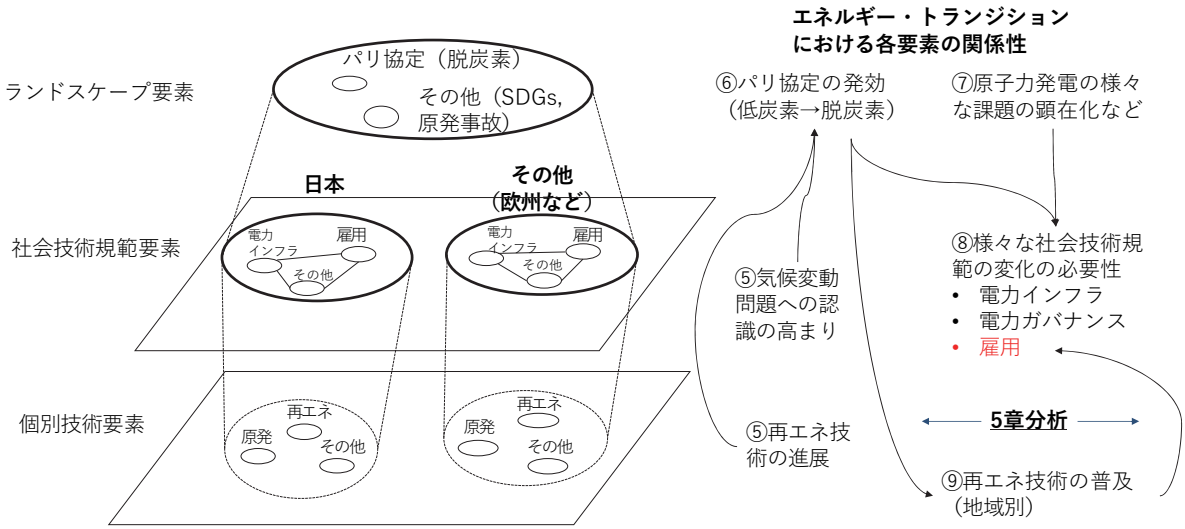


図 2-6　パリ協定採択以降の再生可能エネルギーを中心とする エネルギー・トランジションによる CO_2 削減を進める社会階層（図 1-8 再掲）

2.3. 京都議定書の CO_2 削減効果分析に関する文献レビュー

2.3.1. 京都議定書と京都メカニズム概要

本研究では、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換によって、CO_2 削減目標に効果があったのか、エネルギー・トランジションの理論的体系に沿って検証した。初めに、トランジションの理論的体系のランドスケープ要素である京都議定書がどの程度日本のエネルギー・トランジションに影響をもたらしたのか検証するために、世界レベルでの京都議定書による CO_2 削効果分析を行った。さらに、京都議定書の下で導入された京都メカニズム（詳細は後述）が、電力部門の取り組みによる CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか分析した。次に、京都議定書の目標に対して、電力部門における個別技術要素である原子力の利用促進によって、実際にどの程度 CO_2 効果があったのか分析することで、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換の脱炭素社会構築のための手段としての有効性を示した。従って、本節では、既往研究による世界全体及び日本国内での京都議定書効果に関する議論をまとめ、本研究の位置付けを明らかにした。

はじめに、京都議定書は、1997 年に採択され、41 の京都議定書附属書 B 国全体で、2008 年～2012 年の 5 年間の約束期間に平均して、二酸化炭素など 6 つの温室効果ガスの絶対排出量を 1990 年比で 5.2%削減する目標を設定された（3 条 1 項、附属書 B）。世界的な長期目標については枠組条約 2 条の究極的な目的である「気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させること」[2]以上のことは具体的には合意されていなかったものの、世界全体の排出量を 1990 年レベルに抑えることの必要性が共通認識であったことから、5.2%削減目標が設定された。その後、2005 年に京都議定書が発効し、締約国に対してその効力が生じた。

京都議定書では、法的拘束力のある数値目標は附属書 B 国のみ課せられ、途上国を中心とする非附属書 B 国が CO_2 削減策をとることは国際的に義務づけられていなかった。附属書 B 国の排出量の上限、すなわち割当量は、原則として、1990 年の排出量に基づいて定められ、2008 年から 2012 年の 5 年の約束期間中それを超えないよう自国の CO_2 排出量を削減・抑制することが義務付けられていた（3 条 1 項・7 項）。京都議定書は、目標に応じて排出が認められる排出量に対応した排出枠を与え、これらの国家間で排出枠を取引することを認める、いわゆる国際的な排出量取引制度の仕組みを導入した。具体的には、国際的排出量取引(IET: International emission trading)、クリーン開発メカニズム（CDM: Clean Development Mechanism）及び共同実施（JI: Joint Implementation）の三つの柔軟措置が導入された。従って、附属書 B 国は、自国内での CO_2 削減に加えて、市場メカニズムを利用した京都メカニズム（IET、JI、CDM）を通じて排出枠を獲

---

[2] この安定化水準は、「生態系が気候変動に自然に適応し、食糧の生産が脅かされず、かつ、経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内に」達成されるべきであるとしている。

得することもできた。IET は削減義務を負う附属書 B 国の間で排出枠を取引する仕組みであった。JI は、附属書 B 国が、別の附属書 B 国内で、CDM は、非附属書 B 国内（主に開発途上国）で、CO_2 排出削減や吸収事業を行い、自国外での削減分や吸収分を排出枠として獲得できる、いわゆるベースライン&クレジット制度であった（6 条・12 条）。なお、CDM によって創出される排出枠である CER(Certified emission reduction:認証削減量)は、国内または域内制度として欧州排出量取引制度（EU-ETS）やニュージーランド排出量取引制度（NZ-ETS）の対象事業者の CO_2 削減義務にも活用可能であった。京都議定書第一約束期間（2008 年から 2012 年）におけるすべての附属書 B 国が取得した京都メカニズムクレジットの使用量を図 2-7 に示す。すべての附属書 B 国における償却及び繰越（以下、取得）した京都メカニズムクレジットの 90%が自国起源京都メカニズムクレジットであり、10%が他国起源京都メカニズムクレジット（AAU6%、CER2% 及び ERU2%）となっており、他国起源京都メカニズムクレジットは附属書 B 国の CO_2 削減目標達成のために重要な役割を果たした。

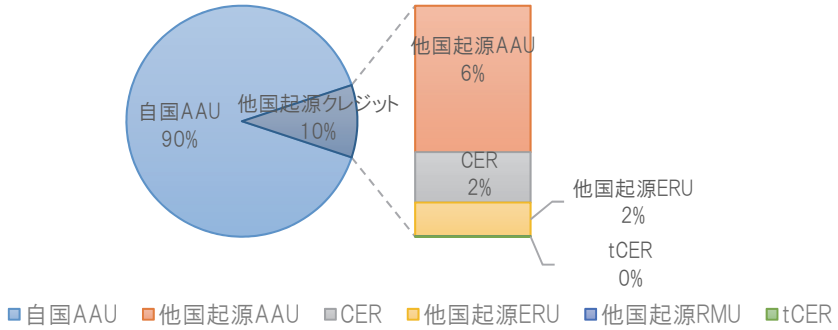


図 2-7　すべての附属書 B 国が取得した京都メカニズムクレジットの種類別内訳

出典：IGES (2016a)を基に筆者作成

このような、排出量取引制度及びベースライン&クレジット制度導入が GHG 削減目標達成のために機能するには、当該制度がない場合に比してより大きい排出削減活動が導かれなければならなかった。特に、対象国または対象事業者に排出枠が過大に割り当てられる（すなわちホットエアーが発生する）ことや、ベースライン&クレジット制度において、制度が無くてもいずれにせよ実施されていたプロジェクト（以下、追加性のないプロジェクト）からクレジットが創出され、排出量取引制度対象者の CO_2 削減目標達成使用されること、また削減活動の実施がプロジェクトの枠の外での排出を誘発する（すなわち、排出リーケージ）ことは防止される必要があった。仮にこれらの事例が頻発すると、制度が本来の目的を達成できず、制度の有効性を失う恐れがあった。すなわち、他国起源京都メカニズムクレジットを必要とする附属書 B 国が i)ホットエアー AAU、ii)追加性のない CER、iii)追加性のない ERU（以下、実削減を伴わない京都メカニズムクレジット）を用いて CO_2 削減目標を達成すると、実削減活動が行われず、京都メカニズムの実効力が損なわれてしまう。以下に実削減を伴わない京都メカニズムクレジットが取得されてしまう過程を簡潔にまとめた。

i）ホットエアーAAU の取得過程

第一に、市場経済移行国におけるホットエアーAAU を他の附属書 B 国が購入する際に、京都メカニズムのルール上は制約が無かった。グリーン投資スキーム(GIS)という自主的な仕組みを通じて、ホットエアーAAU 所有国が得る売却収益の使途を環境保全事業に制限する仕組みが講じられたが、これらのホットエアーAAU の取得自体を制限するものではなかった。京都メカニズムにおいては、AAU が他国へ移転されるアプローチとして、附属書 B 国同士の IET または、欧州排出量取引制度（EU-ETS）の対象企業間で取引される場合の二つ考えられ、その際に、ホットエアーAAU が取引される可能性があった。一つ目のアプローチの附属書 B 国同士の取引を通じた AAU 取得は、排出量が初期割当量（initial AAU）を超えると予想される国が、政府自らまたは民間企業に委託して、他国の AAU を含む京都メカニズムクレジットを調達する。主な取引は、AAU が不足すると見込まれる国による GIS を通じた市場経済移行国のホットエアーAAU の調達であった。

二つ目のアプローチは、EU-ETS を通じた取引であった。EU-ETS の対象企業の間の取引では、京都メカニズムと EU-ETS はリンクされているため、EU-ETS 対象企業が EU-ETS における排出枠である European Union Allowance (EUA)を取引すると、自動的に AAU の取引に反映された。例えば、EU-ETS の対象企業は自社の排出量がクレジットを超過する場合に、市場経済移行国における EU-ETS 対象企業から安価な余剰クレジットを購入された場合が考えられる。これは、京都メカニズムの取引の観点からは、市場経済移行国のホットエアーが他の EU 諸国に移転されることと同義である。

ii） 追加性のない ERU の供給

追加性のない ERU は、追加性のない JI プロジェクトの実施を通じて発行された。すなわち、EU-ETS の対象になっていない市場経済移行国のホットエアーAAU を、JI プロジェクトを通じて CO_2 削減活動を実施し、削減分を ERU に変換することで、EU-ETS の排出削減義務及び京都議定書の目標達成に使うことが可能であった。この場合、JI プロジェクト登録時の審査プロセスがプロジェクトを評価する機能を有するため、その実質的な環境十全性を担保する上で重要な役割を果たしうるという建前であるが、現実には、審査プロセスが JI プロジェクトのホスト国のルールによって行われるため審査が十分に行われない場合があった。

iii）追加性のない CER の供給

追加性のない CER は、追加性のない CDM プロジェクトの実施を通じて発行される。CDM においては、追加性に関するガイドラインのもと、各プロジェクトが該当するガイドラインに準じた追加性証明を行い、指定運営機関（DOE: Designated Operation Entity）がプロジェクト毎に審査し、審査結果をもって、CDM 理事会が承認を行う仕組みが採られていた。しかし、実際には、社会経済状況が大きく異なる途上国において様々なプロジェクトが提案される中で、全てのプロジェクトの追加性を担保するための根本的な解決策となる追加性に関するガイドラインを整備することができず、追加性のガイドラインも完全なものとはなっていなかった。詳しい議論は、

Spalding-Fecher et al., (2012)などを参照されたい。

2.3.2. 世界全体での京都議定書の CO_2 削減効果分析

京都議定書では、国内および国際的な CO_2 排出量削減活動にインセンティブを与える IET、CDM、JI から構成される京都メカニズムを取り入れていることから、本研究は制度ごとに文献レビューを行った。第一に、附属書 B 主要国において京都議定書が国内の CO_2 排出活動に与えた影響に対して研究を要約した。第二に、JI プロジェクトを含む経済市場移行（EIT）諸国における京都議定書による CO_2 排出活動に与えた影響をまとめた。これらの国は、「ホットエアー」[3]という、実排出削減を伴わない CO_2 削減活動による排出削減に基づく削減量が計上されることから、他国が国内排出量を削減するインセンティブを低下させる可能性があった(UNFCCC, 2018)。 第三に、CDM プロジェクトが実施された附属書 B 諸国における排出削減活動に関する文献をまとめた。緩和活動を促すプロジェクトの実施を通じて、実排出削減を確保する CDM プロジェクトの「追加性」に焦点をあてた。

京都議定書の国内緩和策の効果を事後評価するために、計量経済分析と非計量経済分析の両方のアプローチから研究が実施されていた(Aichele and Felbermayr, 2012; Almer and Winkler, 2017; Grubb, 2016; Grunewald and Martinez-Zarzoso, 2016; Shishlov et al., 2016)。計量経済的手法を用いた研究の中の多くは、附属書 B 国が京都議定書第一約束期間を完了する以前の国内活動による排出削減効果に限定して分析した。Grunewald and Martinez-Zarzoso（2016）は、difference-in-difference 分析を用いて 1992 年から 2009 年までの 170 カ国における京都議定書による CO_2 排出削減効果を分析した。Almer and Winkler (2017)は、2002 年から 2011 年の 15 か国の CO_2 排出量の変化を、国レベルおよび米国の州レベルのパネルデータを使用して合成制御法（synthetic control）を使用して分析した。この調査では、すべての附属書 B 国における京都議定書による効果は取り上げておらず、分析によって推計される CO_2 削減量は、京都議定書第一約束期間中におすべての附属書 B 国における CO_2 削減量よりも少ないことを明らかにした。 京都議定書第一約束期間終了後の京都議定書の評価として、Grubb（2016)は国際法の観点から評価した。Shishlov et al., (2016)は、京都議定書第一約束期間中において取引された京都メカニズムクレジットの取引量をまとめていたが、CO_2 削減効果まで分析はしていない。

EIT 諸国における京都議定書の CO_2 削減効果に関する分析は主にホットエアーに対する研究に焦点が当てられていた。ホットエアーは、EIT 諸国の排出枠が過剰に割り当てたことにより、EIT 諸国では CO_2 削減活動を行わず京都議定書の目標を達成できるばかりか、不当に割り当てられた排出枠を他国に売ることで利益を得ることができた。EIT 諸国では、800 以上の JI プロジェクトが

[3] ホットエアーには、排出量取引制度における排出枠の余剰量、ダブルカウントされた排出削減量削、非追加性の CDM プロジェクトからの排出削減量、および非永久的なカーボンオフセットが含まれる(Watts and Coiley, 2015)。

実施された（IGES, 2017a)。しかし、Kollmuss and Schneider (2015)は、JI プロジェクトの京都ユニットに基づく排出削減量（ERU）のうち、3/4 に及ぶ量に追加性がないことを定量的に示し、これらのプロジェクトは、それらのメカニズムに負の影響を与える”reverse effect”）があることを示した。例えば、 ロシアにおける HFC-23 と SF6 削減プロジェクトは、より多くの廃ガスを生成することで ERU を稼ぐということが行われていたと指摘された(Kollmuss and Schneider, 2015)。このような”reverse effect”は、工業ガス関連のプロジェクトのみならず、エネルギー起源の CO_2 排出量削減プロジェクトに対しても行われていたと指摘される(Bode and Michaelowa, 2003)。第二に、ホットエアーを購入した国は、その購入した分だけ自国の削減が進まないとうい観点から問題となる(Schiermeier, 2012; Woerdman, 2005)。一方、その他の研究では、グリーン投資スキーム（GIS）が EIT 諸国で排出削減を動員するインセンティブを提供することが示された(Ürge-Vorsatz et al., 2007)。 例えば、Karásek and Pavlica, (2016)は、指定量単位（AAU）の販売を伴う利益によって、太陽光発電システムとヒートポンプ機器の導入投資回収期間を 4 年に短縮し、その結果、 CO_2 削減を促したと指摘した。

追加性は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）の京都議定書の下で柔軟性メカニズムとして実施された CDM の重要な要素であり、京都議定書第一約束期間中には多くの研究が行われていた(Ellis and Kamel, 2007; Gillenwater and Seres, 2011; Schneider, 2009)。中でも、投資分析を用いた追加性の判定に関して、内部収益率（IRR）の妥当性、投資分析に用いられる情報の透明性に関する問題提起が多く見受けられた(Alexeew et al., 2010; Bartolucci et al., 2008; Haya, 2009; Lütken, 2012; Michaelowa, 2009; Schneider, 2009; Tatrallyay and Stadelmann, 2013)。なお、それらの主要研究の結果が UNFCCC による要請によって行われた CDM 政策対話[4]として、政策決定者に CDM 改革の在り方を提言した（CDM Policy Dialogue、2012)。CDM 政策対話は、CDM による排出削減に関して、特に風力、水力、天然ガス火力、石炭火力、排熱回収などの発電において、CDM プロジェクトとしての追加性に関して疑念があったと指摘した。加えて、CDM プロジェクトの相当量（substantial portion）は非追加的（considered to be non-additional）と考えられ、世界全体での大幅な排出量増加となってしまう懸念を示した(Spalding-Fecher et al., 2012)。また、非附属書 B 国で発行された京都メカニズムクレジットが、どの国でどの程度の量が附属書 B 国で償却、2015 年に初めて完了した。そのため、附属書 B 国で償却された京都メカニズムクレジットのうち実削減に貢献した削減量を特定することが、京都議定書による CO_2 削減効果分析に有用な情報となる。

京都議定書による CO_2 削減効果に関する文献レビューの要約として、京都議定書による排出削減の影響に関する既存の実証研究は、主に京都議定書第一約束期間の終了前に実施された。また、多くの研究では、非附属書 B 諸国の影響を評価せずに国内の削減活動に焦点が当てられていた。そのため、本分析の研究の新規性として、京都議定書第一約束期間終了し、京都議定書による CO_2

[4] UNFCCC 事務局の支援の下、CDM の制度改革を目的として、様々な分野における専門家による会合やワークショップ、現地訪問や調査などを通じて得られた意見をまとめた政策提言書。

削減効果を確定することにある。具体的には、附属書Ｂ国においては、京都議定書第一約束期間終了年である 2012 年までのデータを利用し CO_2 削減効果を検証した。また、京都議定書では、ホットエアーの存在が大きいことから、ホットエアーによる”reserve effect”も定量化した。さらに、本研究では、附属書Ｂ国で償却された京都メカニズムクレジットのうち実削減に貢献した CO_2 削減量を特定し、附属書Ｂ国での国内外での削減量の評価を行い、京都議定書によって、実際にどの程度の CO_2 排出量削減インセンティブを各国にもたらしていたのか包括的な評価を行った。

2.3.3. 日本国内での京都議定書の CO_2 削減効果分析

日本国内での京都議定書の CO_2 削減効果分析によって、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換において、実際にどの程度 CO_2 効果があったのか検証する。そのためには、様々な時点における電力部門の取り組みだけでなく、省エネなどの他の要素による CO_2 削減効果を同時に分析し、それらを比較する。従って、すべての部門を対象とするエネルギー関連指標を長期時系列で分析することが望ましい。

日本国内での京都議定書の評価として、定性的な議論としての政策・交渉プロセスを扱うものと、定量的な議論として、CO_2 排出量の増減及びその変化の要因について分析するアプローチがある。定性的な議論として、塚本&藤倉（2018）は、京都議定書の第一約束期間が始まるまでの国内政策及び各部門の CO_2 排出削減目標の変遷をまとめるとともに、達成手法の評価を行った。結論として、エネルギー起源 CO_2 排出量を削減する実効性のある政策を導入する意図を有していなかったため、国内の CO_2 削減ポテンシャルの最適化が図られなかったとしている。牧原（2017）は、京都議定書採択までの国内の政治的動向について、通産省と経済界に焦点を当てて、当時の政策構造と組織の戦略について論じた。結論として、グローバル化が進行する中で、日本固有の政策ビジョンを構築するのは困難中で[5]、マスメディアへの操作的な情報発信、様々なステークホルダーとの結節点の確保、省庁再編における集権化などの有効性を指摘した。

定量的な議論として、CO_2 排出量変化の要因分解分析が主流である。徳重 et al.(2015)は、日本を含む先進国のエネルギー原単位、CO_2 排出原単位について国際比較を行い、京都議定書第一約束期間における日本の取り組みを評価したが、分析期間が 2010 年までと限られていた。資源エネルギー庁による調査レポート（資源エネルギー庁, 2018）は、産業部門に焦点を当てており、分析の対象期間も 2005 年から 2015 年までの分析期間に限られていた。環境省は、1990 年から 2015 年までの期間の茅恒等式に基づいて、毎年の変化を毎年分析したが、1990 年以前の動向は分析の対象となっておらず、産業構造の変化による CO_2 排出量への影響も捉えられていない。(MOEJ, 2017a)。Okushima and Tamura (2007)は、1970～1995 年の期間と対象期間が古く、Lu et al. (2016)は、

[5] 牧原（2017）は、現在のビジネス戦略を世界大の競争の中で、新規のビジョンはグローバル企業が先導して打ち出し始め、国連や OECD など国際機関がビジョンを掲げ、各国がそれらを独自に取り入れるというスタイルが状態となっていくという価値観を有している。

対象期間 1946 年から 2011 年までの 66 年間のを対象としているが、主要エネルギー指標のトレンドを示すことに留まり、要因分解分析は行っていない。

以上の通り、1970 年代のオイルショックや高度経済成長期及び京都議定書第一約束期間の双方の期間の双方を含む長期時系列データを用いて、エネルギー原単位及び炭素排出原単位といったエネルギーの指標のみならず、産業構造の変化要因分解分析はこれまでになされていなかった。しかし、京都議定書の効果を一国内で見る際には、過去の変化との比較し、京都議定書第一約束期間における変化を捉えることでその効果を検証できると考えられる。従って本研究では、1960 年から 2015 年までの日本における長期時系列データを整備し、産業構造の変化及びエネルギー指標の変化を捉えた分析を行った。

2.4. 日本国内の気候変動政策とエネルギー問題

2.4.1. 京都議定書が発効するまでの日本の気候変動政策

1990 年 10 月の地球環境保全に関する関係閣僚会議において「地球温暖化防止行動計画」が策定された。「地球温暖化防止行動計画」は、温暖化対策を計画的・総合的に推進していくための政府方針と今後取り組むべき対策の全体像を明確にしたものである。20 年間（1990 年～2010 年）に講ずべき対策として、二酸化炭素排出抑制対策、メタンその他の温室効果ガスの排出抑制対策、科学的調査研究、観測・監視、技術開発及びその普及、普及・啓発、国際協力等広範囲な対策を掲げているが、その実施に法的拘束力はなかった。

1998 年に日本政府は、地球温暖化対策推進大綱を日本政府が定めた。地球温暖化対策推進大綱は、京都議定書の約束を履行するための具体的裏付けのある対策の全体像を明らかにしている基本方針であり、政府等の 100 種類を超える個々の対策・施策のパッケージをとりまとめたものであった。地球温暖化対策推進法改正における京都議定書目標達成計画は、新大綱（2002 年）を基礎として策定された。地球温暖化対策大綱の基本的な考え方として、「環境と経済の両立」、「ステップ・バイ・ステップ　アプローチ（節目の進捗見直し）」、「各界・各層が一体となった取り組みの推進」、「地球温暖化対策の国際的連携の確保」を方針においている。具体的な実施方法については同年に定められた地球温暖化対策推進法の下で、作成された京都議定書目標達成計画が規定した。

また、1999 年には地球温暖化に関する基本方針が定められた。本方針では三つの指針が明記された。一つ目は、「排出量取引等の活用は補足的なものとし、国内対策の推進を基本とする」とされ、京都メカニズムクレジットの利用が極力控えるような方針が出された。二つ目に、「太陽光発電等対策の導入に際してコストの制約があるものが多いことを踏まえ、経済的措置を活用したインセンティブ付与型施策を重視する。」とされ、上記の「環境と経済の両立」について具体化された。三つ目に、「事業者・国民・民間団体は、国・地方公共団体の対策の策定、点検等のプロセスに参画するとともに、その透明性を確保する。」とされ、国のみならず、地方自治体による目標達成計画の策定と PDCA サイクルの概念の重要性が強調された。

表 2-6　京都議定書に係る日本の気候変動政策

施行年	概要
1990 年	地球温暖化防止行動計画：1991 年から 2010 年までの間の行動計画を定める。
1998 年	地球温暖化対策推進大綱（2002 年、2004 年改訂）
1998 年	地球温暖化対策推進法
1999 年	地球温暖化対策に関する基本方針

出典：京都議定書目標達成計画(首相官邸, 2008)より筆者作成

2.4.2. 京都議定書第一約束期間中の地球温暖化対策推進法及び京都議定書目標達成計画

地球温暖化対策推進法は、1997 年の COP3 にて京都議定書の採択を受けて、1998 年に成立した。行政、企業などに対し、本法律に定められた地球温暖化対策の実施の法的拘束力が生まれた。具体的な行動計画は、2002 年に地球温暖化対策推進法の中で、「京都議定書達成計画」の策定が明記されてから始まった。「京都議定書目標達成計画」は 2005 年に作成された。1990 年比 6%削減を達成するために、エネルギー起源 CO_2(産業部門、業務そのた部門、家庭部門、運輸部門、エネルギー転換部門)、非エネルギー起源別に、CO_2 削減目標が割り当てられた。また、2006 年の改正では、産業界を中心とした法人部門で京都メカニズムクレジットの活用についても定められた。2012 年の京都議定書第一約束期間の終了に伴い、京都議定書目標達成計画の役目が終了した。それに伴い、2013 年の法改正では、京都議定書目標達成計画に代わる地球温暖化対策計画を政府が定め、それを 3 年ごとに見直すように法改正がなされた。

表 2-7 地球温暖化対策推進法の成立・改正の経緯

期間	内容
1998 年成立	1997 年、京都で開催された気候変動枠組条約第 3 回締約国会議（COP3）での京都議定書の採択を受け、我が国の地球温暖化対策の第一歩として、国、地方公共団体、事業者、国民が一体となって地球温暖化対策に取り組むための枠組みを定めた。
2002 年改正	2002 年に日本が京都議定書を締結したことを受け、京都議定書の的確かつ円滑な実施を確保するため、 京都議定書目標達成計画の策定、計画の実施の推進に必要な体制の整備等を定めた。
2005 年改正	2005 年に京都議定書が発効されたことを受け、また、温室効果ガスの排出量が基準年度に比べて大幅に増加している状況も踏まえ、温室効果ガス算定・報告・公表制度の創設等について定めた。
2006 年改正	京都議定書に定める第一約束期間を前に、諸外国の動向も踏まえ、政府及び国内の法人が京都メカニズムを活用する際の基盤となる口座簿の整備等、京都メカニズムクレジットの活用に関する事項について定めた。
2008 年改正	京都議定書の６％削減目標の達成を確実にするために、事業者の排出抑制等に関する指針の策定、地方公共団体実行計画の策定事項の追加、植林事業から生ずる認証された排出削減量に係る国際的な決定により求められる措置の義務付け等について定めた。
2013 年改正	京都議定書目標達成計画に代わる地球温暖化対策計画の策定や、温室効果ガスの種類に３ふっ化窒素（ＮＦ３）を追加することなどを定めた。また、3 年ごとの地球温暖化対策計画の見直しも定めた。

出典：環境省(環境省, 2019)を基に筆者作成

2.4.3. 京都議定書第一約束期間後の CO_2 削減目標

京都議定書第一約束期間以降の CO_2 削減目標、特に 2020 年の中期削減目標の設定には様々な検討や議論がなされた。2008 年に中期目標を検討するため、地球温暖化問題に関する総理の懇談会が設置され、そのもとで、「中期目標検討委員会（2008 年～2009 年）」が立ち上げられた。検討委員会の中では、表 2-8 で示される 6 つの選択肢が検討された(首相官邸, 2009a)。いずれの選択肢も原子力への依存が高い選択が示された(首相官邸, 2009b)。

しかし、2011 年に東日本大震災及び東京電力福島第一原子力発電所の事故により、日本国内の原子力発電所に関わる見方が大きく変わった。そして、当時の民主党政権によって運営される政府は 2011 年 6 月に国家戦略担当大臣をはじめ関係閣僚をメンバーとするエネルギー・環境会議を設け議論を開始し、7 月 29 日に原子力への依存度を低減するという基本理念を決定した。しかし、関係会議体での議論、あるいは各種世論調査等では、原子力依存度を減らすという方向性は共有されつつあるが、どの程度の時間をかけてどこまで減らしていくべきなのか、どのエネルギーで補っていくべきなのかを巡っては大きく意見が分かれた(国家戦略室, 2012a)。2012 年 7 月に、「エネルギー・環境に関する選択肢」が公開されパブリックコメントを受け付けるなど、国民的議論を積極的に取り入れる試みがなされた。この結果、2012 年 9 月 14 日に「革新的エネルギー・環境戦略」が策定され、2030 年代に原子力発電所稼働ゼロを目指すエネルギー戦略が策定された(国家戦略室, 2012b)。しかし、これに対し、電事連や経団連など保守的な産業団体は電力料金の大幅上昇や供給不安を理由に強い反発を示した(経団連, 2012; 電事連, 2012)。

表 2-8　期目標検討委員会における 6 つの選択肢

中期目標検討委員会における選択肢	原子力、再エネ（新エネルギー比率）
①「長期需給見通し」努力継続・米 EU 目標並み	原子力 40%、新エネルギー3%
②先進国全体－25%・限界削減費用均等	明記無し
③「長期需給見通し」最大導入改訂（フロー対策強化	原子力 44%、新エネルギー1%
④先進国全体－25%・GDP 当たり対策費用均等	明記無し
⑤ストック＋フロー対策強化・義務付け導入	原子力 51%、新エネルギー1%
⑥先進国一律－25%	原子力 45%、新エネルギー1%

出典：第 6 回地球温暖化問題に関する懇談会中期目標検討委員会第 6 回(首相官邸, 2009a)を基に筆者作成

日本国内で、2020 年の CO_2 を含む GHG 削減目標に関する議論が定まらない中で、京都議定書第一約束期間終了後、日本は京都議定書第二約束期間に不参加とする手続きをとり、2020 年までの義務的な削減目標を持たず、代わりに、自主的な削減目標として、2013 年比 3.8%削減という目標を有した。当時、福島第一原子力発電の事故により全ての原子力発電所が稼働停止し、再稼働の適合審査に合格しなければ稼働ができない中で、2013 年比 3.8%削減という CO_2 を含む GHG 削減目標は、「原子力発電の活用のあり方を含めたエネルギー政策及びエネルギーミックスが検討中であることを踏まえ、原子力発電による 温室効果ガスの削減効果を含めずに設定した現時点での目標」として位置づけられた。ただし、「今後エネルギー政策やエネルギーミックスの検討の進展を踏まえて見直し、確定的な目標を設定する」というように暫定的な目標としての位置付けがなされた(環境省, 2013a)。

また、2013 年 11 月にポーランド・ワルシャワで開催された第 19 回締約国会議（COP19）において，全ての国に対し，2015 年末のフランス・パリで開催される COP21 に先立ち 2020 年以降の約束草案を示すことが招請された。これに対し日本政府は、2015 年 6 月に長期エネルギー需給見通し(経済産業省, 2015)が作成され、2030 年の電源構成目標を含むエネルギーに関する数値目

標が策定され、これを基に 2015 年 7 月に日本の約束草案(首相官邸, 2015)として、2030 年度に 2013 年度比 26.0%の CO_2 を含む GHG 削減目標を掲げる約束草案が UNFCCC 事務局に提出された。

2.4.4. 日本のエネルギー政策と気候変動政策の関係性

図 2-8 に日本の温室効果ガス(GHG)排出量とエネルギー起源 CO_2 排出量の推移を示した。GHG 排出量は、1990 年以降 12.5 億 tCO_2e から、14.1 億 tCO_2e の間で推移し、エネルギー起源 CO_2 排出量は 10.7 億 tCO_2e から 12.4tCO_2e の間で推移しているようにエネルギー起源 CO_2 排出量は、GHG 排出量の 8 割以上を占めた。そのため、日本の気候変動政策は常に、エネルギー政策と密接に関係しており、また、日本が CO_2 排出量のネット・ゼロ排出量を達成するためには、エネルギー部門における脱炭素化が最も重要であることが示唆された。従って、本節の最後に、エネルギー政策の根幹であるエネルギー基本計画について概観した。

エネルギーの大部分を海外に依存している日本にとって、その安定供給の確保は重要な課題となっていた。これに加えて、近年、地球温暖化問題を始めとする環境問題への対応、規制改革を通じた効率的な供給等、エネルギー政策に対する新たな要請が強まっていた。こうした背景の下で 2002 年 6 月に、「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分に考慮した上での「市場原理の活用」といういわゆる「3E」を基本方針としたエネルギー政策の基本方針が制定された。第 2 次エネルギー基本計画では、2006 年 5 月に策定された「新・エネルギー国家戦略」設定された原子力発電の比率を踏襲するような内容になった。第 3 次エネルギー基本計画では、安定供給の確保」、「環境への適合」、「市場原理の活用」の総称とする「3E」という名前が登場する。また、エネルギー基本計画で初めて、将来の電源構成の具体的数値が明記された。

第 4 次エネルギー基本計画は、東日本大震災時に起きた福島第一原子力発電所事故以降初めて改訂されたエネルギー基本計画であることから、従来の「3E」の概念に「S(Safety)」が加わり、「3E+S」となった。第 3 次エネルギー基本計画とは異なり、2030 年の具体的な電源構成は明記されず、翌年の「長期エネルギー需給見通し」で明記されることになった。パリ協定の発効後に改訂された第 5 次エネルギー基本計画では、「エネルギーの脱炭素化」が明記された。これを達成する手段として、再生可能エネルギーについては「主力電源」として位置づけられ、従来のエネルギー基本計画の中で主要電源と期待されていた原子力発電については、「可能な限り原発依存度を低減する」と記載されるように、脱炭素電源の役割が再エネに移ったことが見受けられる。

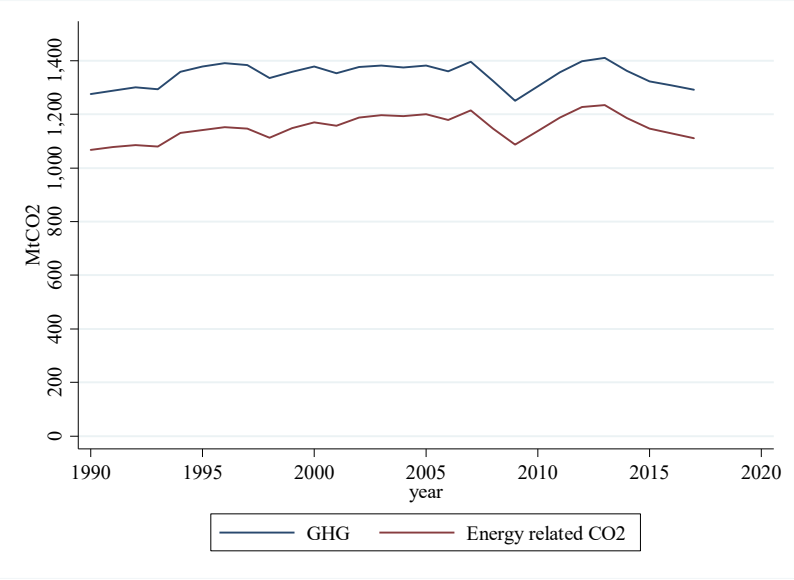


図 2-8　GHG 排出量とエネルギー起源 CO_2 排出量の推移

表 2-9 エネルギー基本計画の変遷

制定・改訂年	各エネルギー基本計画の主な内容
2003 年 10 月	エネルギー基本計画制定 -「3E」の概念が明記された。
2007 年 3 月	第 2 次エネルギー基本計画 -「新・国家エネルギー戦略」が目標とする「2030 年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を３０～４０%程度以上」を達成するために、原子力発電の積極的推進が強調された。
2010 年 6 月	第 3 次エネルギー基本計画 - 3E（安定供給の確保、環境への適合、市場原理の活用）の名称の登場 - 2030 年の目標が設定される。電源構成に占めるゼロ・エミッション電源（原子力及び再生可能エネルギー由来）の比率を約 70%（2020 年には約 50%以上)。「安全の確保を大前提とした原子力の新増設（少なくとも 14 基以上)」が明記された。
2014 年 4 月	第 4 次エネルギー基本計画 - 福島第一原子力発電所の事故を受けて 3E に安全性(Safety)が加わり、エネルギー政策の方針が「3E+S」となった。 - 2030 年の電源構成目標は、翌年の 2015 年に「長期エネルギー需給見通し」に記載された。
2018 年 7 月	第 5 次エネルギー基本計画 - エネルギーの脱炭素化が明記された。 - 再生可能エネルギーの主力電源化が明記された。ただし、電源構成については、明記されなかった。 - 原子力政策については、「再構築」の必要性が指摘され、「可能な限り原発依存度を低減する」とされた。

出典：経済産業省（2018a, 2014, 2010, 2007, 2003)を基に筆者作成

2.5. 日本におけるエネルギー・トランジションと雇用問題に関わる文献レビュー

2.5.1. エネルギー・トランジションと雇用問題の分析の焦点

本研究では、エネルギー・トランジションよる社会技術規範要素の変革に伴う様々な課題のうち雇用問題に焦点を当てることから、日本におけるエネルギー・トランジションと雇用問題の関連性について文献レビューを行った。

エネルギー・トランジションと雇用問題として、本研究では電力部門に焦点を当てる。その理由は第一に、エネルギー・トランジションによって、電力部門が最も大きな変化を受けるためである。具体的には、2018 年の GHG 排出量のうち、9 割以上が日本のエネルギー起源 CO_2 排出量を占め、そのうち 4 割が電力部門である。また、2017 年の発電電力のうち 8 割が火力発電によって供給された。十電力会社の発電技術者のうち、火力発電所及び原子力発電所に従事する技術者の割合が、それぞれ 4 割ずつを占めていた。そのため、エネルギー・トランジションによって、従来の発電所からの電力供給が、2016 年に 872 TWh であったものが、2050 年に 70～406 TWh に減少することが想定された。同時に、電力部門からの 2016 年の CO_2 排出量は、エネルギーおよび石油化学製品を含む総炭素使用量が全体の 35%を占めた。この点に関して、長年電力の供給に携わってきた十電力会社は日本のエネルギーおよび気候変動政策に対して、強い政治的影響力を有している(Sato, 2015)。特に、電気事業連合会（FEPC）や、民主党の政策に影響を与える電力会社の労働組合である全国電力関連産業労働組合総連合は、 雇用問題に対する懸念を示していた(JILPT, 2011)。火力・原子力発電所を持つ電力会社は、2016 年の電力市場の自由化まで各地域で 1 社のみが独占的に電力の生産と配電を行っていたため、日本の中でも安定的な雇用を提供していた。従って、電力会社における発電関連技術者数が 26,000 人程度であり、それが日本の労働人口のわずか 0.2%であるが、Vona(2019)が指摘するように、エネルギー・トランジションによって最も大きな影響をうけると予想される彼らの雇用の変化は重要な課題であると考えられる。第二に、日本は人口減少に伴う少子高齢化に直面しており、特に農村地域における急速な高齢化、雇用機会の減少、過疎化により、現在の公共サービスと物理的なインフラを十分なサービスレベルに維持することが困難になっている(Takahashi et al., 2008; Uwasu et al., 2018; Zheng, 2004)。一方で、日本の再生可能エネルギーのポテンシャルの多くは地方地域に存在している。

このような背景から、本研究ではエネルギー・トランジションと雇用問題の分析として、電力部門に焦点を当てた。その際に、上記で述べた正負の両方の影響についても論じることで、エネルギー・トランジションによる雇用問題に関するトレードオフを明らかにした。はじめに、負の影響として、既存発電設備の技術者の失業・再就職に着目し、専門的技術や知識の更新あるいは、居住地の変更が必要となる技術者がどの程度発生するのか着目した。正の影響として、日本社会が抱える地方部あるいは非都市部における労働人口減少による地域の活力または持続可能性の低下に対して、エネルギー・トランジションがどのように貢献できるか、既往研究や統計調査によって明らかにした。

2.5.2. 技術者全般に対する労働市場の現状

本項では、初めに、エネルギー・トランジションと雇用に係る議論として、技術者の労働市場現状と、一般的な雇用者に対する住居移転の負担について文献レビューを行った。

技術者の労働市場の現状として、小林（2016)は、既存データから管理職や専門・技術職といったホワイトカラー層ほど労働移動が生じておらず、当該層ほど民間職業紹介を経由した転職が多かった現状に着目し、ホワイトカラー層の労働移動の実態についての情報を補完し、現状の課題について整理した。厚生労働省「雇用動向調査」のデータから、「専門的・技術的職業従事者」と分類される職業が、他の職業への流入・流出とともに最も困難であることを明らかにした。さらに、厚生労働省「職業安定業務統計」や「労働統計年報」によって、職業別の総合マッチング指標を作成したところ、専門的・技術的職業従事者のマッチング指数は他の職業にと比較して最低な水準であることを示した。機械・電気技術者のマッチング指数が他の職業に比べて非常に低く、発電設備の運転に係る定置・建設機械運転の職業や電気作業者も軒並み平均よりも下回っていることを示した。また、専門家のヒアリングによって、「専門・技術職や管理職などのホワイトカラーほど外部労働市場を通じた職種転換が見られなかったが、この背景には経験者が求められ、畑違いの未経験者が参入できない」ことを明らかにしている。このように、発電部門の技術者はひとたび雇用が不安定になると心理的に大きな負担になりうることが示唆された。

一般的な技術者に対する住居移転の負担として、荻野&奥田(2017)は、近年では、共働き世帯の増加や、子育て・介護など様々な理由から、転勤を希望しない者や、転勤に関して様々な配慮を求める社員も増加していることを背景に、雇用管理における転勤の位置づけや実態、その効果等について企業・労働者アンケート調査を実施した。レポートの中で、転勤で困難に感じることの理由として、「介護がしづらい」、「持ち家を所有しづらい」、「進学期の子供の教育が難しい」という項目に同意した挙げた回答者がそれぞれ、75.1%、68.1%、65.8%と半分以上の割合を占めていた。さらに、経済産業省（2016)は、女性の離職の理由について、「配偶者の転勤」を理由とすることが 3 割程度いるとしている。また、小林（2016)は、民間職業紹介会社によるヒアリング結果の一部として、「地方に拠点がある企業が、外部人財を招聘する上で大きな課題になるのが勤務地である。生活拠点の大幅な移動を伴う転職は子女教育、両親介護、地元への愛着等がネックとなり、拒否されるケースが少なくない。」と、勤務地が大きく変わることへの抵抗を示す雇用者が多いことを示唆していた。その他にも、阿部 (2016)は、ある製造業会社が景気不況を受けて工場の閉鎖を余儀なくされた際に、再就職支援がどのような役割を果たしたのか調査した。その結果、「利用者の多くは、生産工程の職業を希望しており、希望通りの再就職先は少ない。それでも、生産工程の職業に再就職できた人は多いのだが、半数の人しか希望をかなえられていない。これに対して、介護や医療などの福祉関連の職業の有効求人倍率は 4 倍を超え、サービスの職業も 2 倍に迫っていた。」 と報告した。さらに、生産工程の職業に就職できた人材でも、「再就職支援対象者小野希望する勤務地域では、シリコンウエハ製造の仕事はないため、どうしても別の職種を再就職

先にせざるを得なかったという。そこで、カウンセリングの際に、前職の事業所よりも以前の仕事を考慮して、再就職先をアドバイスした。国家公務員や自衛隊勤務、食品メーカーや工作機械メーカー、ホテル、建設業など様々な前職があり、それを手掛かりに再就職先を探していた。」と報告していた。勤務地について阿部 (2016)の事例調査では、「利用者のほぼ全員が再就職先の所在を自宅から 60 分以内（希望通勤時間の平均値は 52.3 分）」とした。

このように、エネルギー・トランジションによって、火力・原子力発電をフェーズアウトする段階で、技術者の再就職が円滑にいかない場合や、勤務地が変わる場合には、日々の暮らしに大きな負担となりうること考えられる。したがって、　第 5 章では、エネルギー・トランジションが達成する様々なシナリオによる火力・原子力発電所の雇用量と退職などの自然減少を踏まえた既存技術者の余剰量を推計し、同一地域内における再生可能エネルギーの雇用量と比較し、再就職時の選択肢の可能性について定量的に分析を行った。

2.5.3.　エネルギーの脱炭素化に向けた政策実施による地域雇用への影響

本研究では、エネルギー・トランジションを進める際の課題として、化石燃料に関わる部門の雇用問題に焦点を当てた。従って、本項では、エネルギーの脱炭素化に向けたエネルギー・トランジションが日本の雇用問題にどのような影響をもたらすのかまとめた。

第一に、日本は国全体の人口減少が進むと同時に、都市部へ人口が流入する傾向が続いており、地方部における人口減少が著しい(厚生労働省, 2015)。地方部での人口減少が進むと、これまでの生活インフラが維持できなくなるといった、社会的に大きな問題を将来世代に残すことが懸念されている(Uto, 2012)。なお、地方部における人口減少の理由として、地方部への雇用が少なく、都市部へ仕事を求めるということが挙げられている(太田 et al., 2017)。このような中、地方部の人口増加が地方活性化の重要な要素とされる。例えば、政府は 2014 年に今後目指すべき将来の方向を提示する「まち・ひと・しごと創生長期ビジョン（長期ビジョン）」及びこれを実現するため、今後 5 か年の目標や施策や基本的な方向を提示する「まち・ひと・しごと創生総合戦略（総合戦略）」をとりまとめ、閣議決定を行った(内閣府, 2014a, 2014b)。本戦略では、「しごと」と「ひと」の好循環がまちの活性化の重要要素とし、「地方における安定した雇用を創出する」及び「地方への新しいひとの流れをつくる」という目標を掲げている。加えて、2015 年には「地方創生人材プラン」を立ち上げ、「地方公共団体も含め、地域の戦略を策定し、戦略全体を統合管理する人材」、「コミュニティにおいてリーダーシップを発揮する人材」、「個別分野において地方創生関連事業の経営に当たる人材」、「現場の第一線で中核的に活躍する人材」の育成に重点を置くように(内閣府, 2015)、地域活性を促す手段として、人材育成に重点が置かれている。

表 2-10　十電力地域の定義

十電力地域	都道府県
北海道	北海道
東北	青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島、新潟
東京	茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨
北陸	富山、石川、福井
中部	長野、岐阜、静岡、愛知、三重
関西	滋賀、京都、大阪、兵庫、奈良、和歌山
中国	鳥取、島根、岡山、広島、山口
四国	徳島、香川、愛媛、高知
九州	福岡、佐賀、長崎、熊本、大分、宮崎、鹿児島
沖縄	沖縄

本研究の第 5 章で分析する十電地域別（表 2-10 参照）において、総人口に占める労働年齢人口の 2015 年と 2045 年の割合を国立社会保障人口問題研究所のデータ(IPSS, 2017a)を基に計算した。その結果、図 2-9 に示すように、2015 年の北海道、東北、北陸、四国、九州地方の総人口に占める労働年齢人口の割合は、全国平均を下回り、2045 年になるとその差は拡大すると予想されている。一方で、再生可能エネルギーの大部分は 日本のエネルギーポテンシャルは地方にあり(MOEJ, 2018)、北海道や東北地方などの日本の北部は、風力発電の大きなポテンシャルを有していることから地方部に雇用を創出する可能性がある。

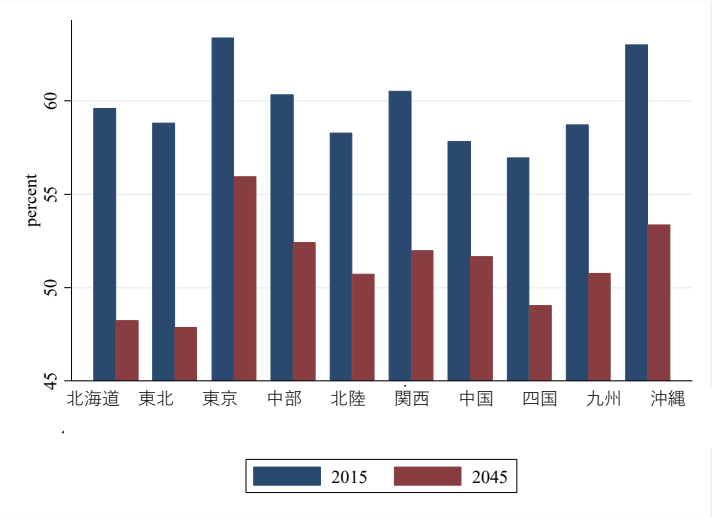


図 2-9　2015 年と 2045 年における総人口に対する労働年齢人口の割合

出典: 国立社会保障人口問題研究所を基に著者作成(IPSS, 2017a)

なお、現在の電力需要は東京、名古屋、大阪といった大都市に集中しており、火力発電施設はこれらの都市の周辺に多く立地している(エネ庁, 2017)。そのため、再生可能エネルギーが電源構成の多くを占めるような状況のもとでは、現在、都市部に集中した発電所の立地分布が、地方部にも広がり、分散的な分布になりうる。その結果、発電設備に従事する雇用者も地方部に分散される可能性がある。5.2.2 で論じるが、日本におけるこれまでの産業政策の教訓から職場環境を変わることは少なからず雇用者にとっては、負担を与えるものであることが報告されており(嶋﨑,

2013; 西原 and 齋藤, 2002; 阿部, 2016)、同一地域内でどの程度の雇用があるのかという論点も重要になる。

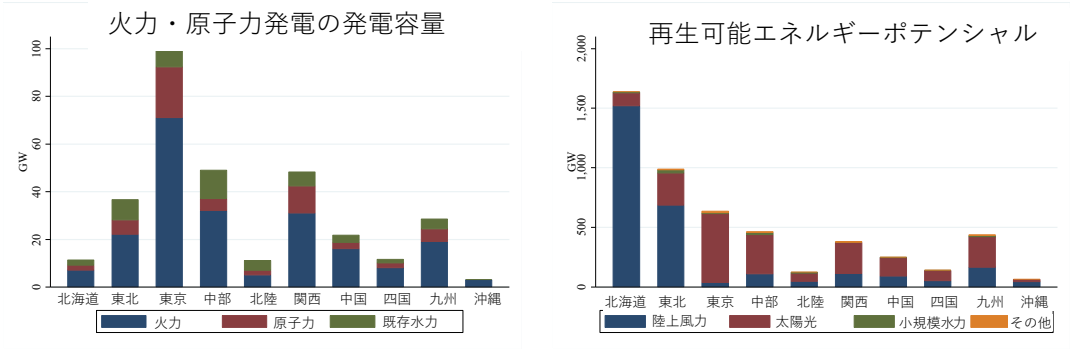


図 2-10　十地域別の火力・原子力発電所の既存発電容量及び再生可能エネルギーの発電ポテンシャル

出典:ANRE (2017) 及び MOEJ, (2018)を基に筆者作成

第二に、日本は非正規労働者の労働環境を取り巻く社会問題に直面しており、2015 年の非正規労働者の割合は北海道と沖縄地方で特に高い(MIC, 2018)。日本の企業は大企業を中心として、年齢・勤続年数の上昇とともに賃金も上昇していくという年功賃金システムを採用してきた(四方, 2015)。また、労働法や社会保障制度も年功賃金システムを前提に構築されてきた(濱口, 2009)。しかし、1990 年以降の不況過程では、中高年の正規従業員が増加すると、企業は賃金コストが増大するなどといった理由から、賃金コストが安い非正規従業員を増加させていった(伊藤, 2007)。また、顧客へのサービス提供の時間と量が大きく変動するサービス産業においても非正規従業員の採用が増加した。非正規従業員は、多くの場合、経済情勢によって左右される生産調整手段として役割を果たしていることから、ある部門の生産量が落ちると、非正規雇用者に対する必要雇用量が減少し、結果として失業する可能性が高い。さらに、失業後も雇用保険の期間も上限があることから、所定給付日数を超えても再就職できない失業者に対しては、所得補償制度はなかった(濱口, 2009)。また、一部門の雇用量が経済情勢によって左右すると、特定の技能や経験を有する新卒者に対する有効求人倍率にも影響した。そのため、就職できなかった新卒者が不安定就職業者や無業者となるという社会問題が起きた。これらの社会問題が生じる理由は、日本の雇用システムに問題があるものの、非正規雇用者を必要とする製造業やサービス業といった部門の多くが数年単位の事業計画によって、人員を調整するため、必然として雇用量の変動が大きくなることが一因として挙げられる。これに対し、再生可能エネルギーは以下の理由から、安定的な雇用を創出する。太陽光発電所と風力発電所の運転期間は 25 年であり(NEA/IEA/OECD, 2015)、太陽光発電所と風力発電所が導入されると、最低 20 年間の運用期間中に安定した仕事を提供しうる(IEA-PVPS, 2016; Ziegler et al., 2018)。したがって、電力部門の脱炭素化を通じて農村部で雇用を創出すると、安定した仕事の供給を通じて労働年齢人口の偏りを改善できる可能性がある。

表 2-11　再生可能エネルギーによる雇用の特徴

再生可能 エネルギーのタイプ	発電地域	火力発電と共通の技術	標準的な プロジェクト期間
バイオマス	港湾エリア、郊外	ボイラー ，タービン， 電気設備	40 年
地熱	郊外	ボイラー タービン，電気設備	40 年
風力	郊外	タービン，電気設備	20 年
小規模太陽光	都市部	電気設備	20 年
大規模太陽光	郊外	電気設備	20 年
小規模水力	都市部と郊外	タービン，電気設備	40 年

IEA-PVPS (2016)及び Ziegler et al., (2018)を基に筆者作成

2.6. 日本のエネルギー・トランジションと雇用問題に関する政策事例研究

2.6.1. 石炭産業からのフェーズアウト施策

本研究では、日本においてエネルギー・トランジションが起きた際の 2050 年までの十電地域別の発電電力量の計算を基に、電力部門の雇用量の変化を分析し、その変化によってもたらされうる正負の影響を定量化することで、必要となりうる施策を示すことが目的である。従って、石炭産業におけるエネルギー・トランジションにおける負の影響のひとつである炭鉱労働者の失業問題についてレビューを行った。

1955 年に成立した石炭鉱業合理化臨時措置法以降, エネルギー産業における構造転換政策における炭鉱離職者対策は、1961 年度から雇用促進事業団が担い、その主要業務は給付金給付業務（移住資金、広域求職活動費、雇用奨励金、職業訓練手当、再就職奨励金、自営業支度金）と、職業訓練、住宅施策、窓口相談、援護協力員、債務保証等業務であった(嶋﨑, 2013)。離職者対策ならびに石炭会社、産炭地域を対象とする石炭関連法に基づき石炭政策に投入された財政資金は、予算ベースで名目額 4 兆円に上ったとされた。日本の石炭産業は、他国のように国営化や公社化など公的管理体制にはいたらなかった。しかし、炭鉱離職者対策は、私企業、各産炭地の個別問題にとどまらない国家の課題として認識され、極めて公共性の強い国家事業と位置付けられた。また、西原&齋藤（2002)は、「炭鉱に必要な技能は一般の建設業・製造業と大きく異なっており、炭鉱離職者の再教育プログラムは重要な対策である。」と指摘した。

炭鉱離職者の受け皿は以下の 5 つに分類される。第一は、閉山炭鉱の採炭事業の一部を引き継いだ第二会社であった。スクラップ・アンド・ビルド期（昭和 34 年～42 年）から縮小均衡期（昭和 43 年～47 年）には大きく機能したが、将来性は低いとされていた。炭鉱離職者のうち高年層は地元滞留を希望したが、求人側か経営強化にむけて若年層の採用傾向が強いというミスマッチが生じた。第二の受け皿は系列会社であった。大手石炭会社による経営の多角化・転身の結果であり、政策上も推奨されたことから、地元での主要な受け皿としても機能した。また財閥系の場合、グループ企業内での吸収が可能であった。第三の受け皿は他炭鉱であった。後述のように北海道では、ビルド鉱における慢性的労働力不足を背景に、閉山離職者の「炭鉱復帰」が重点政策であった。第四の受け皿は、離職者の産業転換の要に位置する一般産業であった。産炭地域振興政策によって、地元への企業誘致等が進められたが、それは容易ではない。そのため、主に広域職業紹介によって、離職者の産業転換がなされた。特に、一般産業への就職には、大口求人による集団就職や若年層の採用に高齢層や職員を抱き合わせた採用も積極的に開拓された。一般産業への就職は、離職者対策の中核であった。しかし、炭鉱離職者にとっては、産業転換と地域移動、特に都市生活への適応を強いるものであり、躊躇する傾向も強い。従って、まず事業団住宅への集住からあらたな地域で既存コミュニティを中心に生活をはじめ、段階的に新たな地域コミュニティに根付いていくことが可能な集団就職はその解決策の一つであった。加えて、雇用予約制による職業訓練受講という、第五の選択肢も要されており、希望者も多かった。

常磐炭鉱の例では、離職者に対しては、失業手当で経済的に支援した上で、個別に再就職斡旋や移動の支援がなされた。また、離職者の多くは、判断基準をもたない状況にあり、彼らの背中を押す必要があった。その状況を関係者は「離職者自身で判断の基準を持っているものは少なかった。結局のところ、身近な有力者の意見に従うか、安定所の指導官の奨めに従うか、就職斡旋課または労働組合の助言によるか、そのいずれかに決めるほかいないものと思いながらも決めかねているという人たちが多かった。」としている。そのため、「離職者と職安を仲介する役割として、山元相談員が活躍した。山元相談員は、集団移住のための準備手配、連絡、赴任先への同行引率、家財輸送の手配、見送りなどの一切を対応した。背景として、企業・労組によって閉ざされた炭鉱社会が形成され、労働者とその家族の日常生活全般がそこに包摂され、「ヤマの仲間」としての精神の存在がある」としている。以上のことから、職業あっせんには、信頼できる人や組織からの情報提供や具体的な支援の有効性が示唆された。総じて、石炭産業の収束過程において、生じた大量な炭鉱離職者に対しては、民間企業、各産炭地の個別問題ではなく、国全体の課題としてこれを認識、再就職のみならず、移動、住宅、職業訓練等を含めた「総合的な対策」が講じられた。

産業のトランジションについて、日本では、石炭炭鉱労働者について多くの事例がある。1955 年の石炭鉱業合理化臨時措置法で石炭鉱業審議会、石炭鉱業整備事業団の設置以降、石炭鉱業のスクラップ＆ビルドが進められた。社員の再配置・再就職に当たって、企業側の観点では、社員の広域移動性の有無が重要な選別基準とされた。それは、社員側の観点からすると、有利な職を求めて広域移動をいとわない若中年の社員と、慣れ親しんだ生活や家族の事情を優先させる地元定着性が強い中高年社員とに分かれることを意味している。その結果、本社採用のホワイトカラー社員と直轄ブルーカラー社員のうち、移動可能な社員は、当該企業・グループ企業の中で、転勤・転籍する、あるいは、離職しても有利な職業を求めて広域移動していった。直轄ブルーカラー社員のうち地元定住志向が強い離職者は中小零細企業従業員として、さらに元々地元性が強い下請け企業離職者は中小零細企業の従業員・パートタイム従業者として、地域労働市場の中を下降的労働移動するか失業者として滞留することが多かった。西原・齋藤（2002)による長崎県高島炭鉱の事例では、「閉山当初、離職者は高島町を除く長崎市とその周辺地域の地元地域、遠方でも長崎県での再就職を希望していたことが分かる。それに対して、閉山時に鉱員に対して三菱が斡旋した職は、職が製造工、機械・電気工、土木・建設作業員、運転主で、職場は関東地方・東海地方が多く、しかも社宅・住宅手当なしという条件が多かった。（中略）このように給与・福利厚生制度・勤務地の面で、炭鉱離職者の希望と実際の求人とのミスマッチが大きかった。」としている。また、「閉山 1 年 9 か月後の時点での再就職者のうち、再度の離職または転職割合は 31.8%に達しているという。職員は、高島炭鉱閉山後、親会社・グループ関連会社の事業所へ転勤していった過程で、新しい生活環境に必ずしもスムーズに適応して行ったわけではない。閉山が間近に迫っていた三菱石炭鉱業南大夕張炭鉱へ配置換えになり、そこで再び閉山に遭遇しなければならなかった人や、全国各地に点在する三菱鉱業セメントの工場に配置換えになった人は、1 年から 2 年の間隔で全国各地への転勤を強いられ、様々な苦労が待っていた。」と指摘した。また「職業訓練制度は、離職者の再就職にとって非常に有効であった反面、いくつかの問題も指摘しうる。一つには

受けた職業訓練と実際の再就職先の職種にミスマッチがあることである。著者による聞き取り調査では、受けた職業訓練に直接関係した職を得た人は少なかった。また職業訓練を受けている期間は、雇用保険に加えて技能取得手当が需給できるため、とりあえず職業訓練を受けるという人も少なくなかった。この問題は、炭鉱離職のみの問題ではなく、特定不況業種の離職者対策の共通の課題である。」と課題を提示した。

まとめてとして、1955 年の石炭鉱業合理化臨時措置法以降、炭鉱閉山にともなう大量に発生した失業者の再就職支援が行われた際には、再就職を促す斡旋者が重要な役割果たしていたことや、転勤先でのコミュニティの形成が再就職を促し、定着させるために需要な要素であることが指摘されていた。従って、失業者の再就職を促すには、新たな職業に纏わる技術面の支援だけでなく、失業者の生活を考慮した精神面での支援の必要性が示唆された。

2.6.2. 近年の産業施策の教訓

今後エネルギー・トランジションを進めるには、再生可能エネルギーの大規模な導入が必要であり、それを支える雇用者は重要となる。そこで、本項は、近年の雇用創出施策についてまとめ、再生可能エネルギー導入に向けた雇用政策の観点から示唆を得ることを目的とする。表 2-12 に示す通り、地域に雇用を生むためには様々なタイプの政策がとられてきた。これらの雇用政策について、藤本（2016)は、雇用失業情勢が好調な地域ほど製造業の割合が高く、不振地域ほど製造業の割合が低く、卸売、小売や飲食・宿泊などのサービス業および公共投資に依存する建設業や医療・福祉などの政府依存型産業の割合が高いことを指摘した。そして、「日本の地域経済開発と地域雇用開発は表裏一体の関係にあるが、近年は主に大手製造業の工場誘致と政府の公共事業による外部からの外発な地域雇用政策が中心で、地域企業の支援やベンチャー企業の育成などの地域からの内発的な地域雇用政策は補足的に位置づけられていたと考えられる。ところが、2008 年のリーマンショック以降、今日では外発的な地域雇用政策の限界が指摘されはじめ、新たな内発的な地域雇用政策が脚光を浴び始めてきた。長期的な視点でこれらの近い将来を見据えて考えると、企業誘致や公共事業だけでなく、新たな内発的地域雇用政策の実現による雇用機会の創出が不可欠である」と結論づけた。

服部（2008)は、日本では、脱工業による第三次産業の就業者の割合が高まる傾向にあるが、2005 年時点での製造業の就業シェアなどを分析した結果、製造業を中心とする移出依存型経済構造の地方では、就業状況は良好であり、逆に、建設業や医療・福祉などの政府支出依存型経済構造の地方では就業状況は悪いと指摘した。これに対し、山田（2009)は、地域雇用の決定メカニズムの実証検証を行い、金融危機直前までの 2000 年代半ばに一時的な製造業の国内回帰によって地域雇用の再生がもたらされたが、国内の製造業には、請負・派遣が背後で支えていたと指摘した。そして、今後の地域雇用のためには、製造業に替わる「新しい産業」の可能性を秘める農業や観光業などの非製造業分野や医療・福祉などのケア産業などの育成が重要であるとした。

表 2-12 地域に雇用を生むための様々な施策

タイプ	特徴	概要
企業誘致型	規模が大きく最も速効性がある	企業用地の特性を考慮して誘致産業や誘致企業の範囲を明確に特定する「戦略型企業誘致」
クラスター開発型	雇用創出の規模は大きいが長い時間を要するタイプ	企業誘致だけでなく、地域での内発的な経済・雇用創出が期待される。ライフサイエンスや情報通信などの先端分野の技術開発による雇用機会の創出
ベンチャービジネス型	雇用創出の規模は小さいが雇用創出速度が速いタイプ	将来的には大企業に成長する可能性を秘めている。
第三セクター型	雇用創出の規模は大きくはなく速度も比較的に遅い	地域の公的機関と民間企業の行動出資と運営によるものだが、地域の実業に合わせて投資規模も身の丈に合った比較的小規模で堅実な組織による雇用創出である。
コミュニティ・ビジネス型	最も雇用創出規模が小さく時間も要するタイプ	地域の資源を活用した小規模ビジネスが多いが、着実に収益を出している組織による雇用創出。

出典： 藤本（2016)をもとに筆者作成

2.6.3. 地方地域に雇用をもたらす「緑の雇用」政策からの示唆

新たな産業を創出する上で、新規雇用者に対する施策として、職業訓練政策が重要となる。今後拡大すると予想される産業を支えるような知識を持った人材を促す教育政策が求められる。再生可能エネルギーの雇用促進政策に関して、林業部門における「緑の雇用」政策が参考になりうるため、事例調査とし関連する文献を以下にまとめた。

林業労働力の減少・高齢化に対して、1990 年以降、雇用改善、新規就業の促進・定着を図る各種施策が展開された。主なものでは、林野庁林業労働対策室設置（1990 年)、林業雇用改善促進事業（旧労働省）および森林・山林対策による担い手育成関連基金の設立（1993～)、労働基準改正法に伴う労働時間法制の林業への完全適用（1996 年)、林業労働力確保促進法（1996 年)、1998 年以降の林野庁による新規就業促進に係る一連の諸事業､緊急地域雇用相移出特別交付事業(2001～04 年）などであった。

そして、2002 年度林野庁補正予算より「緑の雇用担い手育成対策事業（緑の雇用)」が開始された。「緑の雇用」は、緊急地域雇用創出特別交付金事業の森林作業従事者を対象として、林業事業体が 1 年間にわたる実地研修等を行い、将来森林を整備していく「中核的林業技術者」として、育成し事業体へ本格就業を図るため､国が研修費を助成することが主要な事業内容であった｡2011 年には「森林・林業再生プラン」の下で人材育成政策へと展開された。さらに、現在では、資源の利用期に本格的に移行したとされ、新たな森林管理システムを用いて林業の「成長産業化」が推進される状況であった。

興梠 et al., (2006)は、緑の雇用の効果として、2003 年度に実施した 2,268 人の研修成果を以下のようにまとめた。2003 年度の研修性は、産業分野の失業者、事業量確保に悩む土建業界からの労働力参入、自然・健康志向の強さ、I ターン者、地元農林地所有者など幅広い参加があった。そのため、「緑の雇用」によって、都市部から山村地域への人の流れが一定度創出されている、あるいはそうした流れを活用して研修生が確保されていると指摘した。研修内容としても、森林整備の社会的意義（環境面・地域経済面）や実施研修を通じて高性能機械の運転操作技術取得が可能となっており、将来の中核的技術者としてふさわしい研修生を輩出していると指摘した。また、研修生のうち 87%が 2004 年から本格雇用された。この傾向は続き、2003 年から 2014 年までの 12 年間で 15,258 人が 1 年目の研修を修了し、2010 年林業センサスによると、林業経営体帯に供されている労働者は 43,369 人となっているので、その 3 分の 1 が「緑の雇用」の出身者で占められた。また、2010 年での 1 年目の研修生の定着率は 3 年間平均で 72%であった。

興梠&川﨑（2016)は「緑の雇用」かつては中高年の農林課余剰労働力が中心に構成される林業労働者に対して、労働市場サービス（求職と求人のマッチング機能）の充実化や「緑の雇用」における初期教育支援を背景に、現在では林業の経験がなく農林家でもない若い人や新規学卒を雇う場合が多くなったと指摘した。加えて、「緑の雇用」は、初期教育から中堅教育を体系的に実施し、就業者のキャリア形成を支援する制度になりつつあることを指摘した。また、三木(2018)は、「緑の雇用」の主要論点として、UJI ターン者を含む非農林家の若い未経験者が林業に参入できるようになったこと、キャリ形成の道筋が明確化されたこと、林業労働力の若返りが図られたことを示した。課題として、雇用のミスマッチの防止、研修効果客観評価、指導技術の向上、定着支援を示した。

さらに、三木(2018)は緑の雇用を量的側面と質的側面から分析した。量的側面としては、「緑の雇用」事業の補助によって事業体の雇用能力が 1.5 倍に増幅された。雇用対策から人材育成に目的を移してきた「緑の雇用」事業であるが、3 期[6]以降も雇用対策としての質的側面が機能した。一方で、林業労働者全体の労働災害発生率は大きく改善されなかった。労働者の賃金については、労働生産性は向上したが、1 立方メートル当たりの素材生産費用の労賃部分は下落し、日額は大きく変化しなかった。質的側面としては、「緑の雇用」の現場指導員が養成されるようになり、また、修了生自身が班長クラスの労働者となり後進指導を担うようになって、新規就業者の人材育成の環境が整ってきた。初期教育の内容が確立し、労働者がまず身につけるべき内容が全国的統一された点も画期的であったとされた。また、「緑の雇用」が一過的ではなく、継続して事業実施された点も評価できるとされた。2008 年の金融危機の影響で労働力が過剰傾向にある時期に、人材育成への投資を政策的に高める意義は特に大きかった。「緑の雇用」の副次的な効果としては、集合研修を通じて事業体を超えた労働者間のネットワークがうまれたことが挙げられた。仲間意識がうまれ、技能や知識を比較することによって切磋琢磨できるようになったばかりでなく、雇

[6] 1 期：2003 年から 05 年、 2 期：2006 年から 10 年、3 期：2011 年から 15 年

用条件・待遇や悩みを交流し自らの状態を客観視しうるようになった。また、「緑の雇用」がモデルケースとなって農業における「農の雇用事業」(2009～)、漁業における「新規就業者確保・育成支援事業」(2013 年～）と一次産業における類似の政策プログラムが生まれていることも特筆に値する。

2.7. 本研究の意義と目的

パリ協定が目指す、産業革命以降の気温上昇を 1.5℃あるいは 2℃に以内に抑えて、気候を安定化させるために、今世紀後半の出来るだけ早い段階に脱炭素社会の構築が喫緊の課題となっている。そして、脱炭素社会の構築にはエネルギー・トランジションを着実に進める必要があり、世界全体の潮流を見ると、再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションが進められている。しかし、日本は、これまでに既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換を進めきており、福島第一原子力発電所の事故以降に、原子力発電所の安全性に関わる見直しは行われているもの、再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションに大きく舵を切るまでには至っていない。

また、「既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換」から「エネルギー・トランジション」へエネルギー政策を更新するには、化石燃料ベースとしたインフラ、組織、電力及びエネルギー制度の変化や、そこに根深く存在する化石燃料の利用に対するプライドやアイデンティティの源、エネルギーセキュリティを含む様々な社会の変化を必要としている。中でも、Vona (2019)や Prinz and Pegels, (2018)が指摘するように、その変化によって最も負の影響を受ける雇用者のグループから雇用に関する不安が、様々な外的要因と相まって増幅し、国レベルでの政治問題になる可能性があり、政策的対応が必要であると考えられている。このような背景のもと、日本のエネルギー・トランジションに関する既往研究についてまとめたところ、既得権益の政治的影響力による既存のエネルギー供給システムの固定化が指摘されているが、それによって、CO_2 排出量にどのような影響をもたらしたとか論じられておらず、日本において、気候変動政策の観点からエネルギー・トランジションを進める意義が明確ではないことが明らかとなった。加えて、世界的には、エネルギー・トランジションの社会技術規範要素の中でも、雇用問題の重要性が認識されている中で、日本では、電力体制、電力エネルギー制度、原子力発電に関わる問題、火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題などの既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換においても関連する課題に対する研究が中心的になされていることが示された。そのため、雇用問題を扱った研究的知見が十分に無いことが分かった。また、各要素間の関連性を十分に踏まえて研究は見受けられないことが明らかとなった。

従って、本研究の目的は二点ある。第一に、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換が CO_2 削減に効果を検証について、それが主として進められた京都議定書期間に着目して、その有効性について考察を行う。その際には、エネルギー・トランジションとの比較を可能とするために、トランジション研究の理論的体系の一つである多層的視座を適用する。具体的には、ランドスケープ要素としての京都議定書が、個別技術要素に与えた影響を明らかにするために、世界レベルでの京都議定書の CO_2 削減効果を分析し、電力部門の取り組みによる CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか分析するとともに、既存のエネルギー制度の維持が維持される背景について考察を行う。次に、個別技術要素として、日本国内の原子力発電の CO_2 削減効果を検証し、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果を定量的に評価する。第二に、エネルギー・トランジションに関わる問題のうち、これまで議論がなされて

いない雇用問題に着目して、電力部門の雇用量の変化を分析し、その変化によってもたらされうる正負の影響を定量化することで、必要となりうる施策を示す。

上記の研究目的を達成するために、以下の課題に取り組む。第 3 章では、京都議定書附属書 B 国および非附属書 B 国の両方のグループに対する実際の CO_2 削減効果を検証する。前者については、附属書 B 国において、京都議定書の削減目標を達成するために各国の政策施行した 2005 年から京都議定書第一約束期間が始まる 2007 年の期間における CO_2 削減効果及び京都議定書第一約束期間（2008 年から 2012 年）における CO_2 削減効果についてパネルデータ分析を用いて検証を行う。後者の非附属書 B 国における削減効果の分析では、非附属書 B 国に CO_2 削減インセンティブをもたらした CDM プロジェクトの追加性を評価し、追加的とされるプロジェクトからの CO_2 削減量を推計する。

第 4 章では、原子力利用の促進といった電力部門の取り組みだけでなく、省エネなどの他の要素による CO_2 削減効果を同時に分析し、それらを比較することで、個別技術要素としての原子力、再生可能エネルギーと省エネルギー技術の進捗について、CO_2 削減効果という観点から評価する。具体的には、省エネの導入量に強く依存するエネルギー原単位の変化と、電力部門の CO_2 排出原単位の変化が日本全体の CO_2 排出量の変化に与える影響を分析する CO_2 排出量要因分解分析を行う。加えて、エネルギー原単位と CO_2 排出原単位の変化の要因を政策及び経済的な歴史的事項と照らし合わせて考察する。第 3 章と第 4 章の結果を基に、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換が CO_2 削減に効果を評価する。

第 5 章では、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換の代替的手段となるエネルギー・トランジションを進める際に、重要な課題となりうる雇用問題に着目し、再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションを進めるための必要な施策を示す。ランドスケープ要素としてのモデルアプローチで示された国レベルでの電源構成が、個別技術要素である地域あるいは市区町村レベルでの再生可能エネルギー導入量をどの程度増加させるのか算定し、社会技術規範要素としての、技術者の雇用問題や日本社会が抱える地方地域や非都市部における労働人口問題にどのような影響を与えるのか、定量的なデータ基づいて分析する。具体的には、エネルギーモデルで示される脱炭素社会を達成する国レベルの電源構成から、再生可能エネルギーポテンシャル、既存の火力発電・原子力発電の設備容量と稼働年数をもとに十電力地域ごと、5 年ごとの電源構成を 2050 年まで算定する。次に、拡張産業連関表を基に、再生可能エネルギー電源別の雇用係数を整備し、十電力地域ごとの年別電源構成と掛け合わせることで、脱炭素社会に向けたエネルギー・トランジションにおける将来の電気及びメンテナンス技術者発生量を十地域別、市区町村別に推計し、地方地域における雇用増加量を算定する。火力発電については、現在の雇用者の人数と年齢構造データおよび新規採用者数のデータを基に、火力発電への将来の技術者数を推計する。これらの試算結果により将来余剰となる技術者を 2050 年まで推計するとともに、再生可能エネルギーの技術者需要量と比較することで、技術別、地域別の再就職可能性について考察を行う。第 6 章では、第 5 章までの結果を踏まえて本研究の結論をまとめ、今後の課題を示す。

3　章　パネルデータ分析に基づく京都議定書の世界レベルでの CO_2 削減効果分析

3.1.　本章の背景と目的

2 章で論じた通り、京都議定書期間では、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減が進められてきた。これをトランジション研究の多層的視座を踏まえて論じると、ランドスケープ要素として、国レベルでの京都議定書に定められる CO_2 削減目標や CO_2 削減を促す京都メカニズムがあり、社会技術規範要素である既存のエネルギー供給システムや制度は固定し、個別技術要素である原子力発電を進める構造と捉えることができる。従って、京都議定書というランドスケープ要素が、個別技術要素に与えた影響を明らかにするために、世界レベルでの京都議定書の CO_2 削減効果を分析し、京都議定書期間において、既存のエネルギー供給システム・制度の維持が維持される背景や電力部門の取り組みによる CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか考察した。具体的には、パネルデータ分析を用いた附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析及び CDM プロジェクトの追加性評価を通じた非附属書 B 国の削減量の効果を推計した。

3.2.　京都議定書による CO_2 削減インセンティブ

3.2.1.　京都議定書と各国の関連性

図 3-1 は、京都議定書附属書 B 国における国内の政策導入件数の推移を示している。京都議定書が採択された 1998 年の翌年である 1999 年以降に様々な政策が導入されたことが分かる。従って、京都議定書は国際的な仕組として、上述の三つの京都メカニズムが導入されたが、国内では国内施策が誘導されたことより、京都議定書の効果として、京都メカニズムを通じた特に途上国への削減インセンティブと国内施策の導入を通じた京都議定書附属書 B 国内の削減インセンティブによってもたらされた CO_2 削減効果の総和として捉えることができる。さらに、京都議定書附属書 B 国内の削減インセンティブは、2005 年に本格化したと考えられる。理由は、2005 年に欧州では欧州排出量取引制度（EU-ETS）の第 1 フェーズが始まり、EU 各国が自国の個々の事業所に排出枠を割り当てた。日本では、京都議定書目標達成計画が 2005 年に策定され、1990 年比 6% 削減を達成するために、各部門に削減目標が割り当てられた。これにより、産業、業務部門に対して具体的な削減インセンティブが与えられたと考えられる。

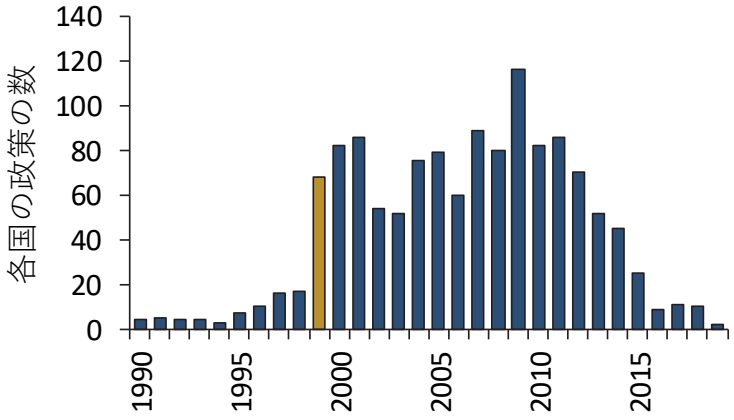


図 3-1　京都議定書附属書 B 国における CO_2 緩和に寄与する政策の数

出典： NCI Climate Policy Database(NCI, 2015)を基に筆者作成

3.3.　分析手法

京都議定書締約国の経済状況は国ごとに異なり、そのような差異を加味した分析フレームワークを適用する必要がある。 表 3-1 に示すように、本研究では、Stochastic Impacts by Regression on Population Affluence and Technology (STIRPAT)と呼ばれる回帰モデルをパネルデータに適用して、附属書 B 諸国による京都議定書の CO_2 削減効果を特定した。分析の際には、市場経済移行国における過剰な排出枠の割り当てが、それらの国に対して、十分な CO_2 削減インセンティブを与えなかったことが指摘されている(Kutney, 2014; Missfeldt and Villavicenco, 2002)ため、附属書 B 諸国は市場経済移行国と附属書 B 非市場経済移行国に分けた。一方で、附属書 B 非市場経済移行国は、以下の理由により、CO_2 排出削減のインセンティブがあったと考えられる。

日本、ニュージーランド、ノルウェー、スイスの場合、京都議定書第一約束期間の初期割当量は、実際の CO_2 排出量よりも、少なくなると見込まれていた（IGES、2016a)。 したがって、これらの国は国内の CO_2 排出削減を積極的に推進する必要があった。 EU15 諸国について、1996 年から 2009 年に欧州環境庁が策定および提示した京都議定書第一約束期間における EU の GHG 排出シナリオをレビューした Massai(2011) によると、BAU シナリオ、緩和策シナリオのいずれにおいても、国際協力メカニズムを使用せずに排出削減義務を達成できないことを示した。すなわち、EU15 諸国が京都議定書第一約束期間中に追加の緩和インセンティブを有したことを意味する。 オーストラリアは京都ユニットを取り扱っていないため、附属書 B 非市場経済移行国から除外した。 アイスランド、リヒテンシュタイン、モナコも、データ制約から除外した。附属書 B 市場経済移行国は、CP1 の初期割当量が 10 億 tCO_2 未満の小規模市場経済移行国と、CP1 の初期割当量が 10 億 tCO_2 以上の大規模市場経済移行国に分けた。背景として、ロシアやウクライナなどの大規模市場経済移行国の余剰排出枠が小規模市場経済移行国全体の 5 倍以上であり、CO_2 排出削減に対するインセンティブが異なると考えられるためである。

表 3-1　分析のための附属書 B 国のグループ

グループ	附属書 B 国	分析アプローチ
附属書 B 非市場経済移行国	ドイツ、日本、スペイン、イタリア、イギリス、フランス、オランダ、ニュージーランド、オーストリア、ベルギー、ノルウェー、デンマーク、フィンランド、ギリシャ、ポルトガル、アイルランド、ルクセンブルク、スイス、スウェーデン	パネルデータ分析 (STIRPAT Model)
小規模市場経済移行国*	チェコ共和国、ブルガリア、スロバキア、ルーマニア、リトアニア、ハンガリー、スロベニア、ラトビア	
大規模市場経済移行国	ロシア連邦、ポーランド、ウクライナ	
非附属書 B 国	CDM プロジェクトをホストし、CER を発行し、附属書 B の国との取引を行った 59 の非附属書 B 国。	各プロジェクトに対する追加性評価

*エストニアは、エネルギー起源 CO_2 排出量データが欠けているため、グループから除外した

非附属書 B 国については、以下のデータ制約のために STIRPAT モデルによるパネルデータ分析が適用できないことから、パネルデータ分析を適用するのではなく、追加性評価基準を設定して京都議定書による排出削減効果を推定した。第一に、ほとんどの開発途上国が京都議定書に参加しているため、STIRPAT モデルによるパネルデータ分析を実施するための非附属書 B 国に対するリファレンス国がない。第二に、非附属書 B 諸国における京都議定書による主な削減効果は、産業ガスの削減であるが、国レベルの排出データは、エネルギー起源 CO_2 排出量に限定されている。

3.3.1.　STIRPAT モデルに基づく附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析

各国の CO_2 排出量変化要因を特定するために、これまでに様々な研究が Impact, Population, and Technology（IPAT）手法を用いている。環境クズネッツ曲線/炭素クズネッツ曲線（EKC/CKC）の分析枠組みは、1 人当たり GDP と排出量または他の 1 人当たりの環境影響対策との間で逆 U 関係があるかを特定することを目的とする(Adewuyi, 2016; Apergis et al., 2017; Liddle, 2015)が、STIRPAT モデルは、CO_2 排出量は人口、豊かさ、技術に大きく依存していることを特定した。したがって、STIRPAT と EKC /CKC の分析枠組みの主な違いは、EKC が人口の弾力性が一定であることを仮定し、従属変数を 1 人あたりの物量に設定することである(Liddle, 2015)。Ehrlich and Holdren (1971) 及び Commoner et al., (1971)が最初に IPAT アプローチを導入して以来、CO_2 排出量などの主な環境指標と口、豊かさ、技術の関係性を多くの研究が扱っている。 IPAT 方程式は次の式(1)に表すことができる。

$$\boldsymbol{I = P * A * T} \qquad \text{(式 1)}$$

ここで、P は人口を表し、A は 1 人当たりの豊かさを表し、T は技術を表す。IPAT モデルを基に、Dietz and Rosa (Dietz and Rosa, 1994)は、IPAT モデルの各変数の弾力性の仮定を克服し、実証分析を行う際に、ランダム性を考慮できる STIRPAT モデルを適用した。

$$I_{it} = aP_{it}^{b}A_{it}^{c}T_{it}^{d}e_{it} \qquad \text{(式 2)}$$

STIRPAT モデルでは、定数 a と指数 b、c、および d が推定される。i は、国などのクロスセクションとなる単位を示し、t は期間を示し、e は残差を示す。 表 3-2 は、既存の研究で STIRPAT モデルを適用した際の各変数の指標まとめである。

表 3-2　STIRPAT モデルの適用例

	I	P	A	T	Others
Liddle (2015)	CO_2 排出量	人口	一人当たり実質 GDP	産業部門のエネルギー原単位、非化石燃料からの一次エネルギー消費の割合	-
Shuai et al. (2017)	CO_2 排出量	都市人口	一人当たり実質 GDP	エネルギー原単位	
Iwata and Okada (2014)	GHG 排出量	人口または都市人口	一人当たり実質 GDP	エネルギー原単位、産業比率	京都議定書のダミー変数
de Alegría et al. (2016)	GHG 排出量 n	人口	一人当たり実質 GDP	エネルギー原単位、一次エネルギー消費当たりの再生可能エネルギー	経済危機のダミー変数
Knight et al. (2013)	カーボンフットプリントなど	人口	一人当たり実質 GDP	GDP の製造業比率とサービス業比率	都市化
Sadorsky (2014)	CO_2 排出量	人口	一人当たり実質 GDP、労働時間あたり GDP、全人口に対する労働人口	GDP の製造業比率とサービス業比率	都市化

式(2)の両辺について自然対数をとると式(3)が得られる。

$$lnI_{i,t} = \alpha_0 + \mathrm{b} * lnP_{i,t} + \mathrm{c} * lnA_{i,t} + \mathrm{d} * lnT_{i,t} + \mu_{i,t} \qquad \text{(式 3)}$$
$$where\ \ lna = \alpha_0, \qquad lne_{it} = \mu_{i,t}$$

本研究では、式(3)の IPAT の定義として、I はエネルギー起源 CO_2 排出量、P は人口、A は 1 人あたりの実質 GDP、T ではエネルギー原単位と 1 次エネルギー使用量における非化石燃料の割合とした。加えて、京都議定書の効果を表すダミー変数を 2 変数と経済危機による効果を表す 1 変数を用いて、式(4)のとおり定式化した。

$$\boldsymbol{lnCO2_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 * lnPOP_{i,t} + \beta_2 * lnGC_{i,t} + \beta_3 * lnEI_{i,t} + \beta_4 * lnNF_{i,t} + \beta_5 * KPpre_{i,t} + \beta_6 * KPimp_{i,t} + \beta_7 * Cr_{i,t} + \epsilon_{i,t}} \quad \text{（式 4）}$$

ここで、t は年、i は京都議定書締約国、CO_2 はエネルギー起源 CO_2 排出量、POP_{it} は人口、GC_{it} は 1 人あたりの GDP（2010 USD、市場価格）、EI_{it} はエネルギー原単位、NF_{it} は 1 次エネルギー供給量における非化石燃料の割合を示す。$KPpre_{it}$ は京都議定書準備期間のダミー変数を表し、2005-2007 年の附属書 B 国では 1 をとる。$KPimp_{it}$ は京都議定書第一約束期間のダミー変数を表し、2008 年から 2012 年の間に附属書 B 国では 1 とる。Cr_{it} は、金融危機のダミー変数を表し、2007 年から 2009 年まですべての国で 1 となる。係数の推定方法として、横断面の相関（Cross sectional dependence）に対応できる Eberhardt and Teal による拡張平均グループ（AMG）推定量(Eberhardt and Teal, 2010)を用いた（AMG 推定量の詳細は付録 1 を参照。)。

AMG アプローチの特徴の 1 つは、Common Correlated Effects Mean Group（CCEMG）などグループが 厄介ものとして扱っている観測不能な共通要因のセットを解釈可能な動的プロセスとして扱うことが出来る点である(Sadorsky, 2014)。実際、Eberhardt(2012）は、CCEMG によって推定された、係数が簡単に解釈できないことを指摘している。一方、AMG 推定量は非定常変数に対して頑健である（Eberhardt and Teal、2010)。また、AMG 推定量は、時系列方向の系列相関 に対して頑健である(Eberhardt and Teal, 2010; Liddle, 2015; Pesaran, 2006)。なお、京都議定書はすべての GHG を削減の対象としているが、米国の州レベルの GHG 排出データの入手可能性に制約があるため、エネルギー起源 CO_2 排出量を被説明変数とした。

AMG 推定量の特徴として、観測不能な共通因子のセットが共通の動的プロセスとして扱うことができる点にある。これは、Common Correlated Effects Mean Group（CCEMG）などの推定手法が観測不能な共通因子のセットを、単なる観察できない一般的な要因として扱っていることからも、AMG 推定量の強みといえる(Sadorsky, 2014)。実際、Eberhardt (2012)は、CCEMG によって推定された勾配パラメーターは簡単に解釈できないことを指摘した。反対に、AMG 推定量は、共和分しているかどうかに関わらず、非定常変数に対して頑健であるとされる(Eberhardt and Teal, 2010)。したがって、ほぼ間違いなく、共和分の存在を識別するための事前テストや、すべての変数が同じ統合順序であることを確認するための事前テストは必要ないと考えられる(Liddle, 2015)。また、推定量は系列相関に対して頑健である(Eberhardt and Teal, 2010; Liddle, 2015; Pesaran, 2006)。京都議定書はすべての GHG を対象としているが、米国の州レベルの GHG 排出データの入手可能性に制限があるため、化石燃料の燃焼からの CO_2 排出量を従属変数として使用した。

式(4)の推定結果に基づいて、式(5)に示すように、京都議定書の CO_2 削減効果を、AMG 推計と CCEMG 推計の両方のアプローチによって推定された係数を基に特定した。

$$\mathbf{EMI} = \sum_i \sum_t^{2005-2007} \boldsymbol{ems_{i,t} * \widehat{\beta}_5} + \sum_i \sum_t^{2008-2012} \boldsymbol{ems_{i,t} * \widehat{\beta}_6} \quad \text{（式 5）}$$

ここで、EMI は log-log 推定モデルによる推定 CO_2 削減効果、$ems_{i,t}$ は i 国,t 年のエネルギー起源 CO_2 排出量、$\beta 5$ および $\beta 6$ は AMG または CCEMG アプローチによって推計された京都議定書による削減効果の影響係数を表す。

3.3.2. STIRPAT モデルに基づく附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析に用いたデータ

CO_2 排出量に関するデータは、UNFCCC の附属書 I 諸国が毎年 UNFCCC 事務局に報告書を提出するために使用する共通報告形式を参照した。STIRPAT モデルでは、京都議定書による CO_2 削減効果を推定するために、附属書 B 国のうち京都議定書に批准していない国のデータが必要である。そのような国は、米国とカナダしかなく、データサンプル数が十分でないことから、本研究では、米国の各州を京都議定書に批准していない附属書 B 国と便宜的に定義した。米国の州レベルの排出量データについては米国環境保護庁(EPA)から取得した（表 3-3 参照)。すべての附属書 B 国について、データ利用可能性の観点からエネルギー起源 CO_2 排出に焦点を当てたが、エネルギー部門が GHG 排出量の大部分を占めるため、CO_2 削減効果を推定する変数として十分であると考えられている(Liu et al., 2016)。GDP と人口のデータは、附属書 B 国については世界銀行が公開するデータベースを用い、米国の州レベルのデータについては、米国商務省経済分析局が公開するデータベースを用いた。 一次エネルギー供給量、再生可能エネルギーによる 1 次エネルギー供給量、および原子力からの 1 次エネルギー供給に関するデータは、附属書 B 国については国際エネルギー機関（IEA）データベースを用い、米国の州レベルのデータについては、米国エネルギー情報局（EIA）が公開するデータを用いた。分析に用いた基本統計量を表 3-4 に統計の要約を示す。

表 3-3　パネルデータ分析に用いたデータの概要

項目	データの概要
国・地域	33 ヵ国＋51 の米国の州
期間	1990 年から 1994 年
エネルギー起源 CO_2 排出量	各国が UNFCCC に提出する Common Reporting Format 及び U.S. Environmental Protection Agency
人口・実質 GDP（2010 年米国ドル基準、市場価格）	World Bank Database および Bureau of Economic Analysis Data
一次エネルギー供給量、再エネ発電電力量、原子力発電電力量、(ガス火力発電電力量)	OECD Database 及び U.S. Energy Information Administration (EIA)
データ数	14,664 件

表 3-4　基本統計量

変数	サンプル数	平均	標準偏差	最大値	最小値
$\ln CO_2$	1980	10.4	2.4	3.3	15.6
lnPOP	2040	16.0	1.7	12.5	21.0
lnGC	2040	10.0	1.0	6.4	12.0
lnNF	2040	-2.0	1.0	-6.5	-0.1
lnEI	2040	5.4	0.7	3.7	7.9

表 3-5　変数間の相関

相関	$\ln CO_2$	lnPOP	lnGC	lnNF	lnEI
$\ln CO_2$	1				
lnPOP	-0.1599	1			
lnGC	0.6326	-0.569	1		
lnNF	-0.0397	0.2143	-0.1398	1	
lnEI	-0.2025	0.0516	-0.605	-0.0847	1

注：CO_2 はエネルギー起源 CO_2 排出量、POP は人口、GC は 1 人あたりの GDP（2010 USD、市場価格）、NF は 1 次エネルギー供給量における非化石燃料の割合、EI はエネルギー原単位を示す。

上述の通り、附属書 B 国における京都議定書による CO_2 削減効果分析では、米国の各州が京都議定書による CO_2 削減インセンティブが働いていないコントロールグループとして機能している。各附属書 B 国のコントロールグループに対応する米国の州は、2005 年のデータを用いたクラスター分析によって特定した。クラスター分析の目的は、選択された変数に基づいて類似の目的のグループを特定することである(Rezankova, 2014)。クラスター分析によって、一般的に用いられるアプローチは階層クラスタリングと k-means クラスタリングであるが、本研究では、以下の理由で階層型クラスタリングを採用した。第一に、経済学で最も一般的なクラスタリング手法は階層型クラスタリングであり、比較的小さなデータでも使用できる(Rezankova, 2014)。 第二に、k-means 法の適用に関連する 1 つの問題は、研究者がデータに保持するクラスターの数を事前に指定する必要があること(Mooi and Sarstedt, 2010)であり、本研究の目的と合致しない。

階層型クラスタリング手法の中で、ウォード法を用いた。これは、クラスタリングの各段階で、2 つのクラスターを統合する際に、クラスター内の平方和が最小となるようにクラスターを形成する(Hervada-Sala and Jarauta-Bragulat, 2004)。クラスター分析に使用されたデータは、エネルギー起源 CO_2 排出量、一人当たり GDP、人口、非化石燃料由来のエネルギー源のシェア、および 2005 年のエネルギー原単位とした。

表 3-6 にコントロールグループとして用いた米国の州を示す。クラスター分析の結果は、市場経済移行国を大規模と小規模の二つのグループに分けることが示された。その結果、附属書 B 非市場経済移行国に対して 22 の州、附属書 B 小規模市場経済移行国に対しては 15 の州、附属書 B 大規模市場経済移行国に対しては 13 の州が特定された。

表 3-6　コントロールグループとして用いた米国の各州

グループ	リファレンス国として用いた米国の州
附属書 B 非市場経済移行国	アリゾナ、アーカンソー、カリフォルニア、コネチカット、フロリダ、ジョージア、イリノイ、インディアナ、アイオワ、カンザス、ケンタッキー、ルイジアナ、メリーランド、マサチューセッツ、ミシガン、ミネソタ、ミシシッピ、ミズーリ、ニュージャージー、ニューヨーク、ノースカロライナ、オハイオ、オクラホマ 、オレゴン、ペンシルベニア、サウスカロライナ、テネシー、テキサス、バージニア、ワシントン、ウェストバージニア、ウィスコンシン
附属書 B 小規模市場経済移行国	アラバマ、テネシー、サウスカロライナ、アリゾナ、ワシントン、コネチカット、オレゴン、アーカンソー、ミシシッピ、アイオワ、カンザス、メリーランド、ミネソタ、ウィスコンシン、マサチューセッツ、ミズーリ、ニューハンプシャー、アイダホ、メイン、サウスダコタ、モンタナ、ネブラスカ、バーモント
附属書 B 大規模市場経済移行国	カリフォルニア、フロリダ、ニューヨーク、ジョージア、ミシガン、ノースカロライナ、ニュージャージー、バージニア、イリノイ、ペンシルベニア、インディアナ、オハイオ、テキサス

横断面での相関（cross-sectional dependence)を検定するために、Pesaran（Pesaran、2004）検定を実施した。 すべてのグループのすべての変数について、横断面で独立（cross-sectional independce）であるという帰無仮説は棄却された。従って、横断面での相関を考慮した分析手法が必要である。

表 3-7　パネルデータの横断面依存（cross-section dependence, CD）検定

	$lnCO_2$	lnPOP	lnGC	lnNF	lnEI
附属書 B 非市場経済移行国	0.52 (65.9)	0.93 (152.3)	0.97(158.9)	0.85 (139.6)	0.40 (39.8)
附属書 B 小規模市場経済移行国	0.51 (23.3)	0.92 (41.2)	0.97 (98)	0.97 (98.1)	0.39 (20.6)
附属書 B 大規模市場経済移行国	0.59 (14.3)	0.90 (20.1)	0.83 (43.7)	0.95 (49.8)	0.44 (11.9)

注：数字は、cross sectional data の相関係数を示す。CD 検定における Z 値を括弧内に示す。 帰無仮説は断面の独立性となる。

表 3-8 に単位根検定の結果を示す。Im, Pesaran, and Shin (IPS) が開発した IPS 単位根検定は Levin-Lin (LL) 検定などの従来の検定よりも優れているため、本稿もこれに倣った。Im, Pesaran, and Shin (IPS)の結果は、CO_2排出量、一人当たり GDP、エネルギー原単位、非化石燃料エネルギー源の割合が 1 次で和分されていることを示している。人口データは時間トレンドを加味しない場合は単位根の存在を示しているが、Liddle (Liddle, 2009)による STIRPAT モデルの人口係数は、不安定であるという指摘と一致する。一方、時間トレンドを考慮した人口データは、単位根の存在を示していないことから、このデータは定常性があると解釈できる。従って、本研究では、時間トレンドを考慮した推計を行った。

表 3-8　位根検定の結果

		Constatnt w/o trend		Constant w/ trend	
		in Levels	in first differences	in Levels	in first differences
附属書 B 非市場経済移行国	$lnCO_2$	0.614	0.000	1.000	0.000
	lnPOP	0.366	0.753	1.000	0.000
	lnGC	0.046	0.000	1.000	0.000
	lnNF	1.000	0.000	0.000	0.000
	lnEI	0.818	0.000	0.000	0.000
附属書 B 小規模市場経済移行国	$lnCO_2$	0.042	0.000	1.000	0.000
	lnPOP	0.305	0.232	0.995	0.000
	lnGC	0.382	0.000	0.536	0.000
	lnNF	1.000	0.000	0.000	0.000
	lnEI	0.013	0.000	0.000	0.000
附属書 B 大規模市場経済移行国	$lnCO_2$	0.600	0.000	1.000	0.000
	lnPOP	0.000	0.164	0.985	0.019
	lnGC	0.335	0.000	0.996	0.000
	lnNF	1.000	0.000	0.001	0.000
	lnEI	0.236	0.000	0.001	0.000

3.3.3.　非附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析

本研究では、非附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析として、三つの追加性評価基準を用いて、CDM プロジェクトの追加性を評価した。具体的には、CDM プロジェクトの投資分析に用いられるデータから 2 つの追加性基準を設定し、国固有の条件によって 1 つの追加性基準を設定した。

一つ目の非追加性基準は、CDM プロジェクトのプロジェクト開始前に行われる投資分析の事前評価の情報に基づくものである。先行研究は、多くのプロジェクトが認証削減量（CER）収入によって IRR が 2～3%増加すると結果を示しているが、それらの値は追加性を主張するには十分な値ではないと指摘している(Alexeew et al., 2010; Bartolucci et al., 2008; Lütken, 2012; Tatrallyay and Stadelmann, 2013)。さらに、Schneider (Schneider, 2009)は、投資分析に利用される情報には透明性がないと結論付け、Haya (Haya, 2009)は、プロジェクト設計書（PDD）に記述された投資分析に使用される情報は、金融機関に提出された情報と整合していないと指摘している。Michaelowa (Michaelowa, 2009)は、投資分析に用いられるベンチマークの値が常に適切に設定されていないことを示している。二つ目の非追加性基準は、投資分析に関連する事後評価に基づいている。（Kuriyama and Koakutsu, 2016)は、CER 価格が PDD の想定を大きく下回っていたにも関わらず、プロジェクトが稼働していることを指摘している。

三つ目の非追加性指標は、プロジェクトおよび国固有の条件に基づく。He and Morse (He and

Morse, 2010)は、多くの非附属書 B 国においてプロジェクトの収益性に関係なく、再生可能エネルギープロジェクトの開発が政治的理由で導入されていたことを指摘している。また、中国における水力および風力発電技術を採用するプロジェクトは、CDM により財政的に支援するにはあまりにも成熟していることから、これらのプロジェクトは追加的ではないと指摘する先行研究が多く存在する(Grubb et al., 2011; Haya, 2007; Haya and Parekh, 2011; Lema and Ruby, 2007; Michaelowa and Purohit, 2007; Wara and Victor, 2008)。Lazarus and Chandler (Lazarus and Chandler, 2011)は、進行中の石炭価格の上昇と、効率的な発電技術を推進するインドおよび中国政府による政策圧力の両方を考慮すると、大部分の石炭火力発電プロジェクトが追加的である可能性は非常に低いとしている。その他、生産現場での廃棄物回収プロセスは、化石燃料の利用と比較して、すでに経済的合理性が高いため、廃熱回収プロジェクトも非追加と評価されている(Michaelowa and Purohit, 2007)。以上の CDM プロジェクトの追加性に関する文献レビューに基づいて、以下の三つの追加性基準を設定した。

- 追加性指標 A: PDD において、CER による収益がない場合の内部収益率（IRR）と、実際に投資判断する投資基準ベンチマーク値としての IRR の差が 3%以上のプロジェクトを追加的と判定する。
- 追加性指標 B: PDD において想定していた CER 価格より、3USD/tCO_2 以下低い市場価格において、一度も CER を発行していないプロジェクトを追加的と判定する。
- 追加性指標 C: 「中国とインドの水力および風力発電プロジェクト」および「すべての国の鉄鋼部門の発電部門における廃熱回収及び天然ガスへの燃料切り替え」プロジェクトを非追加的、それ以外のプロジェクトを追加的と判定する。

3.3.4. 非附属書 B 国における CO_2 削減量効果の分析 に用いたデータ

非附属書 B 諸国における京都議定書による CO_2 削減効果のデータは、CDM 制度の認定機関である指定運営組織よって検証され、CDM 理事会によって承認されたモニタリングレポートから取得した。 京都議定書第一約束期間に発効された CER は、附属書 B 国の投資によって京都議定書の目標達成のために発効されたとみなしている。各モニタリングレポートのモニタリング期間に基づいて、京都議定書第一約束期間の終了までの CER の発行量を用いた。 本研究では、各モニタリングレポートの CDM プロジェクト理事会参照番号を使用して、各プロジェクトのプロジェクトタイプと財務情報を CDM project database (IGES, 2016b) 及び IGES CDM Investment Analysis database (IGES, 2017b)及び IGES Kyoto Units Transfer Database(IGES, 2017c)から引用した。各データベースの特徴を表 3-9 に示す。

表 3-9 分析に用いた CDM プロジェクトに関わるデータベースの特徴

データベース名	データベースの概要
IGES CDM project database	• 附属書B国における全ての CDM プロジェクトの国やプロジェクトタイプなどの基礎情報及び CER の発行状況 を収録 • 2007 年から 2 か月に 1 回程度の頻度で更新されていた。 • UNFCCC が有するデータと連携している。 • 12,000 件以上のプロジェクトの情報を扱う。
IGES CDM Investment Analysis database	• CDM プロジェクトの登録審査時に財務分析がなされたプロジェクトの財務情報（公開情報）を収録。 • CDM 理事会など UNFCCC の組織が発行するレポートに度々引用されている。 • 5,500 件以上のプロジェクトの情報を扱う。
IGES Kyoto Units Transfer Database	• 附属書 B 国が取得した排出枠のすべてのデータを収録 • UNFCCC が公表する ITL(国際取引ログ)のデータに基づく。 • オリジナルデータ（公開）を基に各国がどのプロジェクトから排出枠を取得したのか、個別案件レベルで追跡が可能。

出典：筆者作成

3.3.5. 実削減を伴わない京都メカニズムクレジット量の算定

京都メカニズムにおいて、実削減を伴わないクレジット量は、3.3.3 で特定した非追加的な CDM プロジェクトからの CER に加えて、ホットエアーとみなされる AAU と、非追加的な JI プロジェクトからの ERU がある。ホットエアーAAU の算定は、Shishlov, Morel, & Bellassen (2016)の評価を参照した。市場経済移行国（ポーランド、ルーマニア、チェコ、ブルガリア、ハンガリー、スロバキア、リトアニア、エストニア、ラトビア、スロベニア、ロシア、ウクライナ及びクロアチア）が保有する余剰 AAU はホットエアーとした。ホットエアーAAU は各国の初期 AAU から京都議定書第一約束期間（2008 年から 2012 年）の GHG 排出量の差分として定義した。追加性のない ERU の算定は、ストックホルム環境研究所が行った JI プロジェクトの追加性分析(Kollmuss and Schneider, 2015)を基に、「石炭ボタ山の解体、工業・電力部門における省エネ、石油精製時の

排ガス利用、天然ガスパイプラインからの漏洩防止プロジェクト」及び「ウクライナ及びロシアにおける JI プロジェクト」とした。

京都メカニズムクレジットの取得量については、京都議定書附属書 B 国が提出した京都議定書第一約束期間における調整期間（CP1 true-up period）レポートに記載される値を用いた。各国の排出量は、GHG インベントリー報告書とともに UNFCCC 事務局に毎年提出される共通報告様式(CRF: Common Reporting Format)のデータの値を用いた。EU-ETS の EUA、排出量については、European Union Transaction Log のデータ公開サイトである EU Emissions Trading System (ETS) data viewer(EEA, 2016)の値を用いた。CDM 及びプロジェクトについては、IGES CDM プロジェクトデータベース、IGES JI プロジェクトデータベースのデータを用いた(IGES, 2017a, 2016b)。

3.4. 結果と考察

3.4.1. 附属書 B 国における京都議定書による CO_2 削減効果

表 3-10 は、AMG アプローチからの回帰結果を示している。推計された人口、一人当たり GDP、エネルギー原単位の係数は、すべてのグループで正であった。すべての係数の値は、1.04～1.33 の範囲となった中で、人口が CO_2 排出量に最も影響力のある要因であった。一方、非化石燃料由来のエネルギー源の割合は、附属書 B 非市場経済移行国と小規模経済移行国では負であったが、大規模市場経済移行国では統計的に有意とならなかった。さらに、非化石燃料由来のエネルギー源の割合は、人口、一人当たり GDP、およびエネルギー原単位の係数よりも小さい値となっている。この結果は、京都議定書第一約束期間終了までの期間は、人口、GDP 成長、および経済構造とエネルギー効率の変化を含むエネルギー原単位の改善が、CO_2 排出に影響を与えた主な要因であることが明らかとなった。経済危機を表すダミー変数の係数は負であり、すべてのグループで統計的に有意であった。この結果は、経済危機が CO_2 排出削減に強い影響を与えたという既往研究(酒井 et al., 2014)や日本政府の見解(首相官邸, 2014)と合致する。

京都議定書による CO_2 削減効果を示すダミー変数の係数である KPpre と KP imp をみると、京都議定書準備期間中に附属書 B 非市場経済移行国でのみ国内の CO_2 排出にマイナスの影響を与えたことが明らかとなった。この結果は、附属書 B 非市場経済移行国は CO_2 排出量の将来の上限値が見えている中で、国内における CO_2 削減インセンティブが十分にあったことが示唆される。しかし、附属書 B 非市場経済国においても、京都議定書第一約束期間では、京都議定書による CO_2 削減効果の係数は有意ではない。これは、この期間中に附属書 B 国全体で京都メカニズムクレジットが余剰となることが明らかになったため、附属書 B 非市場経済国内でも CO_2 削減インセンティブが弱まってしまったと考えられる。この結果は、京都議定書第一約束期間中に京都メカニズムクレジット価格が低迷したこと、CO_2 排出削減目標を達成した他の事業体からの京都メカニズムクレジットの移出量が多い事実と整合している。

KP imp の係数は、小規模市場経済移行国において正であった。この結果は、京都議定書が小規模市場経済移行国に CO_2 排出削減の取り組みにマイナスの影響を与えたことを示唆している。また、”ホットエアー”の存在がそれらの国で CO_2 削減の取り組みを行うにあたり負のインセンティブをもたらしたと主張する先行研究と一致している。大規模市場経済移行国では、統計的に有意ではないものの KP imp の値が 0.008 であった。すなわち、小規模市場経済移行国と同様に、京都議定書あるいは京都メカニズムが CO_2 排出削減の取り組みにマイナスの影響を与えた可能性が示唆される。

附属書 B 非市場経済移行国の KPpre の係数が有意であり、KP imp の係数が有意でなかった結果を考察すると、京都議定書の発効時は各国における削減を進める国際機運が高まったとともに、

削減目標の拘束力が発生したことから、CO_2を削減する施策が導入され実際にCO_2削減が進んだと考えられる。一方で、KP imp のダミー変数の対象期間が始まる 2008 年頃になると、CO_2削減目標の達成手段に使われる京都メカニズムクレジットが附属書 B 市場経済移行国から余剰になることが予見されるとともに、2007 年から始まった金融危機の影響で経済活動量が低下し、その結果、各国の CO_2排出量が CO_2削減策とは関係なく減少した。これにより追加の CO_2削減策を講じなくても京都議定書第一約束期間の削減目標の達成が見込まれ、CO_2 削減策が進まなかったことが一因として考えられる。これは、京都議定書の CO_2削減目標が一定の期間で一定の削減率であったことから経済や社会変化に対応できず、実効力がなくなったと考えられることから、京都議定書の下での制度設計に大きな課題があったことが示唆される。

表 3-10　STIRPAT モデルによる推定結果

	附属書 B 非市場経済移行国			附属書 B 小規模市場経済移行国			附属書 B 大規模市場経済移行国		
$\ln CO_2$									
lnPOP	1.04	***	[0.32, 1.77]	1.11	**	[0.23, .99]	1.33	**	[0.26, 2.4]
	(2.84)			(2.46)			(2.43)		
lnGC	0.78	***	[0.64, 0.92]	0.80	***	[0.62, .97]	1.06	***	[0.88, 1.24]
	(12.41)			(8.89)			(11.75)		
lnEI	0.71	***	[0.6, 0.82]	0.74	***	[0.59, .88]	0.88	***	[0.74, 1.03]
	(13.53)			(10.15)			(12.01)		
lnNF	-0.17	***	[-0.23, -0.12]	-0.12	***	[-0.15, -0.08]	-0.08		[-0.19, 0.03]
	(-5.93)			(-6.2)			(-1.38)		
KPpre	-0.004	**	[-0.01, 0]	0.003		[-0.01, 0.01]	-0.001		[0, 0]
	(-2.33)			(0.71)			(-0.49)		
KPimp	-0.000		[-0.01, 0.01]	0.007	*	[0, 0.01]	0.008		[-0.01, 0.02]
	(-0.09)			(1.84)			(1.08)		
Crisis	-0.04	***	[-0.06, -0.03]	-0.15	**	[-0.21, -0.09]	-0.11	***	[-0.21, -0.01]
	(-4.88)			(-4.73)			(-2.17)		
trend	0.00		[-0.01, 0]	0.00		[-0.01, 0.01]	0.00		[-0.02, 0.01]
	(-1.38)			(-0.06)			(-0.77)		
cons	-16.72	***	[-27.9, -5.55]	-17.53	***	[-30.66, -4.4]	-25.82	***	[-44.7, -6.95]
	(-2.93)			(-2.62)			(-2.68)		
Obs	1196			695			368		
Groups	52			31			16		
RMSE	0.0143			0.0200			0.0136		
CD	-1.18			-2.31			-1.58		
CIPS	-4.78			-	-		-4.74		

()内の数字は z 値を示す。[]内の数字は、95%信頼区間の係数値を示す。

* は 10%有意水準を表す。　**は 5%有意水準を表す。 ***は 1%有意水準を表す。

3.4.2. 附属書 B 国における京都議定書による CO_2 削減効果分析の今後の課題

本推定結果は、手法・データの観点から制約がある。第一に、京都議定書のダミー変数について「京都議定書に批准した」という事実に基づいて設定している。そのため、米国の各州のダミー変数はすべてゼロである。しかし、米国の州において、連邦政府としては京都議定書に批准してなくても、国際的に CO_2 削減を進める機運から州政府独自に取り組みを進める地域もある。例えば、コネチカット州、デラウェア州、メイン州、メリーランド州、マサチューセッツ州、ニューハンプシャー州、ニュージャージー州、ニューヨーク州、ロードアイランド州、バーモント州では、地域 GHG イニシアティブ（RGGI）と呼ばれる排出取引制度を 2009 年に独自に導入し、設備容量 2.5 万 kW 以上の化石燃料発電設備を制限している取り組みを進めた。また、カリフォルニア州は 2006 年、カリフォルニア州地球温暖化対策法(California Global Warming Solutions Act)（通称 Assembly Bill No.32, AB32）を成立させ、2020 年までに温室効果ガスの排出量を 1990 年レベルに CO_2 削減する目標を設定した(環境省, 2008)。この法律では、温室効果ガスの排出量取引制度の導入も含まれており、実際に 2013 年から導入されたため、その間もカリフォルニア州内の CO_2 排出量に影響を与えた可能性がある。

第二に、本分析は附属書 B 国を対象としているため、非附属書 B 国における CO_2 排出量の変化は捉えられない。欧州や日本における産業の生産設備の一部が非附属書 B 国内に移転している場合がある。この場合、附属書 B 国内での CO_2 排出量が数字上は減少するが、海外の生産設備に移転しているだけであり、世界全体では、CO_2 を削減したことにはならない。本研究手法ではこのような変化を捉えることが出来ないことに留意が必要である。

3.4.3. 非附属書 B 国における京都議定書による CO_2 削減効果

図 3-2 は、本研究で設定した三つ追加性指標に基づく CER 追加性評価の結果を示す。京都議定書第一約束期間中に HFC および N_2O プロジェクトは、それぞれ 500 Mt CO_2e および 260 Mt CO_2e の CER を発行した。これは、すべてのプロジェクトタイプの中で 1 番目と 2 番目に大きな割合を占めていた。 HFC および N_2O プロジェクトから発行された CER は、すべての追加性指標を満たしているため、強い追加性を示した。

水力発電プロジェクトおよび風力発電プロジェクトから発行された CER の量は、すべてのプロジェクトタイプの中で 3 番目と 4 番目に大きな割合を占めた。しかし、水力発電プロジェクトからの CER の 60%、および風力発電プロジェクトの CER からの 71%は追加基準を満たさなかったため、「非追加」と評価された。水力および風力発電プロジェクトでは、すべての追加性基準を満たす CER 量は、それぞれ、11%と 6%と限られていた。また、興味深いことに、エネルギー関連プロジェクトの中で、バイオマスプロジェクトや、太陽光発電（PV）やエネルギー効率化プロジェクトを含むその他のプロジェクトの CER は、三つの追加基準を満たしていた。
非附属書 B 国の CO_2 排出削減のうち、少なくとも一つ以上の追加性基準を満たす CER 量は 1,134 Mt CO_2e であった。これらの CER のうち、非エネルギープロジェクトの CER 量は 887 Mt CO_2e を占め、エネルギー関連プロジェクトの CER は 246 Mt CO_2e であった。この結果から、京都議定書は、附属書 B 国に対しては、非エネルギー関連プロジェクトによる実質的な CO_2 排出削減活動を促したと考えられる。

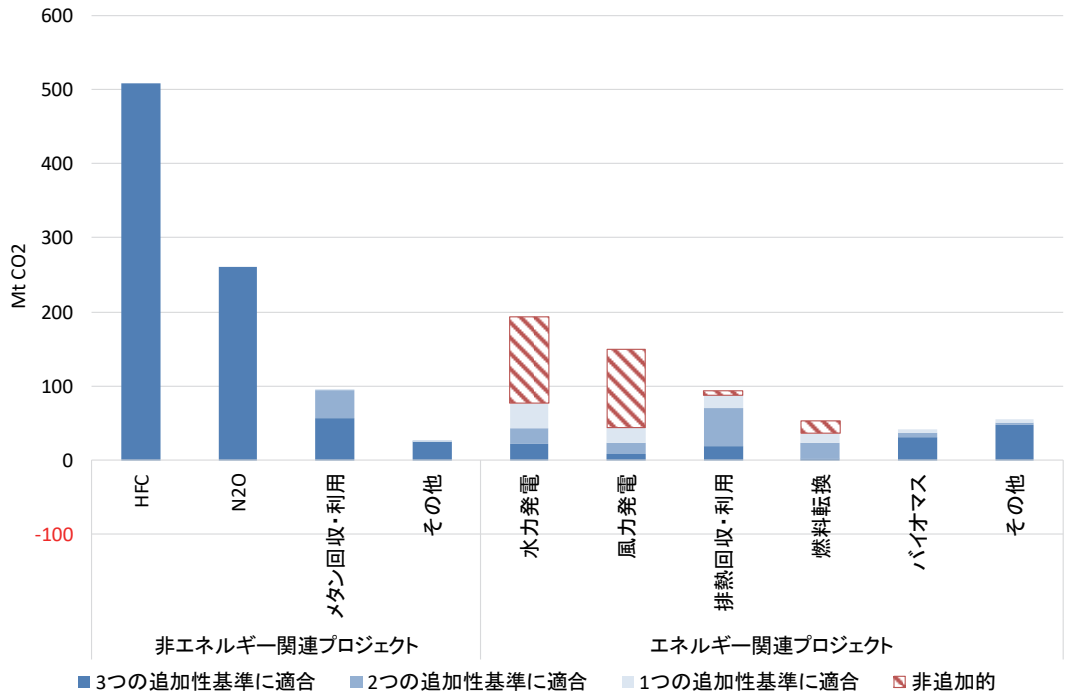


図 3-2 附属書 B 国においてプロジェクトタイプごとの CER の追加性評価の結果

3.4.4. 京都議定書第一約束期間の CO_2 削減効果

京都議定書による CO_2 削減効果の推計結果を表 3-11 に示す。附属書 B 非市場経済移行国では、京都議定書準備期間中に 76 Mt CO_2e の CO_2 削減効果が得られた。一方、小規模市場経済移行国では、京都議定書第一約束期間に 12 Mt CO_2e の排出量が増加する"Reverse effect"が観測された。非附属書 B 国については、1 つ以上の追加性基準を満たす排出削減量は、エネルギー起源 CO_2 排出削減量で合計 246 Mt CO_2e、すべての GHG を含む排出削減量で 887 Mt CO_2e であると推定された。 総じて、京都議定書による実削減を伴う緩和効果は、非附属書 B 国の非エネルギー起源の GHG 削減量を含むと 951 Mt CO_2e となり、エネルギー起源の CO_2 排出量だけに限定すると 310 Mt CO_2e の緩和効果であった。

表 3-11 京都議定書による CO_2 削減効果の推計結果

国	削減効果
附属書 B 非市場経済移行国	京都議定書準備期間中に 76 Mt CO_2e の削減効果
附属書 B 小規模市場経済移行国	京都議定書第一約束期間に 12 Mt CO_2e の排出量が増加する"Reverse effect"
附属書 B 大規模市場経済移行国	削減効果あるいは"Reverse effect"のいずれも観察されなかったが、第一約束期間中の京都議定書による削減効果の係数は、統計的に有意ではないが、負の値を示した
非附属書 B	エネルギー起源 CO_2 排出削減量で合計 246 Mt CO_2e、すべての GHG を含む排出削減量で 887 Mt CO_2e
合計	非附属書 B 国の非エネルギー起源の GHG 削減量を含むと 951 Mt CO_2e、エネルギー起源の CO_2 排出量だけに限定すると 310 Mt CO_2e

出典：Kuriyama and Abe (2018)

3.4.5. 京都議定書第一約束期間中の実削減を伴わないクレジット量

附属書 B 国内で 3,300MtCO_2 の京都メカニズムクレジットが取引され、そのうち、54 パーセントが実削減を伴わないクレジットとして評価された(栗山, 2017)。附属書 B 国のうち排出枠（京都メカニズムクレジット）を他国から多く取得した国を対象に、排出枠のうち実削減を伴わない京都メカニズムクレジット量を推計した。実削減を伴わない京都メカニズムクレジットを最も多く取得したのはドイツであり、合計で 2 億 9,000 万 tCO_2 の追加性の無い京都メカニズムクレジットを取得した。これは、取得した全ての他国起源京都メカニズムクレジットの 51%を占める。EU-ETS 対象企業のうち電力部門の排出量が EUA を 4.6 億 tCO_2 程度超過したことにより、削減義務を遵守するために、安価な他国からの京都メカニズムクレジットを必要としたため、5.7 億 t CO_2 の他国からの京都メカニズムクレジットのうち、実削減を伴わない京都メカニズムクレジットを 2.9 億 tCO_2 取得する一因となったと考えられる(栗山, 2017)。

二番目に多く実削減を伴わない京都メカニズムクレジットを取得したのは日本となった。日本は、

京都議定書締結後、早い段階から国全体の排出量が初期 AAU を超過することが予想されていた。そのため、日本政府は 1 億 tCO_2 の京都メカニズムクレジット取得目標を掲げ、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による京都メカニズムクレジット取得事業を通じて、GIS スキームを活用しながら実際に 9,753 万 tCO_2 取得した(環境省, 2013b)。日本では、全国的な排出量取引は導入されていないものの、産業部門においては、京都議定書目標達成計画の中で、部門別の削減目標が定められていた。この中で、図 3-4 に示される通り、電力業界が 5 年間で 2.6 億 tCO_2、鉄鋼業界が 5 年間で 5,300 万 tCO_2 の京都メカニズムクレジットを取得することを計画し(経済産業省, 2011)、実際に電力業界が 2.75 億 tCO_2 取得した(経団連, 2014)。最終的に日本全体では、3.9 億 tCO_2 の京都メカニズムクレジットを他国から取得したなかで、実削減を伴わない京都メカニズムクレジットは 2.9 億 tCO_2 と計算された。

三番目に多くの実削減を伴わない京都メカニズムクレジットを取得したのはスペインであった。スペインは、ドイツと同様に、電力部門の排出量が EU-ETS における排出枠である EUA を上回ったため、他国からの京都メカニズムクレジットを必要とした。また、非 EU-ETS 部門の排出量が非 EU-ETS 対象部門における AAU を超過したことから、スペイン政府は、京都メカニズムクレジットを必要とした。その結果、上記で述べたように、スペイン政府は GIS を通じて、AAU を取得した。非 EU-ETS 部門及び EU-ETS における非電力部門において排出量が、AAU、EUA といった排出枠を上回る構造は、イタリア、オーストリアも同様であり、各国共に他国起源の京都メカニズムクレジットを取得した。

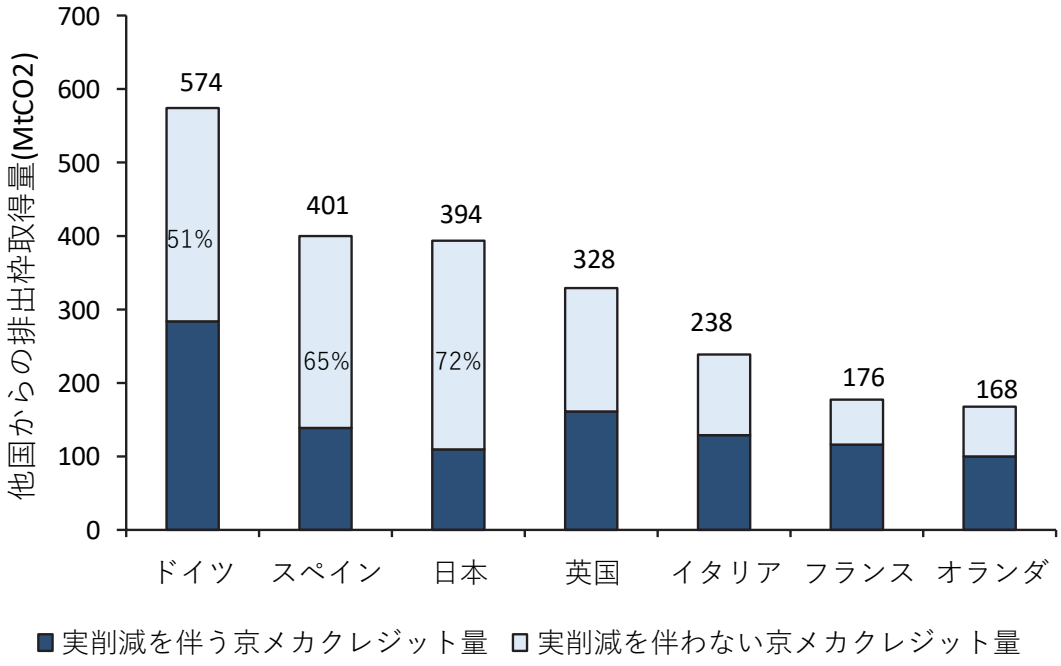


図 3-3　附属書 B 国による他国からの排出枠の取得結果

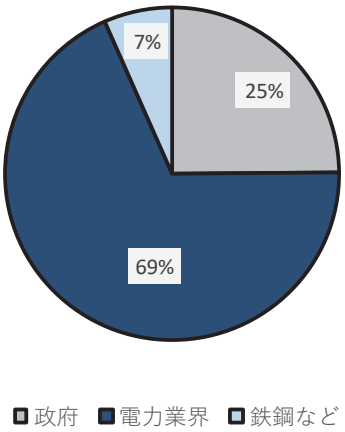


図 3-4　附属書 B 国に償却されたの CER の追加性評価の結果

3.5.　3 章まとめ

本章では、京都議定書による世界全体での CO_2 削減効果を推定するために、附属書 B 国に対して、パネルデータ分析を用いた計量分析を行い、非附属書 B 国では、CDM プロジェクトの追加性評価を行った。

京都議定書の CO_2 削減効果として、附属書 B 非市場経済移行国において、京都議定書準備期間中に 76 Mt CO_2 の削減効果が見られたが、京都議定書の実施期間中には削減効果が観測されなかった。また、附属書 B 市場経済移行国においては、京都議定書実施期間中に 12 Mt CO_2 の排出量が増加するという"Reverse effect"が観測された。附属書 B 国においては、京都議定書準備期間中と実施期間中の合計で、246 Mt CO_2 の削減効果得られた。削減量の合計量で単純に見ると、附属書 B 国における削減量が最も大きかったことになる。

グループ毎に CO_2 削減効果について、附属書 B 国の非市場経済移行国においては、京都議定書第一約束期間の準備期間に CO_2 削減効果が観測されたが、実施期間中では、その削減効果は観測されなかった。これは、京都議定書の発効によって、各国に削減インセンティブをもたらしたものの、削減目標以上の削減を促すような制度設計になっていなかった可能性を意味する。

非附属書 B 国では、多くの CDM プロジェクトが非追加的と評価された。この非追加的な CDM プロジェクトからの削減分は附属書 B 国の削減目標に使用されるために、安価な非追加的な CDM プロジェクトの存在は附属書 B 国の削減インセンティブを弱め、間接的にエネルギー・トランジションを遅らせる方向に働いたことにも注意が必要である。

特に、日本においては、非追加的な CDM プロジェクトからの削減分、非追加的な JI プロジェクトからの削減分と、市場経済移行国からのホットエアーから構成される実削減を伴わないクレジットが 2.83 億 tCO_2（他国から取得した京都メカニズムクレジット量の 72%に相当）を取得し、その多くを電力会社が購入した。特に、電力部門は、京都議定書目標達成計画で定められた部門別の削減目標を達成するために、京都議定書のもとで 2.75 億 tCO_2 の京都メカニズムクレジットを取得し、その大半が実削減を伴わないクレジットである可能性が高い。以上の結果より、京都議定書において柔軟措置として設定された制度が、日本の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減手段による目標の達成、すなわち、エネルギー・トランジションを伴うことなく目標の達成を可能とした一因であることが示唆される。

4　章 CO_2 排出量要因分解分析に基づく京都議定書の日本における CO_2 削減効果分析

4.1.　本章の背景と目的

3 節で論じた通り、京都議定書における日本を含む附属書 B 非市場経済移行国への CO_2 削減効果は京都議定書準備期間に限定されていた。加えて、非追加的な CDM プロジェクトからの削減量を含む実削減を伴わないクレジットが日本の電力会社により、2 億 tCO_2 程度購入された可能性がある。従って、本章では、原子力を中心とする既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換によって、CO_2 削減効果を検証した。検証をする際には、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換の削減効果だけでなく、実質 GDP の変化、省エネ、産業構造の変化による削減効果と比較し、相対評価も行った。加えて、原子力を中心とする既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換の代替指標であるエネルギー原単位と省エネ効果の CO_2 排出原単位の変化の要因を政策及び経済的なイベントと照らし合わせてこれらの効果の要因を考察した。

4.2.　日本の CO_2 排出量の増減要因分析手法とデータ

4.2.1.　要因分解分析の分析手法

本分析では、第一に、各要因の変化が CO_2 排出量の総量の変化にどの程度影響を与えたのか、定量的に分析をする要因分解分析を行い、気候変動政策として講じられた各政策の効果について考察を行った。第二に、CO_2 排出量の変動を説明する主要要因の時系列変化を描き、主要要因が歴史的な事象によってどのように変化したのか、また、2030 年の中期目標に向けてどのような変化が必要とされるのかという観点から考察を行った。

CO_2 排出要因分解の方法として、本研究では I = PAT（影響=人口・豊かさ・技術）の関係を一般化した茅恒等式(Kaya, 1990)を用いた。具体的には、CO_2 排出量を GDP、エネルギー原単位（GDP あたりのエネルギー使用量)、および炭素排出原単位（エネルギー使用量あたりの CO_2 排出量）に分解する。

$$CO_2 = GDP \cdot \frac{TFC}{GDP} \cdot \frac{CO2}{TFC} = GDP \cdot EI \cdot CI \qquad (式 6)$$

GDP は実質 GDP（2010 年ベース)、TFC はエネルギーの最終エネルギー消費量、CO_2 はエネルギー起源 CO_2 排出量、EI はエネルギー原単位、CI は炭素排出原単位を表す。エネルギー使用量の値は、一次エネルギー供給量または最終エネルギー消費のいずれかを採用するのが一般的である（西尾 et al.(2018)、資源エネルギー庁（2019)など)。一次エネルギー供給量の変化は、需要側のエネルギー使用量の変化だけでなく、燃料代替や電力部門でのエネルギー効率改善による変化も包含される。一方、最終的なエネルギー消費は、需要側のエネルギー使用量の変化に限定で

きる。したがって、本研究では最終エネルギー消費量をエネルギー原単位の指標として用いた。

定量的に分析をする要因分解分析を行う際には、式(6)をさらに細分化した。第一に、先行研究の指摘(Filipović et al., 2015; Karimu et al., 2017; Li et al., 2013; Wang, 2013)に基づいて、エネルギー原単位の変化を国全体の需要側のエネルギー効率の改善による変化と産業構造による変化に分けた。第二に、炭素原単位を電力部部門と非電力部門に分けた。これは近年、電力部門の脱炭素化を捉えることが脱炭素社会に向けて重要な示唆を得ることができるためである。

要因分解分析にはさまざまな手法があるが、以下の 6 つのアプローチに分類される：Refined Laspeyres Decomposition (RLD); Passche index; Simple Average Divisia Method; Fischer Ideal; Parametric Divisia Method (PMD I) and II (PMDII); and Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI)(Malpede, 2015)。6 つの要因分解手法のうち、RLD および LMDI 手法が残差なく、対象要素を完全に分解できる。さらに、LMDI 手法は、合理性、汎用性、結果の理解の容易さ、完全に分解された結果などの理由で、多くの研究に用いられている(Ang, 2004; Ang, 2005; Lima, Nunes, Cunha, & Lucena, 2016; Yang, Wang, Zhang, Li, & Zou, 2016)。一方、RLD 法は、特に要素の数が 3 を超える場合は、定式化が複雑となるという特性があり、環境分野での研究ではほとんど使用されていない(Ang and Zhang, 2000)。したがって、本研究は LMDI 法を適用した。LMDI 法は式(7)の通りである。

$$G_t = \sum_j \sum_k \frac{G_{j,k,t}}{E_{j,k,t}} \cdot \frac{E_{j,k,t}}{Q_{k,t}} \cdot \frac{Q_{k,t}}{Q_t} \cdot Q_t = \sum_j \sum_k G_{c_jkt} \cdot G_{e_jkt} \cdot G_{s_kt} \cdot G_{y_t} \qquad \text{(式 7)}$$

ここで、Gt は t 年の総 CO_2 排出量を示し $G_{j,k,t}$ は t 年のエネルギーj、部門 k の CO_2 排出量を表す。経済構造の変化による CO_2 排出量への影響を分析するために、経済部門を産業部門、輸送・商業部門、および家庭・農業部門に分類した。産業部門では、図 4-1 に示すように、2013 年の鉄鋼部門と化学部門からの直接および間接排出を含む CO_2 総排出量のシェアは、それぞれ 30%と 18.5%であった。また、本研究で使用した UNIDO (2017)が提供する 1960 年以降の長期時系列データは鉄鋼部門と化学部門に限られている。以上の理由から、産業部門は鉄鋼部門、化学部門、その他の産業部門に分けた。非化石燃料由来の電源（原子力と再生可能エネルギー）の割合の変化が CO_2 排出量の変化に与える影響を分析するために、最終エネルギー消費量を電気と非電気に分類した。

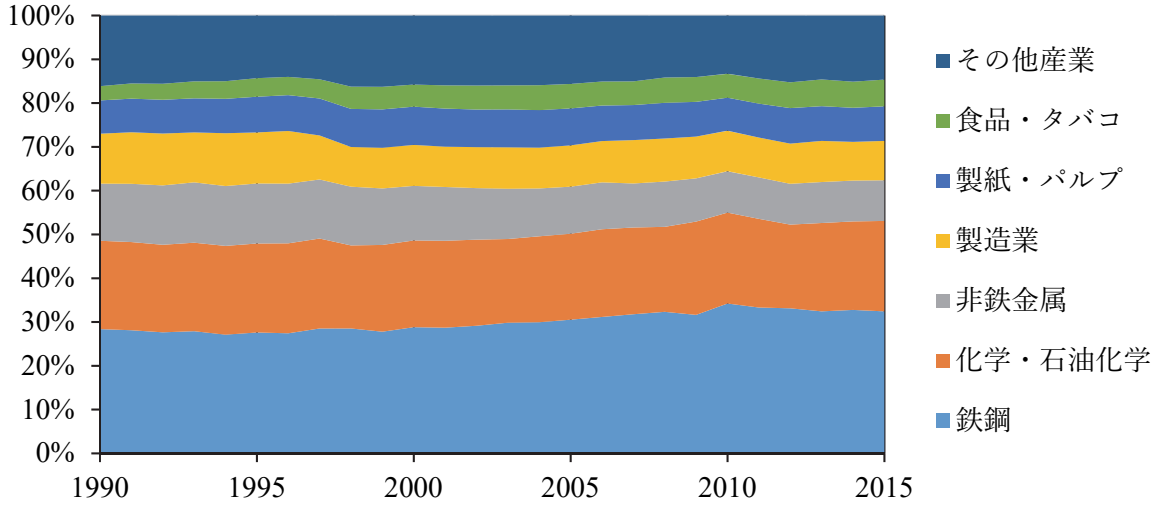


図 4-1　産業部門における直接および間接 CO_2 排出の時系列変化（1990～2015 年）。

出典：IEA (2017b), IEA(2017c)を基に筆者作成

E_{jkt} は、t 年における部門 k、エネルギー j の最終エネルギー消費量を示す。 Q_{kt} は t 年における部門 k の実質 GDP であり、Q_t は国全体の実質 GDP を表す。 また、G_{c_jkt} は、部門 k、t 年のエネルギーj の最終エネルギー消費あたりの炭素排出原単位となる。 G_{e_jk} は、部門 k、エネルギーj のエネルギー原単位となる。 G_{s_kt} は、t 年における部門 k の実質 GDP の全部門に対する比率を示す。 G_{yp_kt} は、t 年の 1 人当たりの GDP を示す。 G_{p_kt} は、t 年の人口を表す。式(7)を時間で微分することで、式 （8）が導かれる(Shahiduzzaman and Layton, 2015)。

$$\dot{G}_t = \sum_j \sum_k \dot{G_{c_kt}} \cdot G_{e_kt} \cdot G_{s_kt} \cdot G_{y_kt} + \sum_j \sum_k G_{c_kt} \cdot \dot{G_{e_kt}} \cdot G_{s_kt} \cdot G_{y_kt} + \sum_j \sum_k G_{c_kt} \cdot G_{e_kt} \cdot \dot{G_{s_kt}} \cdot G_{y_kt} + \sum_j \sum_k G_{c_kt} \cdot G_{e_kt} \cdot G_{s_kt} \cdot \dot{G_{y_kt}} \quad \text{（式 8）}$$

$w_{jkt} = G_{c_jkt} \cdot G_{e_jkt} \cdot G_{s_kt} \cdot G_{y_kt}$ とおくと、年 t-1 から年 t までの CO_2 排出量の変化に対する各要因変化の関係は、式(9)によって表すことができる。

$$\Delta G_t = \sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t} - w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t} - ln w_{j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{c_j,k,t}}{G_{c_j,k,t-1}}\right) + \sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t} - w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t} - ln w_{j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{e_j,k,t}}{G_{e_j,k,t-1}}\right) + \sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t} - w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t} - ln w_{j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{s_j,k,t}}{G_{s_j,k,t-1}}\right) + \sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t} - w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t} - ln w_{jk0j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{y_j,k,t}}{G_{y_j,k,t-1}}\right) \quad \text{（式 9）}$$

また、時間 t-1 から t までの期間の年間 CO_2 排出量の変化は、式(10)によって算定できる。

$$\overline{\Delta G_t} = \left\{\sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t} - w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t} - ln w_{j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{c_j,k,t}}{G_{c_j,k,t-1}}\right) + \sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t} - w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t} - ln w_{j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{e_j,k,t}}{G_{e_j,k,t-1}}\right) + \right.$$

$$\sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t}-w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t}-lnw_{j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{s_j,k,t}}{G_{s_j,k,t-1}}\right) + \sum_j \sum_k \frac{w_{j,k,t}-w_{j,k,t-1}}{\ln w_{j,k,t}-lnw_{j,k,t-1}} * ln\left(\frac{G_{y_j,k,t}}{G_{y_j,k,t-1}}\right)\Bigg\} * (\frac{1}{\Delta t}) \qquad (式\ 10)$$

4.2.2. 要因分解分析に用いたデータ

分析に用いたデータとして、国立社会保障・人口問題研究所が公表する「人口統計資料集」(IPSS, 2017b)を引用する。GDP 推移については、長期にわたる実質 GDP データが収録されている World Bank (2017)及び平田(1998)のデータを引用した。製造業における付加価値データ割合は、UNIDO (2017)及び内閣府 (1998)を参照した。最終エネルギー消費量、エネルギー起源 CO_2 排出量の過去のデータは、国際エネルギー機関（IEA）が公表する「World Energy Balance」(IEA, 2017d)と「CO_2 emissions from fuel combustion」(IEA, 2017c)のデータをそれぞれ用いた。本データセットの特徴は、1960 年から 2015 年までの長期時系列データかつ産業部門別の付加価値額まで細分化されていることである。これにより、エネルギー原単位の変化を産業構造による変化と省エネルギーによる変化に分解した長期の時系列データである。

LMDI 分析の対象期間は、過去の排出データについては、1960 年から 2015 年までとし、エネルギー経済モデルの分析による将来のデータについては、2030 年とした。過去のデータは各期間の特徴を鑑みて表 4-1 に示す期間で区切った。

表 4-1　選択した期間の特徴

期間	各期間の特徴
1960 年から 1973 年	高度経済成長（オリンピック景気、いざなぎ景気）
1973 年から 1986 年	第一次・第二次オイルショックによるエネルギー効率向上行動の促進
1986 年から 1991 年	逆オイルショック以降のエネルギー効率向上行動の停滞・バブル経済
1991 年から 2000 年	バブル経済以降の経済の停滞
2000 年から 2007 年	いざなみ景気、日本の京都議定書の批准
2007 年から 2010 年	世界金融危機
2010 年から 2013 年	東日本大震災後のエネルギー効率向上行動の促進、多くの原子力発電所の稼働停止
2013 年から 2015 年	エネルギー原単位と排出原単位と低下

4.3.　結果と考察

本項では、経済構造の変化の影響と、電力部門と非電力部門の両方の炭素排出原単位の変化による CO_2 排出量の変化への寄与度を定量化するために、要素分解分析（LMDI 分析）を行った。エネルギー原単位、CO_2 排出原単位の時系列変化については付録 3 にまとめた。

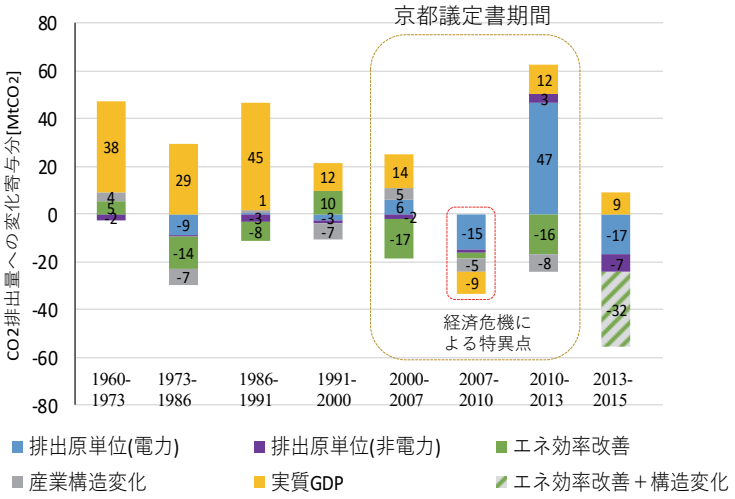


図 4-2　LMDI 手法を用いた要因分解分析の結果

注：各棒グラフ上の数字は、期間中の CO_2 排出量の正味の変化（$MtCO_2$）を示している。1960 年から 2015 年までの期間は、表 4-1 に示すように、経済およびエネルギー指標の特徴に基づいて 8 つの期間に分割した。

図 4-2 は、LMDI 分析結果、すなわち、各要因の変化に対する CO_2 排出量の変化量の年平均値を示している。1960 年から 1990 年までの高度経済成長期は、実質 GDP による CO_2 排出量の増加が大きいことが分かった。一方で、第一次石油危機(1973 年)及び第 2 次石油危機(1979 年)を 1973 年から 1986 年の間では、エネルギー効率の改善が毎年 14$MtCO_2$ の削減効果があった。また同期間において、電力部門では、原子力と天然ガスの利用が進み（付録 3 参照)、毎年 9$MtCO_2$ の削減効果が観測された。1986 年と 1991 年の間において、エネルギー効率の改善が毎年 8$MtCO_2$ の削減効果があった。

京都議定書の準備期間を含む 2000 年から 2007 年の間は、電力部門の排出原単位の変化によって、毎年 6$MtCO_2$ の大きさで CO_2 排出量を増やす効果をもたらした。これは、2003 年に発生した東京電力の自主点検記録の不正問題及び 2007 年に発生した新潟沖中越地震によって、原子力発電の検査のために稼働率が落ちたことが理由である（図 4-3)。2007 年から 2010 年の間は、金融危機の影響をうけた特異点である。2010 年から 2013 年は、2011 年に福島第一原子力発電所の事故が起き、その後、安全検査のため、ほぼすべての原子力発電所が停止した影響ことにより毎年 47$MtCO_2$ もの排出増加の影響をもたらした。電力部門の排出原単位を改善するもう一つの手段である再生可能エネルギーの動向として、各国の再生可能エネルギー導入容量の 2000 年比を図 4-4 に示している。英国、ドイツ、イタリア、スペイン等と比較して、2005 年以降の京

都議定書の約束期間中に再生可能エネルギー導入量伸びていないことが明らかとなった。

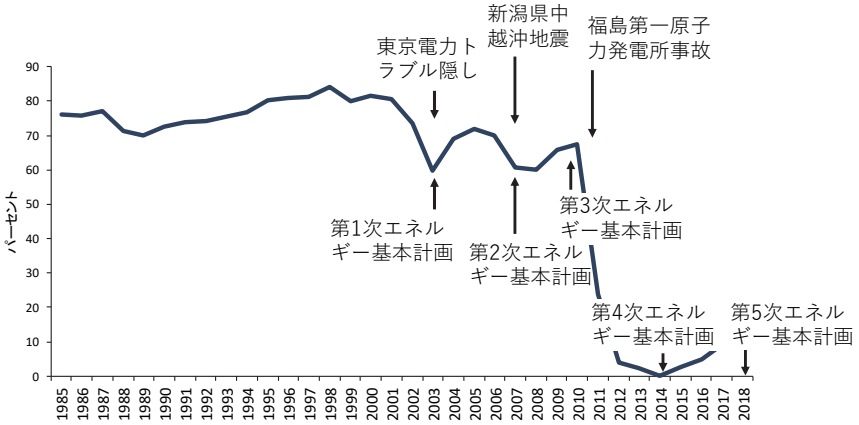


図 4-3　日本の原子力発電の設備利用率推移とエネルギー政策

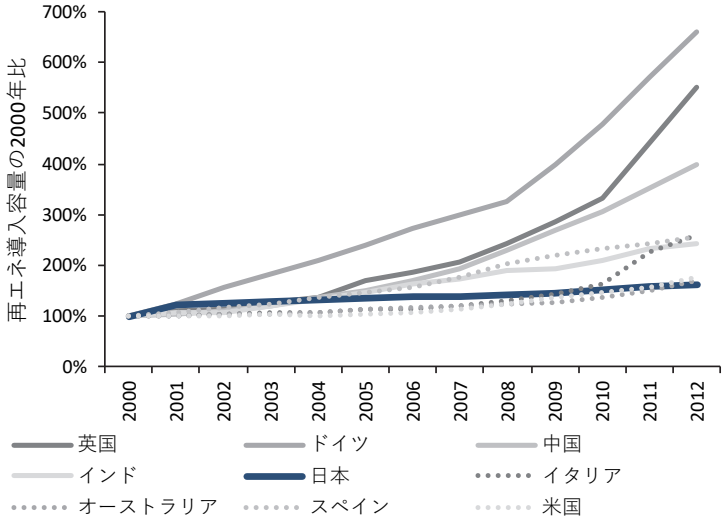


図 4-4　各国の再生可能エネルギー導入容量の 2000 年比

出典：IRENA (2019)より筆者作成

電力部門における炭素排出強度による CO_2 削減効果は、エネルギー効率の改善あるいは、産業構造の変化に比較して小さかった。さらに、 2011 年の東日本大震災後の原子力発電所の停止により、電力部門の炭素排出原単位の増加は、2010 年から 2013 年までの期間における CO_2 排出量が増えた最大の要因となった。非電力部門の炭素排出原単位の増加は、どの期間においても、CO_2 排出量の変化に与える影響が限定的であった。

一方で、省エネルギーの取り組みは、最も CO_2 削減効果をもたらしていたことが明らかとなった。

2000 年から 2007 年の間は、年平均で毎年 17MtCO_2 の CO_2 削減効果があった。この期間においては、実質 GDP、産業構造の変化が CO_2 排出量に対して正の影響を与えた中で、省エネルギーの取り組みが、CO_2 排出削減に大きな効果があったと解釈できる。2010 年から 2013 年においても、毎年 16MtCO_2 の CO_2 排出削減効果があった。京都議定書期間中に省エネルギーの取り組みが進んだ背景は、省エネルギーの取り組みは工場などの一つの企業の意思決定で進められるものが多い。省エネ機器導入などの省エネルギーの取り組みへの投資によるエネルギー消費量の削減による燃料費減少分が、投資した主体に直接還元されたと考えられる。このように、省エネ機器への補助金等の適切なインセンティブを与えることで、取り組みが比較的進展したものと思われる。実際に、図 4-5 及び図 4-6 に示される通り、京都議定書フェーズにおける日本国内の省エネに関する取り組みは大規模施設及び小規模施設共に進んだ。

上記の結果より、京都議定書の期間には、原子力発電の利用促進を中心に電力部門の排出原単位を改善し、CO_2 排出量の削減を計画していたにもかかわらず、実際には、実効性のある CO_2 排出量の削減をもたらしていなかったことが明らかとなった。背景として、原子力発電の稼働率の低下に加えて、代替的な非化石電源である再生可能エネルギーの導入量が進まなかったことが一因として挙げられる。一方で、京都議定書のインセンティブによって、エネルギー効率改善が継続的に行われ、最も大きな CO_2 排出量削減の効果をもたらしていた。電力部門の排出原単位を改善が進まなかった背景には、電力に関わる組織体制、制度、エネルギー供給システムに今後改善する余地があることが示唆された。

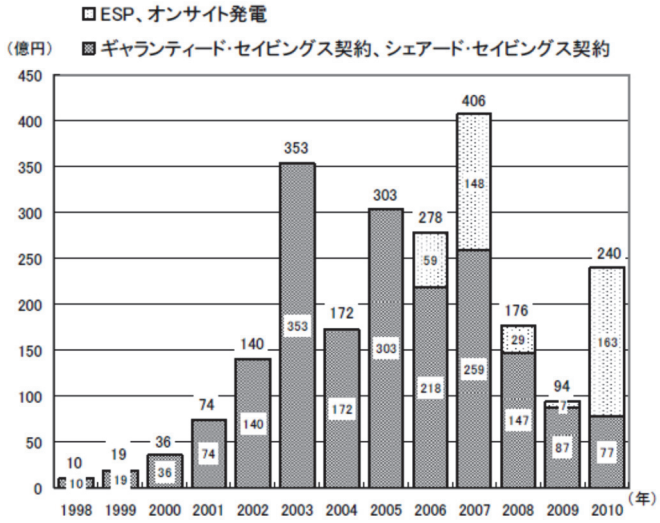


図 4-5　大規模施設における ESCO 事業の進捗状況

出典：ESCO 推進協議会（2012）

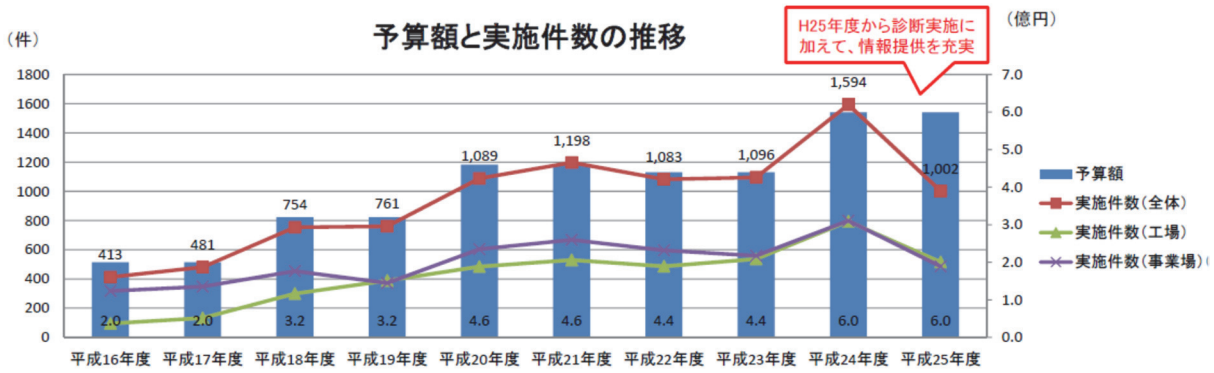


図 4-6　中小施設に対する省エネ・節電診断の実績と省エネに関する予算額の推移

出典：エネルギー資源庁（2014）

4.4. 4章まとめ

日本は京都議定書の第一約束期間中に、原子力を中心とする既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換によって、CO_2削減を進める戦略を大々的に講じてきた。しかし、第3章で分析結果が明らかになったように、電力部門は京都議定書期間中に日本の京都議定書目標達成計画で定められた削減目標を2.6億tCO_2の京都メカニズムクレジットを用いて達成しており、既存のエネルギー供給システムを前提としたCO_2削減の効果について検証が必要であった。

従って、本章ではCO_2排出量の要因分解分析を行い、個別技術転換による日本国内のCO_2排出量のCO_2削減効果の検証を行った。電力部門では、1973年から1986年の間に、原子力と天然ガスの利用が進み、毎年$9MtCO_2$の削減効果が観測されたものの、1986年以降は大きなCO_2削減に寄与していない。その背景として、石炭火力の発電の利用が進められたことが挙げられる。このような中、京都議定書の期間には、原子力発電の利用促進を中心に電力部門の排出原単位を改善し、CO_2排出量の削減を計画していたにも関わらず、実際には、削減を生んでいなかったことが明らかとなった。その背景として、2007年7月の新潟県中越沖地震の影響で原子力発電所の稼働率が低迷し、2011年の福島第一原子力発電所事故の影響により、日本国内のすべて原子力発電所の稼働が停止したことが主な原因であった。また、原子力発電に代わる非化石電源である再生可能エネルギーの導入量が進まなかったことが一因であった。これは、英国、ドイツ、イタリア、スペインといった欧州各国では、京都議定書期間中に再生可能エネルギーの導入量が大幅に増加した結果とは対照的であった。

一方で、エネルギー効率改善は、1960年以降、継続的にCO_2削減に寄与してきた。1973年から1986年の間には、第一次及び第二次石油危機の影響によって日本国内のエネルギー効率化が進み、毎年$14MtCO_2$に匹敵する削減効果があった。また、京都議定書が批准された1998年以降の期間である2000年から2007年にかけて、毎年$17MtCO_2$の削減効果があり、本研究で設定したCO_2排出量増減要因のうち最も大きなCO_2排出量削減の効果をもたらしていた。理由として、エネルギー効率改善は同一組織内の意思決定で完結するという取り組み易さがあったものの、京都議定書における削減目標を達成するというインセンティブによって、エネルギー効率改善への投資が進んだことが一因であった。すなわち、エネルギー効率改善を促す制度設計や組織体制がうまく機能したと考えられる。

以上より、京都議定書約束期間中に、電力部門の排出原単位を改善が進まなかった背景には、電力に関わる組織体制、制度、エネルギー供給システムについて、従来のやり方では進まない根本的な原因があることが示唆された。従って、今後電力部門においてCO_2削減を着実に進めるためには、従来のやり方に固執することなく、エネルギー・トランジションをすすめ、電力の新たな制度や組織、技術を最大限に活用する必要性があると考えらえる。

5　章　日本の電力部門の脱炭素化に向けたエネルギー・トランジションによる雇用への影響分析

5.1.　本章の背景と目的

日本では、京都議定書で定められた CO_2 削減目標の達成を達成するために、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換がすすめられ、特に原子力発電の利用促進が重点的に行われてきた。既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果を検証するために、第 4 章で、CO_2 排出量変化の要因分解分析を行ったところ、電力部門の取り組みによる CO_2 排出量の削減効果が観測できなかった。その背景として、2007 年 7 月の新潟県中越沖地震の影響で稼働率が低迷し、2011 年の福島第一原子力発電所事故の影響により、日本国内のすべて原子力発電所の稼働が停止したことが主な原因として挙げられる。また、原子力発電に代わる非化石電源である再生可能エネルギーの導入量が進まなかったこと一因として挙げられる。加えて、第 3 章では、エネルギー・トランジションのランドスケープ要素である京都議定書の世界全体の CO_2 削減効果（削減インセンティブ）について分析したところ、京都議定書の準備期間においては削減効果がみられたものの、実施期間においては、削減効果は観測されなかった。この結果、世界では京都削減目標の達成に利用できる排出枠としての京都メカニズムクレジットが安価で大量に利用可能となった。特に、日本の電力部門は京都議定書期間中に日本の京都議定書目標達成計画で定められた削減目標を 2.6 億 tCO_2 の京都メカニズムクレジットを用いていたことが明らかとなった。従って、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減が進まなかったが、国外から京都メカニズムクレジットを利用して、京都議定書目標達成計画に定められた削減目標を達成することができたために、電力システム・制度の抜本的な改革は行われず、現在に至っていると考えられる。以上の本研究の 3 章及び 4 章で得られた結果から、今後脱炭素社会の構築に向けては、さらなる CO_2 削減が求められている中で、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換ではなく、再生可能エネルギーや関連技術の導入といった既存のエネルギー供給システムを大きく変えるような変革、すなわち、エネルギー・トランジションの必要性があることが示唆された。

ただし、エネルギー・トランジションはエネルギー制度、組織体制といった様々な社会の変化（社会技術規範要素）が必要であり、それぞれの要素において課題がある。表 2-5 で既往研究を整理したとおり、電力に関わる組織体制・構造、エネルギー供給システム、原子力発電に関わる問題（社会的受容性や廃炉問題、エネルギー安全保障）、火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題などの既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換においても関連する課題については既に研究がなされているが、エネルギー・トランジションによって、顕在化する雇用問題に対しては、研究的知見がほとんどない。従って、本研究の第 5 章では雇用問題に焦点を当てて分析を行った。

分析を実施する際には、エネルギー・トランジションによって、失業や外因的な理由による再就職の必要が迫られるといった負の影響を受ける火力・原子力発電における雇用減少量と、エネルギー・トランジションによって雇用が増えると想定される再生可能エネルギー関連の 2050 年までの雇用増加量に着目した。これにより、雇用問題の影響に対して、正負の両方の観点からトランジションを適切に促す施策（トランジション・マネジメント）を示した。

5.2. 分析手法及びデータ

5.2.1. 地域別の 2050 年電源構成及び 2050 年までの排出の作成手法とデータ

地域別電源構成の算出について、2016 年値は、送配電を担当する各電力会社の「需給実績データ」(中国電力, 2018; 中部電力, 2018; 九州電力, 2018; 北海道電力, 2018; 北陸電力, 2018; 四国電力, 2018; 東京電力, 2018; 東北電力, 2018; 沖縄電力, 2018; 関西電力, 2018)および、電力調査統計における自家用発電の実績値(エネ庁, 2016a)を参照した。各電力会社の「需給実績データ」は火力発電の詳細は分かれていないため、電力調査統計(エネ庁, 2016b)における発電実績をもとに石炭火力、ガス火力、石油火力発電による発電電力量割合を特定した。また、「需給実績データ」における発電電力量は送電端であることから、送電損失を 5%と想定して発電端の発電電力量を求めた。2030 年時点の発電電力量は、長期エネルギー需給見通し(経済産業省, 2015)及び各発電所のプラントデータ ANRE (2017)に基づいて作成した。 2030 年の再生可能エネルギーおよびガス火力発電所からの発電電力量の計算手法は、付録 2 を参照されたい。

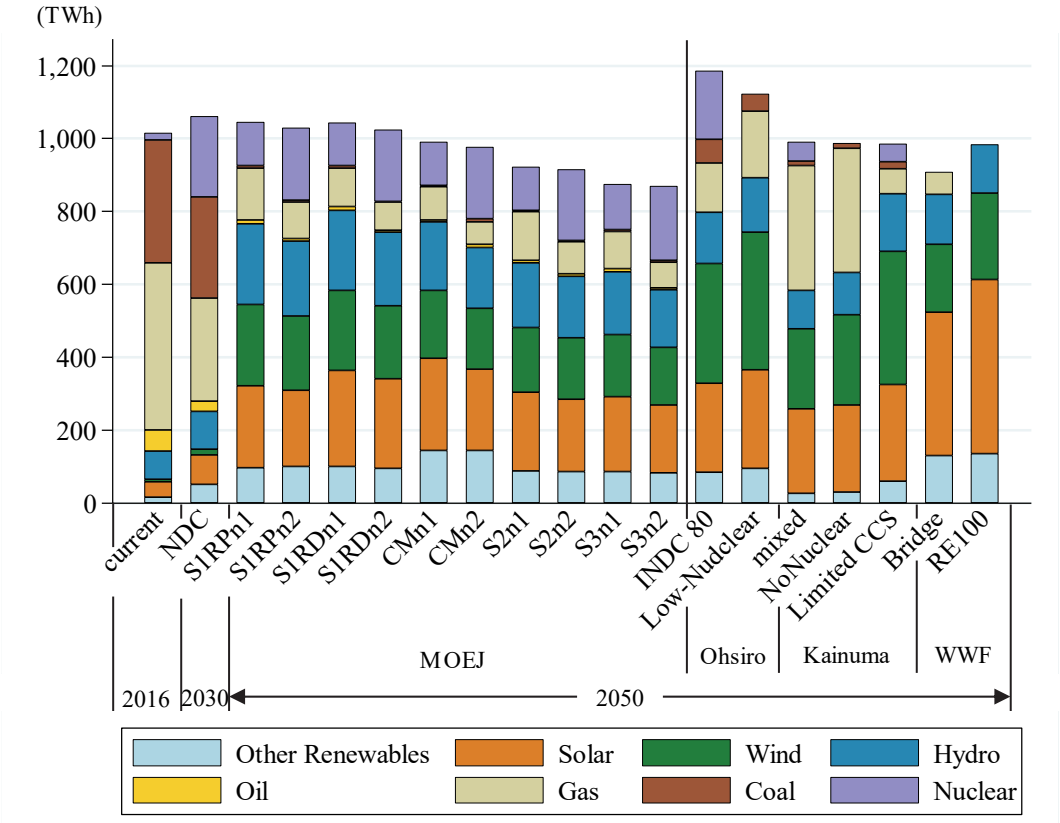
2050 年の十地域における再生可能エネルギーによる発電電力量は、本調査では、環境省による調査（環境省, 2017)を用いた。2050 年時点の 2°C目標と整合し、2050 年時点の原子力発電の発電容量が 23GW 以下[7]であるシナリオにおける発電電力量は、Oshiro et al., (2017), 環境省（2017), WWF Japan (2017), RITE (2015), Kainuma et al., (2015)などが分析しているが、唯一環境省調査が全国レベルの電源構成に加えて、2050 年の各地域の再生可能エネルギーからの発電電力量を公表しているためである。図 5-1 に示す通り、環境省（2017)による 2050 年における全国レベルでの発電電力量と他の研究のシナリオにおける発電電力量を比較すると、環境省（2017)が他のシナリオのうち中位に位置していることから、環境省（2017)を利用する妥当性があると判断した。環境省（2017)の分析の概要を表 5-1 に示すとおり、経済成長率の大きさに応じて、発電電力量を想

[7]既設の原子力発電所のうち、2050 年時点において、稼働年数が 60 年以下及び現時点で廃炉が決定していない発電所の発電容量は 19GW である。また、現在建設中の原子力発電が、大間原子力発電所、東通原子力発電所、島根原子力発電所の 3 基であり、これらの合計発電容量は 4GW である。1990 年代において原子力発電所の建設には 25 年かかっていた(通商産業省資源エネルギー庁, 1997)こと、福島第一原子力発電所の事故以降、原子力発電への世論が厳しい状況(日本原子力文化財団, 2018)であることを勘案すると、上記の 3 基以外の新設については、現実的ではないと判断した。以上より、2050 年時点の原子力発電の最大容量を 23GW の値を算出した。

定し、それを満たすための複数のシナリオ（再エネポテンシャル活用シナリオ、需要近接再エネ優先シナリオ、CCS 最小化シナリオ、最小対策シナリオ）における電源構成を計算している。再生可能エネルギーは太陽光発電協会、日本風力発電協会、包蔵水力データベース、平成 26 年度再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備報告書などの各種資料を参照している。火力発電は、LNG 火力発電による供給を優先している。原子力発電については、2050 年時点で、1,960 万 kW と 3,200 万 kW の二つのケースを各シナリオで想定している。これらの想定のもと三菱総合研究所が有する電力需給モデル[8]で全国レベルの電源構成を算定している。

本研究における、2016 年から 2030 年までの間、及び 2030 年から 2050 年までの間の発電電力量はそれぞれの期間において、二乗関数で増加するという前提を置いた。これは、日本だけでなく各国が発電部門のエネルギー・トランジションシナリオに向かった場合、2030 年以降に急速に再生可能エネルギーが導入されるため、再生可能エネルギーの導入量が指数関数的に増加するという既存研究の指摘(Rockström et al., 2017; Sgouridis et al., 2016)に準ずる。各地域の 2030 年、2050 年時点の需要電力量については、人口データをもとに全国の電力需要量を按分した。詳細な計算方法は付録 2 に記した。

[8] 十電力地域と地域間連系線制約を考慮することで日本全国の系統を模擬した、設備の運用に関するモデルである。設備構成を外生的に与え、１時間単位での電力需給バランスと、負荷周波数制御（LFC）調整力（数分～数十分）、運転予備力（再生可能エネルギーの予測誤差への対応を含む）の確保を行うことを前提としている。詳細については、以下のウェブページを参照。
「平成２９年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査委託業務報告書」（http://www.env.go.jp/earth/report/h30-01/post.html）



2030NDC：日本の国別目標に記載されている 2030 年の電力構成（METI,2015）
MOEJ2018_ S1RPn1：電力需要の増加,再生可能エネルギーの可能性の最大化,原子力使用の削減(環境省,2017)
MOEJ2018_S1RPn2：電力需要の増加,再生可能エネルギーの可能性の最大化,環境省(2017)で定義された原子力利用の増加
MOEJ2018_S1RDn1：電力需要の増加,送電網拡張コストの最小化，環境省(2017)で定義された原子力使用の削減
MOEJ2018_S1RDn2：電力需要の増加，送電網拡張コストの最小化，環境省(2017)で定義された原子力使用量の増加
MOEJ2018_CMn1：電力需要の増加,CCS 使用の最小化，環境省(2017)で定義された原子力使用の削減
MOEJ2018_CMn2：電力需要の増加,CCS の使用の最小化,原子力の使用の増加(環境省,2017)
MOEJ2018_S2n1：中間の電力需要と原子力使用の削減(環境省,2017)
MOEJ2018_S2n2：中間の電力需要と高い原子力利用(環境省,2017)
MOEJ2018_S3n1：最小の電力需要と原子力利用の削減(環境省,2017)
MOEJ2018_S3n2：最小の電力需要の削減と原子力利用の増加(環境省,2017)
INDC 80：165USD / tCO_2 の炭素価格設定による日本の NDC の下での仮定の拡張（Oshiro et al。,2017a）
Ohshiro_Low-Nudclear：炭素価格 763 USD / tCO_2 で原子力発電所の寿命を 40 年に制限（Oshiro et al。,2017a）
Kainuma_mixed：大規模なエネルギー需要の削減,CCS の大規模な開発,原子力の段階的廃止（Kainuma et al。,2015）
Kainuma_NoNuclear：大規模なエネルギー需要の削減,CCS の大規模な開発,原子力の使用なし（Kainuma et al。,2015）
Kainuma_Limited CCS：大規模なエネルギー需要の削減,CCS の使用なし,原子力の部分的廃止（Kainuma et al。,2015）e 2010 年と比較した 2050 年のエネルギー消費の 40%の削減供給（WWF Japan,2017）
WWF_RE100：一次エネルギー供給における 100%のエネルギー効率と再生可能エネルギーによるエネルギー需要の大幅な削減（WWF Japan,2017）

図 5-1　様々なエネルギーおよび経済モデル分析による 2050 年の全国レベルの電力構成の比較

出典：Oshiro et al., (2017)，環境省(2017), WWF Japan (2017) , Kainuma et al., (2015)を基に筆者作成

表 5-1 環境省低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討調査における分析の想定

ケース名称	ケース概要	社会経済シナリオ	再エネ	連係線	CCS
再エネポテンシャル活用	再エネポテンシャル（風力発電）が大きい地域と、需要が大きい地域を、新たな連系線によりつなぎ、再エネポテンシャルを最大活用するケース	高位 GDP	北高位	拡大	中程度
需要近接再エネ優先	需要が大きい地域に対し、やや稼働条件が悪い地点を含め、再エネを優先的に拡大し、配置の工夫などにより再エネを活用するケース	高位 GDP	中高位	標準	中程度
CCS 最小化	再エネを最大限活用し、CCS 貯蔵量を最小化するケース	高位 GDP	超高位	拡大	比較的小
最小対策	再エネの導入量が相対的に少ないケース	中位 GDP 低位 GDP	低位	標準	比較的小

5.2.2. 雇用係数の作成手法とデータ

電源別雇用者数の算定には、電源別雇用係数を用いた。電源別雇用係数とは、再生可能エネルギーに関する部門を組み込んだ拡張産業連関表から計算された発電技術別の発電電力量当たりの直接及び間接雇用誘発量であり、人/GWh・年と定義される。電源別雇用係数の算定のうち、再生可能エネルギーの雇用係数は、Hondo and Moriizumi (2017)による建設段階による雇用誘発量と運用段階における雇用誘発量といった発電プロジェクトの運用段階別雇用係数を参照した。石炭火力発電、石油火力発電、ガス火力発電、原子力発電、大規模水力発電の雇用係数は、稗貫（2015）による研究結果を用いた。

次に、すべての発電技術別の雇用係数による推計結果と統計データよる実績値との整合性をとるために、「建設・製造(国内)」、「建設・製造(国外)」、「維持管理(国内)」、「維持管理(国外)」へと係数をプロジェクト段階別に分類した。また、「維持管理（国内）」の雇用係数については、「電力（電気設備）」、「電力（設備維持管理）」、「燃料製造」、「農業・鉱業・建設」、「製造業」、「サービス業」への雇用係数を特定した。再生可能エネルギーについては、2017 年の電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（再生可能エネルギー特措法）の改正により、太陽光発電においてはパネルのメンテナンス、風力発電においては、ナセル内部の機器ブレードのメン

テナンスといった、発電電気設備以外の部分についても定期的なメンテナンスが求められている。そのため、本研究では、「電力」のカテゴリーを「電力（電気設備)」、「電力（設備維持管理)」の二つに分けた。これらの雇用係数に 2015 年の発電電力量を乗じた値に対して、2015 年国勢調査(総務省, 2015)における全部門の「発電員・変電員」数及び電気業の「電気事業における電気・電子・電気通信技術者」数の合計値と比較することで、その妥当性を確認した。さらに、得られた係数と現場の状況が乖離していないか確かめるために、太陽光発電及び風力発電の関連事業者にヒアリング調査や各審議会の資料をもとに、メンテナンスに関する動向を調査した（付録 4 参照)。

技術革新や業務効率化努力によって労働生産性が将来にわたり改善される結果、雇用係数が変化する可能性がある。この場合、2016 年時点の雇用係数を分析の期間にわたり一定とすると、雇用者が過大推定となる可能性がある。従って、雇用係数については、2016 年値の値を用いて計算するケースとパーソナル総合研究所(2016)による部門別の労働生産性の改善ポテンシャルのデータを用いて雇用係数が変化するケースの 2 パターンを想定して雇用係数を調整した。部門別の労働生産性の改善率を表 5-4 に示す。

以上の背景より、電源別雇用係数を式(11)の通り設定した。ここで、$EF_{i,n,o,t}$は発電技術 i、部門 n、ライフサイクル段階 o 、年 t における雇用係数、$EF_{i,n,o}$は発電技術 i、部門 n、ライフサイクル段階 o の雇用係数、pd_nは部門 n における労働生産性改善率を示す。

$$EF_{i,n,o,t} = \mathrm{EF_{i,n,o}} * (pd_n)^{t-2016} \qquad \text{（式 11）}$$

上述の地域別電源別発電電力量に対して、発電技術別雇用係数をそれぞれ乗じることで、各発電部門のエネルギー・トランジションシナリオにおける電源別、地域別、部門別、ライフステージ別の発電技術雇用者数について式(12)を用いて算定した。

$$\mathrm{L_{s,i,j,n,o,t}} = \mathrm{w_{s,i,j,t}} \times EF_{i,n,o,t} \qquad \text{（式 12）}$$

本研究で用いた雇用係数は、表 5-2 及び表 5-3 に示す。雇用係数のデータの特性上、二つのプロジェクト段階（製造建設または発電維持管理)、二つの雇用発生場所（国内または国外)、8 分類の経済部門における雇用発生量を計算できるが、本研究では雇用発生地域として「国内」、発電事業のプロジェクトフェーズとして「発電維持管理」、経済部門として「電力」を対象とする。この対象部門の雇用者数は日本全体の雇用者数の 1%に満たないが、エネルギー・トランジションによって、最も影響を受けるグループである。そのため、Vona(2019)の理論に基づくと、エネルギー・トランジションに反対する活動を誘発しうる雇用への不安を抱く核心的なグループであることから、このグループの雇用の増減を定量化することは、エネルギー・トランジションを進める上で重要となる。

表 5-2　再生可能エネルギープロジェクトタイプ別の雇用係数（人/GWh・年）

プロジェクトフェーズ･雇用発生場所	経済部門	住宅太陽光(50kW以下)	大規模太陽光(50kW以上)	風力	小規模地熱	大規模地熱	中小水力	木質バイオマス
製造建設・国外	農業・鉱業	0.89	0.74	0.37	0.12	0.26	0.25	0.07
	建設	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	製造業	8.4	5.9	5.5	0.61	0.53	1.2	0.44
	サービス	5.8	4.1	2.4	0.61	0.66	1.2	0.40
製造建設・国内	農業・鉱業	0.00	0.00	0.11	0.00	0.07	0.00	0.00
	建設	14.0	12.9	4.8	6.2	6.2	10.7	3.6
	製造業	6.4	5.2	2.2	2.2	2.1	4.2	1.4
	サービス	6.4	5.5	3.3	3.6	3.6	7.8	2.0
発電維持管理・国外	農業・鉱業	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
	建設	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	製造業	0.08	0.03	0.04	0.00	0.01	0.00	0.07
	サービス	0.06	0.03	0.05	0.01	0.01	0.02	0.11
発電維持管理・国内	電力(発電設備)	0.00	0.29	0.12	0.09	0.06	0.09	0.02
	電力(保守サービス)	0.19	0.61	0.39	0.16	0.09	0.39	0.60
	燃料製造	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.45
	農業・鉱業・建設	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.64
	製造業	0.06	0.04	0.07	0.03	0.03	0.01	0.21
	サービス	0.09	0.14	0.27	0.08	0.08	0.07	0.93

注：太斜字は本研究で利用した雇用係数
出典：Hondo and Moriizumi, (2017)及び十電力会社の有価証券報告書を基に筆者作成

表 5-3　火力発電、原子力発電、大規模水力発電の電源別の雇用係数（人/GWh・年）

プロジェクトフェーズ・雇用発生場所	経済部門	原子力	LNG	石炭	石油	大規模水力
製造建設・国外	電力（発電設備）	0.00	0.00	0.00	0.00	データなし
	建設	0.00	0.00	0.00	0.00	データなし
	製造業	0.40	0.30	0.80	0.30	データなし
	サービス	0.00	0.00	0.00	0.00	データなし
製造建設・国内	電力（発電設備）	0.08	0.00	0.00	0.00	データなし
	建設	0.17	0.00	0.00	0.00	データなし
	製造業	0.49	0.72	1.20	0.72	データなし
	サービス	0.85	0.48	0.80	0.48	データなし
発電維持管理・国外	電力（発電設備）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	燃料製造	0.01	0.34	0.27	0.46	0.00
	農業・鉱業・建設	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	製造業	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	サービス	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
発電維持管理・国内	電力（発電設備）	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04
	燃料製造	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	建設	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04
	製造業	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
	サービス	0.12	0.07	0.06	0.04	0.06

注：太斜字は本研究で利用した雇用係数
出典：稗貫（2015)及び十電力会社の有価証券報告書を基に筆者作成

表 5-4　部門別の労働生産性の改善率

部門	1年当たりの改善率
農業・鉱業	0.00
建設	0.50
製造	1.0
サービス	2.0
電力(発電設備)	0.25
電力(保守サービス)	0.25
燃料製造	0.00
農業・鉱業・建設	0.1

出典：パーソナル総合研究所(2016)を基に筆者作成

5.2.3. 火力・原子力発電のフェーズアウトパスの作成

自然減シナリオにおける火力・原子力発電技術雇用者数は、既存発電技術雇用者の将来年別の推計値と新規雇用者の将来年別推計値の二つから計算される。既存雇用者の将来年別推計値は、式18のとおり推計した。

$$Y_{j,q,t} = Y_{j,q-5,t-5} * D_{j,q} \qquad \in q > 30 \qquad \text{（式 13）}$$

ここで、$Y_{j,q,t}$は、自然減シナリオにおける地域 j、年齢区分 q、年 t における火力・原子力発電所の労働者数を示す。 $D_{j,q}$は、年齢区分 q の地域 j の死亡・退職率を示す。

使用したデータは、十電力の有価証券報告書に記載される発電、変電における従業員数(中国電力, 2016; 中部電力, 2016; 九州電力, 2016; 北海道電力, 2016; 北陸電力, 2016; 四国電力, 2016; 東京電力, 2016; 東北電力, 2016; 沖縄電力, 2016; 関西電力, 2016)を参照し、年齢階層は、2015 年国勢調査(総務省, 2015)を参照した。死亡率は、厚生労働省(2017)を参照し、離職率は 2015 年国勢調査を用いた。

火力原子力発電の技術者の余剰者発生量を算定するために、表 5-5 で示される 3 つのフェーズアウトシナリオを作成した。

表 5-5 火力原子力発電フェーズアウトシナリオにおける技術者数

フェーズアウトシナリオ	定義
即時フェーズアウト	2017 年以降新規採用なし＋自然退職
短期フェーズアウト	2025 年までこれまでの同レベルの新規採用＋自然退職
中期フェーズアウト	2035 年までこれまでの同レベルの新規採用＋自然退職

短期フェーズアウトシナリオと中期フェーズアウトシナリオで用いた発電技術雇用者の新規採用者数は、各社ホームページで公表する 2010 年から 2019 年までの採用予定者数（技術系）の平均値 $Y_{j,q,rec}$,（地域 j、年齢区分 q、および年 t の従来の発電所の新規労働者の数）を用いた。

$$Y_{j,q,t} = Y_{j,q,rec} \qquad \in q < 30 \qquad \text{（式 14）}$$

5.2.4. 労働年齢人口の分布に関するジニ係数の計算

今後日本国内で地域格差が拡大すると見通される労働年齢人口分布する中で、再生可能エネルギーという分散電源を多く導入することが想定されるエネルギー・トランジションが、労働年齢人口分布の地域格差を改善する可能性がある。従って、本研究では、労働年齢人工の分布に関するジニ係数（Gini coefficient）を使用して、リファレンスシナリオとエネルギー・トランジションシナリオの両方で各自治体の労働年齢人口の不平等性を評価した。地方自治体および 2050 年のリファレンスシナリオでの労働年齢人口は、国立人口社会保障研究所のデータ(IPSS, 2018)の 2045 年までのデータを 2040 年および 2045 年値の変化率を基に推定した。エネルギー・トランジションシナリオにおける地域レベルでの電力部門の労働需要は、再生可能エネルギーの導入により増加するが、火力・原子力発電所の廃止により減少する。 エネルギー・トランジションシナリオの下での再生可能エネルギーによる市区町村レベルの労働需要の増加による労働年齢人口増加分は、式(13)に示すように、各市区町村の再生可能エネルギーのポテンシャルに基づいて計算した。ここで、$IWP_{u,o,s,t}$ は、市区町村 u、シナリオ s、雇用が発生するプロジェクトフェーズ o、年 t における労働需要の増加による労働年齢人口増加分を示す。$L_{i,j,n,o,s,t}$ は、発電技術 i、地域 j、経済部門 n、シナリオ s、雇用が発生するプロジェクトフェーズ o、および年 t を示す。 $p_{i,j}$ は地域 j の技術 i の再生可能エネルギーポテンシャルを示し、$p_{i,u}$ は市区町村 u の技術 i の再生可能エネルギーのポテンシャルを示す。

$$IWP_{u,o,s,t1} = \sum_n \sum_i (L_{i,j,n,o,s,t_1} \times \frac{p_{i,u}}{p_{i,j}} - L_{i,j,n,o,s,t_2} \times \frac{p_{i,u}}{p_{i,j}}) \qquad \text{（式 15）}$$

（t_1=2050, t_2=2016, o= ‘設備維持管理に係る国内雇用’, i = ‘大規模太陽光、小規模太陽光、陸上風力、洋上風力、水力、地熱、バイオマス、海洋’）

火力・原子力発電のフェーズアウトによる各市区町村の労働需要の減少による労働年齢人口減少分を式(14)で推定した。ここで、$DWP_{u,o,s,t}$ は、市区町村 u、シナリオ s、雇用が発生するプロジェクトフェーズ o、年 t における労働年齢人口の火力・原子力発電フェーズアウトによる雇用減少分を示す。$EF_{i,n,o,t}$ は、技術 i、経済部門 n、雇用が発生するプロジェクトフェーズ o、年 t の雇用係数を表す。 $E_{i,u,n,o,s,t}$ は、シナリオ s、技術 i、市区町村 u、経済部門 n、雇用が発生するプロジェクトフェーズ o、および年 t の発電電力量を示す。

$$DWP_{s,u,o,t1} = \sum_n \sum_i (E_{i,u,n,o,s,t_1} \times EF_{i,n,o,t_1} - E_{i,u,n,o,s,t_2} \times EF_{i,n,o,t_2}) \qquad \text{（式 16）}$$

（t_1=2050, t_2=2016, o= ‘設備維持管理に係る国内雇用’, i = ‘原子力、石炭、ガス、石油’）

各市区町村の 2050 年の労働年齢人口を式(15)で計算される。ここで、$WP_{ref,u,o,2050}$ は、2050 年の市区町村 u のリファレンスシナリオにおける労働年齢人口を示す。$WP_{s,u,o,2050}$ は、2050 年の市区町村 u のエネルギー・トランジションシナリオにおける労働年齢人口を示す。

.

$$WP_{s,u,o,2050} = WP_{ref,u,o,2050} + IWP_{u,o,s,2050} - DWP_{u,o,s,2050} \qquad \text{（式 17）}$$

（o= ‘設備維持管理に係る国内雇用’）

労働年齢人口のジニ係数は式 16 及び式 17 で示される。ここで、$G_{s,j}$ はエネルギー・トランジションシナリオにおける地域 i の労働年齢人口のジニ係数を示し、$G_{ref,j}$ はリファレンスシナリオにおける地域 i の労働年齢人口のジニ係数を示す。 $AP_{ref,u,2050}$ は、2050 年のリファレンスシナリオにおける市区町村 u の全人口を示す。

$$G_{s,j} = 1 - \sum_{i=1}\left(AP_{ref,u,2050} - AP_{ref,u-1,2050}\right) \times \left(WP_{s,u,o,2050} + WP_{s,u+1,o,2050}\right) \quad \text{（式 18）}$$

$$G_{ref,j} = 1 - \sum_{i=1}\left(AP_{ref,u,2050} - AP_{ref,u-1,2050}\right) \times \left(WP_{ref,u,o,2050} + WP_{ref,u+1,o,2050}\right) \quad \text{（式 19）}$$

（o= ‘設備維持管理に係る国内雇用’）

5.3. 結果と考察

5.3.1. エネルギー・トランジションシナリオにおける電力部門の地域別雇用量の結果

本分析で得られた地域別の電源構成を付録 3 に示す。図 5-1 は、十地域ごとの 2016 年から 2050 年までのエネルギー・トランジションシナリオにおける再生可能エネルギーおよび火力・原子力発電所の技術者数の推移を示している。 再生可能エネルギーの技術者数は、再エネ電気技術者と再エネ維持管理技術者に分割している。東北地域、東京地域、中部地域が再生可能エネルギーの導入による再エネ電気技術者と再エネ維持管理技術者が多く増加する地域であることが示された。

再生可能エネルギー発電設備の維持管理によって、各地域に大きな雇用をもたらす。例えば、2050 年の再エネ維持管理技術者の労働者数は、東北地域では、2016 年に 5,600 人程度であったのが、2050 年には、24,000 人から 33,000 人へと 4.3 倍から 6 倍になると算定された。東京地域では、2016 年に 8,500 人程度であったのが、2050 年には、22,000 人から 34,000 人へと 2.7 倍から 4 倍になると算定された。中部地域関西地域でも 2 倍程度に増加する。なお、図 5-2 の結果には、ICT 技術を使用した労働生産性の向上による雇用係数が低減するシナリオも含まれているが、概して、再エネ維持管理技術者の労働者数が増えることが示された。

反対に、火力・原子力発電の技術者数については、東京地域おいて減少が大きく、2016 年に 6,400 人程度であった技術者数が 2050 年には、2,100 人から 3,400 人と 0.32 倍から 0.53 倍と減少すると算定された。また、関西地域においては、2016 年に 4,300 人程度であった技術者数が、2050 年には、1,400 人から 2,100 人と 0.33 倍から 0.48 倍となると算定された。

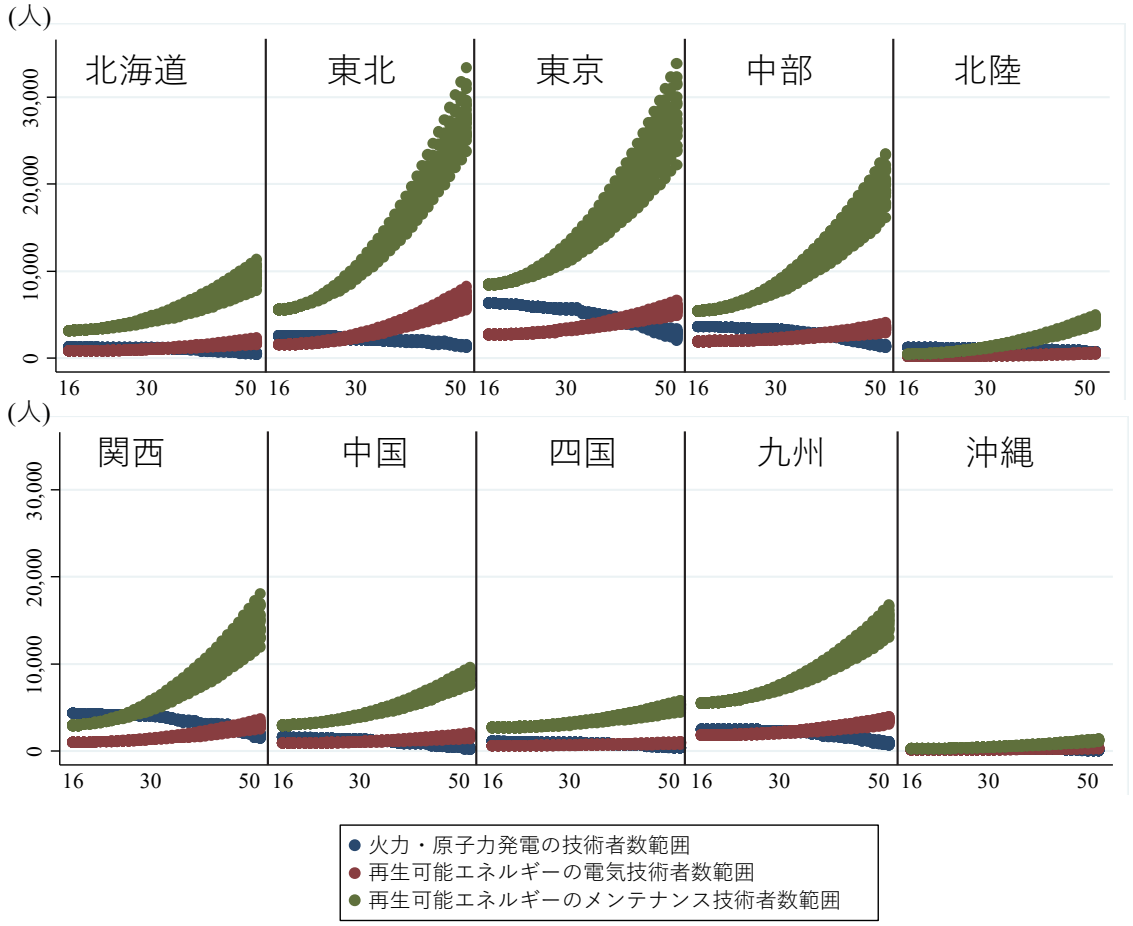


図 5-2　エネルギー・トランジションシナリオにおける発電技術者、メンテナンス技術者の推移

5.3.2.　火力・原子力発電所の技術者数の余剰量と再就職の機会に関わる分析

図 5-3 は、日本の脱炭素および自然減シナリオにおける火力・原子力発電所の技術者数の推移を示している。日本全体では、エネルギー・トランジションシナリオでは、2016 年に火力・原子力発電所の技術者数が 24,000 人程度であったが、2030 年には、21,000 人から 23,000 人、2040 年には 14,000 人から 18,000 人、2050 年には 5,300 人から 12,000 人と半減以下と算定された。しかし、技術者の定年退職などの機会を利用した 3 つのフェーズアウトシナリオと比較すると、新規雇用者を採用しない即時フェーズアウトシナリオにおける火力・原子力発電所の技術者数は、2050 年までのどの時点においても、エネルギー・トランジションシナリオにおいて、必要となる技術者数よりも下回ると算定された。一方で、2025 年ないしは、2035 年までの新規採用を伴う短期フェーズアウトシナリオと中期フェーズアウトシナリオにおける技術者数が、エネルギー・トランジションシナリオにおける上回り、余剰となる技術者が発生する可能性があることが示された。従って、火力・原子力発電所利用を早期にフェーズアウトすることで、日本全国レベルでは余剰となる技術者の発生を回避することができることが望ましい。

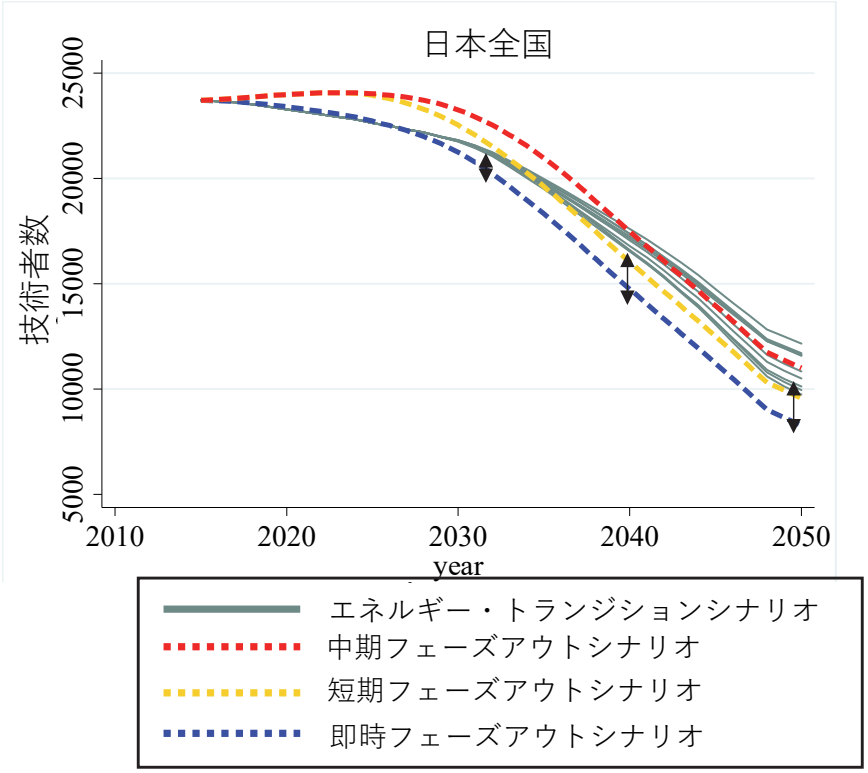


図 5-3　全国レベルでの火力・原子力発電所のフェーズアウトシナリオとエネルギー・トランジションにおける技術者数

しかし、図 5-4 に示される地域レベルの結果ではより慎重な議論が必要であることが分かる。中部、中国、四国、九州地域では、即時フェーズシナリオにおける火力・原子力発電所の技術者は、エネルギー・トランジションシナリオにおける必要技術者数が上回り、それぞれの地域で 2050 年

に、最大で 50 人、10 人、30 人、80 人となり合計で毎年数百人規模の失業者を出し続けることになると推定された。

地熱発電所とバイオマス発電所の維持管理業務は、ボイラーとタービンを使用して発電するため、火力・原子力発電所の維持管理業務と共通点がある。したがって、従来の発電所の余剰従業員は、同じ地域の地熱発電所とバイオマス発電所に対しては、再就職が円滑に進むと考えられる。地熱発電所とバイオマス発電所による新規雇用需要が十分でない場合、火力・原子力発電所の技術者の次なる選択肢は、太陽光と風力発電設備における維持管理を中心とした業務となる。この場合、新たに必要となる業務の専門知識はこれまでの専門知識とは異なる。したがって、太陽光と風力発電設備維持管理業務に再就職を必要とする技術者は職業訓練などの技術や知識の更新機会を通じて、技能を更新することが求められる。

図 5-5 は、十地域の火力・原子力発電所の余剰技術者数と太陽光・風力発電と地熱・バイオマス発電所の新規維持管理の新規雇用量を示している。日本全体では、火力・原子力発電所の余剰技術者数が毎年 230 人程度発生する一方で、地熱・バイオマス発電所の新規雇用量は 75 人から 240 人程度、太陽光・風力発電の新規雇用量は 520 人から 1,440 人程度と算定された。従って、日本全体では、火力・原子力発電所の余剰技術者を技術の類似性がある地熱・バイオマス発電所で賄うことができとは言えず、太陽光・風力発電といった技能の異なる職を得ることができるような職業訓練が必要であることが示唆された。なお、2.6 で示した通り、日本の職業訓練制度は産業構造のリストラクチャリングに際して必ずしも有効に働いていなかった経験があることから、余剰技術者が本当に必要な技能を習得できるような職業訓練のプログラムがどのようなものであるのかは今後の課題である。

地域別にみると、地熱およびバイオマス発電所での追加の雇用機会は、東北地域が最も多く 2050 年頃には、毎年 50 人から 120 人程度の新規雇用者があり、これは、火力・原子力発電からの毎年の余剰者数を上回ると算定された。九州地域においても、地熱およびバイオマス発電所での追加の雇用機会は、毎年 20 人から 50 人程度の雇用機会があるが、火力・原子力発電からの毎年のすべての余剰者数を吸収できるほどではない。それ以外の地域においても、地熱およびバイオマス発電所での追加の雇用機会はほとんどない。一方で、すべての地域において、太陽光と風力発電設備維持管理関連業務による雇用機会の増加は、火力・原子力発電から余剰技術量を上回る。特に、東北地域、東京地域、関西地域においては、それぞれの地域で 2050 年ころは毎年それぞれ 270 人、160 人、100 人程度の新規雇用需要が生まれると算定された。以上の結果より、東北地域以外の、火力・原子力発電から余剰技術者は、他地域で地熱発電所とバイオマス発電所業務に従事するか、同地域で太陽光と風力発電設備の維持管理関連業務に従事するといった選択肢がある。前者は地域間移動に関する政策的配慮、後者は、技能更新に関する政策的配慮がなされることによって、脱炭素化に向けたエネルギー・トランジションが進む可能性が高くなると示唆される。

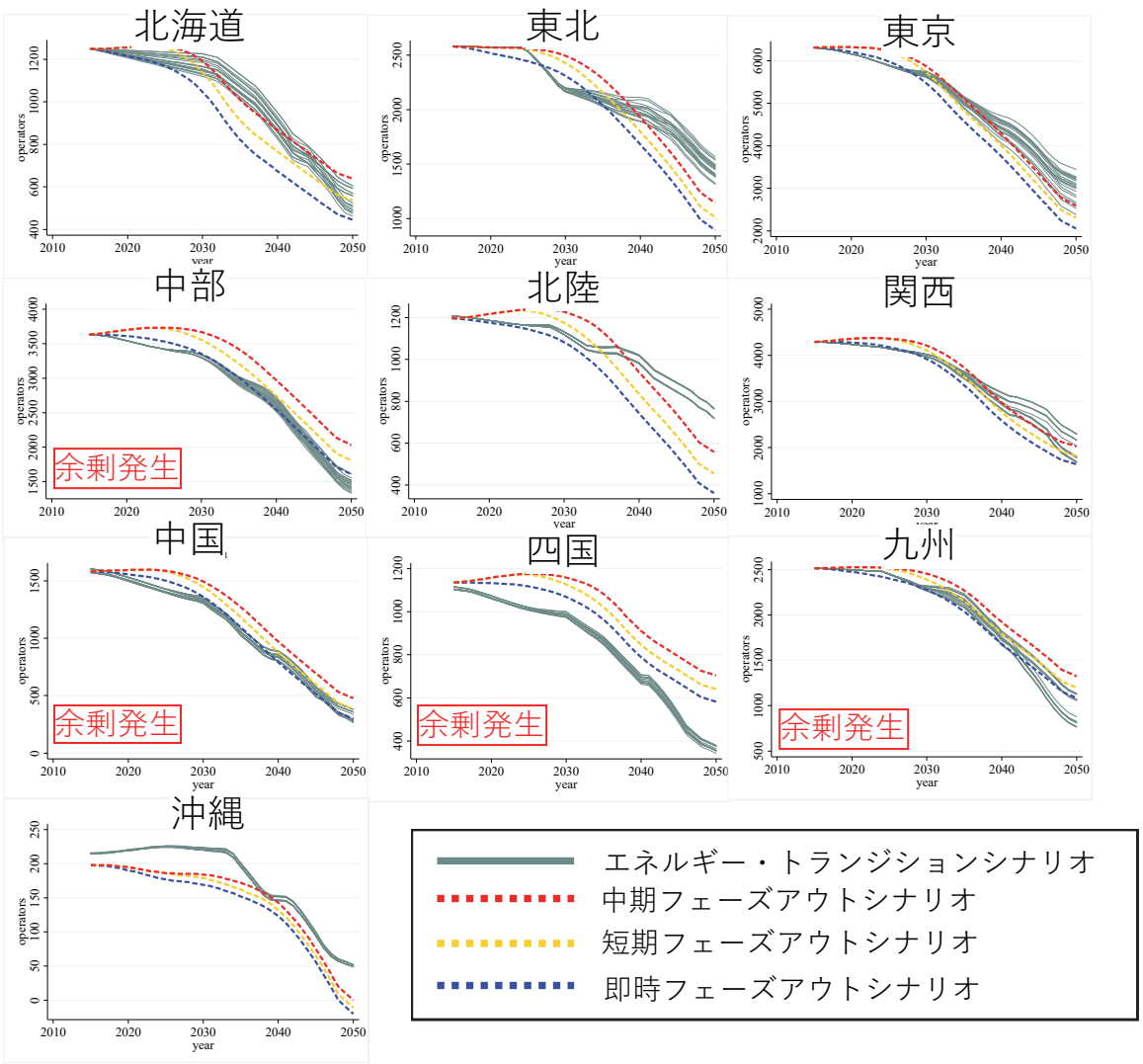


図 5-4　地域レベルでの火力・原子力発電所の自然減シナリオとエネルギー・トランジションシナリオにおける技術者数

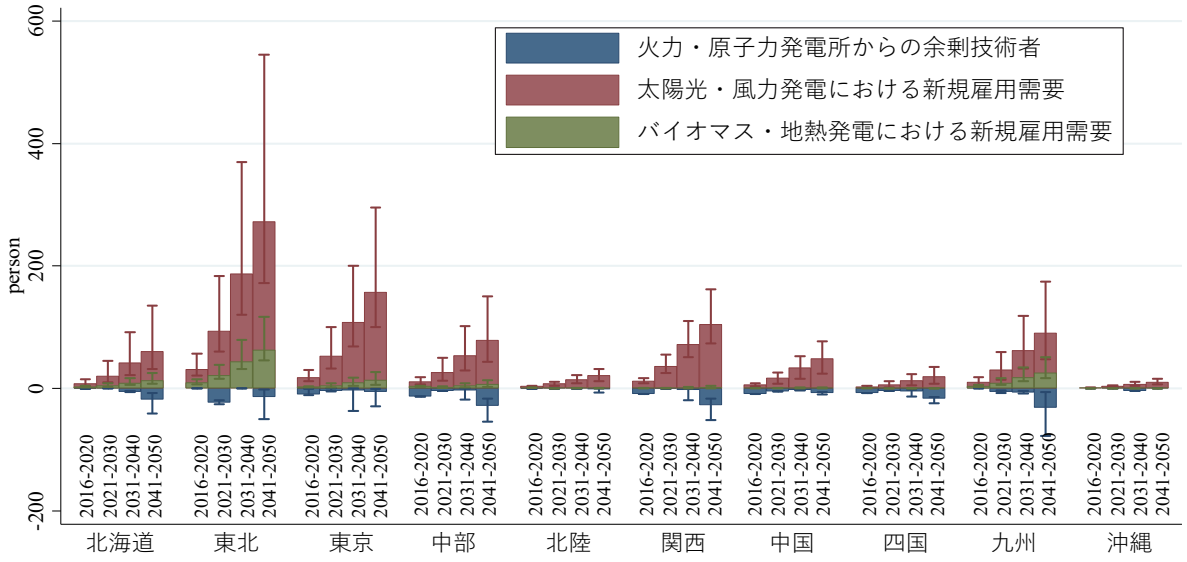


図 5-5　火力・原子力発電の自然減シナリオ（新規採用なし）における余剰技術者と再生可能エネルギーがもたらす新規技術者雇用需要の比較

5.3.3. 地域別の労働人口に対するジニ係数

本研究では、エネルギー・トランジションが、労働人口が減少する地方地域あるいは非都市部にどのような影響をもたらすか分析することを目的に、労働人口のジニ係数を全国平均及び地域別に計算した（図 5-6)。全国平均では、国立人口社会保障研究所のデータに基づくリファレンスシナリオおよびエネルギー・トランジションによって再生可能エネルギー関連の雇用者増と火力・石炭発電技術者減の減少を加味したエネルギー・トランジションにおける労働年齢人口のジニ係数を比較した。日本全国レベルでは、ジニ係数が 0.32 から 0.31 と改善する傾向が示された。さらに、リファレンスシナリオにおいてジニ係数が十地域の中でそれぞれ 2 番目と 3 番目に高い東北地域と北海道地域は、係数がそれぞれ、0.33 から 0.27、0.34 から 0.30 と大幅に改善し全国レベルでのジニ係数よりも改善された。加えて、このジニ係数改善は、再生可能エネルギーによる安定した雇用によってなされるため、単に雇用量増加以上の便益があると考えられる。 これらの結果から、日本政府の政策課題の優先事項の一つである地域経済の活性化に貢献しうることが示唆された。

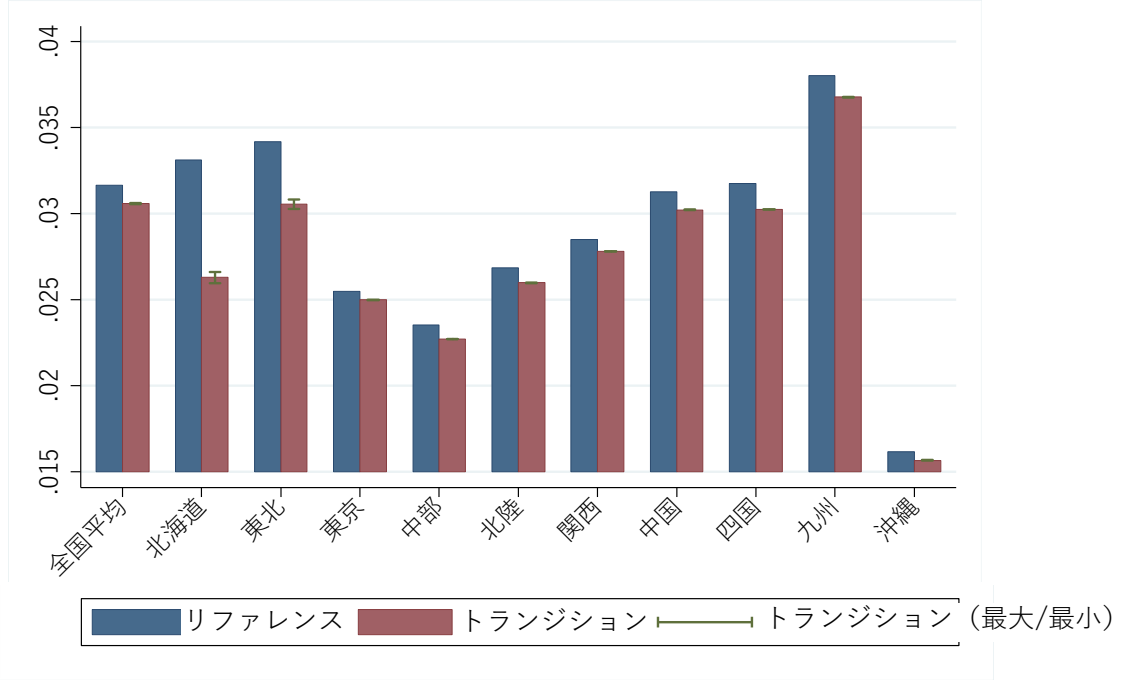


図 5-6　地域別の労働年齢人口のジニ係数変化

5.3.4. 本分析における雇用者数推定の手法的限界

本研究では、CO_2排出量の 80%削減を可能とする日本全体の電源構成を基に、十電地域別の電源構成を作成し、電力部門における雇用量の変化を電源別に計算した。これにより、脱炭素社会の構築というランドスケープ要素の変化、雇用問題という社会技術規範要素、個別技術要素である十電地域別の再エネ導入量をというエネルギー・トランジションの多層的視座の三要素すべての変化を定量化する新しい研究アプローチを提案した。今後は、研究アプローチの精緻化として、以下の点についてさらなる検討が必要である。

第一に、本研究では、長期削減目標と整合した再生可能エネルギー促進政策導入に関する費用について様々な不確実性があり定量化することが困難であることから扱っていない。費用の増加要因として、間欠性のある再生可能エネルギーを導入するには、送電網の強化や蓄電池の費用といった系統安定化費用について投資を行う必要がある。費用の減少要因として、太陽発電、風力発電を中心とする再生可能エネルギーの発電費用はその技術革新によって、低下している(IRENA, 2018b)。また、長期削減目標と整合した再生可能エネルギー促進政策導入を含む長期の気候変動対策は費用以外の観点も踏まえて検討するべきという指摘もある。実際に、エネルギーセキュリティの向上、循環型社会の形成、温暖化対策不作為費用といった定量化できない要素も多くあることに留意する必要がある。

第二に、電源別の雇用係数の精緻化が必要である。原子力発電の廃炉や放射性廃棄物に関わる人員数について不確実性が高いことから定量化していない。日本では、東海第一原子力発電所しか廃炉実績がない中で、東海第一原子力発電所の発電容量は 0.17GW であるのに対し、その他の多くの原子炉の発電容量は、1GW 以上(エネ庁, 2017)である。そのため、廃炉に関してどの程度の期間が必要なのかその数値を定量化することは現時点では困難である。特に、福島第一原子力発電所の事故以降、同発電所の廃炉作業に関わる人員が大幅に増加している。放射性廃棄物については、日本では、最終処分場施設の場所ならびに放射性廃棄物の保存方法、使用する機材の耐用年数などについて多くの未確定事項がある。また、発電部門のエネルギー・トランジションシナリオには、火力発電に二酸化炭素の回収・貯留（CCS）設備を装着して、排出される CO_2 を回収することを想定しているが、本研究では、火力発電設備に係る雇用のみを定量化し、CCS に関わる雇用は除外している。CCS 技術は日本において実証段階に過ぎず(METI, 2018b)、商業運転が開始された際の雇用者数の推計が現時点では困難である。風力発電についても、メンテナンスに係る実務的な知見が不足している(IRENA, 2018b)ことから洋上風力と陸上風力の雇用係数を区別することが出来ていない。

第三に、本研究では送電、配電における雇用機会の変化の定量化を行っていない。偏在する再生可能エネルギーのポテンシャルを有効活用するために送配電網の整備が必要であることから地域の雇用増加に貢献しうると考えられる。

第四に、本研究では労働生産性の改善において、一定の仮定を置いている。2050 年に向けて、労働生産性の改善は技術の進歩、特にモノのインターネット（IoT）化や情報伝達技術（ICT）の向上に大きく左右されると考えられる。特に、再生可能エネルギーのメンテナンス分野では、センシングによる故障発生の事前予測、遠隔モニタリングによる動作確認など技術の発達によって労働生産性があがり、1kWh あたりの雇用係数が小さくなる可能性がある。そのため、労働生産性の改善率について今後さらなる検討が必要である。

本研究では、長期削減目標と整合した再生可能エネルギー促進政策導入に関するすべての変化について定量化するに至ってはいないが、雇用者数の減少と増加が混在する発電部門において、地域の雇用者数変化を定量化することで、長期的に目指すべき戦略の策定やその戦略の事項に必要な具体的な政策オプションに対する提言を行った。

5.4.　5 章まとめ

3 章及び 4 章の分析結果によって、今後脱炭素社会をしていくには、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換ではなく、再生可能エネルギーや関連技術の導入といった既存のエネルギー供給システムを大きく変えるエネルギー・トランジションの必要性が示唆された。従って、5 章ではエネルギー・トランジションによって変化する様々な社会技術規範要素（電力に関わる組織体制・構造、エネルギー供給システム、原子力発電に関わる問題（社会的受容性や廃炉問題、エネルギー安全保障)、火力発電の座礁資産化リスクなどの財務問題）のうち、研究的知見がほとんどない雇用問題に焦点を当てて分析を行った。分析をする際には、エネルギー・トランジションによって、失業や外因的な理由による再就職の必要が迫られるといった負の影響を受ける火力・原子力発電における雇用減少量と、エネルギー・トランジションによって雇用が増えると想定される再生可能エネルギー関連の雇用量に着目して、雇用問題の正負の影響に着目し、それぞれのもたらされうる結果に対して講じうる施策に関する示唆を得た。

エネルギー・トランジションによる負の影響として、火力・原子力発電の技術者数については、東京地域おいて減少が大きく、2016 年に 6,400 人程度であった技術者数が 2050 年には、2,100 人から 3,400 人と 0.32 倍から 0.53 倍と減少する。また、関西地域においては、2016 年に 4,300 人程度であった技術者数が、2050 年には、1,400 人から 2,100 人と 0.33 倍から 0.48 倍となる。しかし、余剰となる技術者が発生する地域は、中部、中国、四国、九州地域であり、発電事業者や政府を含む利害関係者が火力・原子力発電の早期の決定を下しても避けることはできない。余剰となった技術者に対し、火力・原子力発電と業務内容が類似するバイオマス・地熱発電の新規雇用が再就職の機会を同一地域内で十分に提供できるのは、東北地方などの一部の地域に限られる。そのため、余剰となった技術者が再就職先として取りうる選択肢としては、他地域のバイオマス・地熱発電への再就職、同一地域で太陽光・風力発電への再就職、まったくの異業種への再就職のいずれかがあるが、どれも技術者に生活面あるいは心理的な負担が生じることからエネルギー・トランジションを進める上での抵抗になりうる。従って、これらの技術者に対しては、専門的技能更新や住居移転への政策的支援措置を講じ、雇用者の視点に立った円滑な再就職支援の有効性を示した。

エネルギー・トランジションによって再生可能エネルギーの導入量が増える。その結果、2050 年の再エネ維持管理技術者の労働者数は、東北地域では、2016 年に 5,600 人程度であったのが、2050 年には、24,000 人から 33,000 人へと 4.3 倍から 6 倍になる。東京地域では、2016 年に 8,500 人程度であったのが、2050 年には、22,000 人から 34,000 人へと 2.7 倍から 4 倍になる。中部地域関西地域でも 2 倍程度に増加する。これらの数字の範囲には、ICT 技術を使用した労働生産性の向上による影響も含まれているが、概して、再エネ維持管理技術者の労働者数が増えることが示されている。特に、地方地域あるいは非都市部に雇用需要が増え労働人口が増える。そこで、国立人口社会保障研究所のデータに基づくリファレンスシナリオおよびエネルギー・トランジションによって再生可能エネルギー関連の雇用者増と火力・石炭発電技術者減の減少を加味したエ

ネルギー・トランジションにおける労働年齢人口のジニ係数を比較したところ、日本全国レベルでは、ジニ係数が 0.32 から 0.31 と改善する傾向を示した。さらに、リファレンスシナリオにおいてジニ係数が十地域の中でそれぞれ 2 番目と 3 番目に高い東北地域と北海道地域は、係数がそれぞれ、0.33 から 0.27、0.34 から 0.30 と大幅に改善し全国レベルでのジニ係数よりも改善されている。以上の結果より、発電部門の脱炭素化を達成することは地方地域で安定した雇用を供給し、地方経済の活性化に貢献する可能性が明らかとなった。本結果は、エネルギー・トランジションを進めることの社会的好影響を示す論拠となりうる。また、大幅に導入される再生可能エネルギーを維持するための発電技術者及びメンテナス技術者の育成が急務となる。これらの技術者を育成するにあたり、中核的技術者による新規雇用者に対する後進指導の促進、技術者間のネットワーク形成による労働条件の改善といった一過性では終わらない人材育成を進めていく必要性を示した。

エネルギー・トランジションによって、雇用問題については正負両面の影響があるが、負の影響を緩和しつつ、正の影響が確実にもたらされるような施策（すなわち、トランジション・マネジメント）を講じることでエネルギー・トランジションを滞ることがなく進めることが望まれる。

6　章　結論

6.1.　本研究の結論

IPCC 第 1 次評価報告書や第 2 次評価報告書に代表される科学的知見の蓄積や、1992 年に採択された気候変動枠組条約における政治的議論を通じて、CO_2 を始めとする GHG 排出量の増加によってもたらされる気候変動が人々の成果に深刻な影響を与えることが次第に明らかになってきた。そして、1998 年に京都議定書が採択されて以降、先進国を始めとする多くの国で、CO_2 削減に関する取り組みが行われてきたものの、温室効果ガスの排出量は年々増加している。そのような中、2015 年に採択されたパリ協定が目指す、産業革命以降の気温上昇を 1.5℃あるいは 2℃に以内に抑えて、気候を安定化させるために、今世紀後半の出来るだけ早い段階に脱炭素社会の構築が喫緊の課題となっており、エネルギー・トランジションを着実に進める必要が指摘されている。一方、日本は、福島第一原子力発電所の事故以降に、原子力発電所の安全性に関わる見直しは行われているもの、代替手段としての CCS 付火力の発電の重要性が強調されるなど、従来と同様の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換が中心的施策であり、再生可能エネルギーを中心としたエネルギー・トランジションに大きく舵を切るまでには至っていない。

従って、本研究では以下の 2 点の目的を設定した。第一に、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果の検証を行った。対象期間は、それが主として進められた京都議定書第一約束期間とした。第二に、エネルギー・トランジションに関わる問題のうち、これまで議論がなされていない雇用問題に着目して、電力部門の雇用量の変化を分析し、その変化によってもたらされうる正負の影響を定量化することで、必要となりうる施策を示した。これらの分析を行う際には、 Geels (2002)などが発展させてきたトランジション研究の理論的体系の一つである多層的視座（Multi-level perspective）を用いた。多層的視座は、トランジションをマクロレベルとしてのランドスケープ要素、メソレベルとしての社会技術規範要素、ミクロレベルとしてのニッチ技術要素の 3 つの階層の変化を捉えるものである。第一の目的を達成するために、第 3 章において、ランドスケープ要素としての京都議定書が、個別技術要素に与えた影響を明らかにした。すなわち、世界レベルでの京都議定書の CO_2 削減効果を分析し、電力部門の取り組みによる CO_2 削減効果にどのような影響を与えたのか分析した。また、既存のエネルギー制度の維持が維持される背景について考察を行った。加えて、第 4 章において、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果検証のために、中心的な個別技術要素である日本の原子力発電に着目し、その CO_2 削減効果を分析した。第二の目的を達成するために、第 5 章において、日本の将来の国レベルでの電源構成について、エネルギーモデル分析を用いて示された結果を基に、個別技術要素である地域あるいは市区町村レベルでの再生可能エネルギー導入量を算定した。次に、社会技術規範要素としての、技術者の雇用問題や日本社会が抱える地方地域や非都市部における労働人口問題にどのような影響を与えるのか、定量的なデータ基づいて

分析した。

第 3 章で実施した「パネルデータ分析に基づく京都議定書の世界レベルでの CO_2 削減効果分析」では、附属書 B 国の非市場経済移行国において、京都議定書第一約束期間の準備期間に CO_2 削減効果が観測されたが、実施期間中では、その削減効果は観測されなかった。この結果、京都議定書の実施期間中には、削減目標に使用できる京都メカニズムクレジットが大量に余剰となった。これは、京都議定書の発効によって、各国に削減インセンティブをもたらしたものの、削減目標以上の削減を促すような制度設計になっていなかったという制度的課題を意味する。このような中、日本では電力部門を中心に、京都議定書目標達成計画で定められた部門別の削減目標を達成するために、2.75 億 tCO_2 の京都メカニズムクレジットを取得した。その結果、日本国内の電力部門の取り組みが進まないだけでなく、日本の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減手段による目標の達成が可能となった。さらに、日本の電力会社を中心とする日本が取得した京都メカニズムクレジットの大半が実削減を伴わないクレジットである可能性が高いことから、日本の既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減手段が、CO_2 削減に寄与しない結果をもたらす一因となった。

第 4 章で実施した「CO_2 排出量要因分解分析に基づく京都議定書の日本における CO_2 削減効果分析」では、京都議定書第一約束期間の目標を達成するために、原子力発電の利用促進を中心に電力部門の排出原単位を改善し、CO_2 排出量の削減を計画していたにも関わらず、実際には、その削減は進んでいなかったことが明らかとなった。その背景として、2007 年 7 月の新潟県中越沖地震の影響で稼働率が低迷したことに加え、2011 年の福島第一原子力発電所事故の影響により、日本国内のすべて原子力発電所の稼働が停止したことが主な原因として挙げられる。同時に、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換では、原子力発電に代わる非化石電源である再生可能エネルギーの導入量が進まなかった一因として考えられる。一方で、京都議定書における削減目標を達成するというインセンティブによって、エネルギー効率改善への投資が進むとともに、その効果が継続的に行われ、CO_2 排出量増減要因のうち最も大きな削減効果をもたらしていたことを明らかにした。これらの結果より、電力部門の排出原単位を改善が進まなかった背景には、電力に関わる組織体制や制度に今後改善する余地があることが示唆された。

第 3 章及び第 4 章の結果から、脱炭素社会に向けた CO_2 削減を進めるには、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換ではなく、再生可能エネルギーや関連技術の導入といった既存のエネルギー供給システムを大きく変えるような変革、すなわち、エネルギー・トランジションを進める必要性を指摘した。これを受けて、第 5 章では、失業や外因的な理由による再就職の必要が迫られるといった負の影響を受ける火力・原子力発電における雇用減少量と、エネルギー・トランジションによって雇用が増えると想定される再生可能エネルギー関連の雇用量に着目して、雇用問題の正負の影響について分析するという研究課題に取り組んだ。

第 5 章で実施した「日本の電力部門の脱炭素化に向けたエネルギー・トランジションによる雇用

への影響分析」では、エネルギー・トランジションによる負の影響として、発電事業者や政府を含む利害関係者が火力・原子力発電の早期の決定を下した場合も、中部、中国、四国、九州地域では火力・原子力発電に関わる発電技術者の余剰が発生することが明らかとなった。余剰となった技術者に対し、火力・原子力発電と業務内容が類似するバイオマス・地熱発電の新規雇用が再就職の機会を同一地域内で十分に提供できるのは、東北地方などの一部の地域に限られる。そのため、余剰となった技術者が取りうる選択肢としては、他地域のバイオマス・地熱発電への再就職、同一地域で太陽光・風力発電への再就職、まったくの異業種への再就職のいずれか選択肢になりうるが、どれも技術者に生活的、心理的負担がかかる。その結果、エネルギー・トランジションを進める際の抵抗力として働く可能性がある。従って、これらの技術者に対しては、専門的技能の更新や住居移転への政策的支援措置など、雇用者の視点に立った円滑な再就職支援が有効になりうることを示した。

エネルギー・トランジションによる正の影響として、発電部門の脱炭素化を達成することは地方地域で安定した雇用を供給し、地方経済の活性化に貢献する可能性を明らかにした。本結果は、エネルギー・トランジションを進めることの社会的好影響を示す論拠となりうる。また、大幅に導入される再生可能エネルギーを維持するための発電技術者及びメンテナス技術者の育成が急務となることも示した。これらの技術者を育成するにあたり、中核的技術者による新規雇用者に対する後進指導の促進、技術者間のネットワーク形成による労働条件の改善といった一過性では終わらない人材育成を進めていく必要性を指摘した。

6.2. 今後の課題

本研究では、得られるデータや情報、知見を最大限に生かして、原子力発電を中心とする既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換による CO_2 削減効果及びエネルギー・トランジションと雇用の問題の分析を進めてきたが、以下に記す研究課題が残っている。

第一に、本研究での世界レベルの京都議定書の CO_2 削減効果分析結果は、手法・データに課題がある。京都議定書による CO_2 削減効果を把握するために米国の各州を国とみなして分析対象に加えており、京都議定書による CO_2 削減効果を表すダミー変数について「京都議定書に批准した」という事実に基づいて設定している。そのため、米国の各州に対応するダミー変数はすべてゼロである。しかし、米国の州において、連邦政府としては京都議定書に批准してなくても、国際的に CO_2 削減を進める機運から州政府独自に取り組みを進める地域もあるが、これらの動向については考慮できていない。加えて、パネルデータ分析の対象として、データの制約から非附属書 B 国が含まれていない。今後は、上記の観点を考慮して、分析目的に応じて精緻する必要性がある。

第二に、電力部門の雇用分析について、CO_2 排出量の 80%削減を可能とする日本全体の電源構成を基に、十電地域別の電源構成を作成し、電力部門における雇用量の変化を電源別に計算した。これにより、脱炭素社会の構築というランドスケープ要素の変化、雇用問題という社会技術規範要素、個別技術要素である十電地域別の再エネ導入量をというエネルギー・トランジションの多層的視座の三要素すべての変化を定量化する新しい研究アプローチを提案することが出来た。しかし今後は、原子力発電所の廃炉など発電設備の解体フェーズまでの雇用発生量、燃料製造、機械製造などの発電部門以外での雇用発生量、地域解像度の強化、AI, ICT の導入による影響をとらえた雇用係数の設定という観点から分析に精緻化が必要である。

第三に、電力部門の雇用分析について、エネルギー・トランジションのシナリオについて、環境省(2017)の分析結果を用いているが、今後は、エネルギー供給システムの変化や再生可能エネルギーの導入割合など、今後の情勢変化を踏まえた詳細な条件を基に分析が進める必要がある。また、職業訓練や住居移転に係る支援など、エネルギー・トランジションによって、負の影響を受ける雇用者に対する施策の必要性を示したが、このような雇用者が本当に必要な具体的なプログラムがどのようなものであるのかは今後の課題である。

第四に、本研究では欧州で発展してきたトランジション研究の分析枠組みに基づいて、既存のエネルギー供給システムを前提とした個別技術転換について論じた。トランジション研究は、既存の制度や体制に存在する課題を調査研究活動によって明らかにし、それを幅広いステークホルダーと協議（コンサルテーション）を行うことが核心的な内容となる。このような活動は欧州では政治や政策面でも一般的に用いられていることから、トランジション研究の社会実装は滞りなく行うことができるが、既存の組織体制の入れ替わりが起きにくい日本におけるトランジション研究の有効性について、今後さらなる検討が必要である。特に、政府や電気事業者のみならず、住民など電気やエネルギーに関わる幅広いステークホルダーと本研究で得られた結果を議論の材料

として対話を進めることが、具体的な手段として考えられる。

付録 1　拡張平均グループ（AMG）推定量の理論的背景

拡張平均グループ（AMG）は、slope heterogeneity と cross-section dependence に対応できるパネルデータに対する推定モデルである。 拡張平均グループ（AMG）推定量における各変数は共和分関係になる(Pedroni, 2007)。拡張平均グループ法では、1 階差分[9]のパネルデータを基に T-1 年のダミー変数を回帰することから、2 ステップで推定が行われる。

Stage 1　$\Delta y_{it} = b'\Delta x_{it} + \sum_{t=2}^{T} C_t \Delta D_t + e_{it} \quad \Rightarrow \hat{c}_t \equiv \hat{\mu}_t$　　(A.1-1)

Stage 1 として、1 階差分に対して、T-1 年のダミー変数を回帰分析する。本研究において、 y_{it} は化石燃料の燃焼からの CO_2 排出量を表し、x_{it} は 1 人あたりの GDP、エネルギー強度、一次エネルギー供給における非化石燃料エネルギー源のシェアを含む変数のベクトルを示す。D_t は時間のダミーを表す。 時間ダミーの係数 c_t は、Stage 2 で$\hat{\mu}_t$ と表現される。

Stage 2　$y_{it} = a_i + b'x_{it} + c_i t + d_i \hat{\mu}_t^{'} + e_{it} \quad \hat{b}_{AMG} = N^{-1} \sum_i \hat{b}_i$　　(A.1-2)

Stage 2 で用いる時間ダミー変数は、各パネルユニットの変数に対して潜在的に影響を及ぼしている観測されていない共通因子に近似される(Neal, 2015)。

[9] 1 階の差分をとることで、国固有の効果を除去することができる(Wooldridge, 2010)。

付録２　十地域別の電源構成の作成プロセス

本付録では、火力・原子力発電所の発電電力量の計算手法を記す。初めに、発電技術 i（原子力、石炭、ガス、石油）の火力・原子力発電所 k での年間発電電力量を計算する（A.2-1）。

$$w_{i,j,k} = c_{i,k} \times 8760 \times u_i \qquad \text{(A.2-1)}$$

$w_{i,j,k}$は、地域 j（北海道、東北、東京、中部、北陸、関西、中国、四国、九州、沖縄）の発電技術 i およびプラント k による発電電力量を示す。 $c_{i,k}$は、発電技術 i およびプラント k の発電容量を示します。 u_iは、発電技術 i の設備利用率の平均値を示す。

表 A. 2-1 発電技術別の平均設備利用率

発電技術	設備利用率の平均（u_i）
石炭火力	70%
ガス火力	50%
石油火力	30%
原子力	70%

第二段階として、この研究では $m_{i,s,t}$を特定する。$m_{i,s,t}$は、シナリオ s の発電技術 i からの発電電力量を満たすために必要なプラントの順位の最小値である。$E_{i,s,t}$、シナリオ s、発電技術 i、および年 T (2030 年または 2050 年)の発電電力量の合計を示す。SY は、発電所 k の開始年を示す。

$$min(_{m_{i,s,T}} \quad \sum_{j=1}^{10} \sum_{k=1}^{m_{i,s,T}} w_{i,j,k})$$

$$s.t. \quad E_{i,s,T} < \sum_{j=1}^{10} \sum_{k=1}^{m_{i,s,T}} w_{i,j,k} \quad , \quad SY_{i,k} > SY_{i,k+1} \qquad \text{(A.2-2)}$$

これにより、シナリオ s における発電技術 i の発電所 k からの場所と電力供給をする発電所を特定できる。 したがって、十電力地域における従来の発電所の発電電力量は、発電所の立地情報を利用して式（A. 2-3）で計算される。

$$E_{i,j,s,T} = \sum_{k=1}^{m_{i,s,T}} w_{i,j,k} \qquad \text{(A.2-3)}$$

本研究では、2016 年から 2030 年の間及び 2030 年から 2050 年の間の期間における地域 j、発電 i による電力量を式（A. 2-4）によって推計する。

$$\boldsymbol{E_{jt} = E_{j,2016} + \frac{E_{j,2030} - E_{j,2016}}{14} * (t - 2016) \ (2016 < t < 2030)} \qquad \text{(A.2-4)}$$

$$\boldsymbol{E_{jt} = E_{j,2016} + \frac{E_{j,2050} - E_{j,2030}}{20} * (t - 2030)\ \ (2030 < t < 2050)} \qquad \text{(A.2-5)}$$

$$\boldsymbol{E_{nuclear,j,t} = \sum_{k=1}^{m_{i,s,t}} w_{i,j,k} \quad s.t.\ \ t - SY_{i,k} < 60} \qquad \text{(A.2-6)}$$

$$\boldsymbol{E_{coal,j,t} = \sum_{k=1}^{m_{i,s,t}} w_{i,j,k} \quad s.t.\ \ t - SY_{i,k} < 55} \qquad \text{(A.2-7)}$$

$$\boldsymbol{E_{oil,j,t} = \sum_{k=1}^{m_{i,s,t}} w_{i,j,k} \quad s.t.\ \ t - SY_{i,k} < 55} \qquad \text{(A.2-8)}$$

この調査では、2016 年から 2050 年の間に再生可能エネルギーは指数関数で増加すると仮定しているため、再生可能エネルギーの年別発電電力量は（A. 2-9）で特定される。

$$E_{i,j,t} = \left(E_{i,j,2050} - E_{i,j,2016}\right) \times \left(\frac{t}{35}\right)^2 + E_{i,j,2016} \qquad \text{(A.2-9)}$$

ガス火力発電所の発電電力量は、式（A. 2-10）によって算定される。発電電力量当たりのガス火力発電の CO_2 排出量が最も少なく、調整電源として機能するため、火力発電のうちガス火力発電所を優先的に用いられると想定を置いた。

$$min(_{gas,s,t} \quad \sum_{k=1}^{m_{i,s,T}} w_{i,j,k} < E_{jt,gas})$$

$$s.t. \quad E_{jt,gas} = E_t - E_{jt,nuclear} - E_{jt,coal} - E_{jt,oil} - E_{jt,renewable} \qquad \text{(A.2-10)}$$

付録 3　CO_2 排出量の変動の主要要因の時系列変化

CO_2 排出量の変動の主要要因の時系列変化として、CO_2 排出原単位（供給側取り組み）変化とエネルギー原単位（需要側取り組み）の変化を示す。

エネルギー供給側の取り組みとして、CO_2 排出原単位に着目し、1960 年からの 2015 年までの CO_2 原単位の推移及び電力・非電力部門の排出原単位の 1960 年比の推移を図 A. 3-1 に示す。

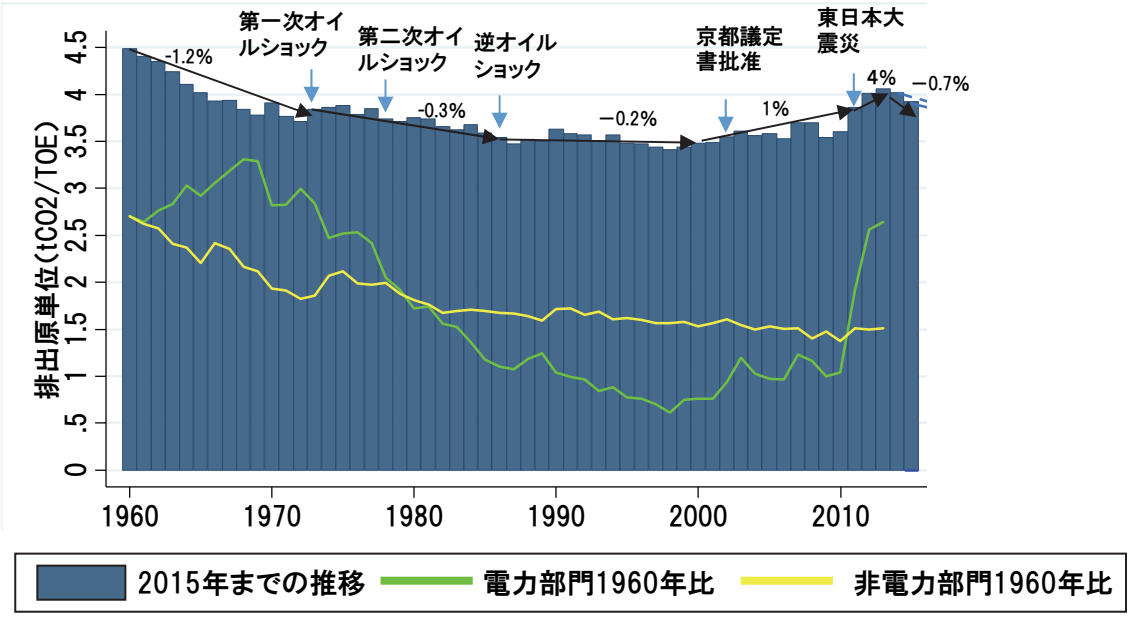


図 A. 3-1 エネルギー消費当たりの CO_2 排出原単位推移

出典：筆者作成

注：グラフ内の数値は矢印で示した期間の変化率の幾何平均を示す。

CO_2 排出原単位は 1960 年から第一オイルショックが発生した 1973 年にかけて、年平均-1.2%のペースで低下した。これは、図 A. 3-2 に示されるように、非電力部門において石炭から石油へのシフトが急激に進んだ結果、全最終エネルギー消費量に対する石油の消費量の割合が増えたため、非電力部門の排出原単位が下がったことが主因である。

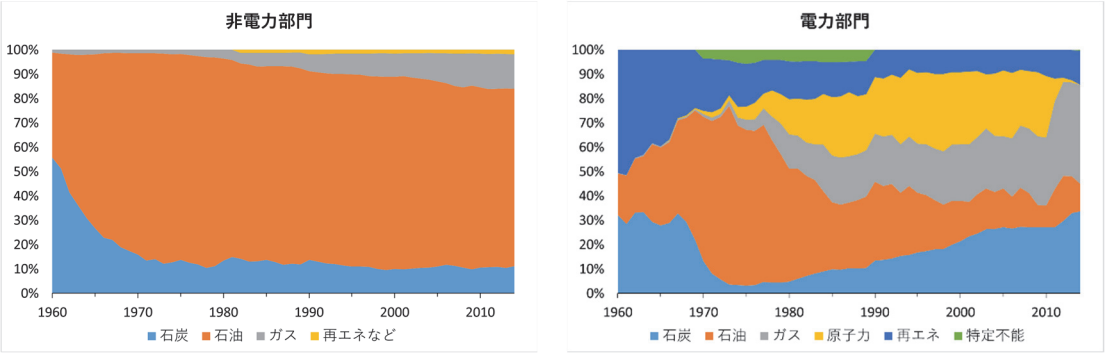


図 A. 3-2　非電力部門の最終エネルギー消費量及び電力部門における発電電力量割合

出典：OECD (2017)をもとに筆者作成

1973 年から逆オイルショックが発生した 1986 年までは、電力部門において、原子力と天然ガスの利用が進み、年平均-0.3%のペースで排出原単位が低下した。これらのエネルギーミックスの変化の背景には、第 1 次オイルショック直後に石油の使用量を減らすことに目的に、電源三法（1974 年）が制定され、原子力、ガス火力による発電電力量割合を、官民一体となって増加させてきたことがある。1990 年以降は、非電力部門における排出原単位に大きな変化がない中で、電力部門の CO_2 排出原単位の変化が国全体の排出原単位の変化に影響を与えている（図 A. 3-1）。従って、近年では、電力部門における排出原単位を下げることが、国全体の排出原単位を下げることに大きく寄与していることが分かる。

1986 年から 2000 年にかけては、年平均-0.2%のペースで排出原単位が改善された。この期間において、排出原単位が改善した要因と、悪化した要因の両者が挙げられるが、総じて、改善した要因の影響度が大きかったと考えられる。排出原単位が改善された要因として、第一に、非電力部門おいてガス利用割合の増加したことが挙げられる。第二に、電力部門においても、天然ガス・原子力発電の利用が増えたことに加え、図 A. 3-3 に示されるように、火力発電の熱効率が年平均で 0.4%改善したためと考えられる。排出原単位が悪化した要因は、すべての電源の中で最も排出係数が高い石炭火力発電の電源別発電電力量に占める割合が増加したことにある（図 A. 3-2）。

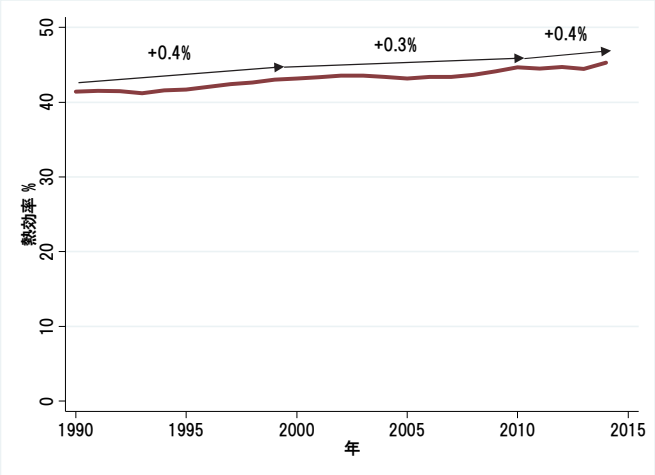


図 A. 3-3　日本の火力発電の加重平均熱効率の推移
出典：IEA (2017b)をもとに筆者作成
注：熱効率は、石炭、ガス、石油火力の熱効率を加重平均した熱効率。自家発電設備は対象外。

2000 年から 2011 年にかけては、年平均 1%のペースで排出原単位が増加した。この期間においても、排出原単位を改善・悪化した両者の要因が挙げられるが、この期間は、悪化した要因の影響度が大きかったと考えられる。改善した要因として、図 A. 3-3 に示される通り、同期間に、火力発電の効率も年平均で 0.3%改善された。悪化した要因として、原子力発電及び石油火力発電による電力供給割合が下がり、石炭火力発電の発電電力量割合が増加した（図 A. 3-2)。特に、原子力発電については、エネルギー基本計画によって政策的に導入促進のための様々な支援がなされたが、東京電力の自主点検記録の不正問題（2003 年)、新潟県中越沖地震(2007 年)によって、東京電力管内の原子力発電所の稼働率が低迷する中で、福島第一原子力発電所事故(2011 年)によって、すべての原子力発電の稼働が停止した。その結果、2011 年から 2013 年は、排出原単位がさらに悪化し、年平均 4%のペースでの増加となった。その理由は、東日本大震災以降、多くの原子力発電所が稼働停止したことによって、電力部門の排出原単位が悪化した影響であると考えられる。2013 年から 2015 年にかけては排出原単位が年率-0.7%のペースで減少した。

図 A. 3-4 に 1960 年からの 2015 年までのエネルギー原単位の推移を示した。第一次オイルショックが起きた 1972 年までのエネルギー原単位は年平均 2.6%のペースで増加していたが、その後、1973 年から 1978 年の第二次オイルショックまで年率 1.6%のペースでの減少に転じた。背景として、政府が石油の安定供給を促すために「石油需給適正化法（1973 年)」を制定し、企業などに対し、一時的に石油製品の使用上限を設けるなど、緊急避難的な需要抑制策が導入されたことがある。この政策は石油の安定供給を主目的としたものであり、必ずしもエネルギー効率向上を意図したものではなかったが、化石燃料の高騰を受けて一部の需要家に対して、石油需給適正化法を契機に自主的にエネルギーの効率性を高める取り組みを促したと指摘されている(藤波, 2014)。特に、鉄鋼業界では、連続鋳造や廃熱回収などのエネルギー効率向上技術がオイルショックを契機として導入されるようになったと指摘されている(藤波, 2014)。

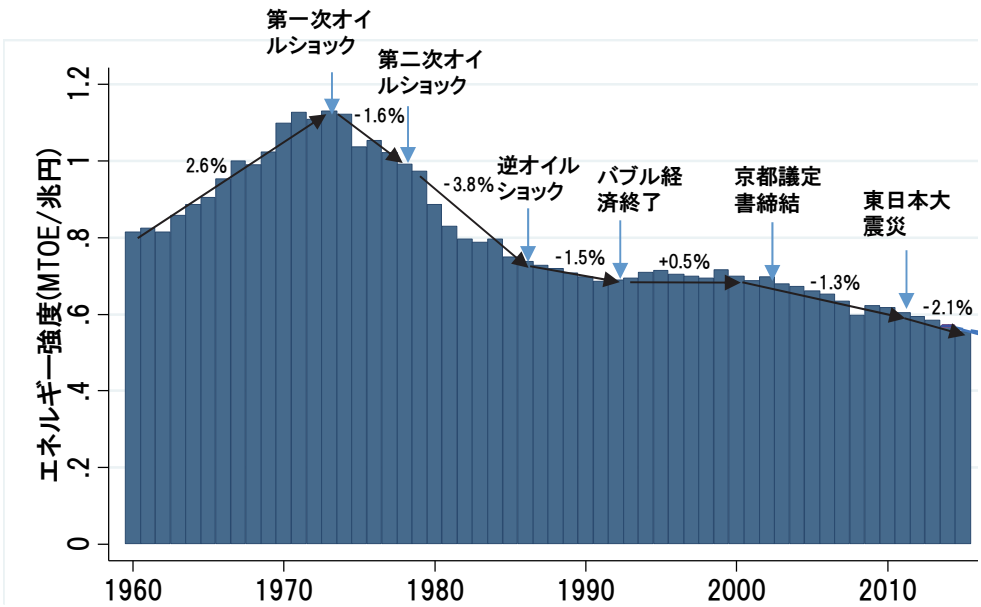


図 A. 3-4　エネルギー原単位の改善推移

出典：筆者作成

注：グラフ内の数値は矢印で示した期間の変化率の幾何平均を示す。

1978 年の第二次オイルショックからは、エネルギー原単位の変化は年平均-3.8%となり、改善のペースが高まった。背景として、石油の安定供給に配慮する供給サイドに向けた政策だけでなく、エネルギー効率向上や産業構造転換など需要サイドでの取り組みを促すべく「エネルギー使用の合理化に関する法律（省エネ法、1979 年）」が制定されたことがある。さらに、政府は主として製造業で生じた余剰人員や過剰設備の調整を促すことを目的に、「特定不況業種離職者臨時措置法（1977 年）」、「特定不況産業安定臨時措置法（1978 年）」を制定した。このような施策の導入と第 2 次オイルショックによる燃料価格の上昇などによって、国際競争力が低下した素材産業（鉄鋼、窯業土石）における設備の廃棄や合理化進み、その受け皿として金属加工や機械が伸長するという産業構造の転換が図られ、エネルギー原単位が改善した(藤波, 2014)。実際に図 A. 3-5 に示される製造業における付加価値割合を見ると 1978 年ころから製造業に占める鉄鋼・セメント業における付加価値の減少傾向が始まっていた。(産業構造の変化による CO_2 排出量の増減に関する詳細な分析は、4.3 を参照。)

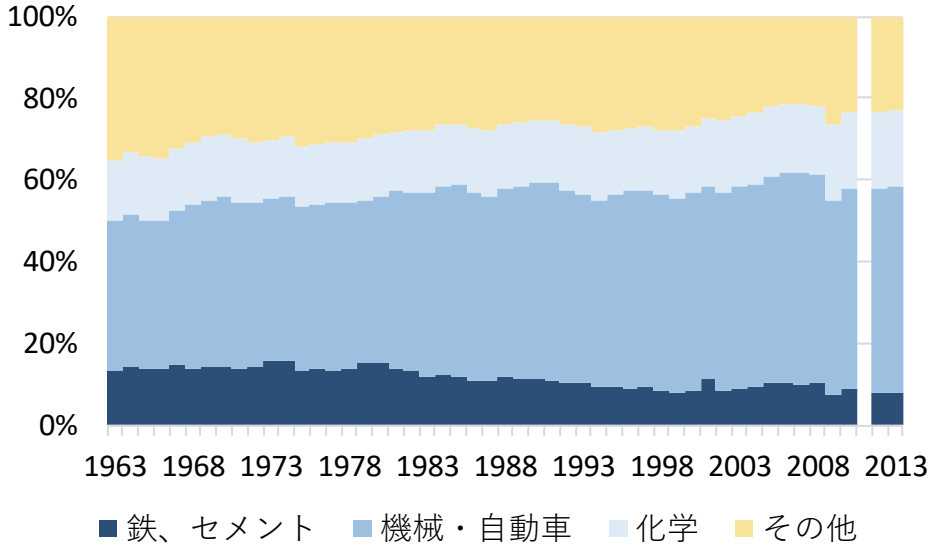


図 A. 3-5　製造業における付加価値割合
出典：World Bank (2017), UNIDO (2017), 平田（1998), 内閣府（1998)をもとに筆者作成
注：2011 年のデータは欠損しているため、グラフ上に表示していない。

しかし、1986 年からバブル経済が終了する 1991 年にかけてのエネルギー原単位の向上ペースは年平均 1.5%とオイルショック期のペースと比較して鈍化した。これには、1985 年 10 月にサウジアラビアが、それまで担っていた原油価格の需給調整役を放棄し、原油の増産に乗り出したことで、原油需給の大幅な緩和を誘発し、原油価格が大きく下落する「逆オイルショック」が起きたことが背景にある(資源エネルギー庁, 2007)。バブル経済終了後の 1992 年から 2000 年までは、エネルギー原単位は改善されず、むしろ年平均+0.5%の上昇ペースとなった。2000 年から東日本大震災が起こる 2011 年までの間のエネルギー原単位の変化率が年平均-1.3%と改善し、前期間と比較して、改善のペースが上昇した。これは、1999 年に省エネ法が改正されトップランナー制度が導入されたことによる貢献(藤波, 2014; IEEJ, 2017b)や、2002 年に日本が京都議定書を締結しエネルギーの効率化に関する意識が高まったことが背景にあると考えられる。なお、2008 年には一時的にエネルギー原単位が減少しているが、これは 2008 年からはじまった世界金融危機の影響で製造業の生産活動が一時的に停滞したことが影響したと考えられる。
2011 年から 2015 年にかけて、エネルギー原単位の変化率が年平均-2.1%と改善し、前期の改善ペースをさらに上回っている。背景として、東日本大震災で発生した電力需給がひっ迫した状況から節電に対する意識が高まり、エネルギー効率の向上を促進する取り組みが進んだことが要因の一つとして挙げられている(Wakiyama and Kuramochi, 2017)。

付録 4　十地域別の電源構成の作成結果

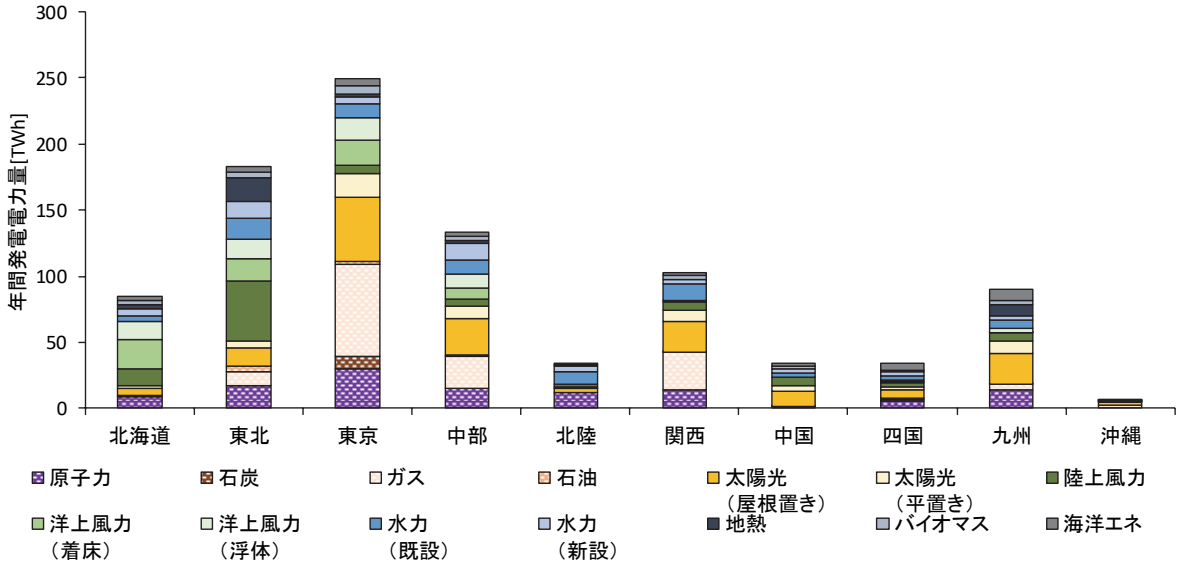


図 A. 4-1　S1RPn1 再エネポテンシャル活用(北高位)1 シナリオにおける電源構成(2050 年)

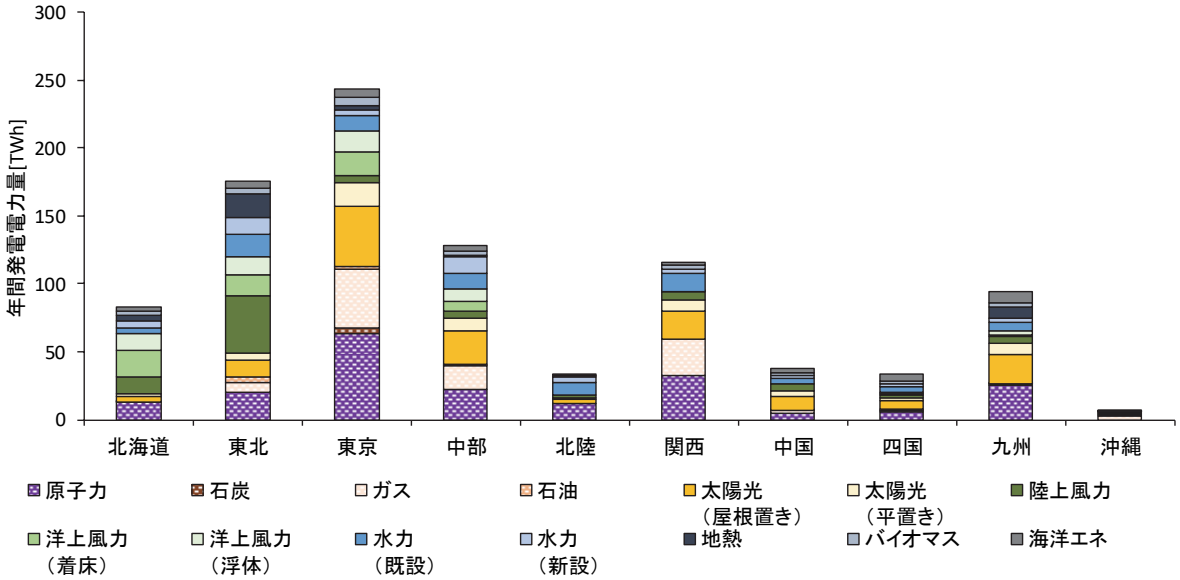


図 A. 4-2　S1RPn2 再エネポテンシャル活用(北高位)2 シナリオにおける電源構成(2050 年)

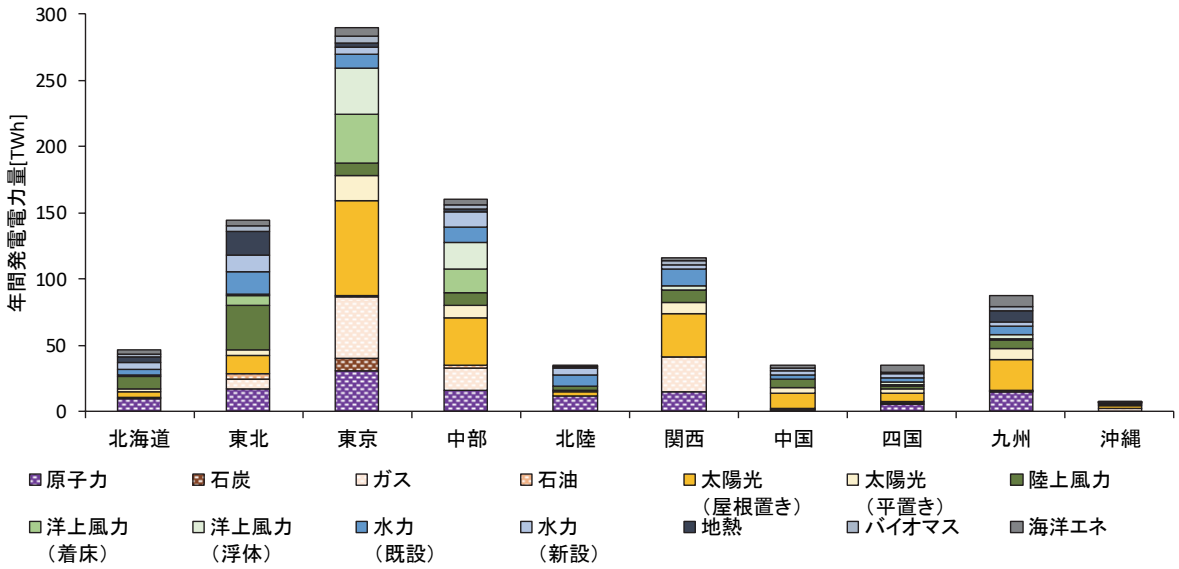


図 A. 4-3　S1RDn1 需要近接再エネ優先(中高位)1 シナリオにおける電源構成(2050 年)

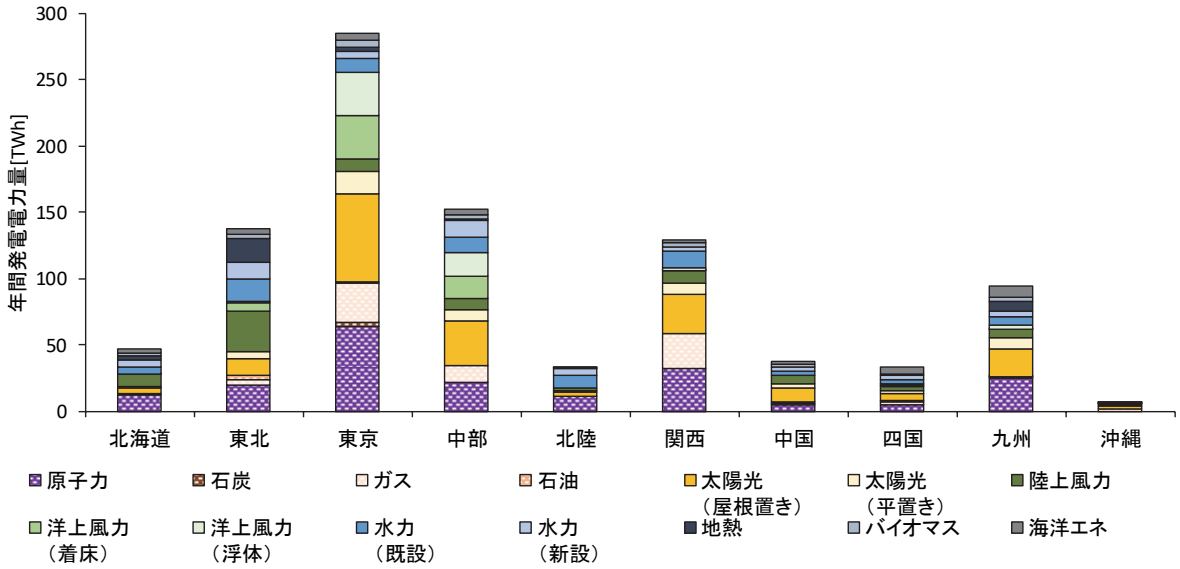


図 A. 4-4　S1RDn2 需要近接再エネ優先(中高位)2 シナリオにおける電源構成(2050 年)

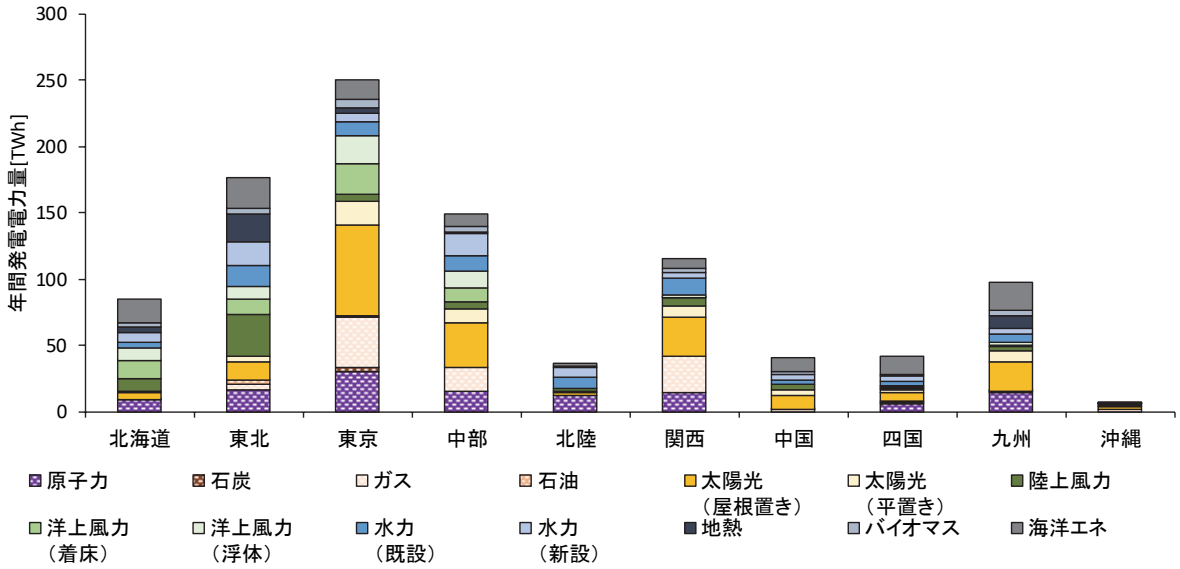


図 A. 4-5　CMn1 CCS 最小化ケース 1 シナリオにおける電源構成(2050 年)

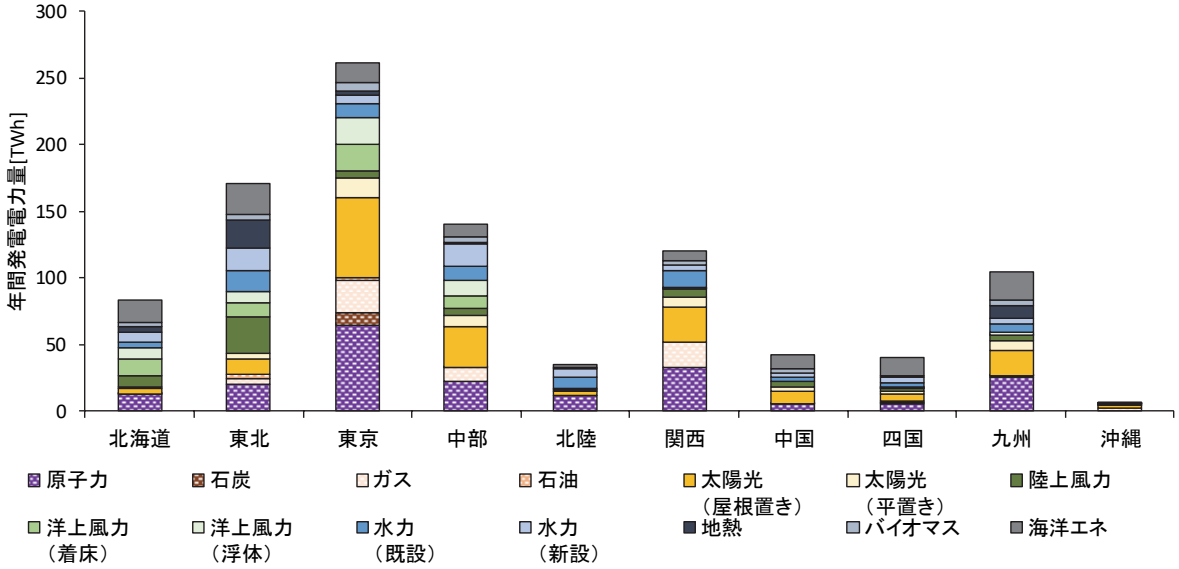


図 A. 4-6　CMn2 CCS 最小化ケース 2 シナリオにおける電源構成(2050 年)

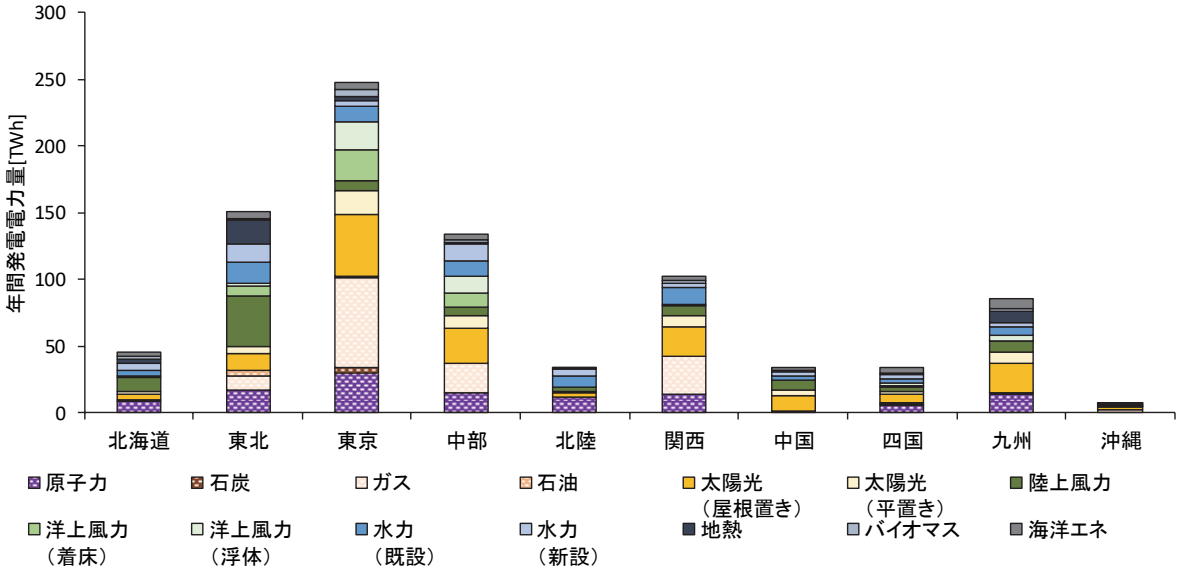


図 A. 4-7　S2n1 シナリオにおける電源構成(2050 年)

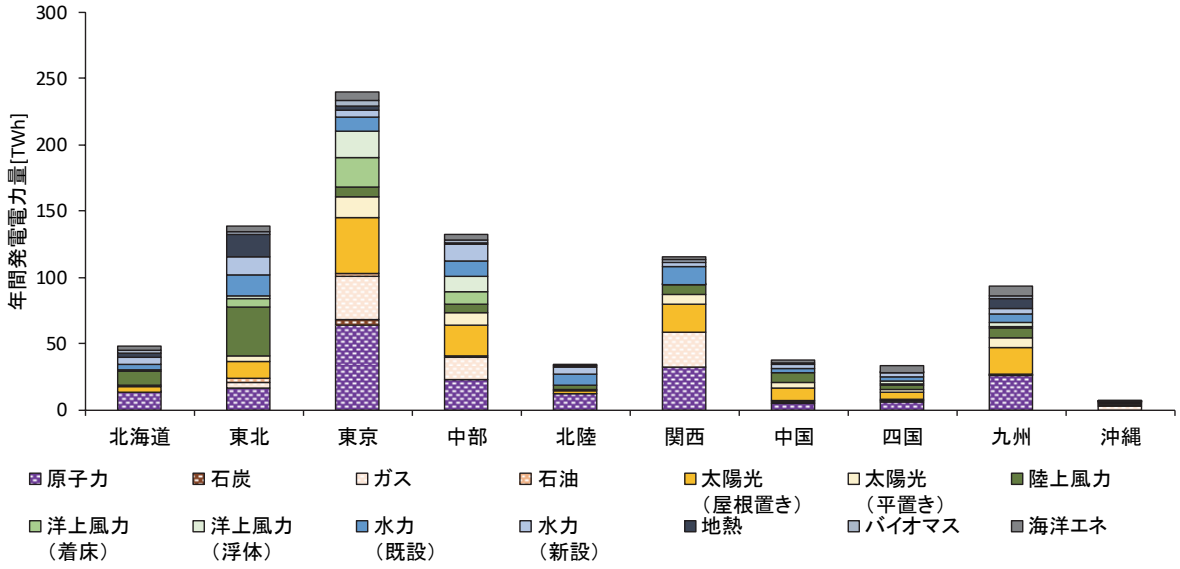


図 A. 4-8　S2n2 シナリオシナリオにおける電源構成(2050 年)

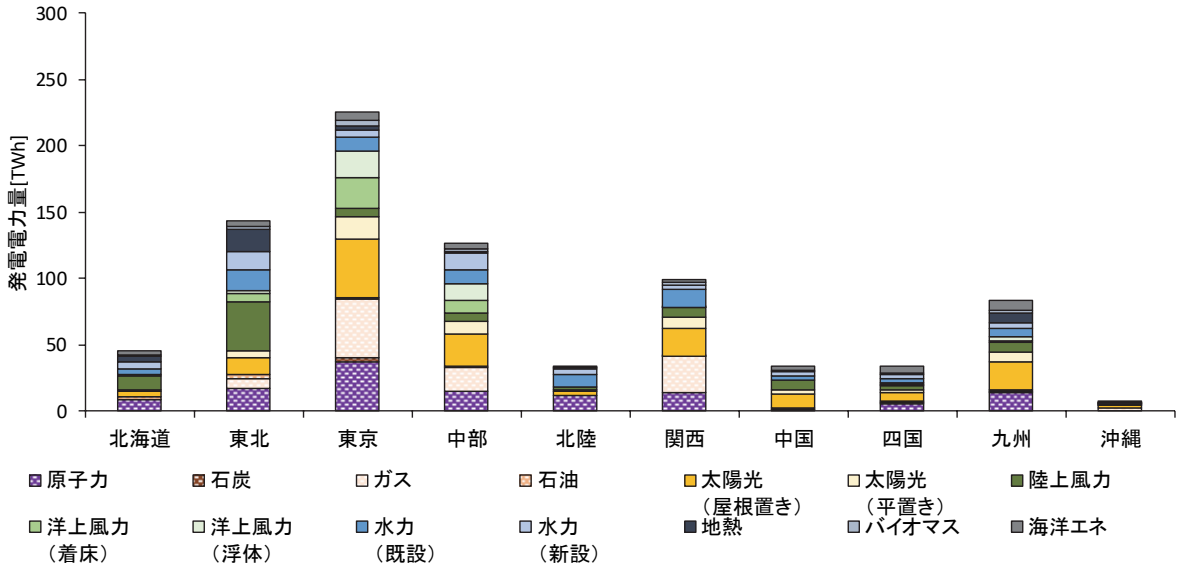


図 A. 4-9　S3n1 シナリオシナリオにおける電源構成(2050 年)

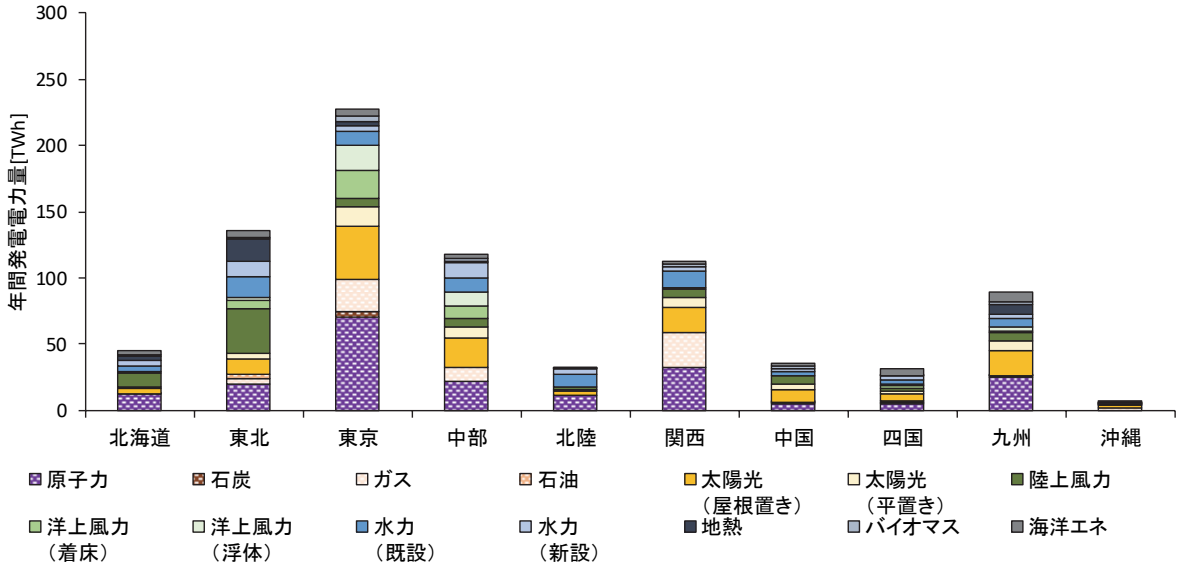


図 A. 4-10　S3n2 シナリオシナリオにおける電源構成(2050 年)

付録 5　太陽光発電および風力発電のメンテナンス要件に関する動向

2016 年の「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」（通称「FIT 法」）の改正により、設備の認定基準に「保守点検及び維持管理」が加えられ、再生可能エネルギー発電設備を適切に保守点検及び維持管理するために必要な体制を整備し、実施するものであることが加えられた[10]。これに対する審査基準として、保守点検及び維持管理の責任者が明確であること、保守点検及び維持管理の計画が明確であることが明記されている。本制度の改正によって、風力発電、太陽光発電を含むすべての再生可能エネルギーに保守点検の義務が発生することになる。従って、太陽光発電、風力発電に対して、制度改正の影響について、ヒアリング調査・文献調査をもとにまとめた。

➢　太陽光発電

FIT 法改正では、「保守と点検を行うこと」という方針が示されたものの、具体的な検査項目や頻度については、定められていない（ただし、実施要領の例は定められている）。そのため、太陽光発電事業者は、太陽光発電協会及び日本電機工業が作成した「太陽光発電システム保守点検ガイドライン[11]」などの民間ガイドラインなどを参考とした適切な設計・施工が求められている。定期的な点検及び保守は、システムの種類（地上設置型発電システム、業務用、家庭用など）、遠隔監視能力の程度、契約規定または発電性能保証、特定の機器の保守につき製造業者の推奨する実務、サイト固有の考慮点などによって異なるが、太陽光発電システム保守点検ガイドラインでは、合計 64 の検査項目のリストが示されている。

点検作業の種類として、一般的なサイト目視検査、機器類検査及び安全に係る保守、発電性能に関わる保守があるが、どれも現場に行って人が作業する内容が大半である。

頻度については、10 kW 以下（住宅用）、10 kW 以上の一般用電気工作物、50kW 以上の事業用電気工作物について以下の通り例示されている。特に、50kW 以上の事業の電気工作物については、1 週間に一度の目視検査が例示されているなど、メンテナンスに関わる人手が定期的に求められている。

また、太陽光発電事業は、保守点検に必要な人材に加えて、電気主任技術者を配置する必要がある（表 A5-1）。特に 2MW 以上の出力をもつ太陽光発電や屋根貸しによる太陽光発電設備の運用については、電気主任技術者の兼任が認められておらず、専属の電気主任技術者が必要となる。

---

[10] エネ庁(2017)改正 FIT 法による制度改正について
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fit_2017/setsumei_shiryou.pdf

[11] JPEA&JEMA(2016)太陽光発電システム保守点検ガイドライン
http://www.jpea.gr.jp/pdf/161228_pv_maintenance.pdf

表 A. 5-1　太陽光発電の発電容量と電気主任技術者の必要性

	一般用電気工作物	自家用電気工作物		
出力	～50kW 未満	50～500kW 未満	500 ～ 2,000kW 未満	2,000kW 以上
電圧	低圧	6,600V	6,600V	22,000V～
主任技術者	不要	要	要	要
選任		○	○	○
選任許可		○	×	×
兼任		○	○	原則×
外部委託		○	○	×

出典：経済産業省　中部近畿産業保安監督部近畿支部ホームページより[12]

なお、電気主任技師の年収は 500 万円から 600 万円（太陽光発電メンテナンス協会ヒアリング）であるため、2MW 以上の太陽光を 1 基運用するためには、最低限これらの費用がかかる。また、電気主任技師は、2016 年の FIT 法改正によって義務付けられた上記の保守・管理を行うことは義務付けられていない、専門知識が異なるため、保守・管理にかかる経費が上乗せされると考えられる。

太陽光発電の保守点検を行うにあたり、人材の不足が懸念されている。特に、太陽光パネルの保守点検を行う専門家はこれまでに少なく、太陽光メンテナンス協会が定期的に講習会を開催し、人材育成に努めているところである。今後、50kW 以上の太陽光発電設備が増加した場合、保守点検の人材確保が急務となる。

○風力発電

風力発電も同様に、FIT 法改正に伴い、風力発電設備に係る定期安全管理検査制度が導入された。これは、単機出力 500kW 以上の発電設備に係る風力機関等に対して、運転が開始された日または定期事業者検査が終了した日以降 3 年を超えない時期に検査を要求するものである[13]。検査方法として、①開放、分解、非破壊検査その他の各部損傷、変形、摩耗及び異常の発生状況を確認するための十分な方法、②試運転その他の機能及び作動の状況を確認するための十分な方法が求められている。これらの保守・管理は「風力発電設備の定期点検指針」に規定される。主な検査事項と頻度は下記の通り。

[12] http://www.safety-kinki.meti.go.jp/denryoku/taiyoko/taiyoko.htm

[13] 風力発電設備に係る定期安全お管理検査制度の概要 http://www.safety-kinki.meti.go.jp/denryoku/topics/furyoku-teikiannkannshin.pdf

表 A.5-2　　風力発電のメンテナンス事項

周期	区分	部位
半年程度*	安全停止系 （過回転帽子）	ピッチ駆動装置 ピッチ駆動装置の非常用駆動源（油圧系）　翼端ブレーキ（ブレードティップ）
1 年程度**	安全停止系 （過回転防止等）	ピッチ駆動装置の非常用駆動源 非常用電源装置（停電時ヨー機能維持）
	構造強度部材 （倒壊、落下、飛散防止）	ブレード（表面、レセプター、ルート部）、ハブ、ナセル内（動力伝達装置、ブレーキ装置、ナセル架構等）、ナセル外部付属品、タワー、基礎
	電気系統 （火災等防止）	ナセル内電気設備
3 年程度***	安全停止系 （過回転防止）	翼端ブレーキ（カーボンシャフト）
	構造強度部材 （落下、飛散防止）	ダウンコンダクター（導通試験等） ブレード内部

* 半年程度：8 ケ月を超えない時期、　** 1 年程度：15 ヶ月を超えない時期、*** 3 年程度：3 年 3 ヶ月を超えない時期

このような中、日本風力発電協会へのヒアリングでは、2 年毎にブレードの避雷導線（ダウンコンダクター）の導通確認が必須化されて、ロープワークによるブレード点検作業のニーズが増大しているとのこと。一方で、風車の大型によりメンテナンス台数の減少や、センサーIT 技術やドローン活用による省力が進んでいることが指摘されている。

太陽光発電と同様に、風力発電の分野でも保守点検業務に関する人材不足が懸念されている。トーマツ（2018）によると、2016 年時点の風力発電の発電容量を維持するのに必要な人員数は 690 人と推定されるのに対し、ヒアリング調査による人員数は 500 人程度となっており、190 人程度不足する状況にあるとされる。今後、長期メンテナンスサービスを中小企業にも提供する必要があるが、その際に、メンテナンスを専門とするサードパーティ事業者を育成することが急務となることが示唆されている。

参考文献

Adewuyi, A.O., 2016. Effects of public and private expenditures on environmental pollution: A dynamic heterogeneous panel data analysis. Renew. Sustain. Energy Rev. 65, 489–506. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.090

Ahl, A., Yarime, M., Goto, M., Chopra, S.S., Kumar, N.M., Tanaka, K., Sagawa, D., 2020. Exploring blockchain for the energy transition: Opportunities and challenges based on a case study in Japan. Renew. Sustain. Energy Rev. 117, 109488. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109488

Aichele, R., Felbermayr, G., 2012. Kyoto and the carbon footprint of nations. J. Environ. Econ. Manage. 63, 336–354. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.10.005

Alexeew, J., Bergset, L., Meyer, K., Petersen, J., Schneider, L., Unger, C., 2010. An analysis of the relationship between the additionality of CDM projects and their contribution to sustainable development. Int. Environ. Agreements Polit. Law Econ. 10, 233–248. https://doi.org/10.1007/s10784-010-9121-y

Almer, C., Winkler, R., 2017. Analyzing the effectiveness of international environmental policies: The case of the Kyoto Protocol. J. Environ. Econ. Manage. 82, 125–151. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.11.003

Ang, B.., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: Energy Policy 32, 1131–1139. https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4

Ang, B.W., 2005. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. Energy Policy 33, 867–871. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010

Ang, B.W., Zhang, F.Q., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. Energy 25, 1149–1176. https://doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00039-6

ANRE, 2017. Denki jigyo binran 2017-ban (Handbook of electricity business activity 2017 Edition, in Japanese). Research Institute of Economy, Trade and Industry, Tokyo.

Apergis, N., Christou, C., Gupta, R., 2017. Are there Environmental Kuznets Curves for US state-level CO2 emissions? Renew. Sustain. Energy Rev. 69, 551–558. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.219

Bartolucci, F., Oliver, P., Jie, S., Sambeek, E. van, 2008. The value of carbon in China. Carbon finance and China's sustainble energy transition. Beijing.

Behling, N., Williams, M.C., Managi, S., 2019. Regulating Japan's nuclear power industry to achieve zero-accidents. Energy Policy 127, 308–319. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.052

Bode, S., Michaelowa, A., 2003. Avoiding perverse effects of baseline and investment additionality determination in the case of renewable energy projects. Energy Policy 31, 505–517. https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00076-9

Brugge, R. van der, Rotmans, J., 2006. Towards transition management of European water resources. Water Resour. Manag. 21, 249–267. https://doi.org/10.1007/s11269-006-9052-0

Caldecott, B., Dericks, G., Tulloch, D., Kruitwagen, L., Kok, I., 2016. Stranded Assets and Thermal Coal in Japan: An analysis of environment-related risk exposure. Oxford, UK.

Chapman, A., Itaoka, K., 2018. Energy transition to a future low-carbon energy society in Japan's liberalizing electricity market: Precedents, policies and factors of successful transition. Renew. Sustain. Energy Rev. 81, 2019–2027. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.011

Chapman, A., Okushima, S., 2019. Engendering an inclusive low-carbon energy transition in Japan: Considering the perspectives and awareness of the energy poor. Energy Policy 135, 111017. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111017

Climate Action Tracker, 2019. 2100 Warming Projections. Climate Analytics, NewClimate Institute.

Climate Analytics, 2018. Science Based Coal Phase-out Timeline for Japan: Implications for policymakers and investors.

Commoner, B., Corr, M., Stamler, P.J., 1971. The Causes of Pollution. Environ. Sci. Policy Sustain. Dev. 13, 2–19. https://doi.org/10.1080/00139157.1971.9930577

COP24 PRESIDENCY OFFICE, 2018. Solidarity and Just Transition Silesia Declaration. Warsaw, Poland.

de Alegría, I.M., Basañez, A., de Basurto, P.D., Fernández-Sainz, A., 2016. Spain's fulfillment of its Kyoto commitments and its fundamental greenhouse gas (GHG) emission reduction drivers. Renew. Sustain. Energy Rev. 59, 858–867. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.208

Dietz, T., Rosa, E.A., 1994. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. Hum. Ecol. Rev. 1, 277–300.

Eberhardt, M., 2012. Estimating panel time-series models with heterogeneous slopes. Stata J. 12, 61–71.

Eberhardt, M., Teal, F., 2010. Productivity analysis in global manufacturing production [WWW Document]. Department of Economics Discussion Paper Series. URL http://www.economics.ox.ac.uk/materials/papers/4729/paper515.pdf (accessed 3.26.17).

EEA, 2016. EU Emissions Trading System (ETS) data viewer [WWW Document]. URL http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/emissions-trading-viewer (accessed 9.1.16).

Ehrlich, P.R., Holdren, J.P., 1971. Impact of Population Growth. Science (80-.). 171, 1212–1217. https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212

Ellis, J., Kamel, S., 2007. Overcoming barriers to clean development mechanism projects. OECD J. 3, 1.

ESCO推進協議会, 2012. 2010 年度ESCO 市場規模調査結果. 一般社団法人 ESCO 推進協議会 市場企画委員会, 東京.

Esteban, M., Portugal-Pereira, J., 2014. Post-disaster resilience of a 100% renewable energy system in Japan. Energy 68, 756–764. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.045

Filipović, S., Verbič, M., Radovanović, M., 2015. Determinants of energy intensity in the European Union: A panel data analysis. Energy 92, 547–555. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.011

Fraser, T., 2019. Japan's resilient, renewable cities: how socioeconomics and local policy drive Japan's

renewable energy transition. Env. Polit. 1–24. https://doi.org/10.1080/09644016.2019.1589037

Geels, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. Res. Policy 31, 1257–1274. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8

Geels, F.W., Berkhout, F., van Vuuren, D.P., 2016a. Bridging analytical approaches for low-carbon transitions. Nat. Clim. Chang. 6, 576–583. https://doi.org/10.1038/nclimate2980

Geels, F.W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., Neukirch, M., Wassermann, S., 2016b. The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). Res. Policy 45, 896–913. https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.015

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M.D., Wagner, N., Gorini, R., 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. Energy Strateg. Rev. 24, 38–50. https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006

Gillenwater, M., Seres, S., 2011. The Clean Development Mechanism: a review of the first international offset programme. Greenh. Gas Meas. Manag. 1, 179–203. https://doi.org/10.1080/20430779.2011.647014

Goddard, G., Farrelly, M.A., 2018. Just transition management: Balancing just outcomes with just processes in Australian renewable energy transitions. Appl. Energy 225, 110–123. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.025

Gray, M., Takamura, Y., Morisawa, M., 2019. Land of the Rising Sun and Offshore Wind.

Grubb, M., 2016. Full legal compliance with the Kyoto Protocol's first commitment period – some lessons. Clim. Policy 16, 673–681. https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1194005

Grubb, M., Laing, T., Counsell, T., Willan, C., 2011. Global carbon mechanisms: lessons and implications. Clim. Change 104, 539–573. https://doi.org/10.1007/s10584-009-9791-z

Grunewald, N., Martinez-Zarzoso, I., 2016. Did the Kyoto Protocol fail? An evaluation of the effect of the Kyoto Protocol on CO2 emissions. Environ. Dev. Econ. 21, 1–22. https://doi.org/10.1017/S1355770X15000091

Haya, B., 2009. Measuring emissions against an alternative future: Fundamental flaws in the structure of the kyoto protocol's clean development mechanism (No. ERG09- 001), Berkeley Energy and Resources Group Working Paper, Berkeley Energy and Resources Group Working Pape. Berkeley.

Haya, B., 2007. Failed mechanism: How the CDM is subsidizing hydro developers and harming the Kyoto Protocol. Berkeley.

Haya, B., Parekh, P., 2011. Hydropower in the CDM: Examining additionality and criteria for sustainability (No. ERG-11-001), Berkeley Energy and Resources Group Working Paper, Berkeley Energy and Resources Group Working Paper. California.

Hayashi, M., Hughes, L., 2013. The policy responses to the Fukushima nuclear accident and their effect on Japanese energy security. Energy Policy 59, 86–101.

https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.059
He, G., Morse, R., 2010. Making carbon offsets work in the developing world: lessons from the Chinese wind controversy (No. 90), Available at SSRN 1583616. Stanford.
Healy, N., Barry, J., 2017. Politicizing energy justice and energy system transitions: Fossil fuel divestment and a "just transition." Energy Policy 108, 451–459. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.014
Hervada-Sala, C., Jarauta-Bragulat, E., 2004. A program to perform Ward's clustering method on several regionalized variables. Comput. Geosci. 30, 881–886. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.07.003
Hondo, H., Moriizumi, Y., 2017. Employment creation potential of renewable power generation technologies: A life cycle approach. Renew. Sustain. Energy Rev. 79, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.039
IEA-PVPS, I. and, 2016. End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems.
IEA, 2017a. Energy Technology Perspectives 2017: Catalysing Energy Technology Transformations. International Energy Agency, Paris, France.
IEA, 2017b. World Energy Balances 2017. OECD Publishing, Paris France.
IEA, 2017c. CO2 Emissions from fuel Combustion 2017, OECD Publishing. Paris, France.
IEA, 2017d. IEA World Energy Statistics and Balances. Paris.
IEEJ, 2017. 平成28年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（エネルギーミックスにおける省エネルギー施策の評価・効果分析等に係る調査）. 東京.
IGES, 2017a. IGES JI Project Database [WWW Document]. URL http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/view.php?docid=1578 (accessed 8.15.17).
IGES, 2017b. IGES CDM Investment Analysis Database [WWW Document]. URL http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/view.php?docid=2593
IGES, 2017c. IGES Kyoto Units Transfer Database [WWW Document]. Inst. Glob. Environ. Strateg. URL https://iges.or.jp/en/pub/iges-national-registry-database/en
IGES, 2016a. IGES Kyoto Mechanism First Commitment Period (CP1) Summary Data [WWW Document]. URL http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/view.php?docid=6632 (accessed 4.2.17).
IGES, 2016b. IGES CDM Project Database [WWW Document]. URL http://pub.iges.or.jp/modules/envirolib/view.php?docid=968 (accessed 8.15.16).
IPCC, 2018. Summary for Policymakers, in: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R.S., A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I.G., E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T.W. (Eds.), Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5° C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change,.

IPSS, 2018. Regional Population Projections for Japan: 2015–2045. National Institute of Population and Social Security Research, IPSS.

IPSS, 2017a. Population Statistics. National Institute of Population and Social Security Research, Tokyo.

IPSS, 2017b. 人口統計資料集. 東京.

IRENA, 2019. Renewable Electricity Capacity and Generation Statistics. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA, 2018a. Renewable capacity statistics 2018. Abu Dhabi.

IRENA, 2018b. Renewable Power Generation Costs in 2017. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Iwata, H., Okada, K., 2014. Greenhouse gas emissions and the role of the Kyoto Protocol. Environ. Econ. Policy Stud. 16, 325–342. https://doi.org/10.1007/s10018-012-0047-1

Jenkins, K., Sovacool, B.K., McCauley, D., 2018. Humanizing sociotechnical transitions through energy justice: An ethical framework for global transformative change. Energy Policy 117, 66–74. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.02.036

JILPT, 2011. Enerugi seisaku ya seiji katsudo no arikata wo giron (Report on discuss energy policy and political activities, in Japanese). Japan Institutefor Labour Policyand Training, Tokyo.

JST, 2019. 低炭素電源システムの安定化と技術・経済性評価-ゼロカーボン電源システムと技術開発課題 3.

Kainuma, M., Masui, T., Oshiro, K., Hibino, G., 2015. Pathway to deep decarbonization.

Karásek, J., Pavlica, J., 2016. Green Investment Scheme: Experience and results in the Czech Republic. Energy Policy 90, 121–130. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.12.020

Karimu, A., Brännlund, R., Lundgren, T., Söderholm, P., 2017. Energy intensity and convergence in Swedish industry: A combined econometric and decomposition analysis. Energy Econ. 62, 347–356. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.07.017

Kaya, Y., 1990. Impact of Carbon Dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios, in: Paper Presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group.

Kemp, R., Loorbach, D., 2003. Governance for Sustainability Through Transition Management. Open Meet. Hum. Dimens. Glob. Environ. Chang. Res. Community, Montr. Canada. 20.

Kemp, R., Rip, A., Schot, J.W., 2001. Constructing Transition Paths Through the Management of Niches. Path Depend. Creat.

Knight, K.W., Rosa, E.A., Schor, J.B., 2013. Could working less reduce pressures on the environment? A cross-national panel analysis of OECD countries, 1970–2007. Glob. Environ. Chang. 23, 691–700.

Kollmuss, A., Schneider, L., 2015. Has Joint Implementation reduced GHG emissions? Lessons learned for the design of carbon market mechanisms. Stock. Environ. Inst.

Komiyama, R., Fujii, Y., 2019. Optimal integration assessment of solar PV in Japan's electric power

grid. Renew. Energy 139, 1012–1028. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.130

Komiyama, R., Fujii, Y., 2015. Long-term scenario analysis of nuclear energy and variable renewables in Japan's power generation mix considering flexible power resources. Energy Policy 83, 169–184. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.005

Kucharski, J.B., Unesaki, H., 2018. An institutional analysis of the Japanese energy transition. Environ. Innov. Soc. Transitions 29, 126–143. https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.07.004

Kuriyama, A., Abe, N., 2018. Ex-post assessment of the Kyoto Protocol – quantification of CO 2 mitigation impact in both Annex B and non-Annex B countries-. Appl. Energy 220, 286–295. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.025

Kuriyama, A., Koakutsu, K., 2016. Quantitative Assessment of Certified Emission Reductions from Non-additional CDM projects (No. WP1508), IGES Working Paper. Hayama.

Kutney, G., 2014. Carbon politics and the failure of the Kyoto protocol. Routledge Explorations in Environmental Studies, Oxford.

Laes, E., Gorissen, L., Nevens, F., 2014. A Comparison of Energy Transition Governance in Germany, The Netherlands and the United Kingdom. Sustainability 6, 1129–1152. https://doi.org/10.3390/su6031129

Lazarus, M., Chandler, C., 2011. Coal power in the CDM: Issues and options (No. 2011), Stockholm Environment Institute Working Paper, Stockholm Environment Institute, Working Paper. Stockholm.

Lema, A., Ruby, K., 2007. Between fragmented authoritarianism and policy coordination: creating a Chinese market for wind energy. Energy Policy 35, 3879–3890. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.01.025

Li, A., Xu, Y., Shiroyama, H., 2019. Solar lobby and energy transition in Japan. Energy Policy 134, 110950. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110950

Li, Y., Sun, L., Feng, T., Zhu, C., 2013. How to reduce energy intensity in China: A regional comparison perspective. Energy Policy 61, 513–522. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.007

Liddle, B., 2015. What are the carbon emissions elasticities for income and population? Bridging STIRPAT and EKC via robust heterogeneous panel estimates. Glob. Environ. Chang. 31, 62–73. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.016

Liddle, B., 2009. Electricity intensity convergence in IEA/OECD countries: Aggregate and sectoral analysis. Energy Policy 37, 1470–1478. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.006

Lima, F., Nunes, M.L., Cunha, J., Lucena, A.F.P., 2016. A cross-country assessment of energy-related CO 2 emissions: An extended Kaya Index Decomposition Approach. Energy 115, 1361–1374. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.037

Liu, S., Wilkes, A., Li, Y., Gao, Q., Wan, Y., Ma, X., Qin, X., 2016. Contribution of different sectors to developed countries' fulfillment of GHG emission reduction targets under the first commitment period of the Kyoto Protocol. Environ. Sci. Policy 61, 143–153. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.009

Loorbach, D., Frantzeskaki, N., Avelino, F., 2017. Sustainability Transitions Research: Transforming Science and Practice for Societal Change. Annu. Rev. Environ. Resour. 42, 599–626. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021340

Lu, H., Lin, B., Campbell, D.E., Sagisaka, M., Ren, H., 2016. Interactions among energy consumption, economic development and greenhouse gas emissions in Japan after World War II. Renew. Sustain. Energy Rev. 54, 1060–1072. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.10.062

Lütken, S., 2012. Penny Wise, Pound Foolish? [WWW Document]. UNEP Risø Clim. Work. Pap. Ser., UNEP Risø Climate Working Paper Series. URL http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:119485/datastreams/file_63c5224e-def8-442f-bf07-b889926238f4/content (accessed 1.12.16).

Mah, D.N., Wu, Y.-Y., Ip, J.C., Hills, P.R., 2013. The role of the state in sustainable energy transitions: A case study of large smart grid demonstration projects in Japan. Energy Policy 63, 726–737. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.106

Malpede, M., 2015. A Multi-Model Regional Decomposition of CO2 Emissions: Socio-Economic Developments vs Energy Efficiency and Carbon Intensity Improvements. FEEM Fondazione Eni Enrico Mattei, Milan, Italy.

Meadowcroft, J., 2009. What about the politics? Sustainable development, transition management, and long term energy transitions. Policy Sci. 42, 323–340. https://doi.org/10.1007/s11077-009-9097-z

Meadowcroft, J., 2005. Environmental political economy, technological transitions and the state. New Polit. Econ. 10, 479–498. https://doi.org/10.1080/13563460500344419

METI, 2018a. Karyoku hatsuden ni kakaru handan kijun wakingugurūpu torimatome (Summary of development of criteria for fossil-fuel power plant, in Japanese). Advisory Committee for Natural Resources and Energy, Ministry of Economy Trade and Industry, Tokyo.

METI, 2018b. CCSを取り巻く状況. 経済産業省地球環境連携室, 東京.

METI, 2015. Chouki enerugi jyukyu mitoshi (Long-term energy outlook, in Japanese). The Subcommittee on Long-term Energy Supply and Demand Outlook, Ministry of Economy, Trade and Inidustry, Tokyo.

MIC, 2018. Rodoryokuchosa (Labor force survey, in Japanese). Statistic Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications, Tokyo.

Michaelowa, A., 2009. Interpreting the additionality of CDM projects: Changes in additionality definitions and regulatory practices over time, in: Freestone, D., Charlotte, S. (Eds.), Legal Aspects of Carbon Trading. Oxford Scholarship Online.

Michaelowa, A., Purohit, P., 2007. Additionality determination of Indian CDM projects. Can Indian CDM project developers outwit the CDM Executive Board? University of Zurich. Inst. Polit. Sci. Zurich.

Missfeldt, F., Villavicenco, A., 2002. How Can Economies in Transition Pursue Emissions Trading or Joint Implementation? (No. 59.2002), FEEM Working Paper. Washington, D.C.

Mochizuki, J., Chang, S.E., 2017. Disasters as opportunity for change: Tsunami recovery and energy transition in Japan. Int. J. Disaster Risk Reduct. 21, 331–339. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.01.009

MOEJ, 2018. Entrusted Work Concerning the Development and Disclosure of Basic Zoning Information Concerning Renewable Energies (in Japanese). Ministry of the Environment, Tokyo.

MOEJ, 2017a. Analysis on greenhouse gas emissions in 2015 (2015 Nendo Onshitsukouka Gasu Haisyutsuryou ni Tsuite) in Japanese. Ministry of the Environment, Tokyo.

MOEJ, 2017b. Pari Kyoteinadowo Uketa Chuchoukitekina Onshitsu Koukagasu Haishutsusakugenni Muketa Saiseikanou EnerugiDounyu Kakudaihousaku (Research report on measures to promote renewable energy implementation to achieve mid- and long-term greenhouse gas emission red. Ministry of the Environment, Tokyo.

Mooi, E., Sarstedt, M., 2010. Cluster Analysis, in: A Concise Guide to Market Research. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 237–284. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12541-6_9

Mori, A., 2019. Temporal dynamics of infrasystem transition: The case of electricity system transition in Japan. Technol. Forecast. Soc. Change 145, 186–194. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.003

Nakamura, H., 2018. Willingness to know and talk: Citizen attitude toward energy and environmental policy deliberation in post-Fukushima Japan. Energy Policy 115, 12–22. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.055

Nakayama, T., Raupach, S.J., Toru, M., 2016. Regional Value Added Analysis of Renewable Energies in Japan : Verification and Application of Regional Value Added Modelling in Japan. Sustain. Res. 6, 101–115.

NCI, 2015. Climate Policy Database. NewClimate Institute, Cologne, Germany.

NEA/IEA/OECD, 2015. Projected Costs of Generating Electricity 2015. OECD, OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/cost_electricity-2015-en

Neal, T., 2015. The unbiased estimation of heterogeneous coefficients in panel data models with common factors and feedback effects (No. mimeo). Sydney.

OECD, 2017. Extended world energy balances. Paris.

OECD, 2016. Energy transition: Towards a low-carbon economy, in: OECD Environmental Performance Reviews: France 2016. OECD Publishing, Paris, France, pp. 179–210. https://doi.org/10.1787/9789264252714-11-en

Ogawa, Yu., Raupach, S.-J., 2018. Economic Impacts of Renewable Energy to the Local Economy—Case Study with Value Chain Analysis—. Soc. Environ. Sci. Japan 31, 34–42.

Okushima, S., Tamura, M., 2007. Multiple calibration decomposition analysis: Energy use and carbon dioxide emissions in the Japanese economy, 1970–1995. Energy Policy 35, 5156–5170. https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2007.04.001

Oshiro, K., Kainuma, M., Masui, T., 2017a. Implications of Japan's 2030 target for long-term low

emission pathways. Energy Policy 110, 581–587. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.003
Oshiro, K., Masui, T., Kainuma, M., 2017b. Transformation of Japan's energy system to attain net-zero emission by 2050. Carbon Manag. 1–9. https://doi.org/10.1080/17583004.2017.1396842
Pedroni, P., 2007. Social capital, barriers to production and capital shares: implications for the importance of parameter heterogeneity from a nonstationary panel approach. J. Appl. Econom. 22, 429–451. https://doi.org/10.1002/jae.948
Pesaran, M.H., 2006. Estimation and Inference in Large Heterogeneous Panels with a Multifactor Error Structure. Econometrica 74, 967–1012.
Prinz, L., Pegels, A., 2018. The role of labour power in sustainability transitions: Insights from comparative political economy on Germany's electricity transition. Energy Res. Soc. Sci. 41, 210–219. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.04.010
Rezankova, H., 2014. Cluster Analysis of Economic Data. Stat. Stat. Econ. J. 94, 73–86.
RITE, 2015. 約束草案の排出削減努力の評価と世界排出量の見通し. 木津川.
Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Schellnhuber, H.J., 2017. A roadmap for rapid decarbonization. Science (80-.). 355, 1269–1271. https://doi.org/10.1126/science.aah3443
Rotmans, J., Kemp, R., van Asselt, M., 2001. More evolution than revolution: transition management in public policy. Foresight 3, 15–31. https://doi.org/10.1108/14636680110803003
Sadorsky, P., 2014. The effect of urbanization on CO2 emissions in emerging economies. Energy Econ. 41, 147–153. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.007
Sato, K., 2015. Parallel process of global convergence and national differentiation of climate change policy ideas: Focusing on policy networks between national and global organizations. J. Area-Based Glob. Stud. AGLOS Spec, 1–23.
Schiermeier, Q., 2012. The Kyoto Protocol: Hot air. Nature 491, 656–658. https://doi.org/10.1038/491656a
Schneider, L., 2009. Assessing the additionality of CDM projects: practical experiences and lessons learned. Clim. Policy 9, 242–254. https://doi.org/10.3763/cpol.2008.0533
Sgouridis, S., Csala, D., Bardi, U., 2016. The sower's way: quantifying the narrowing net-energy pathways to a global energy transition. Environ. Res. Lett. 11, 094009. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094009
Shahiduzzaman, M., Layton, A., 2015. Decomposition analysis to examine Australia's 2030 GHGs emissions target: How hard will it be to achieve? Econ. Anal. Policy 48, 25–34. https://doi.org/10.1016/j.eap.2015.10.003
Shishlov, I., Morel, R., Bellassen, V., 2016. Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period. Clim. Policy 16, 768–782. https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1164658
Shuai, C., Shen, L., Jiao, L., Wu, Y., Tan, Y., 2017. Identifying key impact factors on carbon emission: Evidences from panel and time-series data of 125 countries from 1990 to 2011. Appl. Energy 187, 310–325. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.029

Sievers, L., Breitschopf, B., Pfaff, M., Schaffer, A., 2019. Macroeconomic impact of the German energy transition and its distribution by sectors and regions. Ecol. Econ. 160, 191–204. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.02.017

Silva Herran, D., Fujimori, S., Kainuma, M., 2019. Implications of Japan's long term climate mitigation target and the relevance of uncertain nuclear policy. Clim. Policy 19, 1117–1131. https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1634507

Spalding-Fecher, R., Achanta, A.N., Erickson, P., Erik Haites, M.L., Pahuja, N., Pandey, N., Seres, S., Tewari, R., 2012. Assessing the Impact of the Clean Development Mechanism.

Sugiyama, M., Fujimori, S., Wada, K., Endo, S., Fujii, Y., Komiyama, R., Kato, E., Kurosawa, A., Matsuo, Y., Oshiro, K., Sano, F., Shiraki, H., 2019. Japan's long-term climate mitigation policy: Multi-model assessment and sectoral challenges. Energy 167, 1120–1131. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.091

Takahashi, J., Saito, S., Ishikawa, K., 2008. Regional Vitality and Public Services in Depopulating and Aging Rural Amenity in the Tohoku Region (in Japanese). Japanese Soc. Irrig. Drain. Rural Eng. 76, 1081–1084.

Tatrallyay, N., Stadelmann, M., 2013. Climate change mitigation and international finance: the effectiveness of the Clean Development Mechanism and the Global Environment Facility in India and Brazil. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 18, 903–919. https://doi.org/10.1007/s11027-012-9398-y

Trencher, G., Healy, N., Hasegawa, K., Asuka, J., 2019. Discursive resistance to phasing out coal-fired electricity: Narratives in Japan's coal regime. Energy Policy 132, 782–796. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.020

Trencher, G., van der Heijden, J., 2019. Contradictory but also complementary: National and local imaginaries in Japan and Fukushima around transitions to hydrogen and renewables. Energy Res. Soc. Sci. 49, 209–218. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.019

UNFCCC, 2018. Glossary of climate change acronyms and terms [WWW Document]. URL http://unfccc.int/essential_background/glossary/items/3666.php (accessed 2.1.18).

UNIDO, 2017. INDSTAT2 2017. United Nations Industrial Development Organization, Vienna.

Ürge-Vorsatz, D., Novikova, A., Stoyanova, P., 2007. A new window for a new instrument: can and will Green Investment Schemes unlock the high efficiency potentials in Eastern Europe. eceee 2007 Summer Study Saving Energy – Just do it!

Uto, M., 2012. The viewpoint of the infrastrucutre management during the decreasing population era. Japan Assoc. Real Estate Sci. 25, 43–49.

Uwasu, M., Fuchigami, Y., Ohno, T., Takeda, H., Kurimoto, S., 2018. On the valuation of community resources: The case of a rural area in Japan. Environ. Dev. 26, 3–11. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.04.002

Valentine, S.V., Sovacool, B.K., 2019. Energy transitions and mass publics: Manipulating public perception and ideological entrenchment in Japanese nuclear power policy. Renew. Sustain.

Energy Rev. 101, 295–304. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.008

Vivoda, V., 2012. Japan's energy security predicament post-Fukushima. Energy Policy 46, 135–143. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.044

Vona, F., 2019. Job losses and political acceptability of climate policies: why the 'job-killing' argument is so persistent and how to overturn it. Clim. Policy 19, 524–532. https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1532871

Wakiyama, T., Kuramochi, T., 2017. Scenario analysis of energy saving and CO2 emissions reduction potentials to ratchet up Japanese mitigation target in 2030 in the residential sector. Energy Policy 103, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.059

Wakiyama, T., Kuriyama, A., 2018. Assessment of renewable energy expansion potential and its implications on reforming Japan's electricity system. Energy Policy 115, 302–316. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.024

Wakiyama, T., Zusman, E., Monogan, J.E., 2014. Can a low-carbon-energy transition be sustained in post-Fukushima Japan? Assessing the varying impacts of exogenous shocks. Energy Policy 73, 654–666. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.06.017

Walker, W.R., 2013. The Transitional Costs of Sectoral Reallocation: Evidence From the Clean Air Act and the Workforce*. Q. J. Econ. 128, 1787–1835. https://doi.org/10.1093/qje/qjt022

Wang, C., 2013. Changing energy intensity of economies in the world and its decomposition. Energy Econ. 40, 637–644. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.08.014

Wara, M., Victor, D., 2008. A realistic policy on international carbon offsets (No. 74), PESD Working Paper, PESD Working Paper. Stanford.

Watts, K., Coiley, A., 2015. Avoiding hot air in the 2015 Paris Agreement [WWW Document]. URL https://carbonmarketwatch.org/wp/wp-content/uploads/2015/11/International-hot-air_final.pdf (accessed 12.1.17).

Woerdman, E., 2005. Hot Air Trading under the Kyoto Protocol. Eur. Environ. Law Rev. 14, 71–77.

Wooldridge, J., 2010. Economic Analysis of Cross Section and Panel Data, 2nd editio. ed. The MIT Press.

World Bank, 2017. World Bank Open Data. Washington, D.C.

WWF Japan, 2017. Long-term scenrios for decarbonizing Japan. World WideFund for Nature, Japan, Tokyo.

Yang, X., Wang, S., Zhang, W., Li, J., Zou, Y., 2016. Impacts of energy consumption, energy structure, and treatment technology on SO2 emissions: A multi-scale LMDI decomposition analysis in China. Appl. Energy 184, 714–726. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.013

Zheng, X.-P., 2004. Shichoson jinko gensho no genjo, eikyo to taisaku - jichitai ankēto no bunseki yori (Current status, impact and countermeasures of population decline in municipalities: analysis of questionnaire for municipalities, in Japanese). Ritsumeikan Econ. 53, 317–339.

Ziegler, L., Gonzalez, E., Rubert, T., Smolka, U., Melero, J.J., 2018. Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK. Renew. Sustain. Energy Rev.

82, 1261–1271. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.100
エネルギー資源庁, 2014. 省エネルギーを取り巻く状況とその支援の在り方. エネルギー資源庁, 2014.
エネ庁, 2017. 電気事業便覧2017版. 経済産業調査会, 資源エネルギー庁、東京.
エネ庁, 2016a. 電力調査統計-自家用発電実績（確報）-. 資源エネルギー庁、東京.
エネ庁, 2016b. 電力調査統計-発電実績-. 資源エネルギー庁、東京.
パーソル総合研究所, 2016. 労働市場の未来推計. 東京.
三木敦朗, 2018. 「緑の雇用」事業による人材育成と「資源の利用期」下での課題. 林業経済研究 64, 4–13.
中国電力, 2018. 供給区域の需給実績 [WWW Document]. URL http://www.energia.co.jp/retailer/eria_jyukyu.html%0A (accessed 8.1.18).
中国電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 広島.
中部電力, 2018. 中部エリアの電力需給（送電端）のお知らせ [WWW Document]. URL http://denki-yoho.chuden.jp/%0A (accessed 8.1.18).
中部電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 名古屋.
九州電力, 2018. 系統情報の公開 [WWW Document]. URL http://www.kyuden.co.jp/wheeling_disclosure.html%0A (accessed 8.1.18).
九州電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 福岡.
伊藤実, 2007. グローバル化、IT・技術革新の雇用構造への影響（No. 24), JILPT 資料シリーズ.
内閣府, 2015. 地方創生人材プラン. 内閣官房まち・ひと・しごと創生本部事務局, 東京.
内閣府, 2014a. まち・ひと・しごと創生総合戦略について. まち・ひと・しごと創生本部、東京.
内閣府, 2014b. まち・ひと・しごと創生長期ビジョン. まち・ひと・しごと創生本部、東京.
内閣府, 1998. 1998年度国民経済計算 （1990基準・68SNA). 東京.
北海道電力, 2018. 北海道エリアの需給実績 [WWW Document]. URL http://www.hepco.co.jp/energy/recyclable_energy/fixedprice_purchase/supply_demand_results.html (accessed 8.1.18).
北海道電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 札幌.
北陸電力, 2018. エリア需給実績について [WWW Document]. URL http://www.rikuden.co.jp/rule/area_jisseki.html%0A (accessed 8.1.18).
北陸電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 富山.
厚生労働省, 2017. 人口動態調査(平成29年度). 厚生労働省、東京.
厚生労働省, 2015. 平成27年版厚生労働白書. 厚生労働省、東京.
四国電力, 2018. 過去の使用状況データのダウンロード [WWW Document]. URL http://www.yonden.co.jp/denkiyoho/download.html%0A (accessed 8.1.18).
四国電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 高松.
四方理人, 2015. 日本型雇用システムと労働問題, in: 社会政策 福祉と労働の経済学. 有斐閣アルマ, 東京.
国家戦略室, 2012a. エネルギー・環境に関する選択肢. 東京.
国家戦略室, 2012b. 革新的エネルギー・環境戦略. 東京.

塚本直也, 藤倉良, 2018. 京都議定書による日本の温室効果ガス排出削減結果から得られる教訓. 公共政策志林 6, 177–186.
大島堅一, 2010. 再生可能エネルギーの政治経済学. 東京.
太田聰一, 梅溪健児, 北島美雪, 鈴木大地, 2017. 若年者の東京移動に関する分析. 経済分析 195, 117–152.
安田陽, 濱崎博, 2018. TIMES-JMT Gridを用いた再生可能エネルギー大量導入長期シナリオによる送電線投資分析（No. FTE-18-037, HV-18-084), 電気学会新エネルギー・環境/高電圧合同研究会.
小林徹, 2016. マクロの労働移動、転職市場の実態－既存統計とヒアリング調査より－（No. 168), JILPT 資料シリーズ. 東京.
山田久, 2009. 地域雇用の決定メカニズムの変化と新たな受け皿確保戦略. 日本総合研究所 『bus. Econ. Rev. 12, 100–122.
岩田一政, 小林光, 鈴木達治郎, 小林辰男, 2017. 環境税導入でCO2, 2050年に7割は削減可能. 日本経済研究センター, 東京.
嶋﨑尚子, 2013. 石炭産業の収束過程における離職者支援. 日本労働研究雑誌 55, 4–14.
平田純一, 1998. 戦後日本の産業構造変化 データによる確認. 立命館経済学 47, 761–784.
徳重功子, 秋元圭吾, 小田潤一郎, 本間隆嗣, 2015. 京都議定書第 1 約束期間における日本の温室効果ガス排出削減の取り組みに関する分析・評価. エネルギー・資源学会論文誌 36, 1–9.
日本原子力文化財団, 2018. 原子力に関する世論調査2017. 日本原子力文化財団, 東京.
服部茂幸, 2008. なぜ製造業は地域雇用にとって重要か. 地域公共政策研究 15, 22–34.
本橋恵一, 2017. 図解入門業界研究最新電力･ｶﾞｽ業界の動向とｶﾗｸﾘがよ～くわかる本, 4th ed. 秀和システム, 東京.
東京電力, 2018. エリアの需給実績公表について [WWW Document]. URL http://www.tepco.co.jp/forecast/html/area_data-j.html%0A (accessed 8.1.18).
東京電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 東京.
東北電力, 2018. 東北6県・新潟エリアでんき予報 [WWW Document]. URL http://setsuden.tohoku-epco.co.jp/download.html%0A (accessed 8.1.18).
東北電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 仙台.
栗山昭久, 2017. 京都議定書第一約束期間における京都メカニズムクレジットの定量分析（No. WP1606). 地球環境戦略研究機関, 葉山.
沖縄電力, 2018. 需給関連情報(需給実績)の公表 [WWW Document]. URL https://www.okiden.co.jp/business-support/service/supply-and-demand/%0A (accessed 8.1.18).
沖縄電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 浦添.
濱口桂一郎, 2009. 新しい労働社会 雇用システムの再構築へ, 11th ed. 岩波書店, 東京.
牧原出, 2017. 京都議定書と地球温暖化対策という政策の歴史的意義（No. 17- J- 074), RIETI Discussion Paper Series.
環境省, 2019. 地球温暖化対策推進法の成立・改正の経緯 [WWW Document]. 地球環境・国際環境協力. URL https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keii.html (accessed 10.1.19).
環境省, 2017. 平成29年度低炭素社会の実現に向けた中長期的再生可能エネルギー導入拡大方策検討

調査委託業務報告書. 東京.
環境省, 2016. 気候変動対策と経済・社会の関係に関する国際的な議論潮流に関して. 東京.
環境省, 2013a. COP19 に向けた温室効果ガス削減目標について. 東京.
環境省, 2013b. 京都メカニズムクレジット取得事業の概要について. 環境省 地球環境局市場メカニズム室資料.
環境省, 2008. カリフォルニア州地球温暖化対策法における排出量取引制度設計の検討.
稗貫峻一, 2015. 産業連関表を用いた再生可能エネルギー技術導入に伴う環境・社会経済分析. 横浜国立大学, 横浜.
経団連, 2014. 環境自主行動計画〔温暖化対策編〕—2013 年度フォローアップ調査結果（2012 年度実績）— ＜個別業種版＞2014. 東京.
経団連, 2012. エネルギー政策の再構築を求める. 東京.
経済産業省, 2018a. エネルギー基本計画（第5次）. 経済産業省資源エネルギー庁, 東京.
経済産業省, 2018b. これまでの議論の整理について. 東京.
経済産業省, 2016. 平成２７年度産業経済研究委託事業労働移動の実態等に関する調査. 経済産業省経済産業政策局 産業人材政策室,東京.
経済産業省, 2015. 長期エネルギー需給見通し. 東京.
経済産業省, 2014. エネルギー基本計画（第4次）. エネルギー基本計画.
経済産業省, 2011. 国内クレジット制度について（国内排出削減量認証制度）. 東京.
経済産業省, 2010. エネルギー基本計画（第3次）. 経済産業省, 東京.
経済産業省, 2007. エネルギー基本計画（第2次）. 経済産業省資源, 東京.
経済産業省, 2003. エネルギー基本計画（第1次）. 経済産業省、東京.
総務省, 2015. 平成27年国勢調査 [WWW Document]. URL https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/gaiyou.html (accessed 10.1.18).
興梠克久, 川﨑章惠, 2016. 「緑の雇用」事業の特徴と課題. 森林科学 78, 5–12.
興梠克久, 田村早苗, 中川秀一, 佐々木太郎, 2006. 「緑の雇用担い手育成対策事業」の成果に関する研究-「緑の研修生」アンケートの結果をもとに-. 林業経済 59, 1–15.
荻野登, 奥田英二, 2017. 企業の転勤の実態に関する調査（No. 174), JILPT 調査シリーズ. 東京.
藤本雅彦, 2016. 地域雇用政策のパラダイムシフト. 甲南経営研究 57, 1–22.
藤波匠, 2014. オイルショックの教訓を生かし、節電をわが国の成長のバネに‐産業構造の転換と民生部門の節電投資が鍵‐. JRIレビュー 9, 14–34.
西原純, 齋藤寛, 2002. 産業のリストラクチャリング期における炭鉱閉山と三階層炭鉱労働者の帰趨--長崎県三菱高島炭鉱の事例. 人文地理 / 人文地理学会 54, 109–130.
西尾健一郎, 向井登志広, 永井雄宇, 大藤健太, 2018. 経済成長と環境負荷のデカップリングの解釈をめぐる課題. 電力経済研究 65, 45–54.
資源エネルギー庁, 2019. 「CO2排出量」を考える上でおさえておきたい2つの視点. 東京.
資源エネルギー庁, 2018. 平成２８年度（２０１６年度）におけるエネルギー需給実績（確報）. 東京.
資源エネルギー庁, 2007. 平成18年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2007). 東京.

通商産業省資源エネルギー庁, 1997. エネルギー・未来からの警鐘-21世紀に向けて我々は何を選択するべきか-. 通商産業調査会出版部.

酒井広平, 小坂尚史, 楊川翠, 2014. 附属書I国の京都議定書（第一約束期間）の達成状況. 地球環境研究センターニュース 25.

関西電力, 2018. 関西エリアの需給実績の公表について [WWW Document]. URL https://www.kepco.co.jp/energy_supply/supply/denkiyoho/area_jisseki.html%0A (accessed 8.1.18).

関西電力, 2016. 平成28年度有価証券報告書. 大坂.

阿部正浩, 2016. 一事例から見た再就職支援と労働移動支援助成金の課題. 日本労働研究雑誌 58, 17–26.

電事連, 2012. 「革新的エネルギー・環境戦略」について. 東京.

首相官邸, 2015. 日本の約束草案. 東京.

首相官邸, 2014. 京都議定書目標達成計画の進捗状況. 地球温暖化対策推進本部, 東京.

首相官邸, 2009a. 温室効果ガス排出量の中期目標の選択肢. 東京.

首相官邸, 2009b. 温室効果ガス排出量の中期目標の選択肢（別紙５　各選択肢ごとの姿）. 東京.

首相官邸, 2008. 京都議定書目標達成計画. 東京.

黒崎美穂, 2019. 脱炭素社会に向けたエネルギー転換-再生可能エネルギーの革新的推進-. Bloomberg NEF, 東京.