

環境負荷を考慮した発電方法の検討¹

火力発電所の効率化と再生可能エネルギーの比較

中央大学 横山研究会 環境分科会

加藤未優 神崎芹奈 倉本省吾 深野博之

2014年11月

¹ 本稿は、2014年12月13日、12月14日に開催される、ISFJ 日本政策学生会議「政策フォーラム 2014」のために作成したものである。本稿の作成にあたっては、中央大学横山彰教授を始め、多くの方々から有益且つ熱心なコメントを頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。しかしながら、本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要約

本研究では、火力発電所の高効率化による二酸化炭素排出量の削減が、再生可能エネルギーによるものと比べてコスト面で優位であることを明らかにした。また、その結果から現在再生可能エネルギーに多く割り当てられているエネルギー関連予算を、火力発電所の高効率化にも配分すべきであることを主張する。

東日本大震災に伴う原子力発電所の事故により、電源構成は大きな変化を強いられることとなった。その結果、総出力において、以前に原子力発電所が占めていた約3割の発電電力量を事実上火力発電が代替し、現在では発電電力量の8割を占めている。火力発電所への依存は、二酸化炭素排出量の増加の一因にもなり得る。私達はここに問題意識を感じ、どのような方法での解決が最も望ましいものであるかを明らかにした。

政府の動向によれば、原子力発電の再稼働は近い将来、実現する可能性がある。しかし、震災以前の発電量まで稼働される見込みはない。従って、本研究では、電気エネルギー部門における二酸化炭素排出量削減のために火力発電所の高効率化、再生可能エネルギーの促進、どちらの手段に多く予算を配分すべきであるのかを試算した。

本研究では、東京電力の火力発電所を、現在最も熱効率が良いとされている「MACC II (More Advanced Combined Cycle II)」に替えた場合の建設費用及び維持管理費用、削減可能な二酸化炭素量を算出した。さらに、同じ量の二酸化炭素を再生可能エネルギーで削減した際にかかる建設費用、維持管理費用を試算し、政府の電気エネルギー予算の配分について言及する。

本研究の試算によれば、東京電力の火力発電所を全て MACC II に建て替えた場合のコストは年間約 1 兆 5722 億円であり、この結果年間約 2817 万 t の二酸化炭素を削減することが可能であった。また、この値の二酸化炭素を再生可能エネルギーの普及拡大により削減した場合では年間 3 兆 2895 億円であった。したがって、コスト面で火力発電所の高効率化は優位であり、政府は本研究の結果を考慮し火力発電所の高効率化にも予算を当てるべきである。

キーワード：火力発電、再生可能エネルギー、二酸化炭素

目次

はじめに

第 1 章 問題意識

第 2 章 現状把握

第 1 節 現行政策

第 2 節 考えられる削減方法

第 3 節 予算割り当てと今後の動向

第 3 章 先行研究と本論文の独自性

第 1 節 先行研究

第 2 節 本論文の独自性

第 4 章 現状分析

第 5 章 政策提言

第 1 節 政策提言

第 2 節 提言に関する議論

第 3 節 本論文の限界

先行研究・参考文献・データ出典

はじめに

東日本大震災に伴う原子力発電所の事故後、日本のエネルギーの体制は、大きく変化を強いられることとなった。震災前に原子力発電が占めていたおよそ 3 割の発電量を火力発電が代替するような形となっており、それと同時に二酸化炭素排出に関する問題も発生していることから、電気エネルギー部門において環境への負荷を十分に考慮する必要がある。

火力発電への 88.3%という高い依存度や、それに伴う二酸化炭素の排出は、日本のみならず国際的課題にもなっていることから、解決に向けた積極的な努力がされるべきであると私たちは考える。その中で、二酸化炭素排出量の少ない原子力発電を再稼働させ、震災前の電源構成を目指すことも、発電における二酸化炭素排出量を削減する手段として考えられる。しかし、平成 26 年度の「エネルギー基本計画」で再稼働が示唆されている一方で、福島第一原子力発電所周辺の地域では未だに一般の人が立ち入ることができない地域が存在していることや、原子力発電所を再稼働することに反対する声も強いなど、安全性や倫理の点で対立が起きていることを考えると、環境負荷を低減するための発電手段として検討するには問題があると考えられる。

よって本研究では、現在最も多くの発電電力量を誇っている火力発電を効率化させることと、発電によって排出される二酸化炭素が圧倒的に少ない再生可能エネルギーを比較する。また、環境の観点から発電方法として比較検討するためには、主に発電電力量、発電コスト、二酸化炭素排出量の 3 つを比較しなければならない。ゆえに、発電電力量は変わらず、同量の二酸化炭素排出量を削減するときに、火力発電所の効率化か再生可能エネルギーの普及拡大のどちらのコストが安いのかを比較して考察する。

第 1 章では、日本の電気エネルギーを取り巻く現状を把握しつつ、二酸化炭素排出量の多い火力発電による発電電力量が増加していることから、火力発電の二酸化炭素排出量を削減するべきではないかと問題を提起する。

第 2 章では、火力発電所の二酸化炭素排出に対する政策、削減の手段の、予算の割り当てについての現状を把握する。

第 3 章では、火力発電所の高効率化と再生可能エネルギーの拡大を比較するために必要となる、建設費用や維持管理費を明らかにしている先行研究について述べる。また、それらの研究では行われていない、火力発電の高効率化を東京電力の火力発電所で行ったときにかかる費用の試算や、環境負荷の低減を中心とした発電コストの比較を本研究で行うことを独自性として述べる。

第 4 章では、まず先行研究のデータを利用し、東京電力の火力発電所がすべて MACC II による発電に変わったときのコスト、二酸化炭素削減量を試算する。さらに先行研究による再生可能エネルギーの導入量や発電コストの予測を利用し、その量の二酸化炭素削減を達成するために必要な再生可能エネルギーの発電量、そしてそれを発電するための設備のコストを試算、その上に再生可能エネルギーでまかなえない分の電力量を担う高効率化されていない火力発電の費用を加算する。そして、最終的に算出された火力発電所の高効率化によってかかる費用と再生可能エネルギーによる発電の費用を比較する。

第 5 章では、火力発電所の効率化に対してより多くの予算を投じることを政策提言として主張する。また、この政策に伴う再生可能エネルギー関連主体に関する議論、低いエネルギー自給

率への議論についても言及し、最後に分析に利用したデータなどに伴う本研究の限界を述べて閉じる。

第1章 問題意識

2011年に発生した東日本大震災がもたらした影響は様々な方面に渡るものであり、日本に大きな爪痕とあらゆる課題を残した。その中でも特に、福島第一原子力発電所の事故は日本社会のあらゆる面で大きなインパクトを与え、今も、そしてこれからも日本の大きな課題の一つであると考えられる。

エネルギー政策という視点から見ると、福島第一原子力発電所の事故は日本のエネルギー問題を考えるうえで考慮に入れるべき重要な項目になった。事故以降、日本の電気エネルギーを取り巻く状況は大きく変わった。発電量の大部分を占めていた原子力発電は2014年8月現在、全く行われていない。一方で事故前と比べると火力発電での発電量が増加している。

私たちはこの状況を環境的側面から考える。各種電源別の二酸化炭素の排出量をみると、火力発電に伴う二酸化炭素排出量は原子力をはじめとするその他の発電方法に比べ圧倒的に多い。(図1) 石炭火力発電の二酸化炭素排出量は $943\text{g-CO}_2/\text{kWh}$ であるのに対し、太陽光発電の二酸化炭素排出量は $38\text{g-CO}_2/\text{kWh}$ と、圧倒的に石炭火力発電の二酸化炭素排出量の方が多い。これはもちろん再生可能エネルギーには基本的に燃料燃焼に伴う二酸化炭素が排出されず、設備の運営にのみ二酸化炭素が排出されるからである。

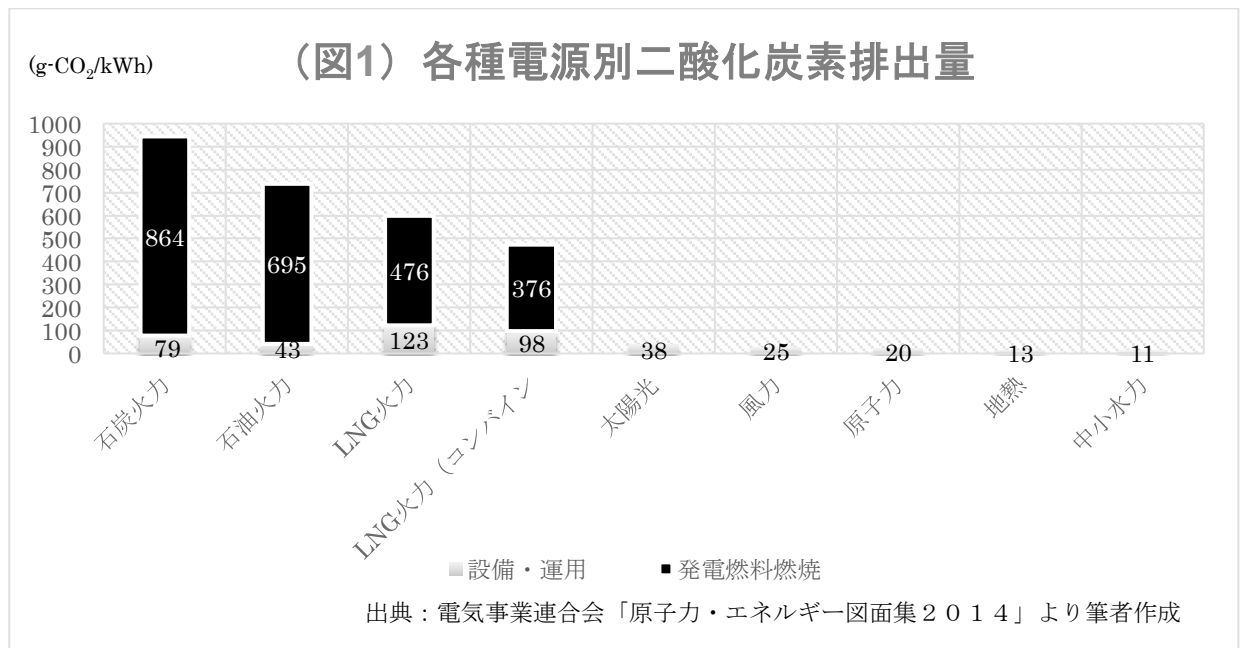
電源別発電電力量の構成比を見てみると、2011年度から原子力発電の割合が急激に下がり、他方で石炭火力をはじめとする火力発電での発電量が増えている。つまり福島第一原子力発電所の事故以降、原子力発電が供給していた発電量を、事実上火力発電が代替しているような状況であり、それによって2013年の電源別発電量を占める火力発電の割合は過去最高となる88.3%にのぼった。(図2) 発電における二酸化炭素の排出量を見てみると、2007年以降下降傾向にあったものの、2009年に再び上昇、2010年から急激に上昇し続け、2012年は、1年間で排出した二酸化炭素の約38%を占めることとなった。同時に発電量における火力発電が占める割合を見ると、2007年以降下降しているものの、2009年から上昇し、2011年に以降更なる上昇をしているのである。(図3)

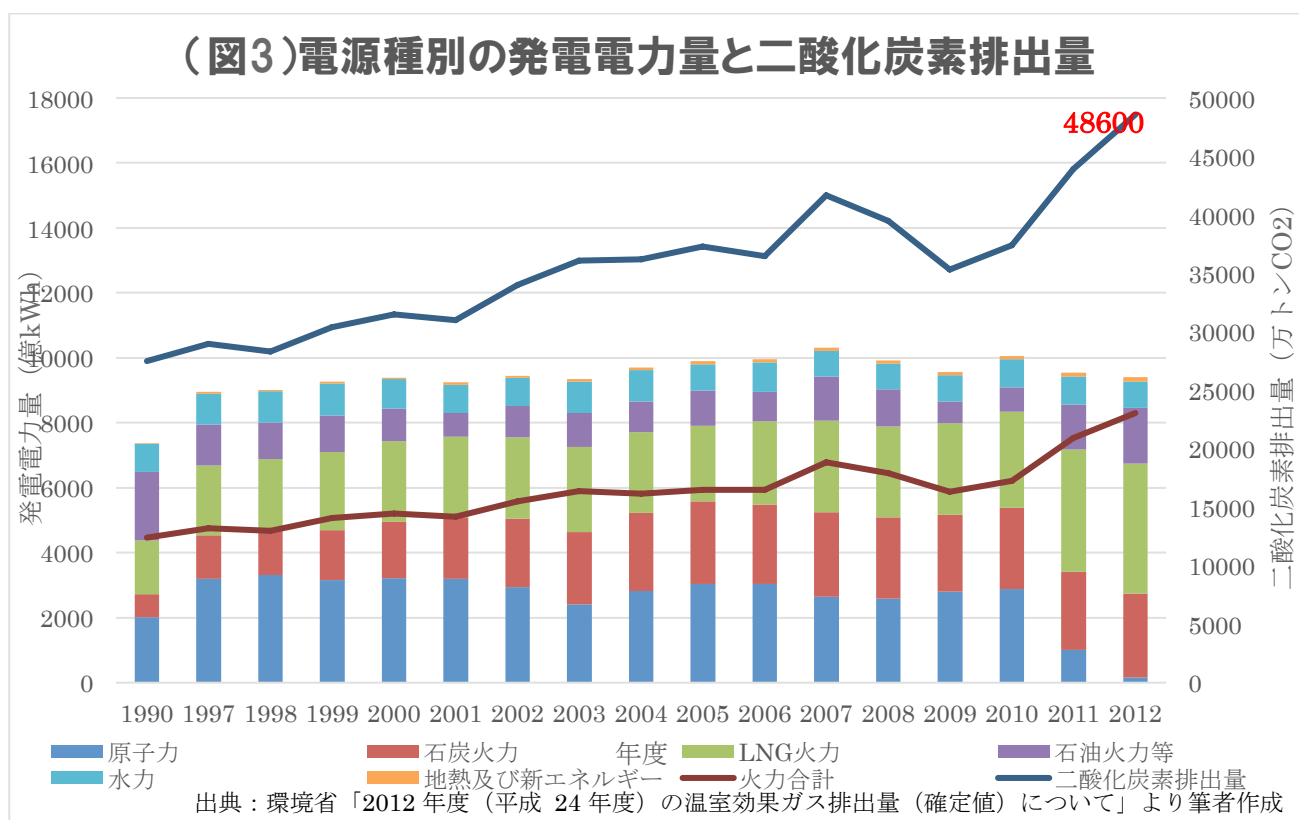
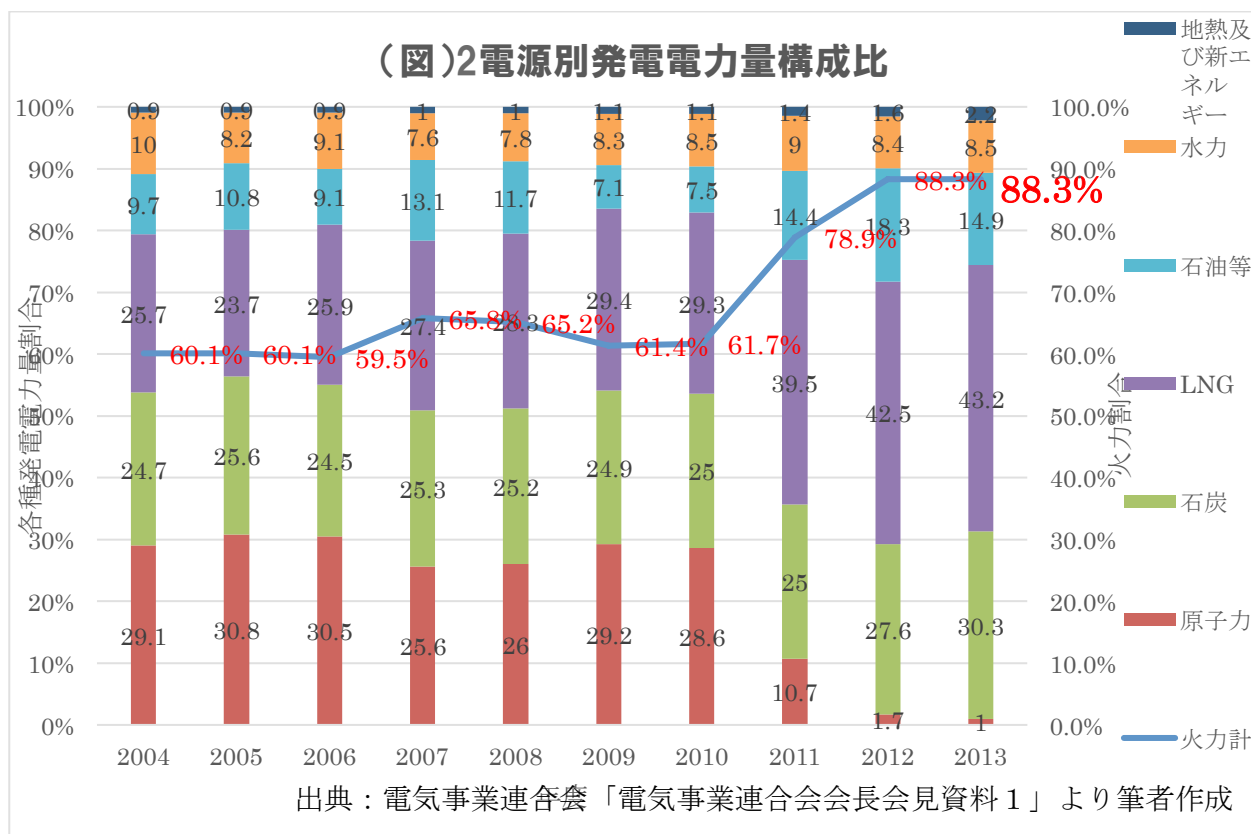
以上のことをまとめると日本全体が1年で排出する二酸化炭素の約38%を占める発電という分野において、あらゆる選択肢の中で最も二酸化炭素排出量が多い火力発電が88.3%という高い割合で利用されているのが現状である。つまりこれは、今日日本の環境問題全体を考えても早急に解決しなければならない問題であると私たちは考える。

一方で環境負荷の少ない再生可能エネルギーを用いた発電が東日本大震災以降注目されている。固定価格買取制度が始まり、今後再生可能エネルギーの普及が期待されてはいるものの、今のところ火力に取って代わるほどの発電量を得ることができないのが現状である。安定供給についても疑問視されており、今後普及されていったとしても現在の火力発電のように日本の電力需要の大きな部分を支えられるかは現時点では不透明なままである。また、エネルギー植民地問題やNIMBY(Not In My Back Yard)問題も福島第一原子力発電所の事故が顕在化させた。東京をはじめとして原子力発電に反対するデモが何度も行われており、また、福島に居住していた住民の中には今なお自宅へ帰ることができないでいる人もいる。廃棄物の最終処分場の議論についても決着はついていない。つまり、原子力発電所を新しく建設することはおろか、既存の原子力発電所を再び稼働させることが容易ではない社会が出来上がっており、不確定な要素があまりにも多いのである。一方で火力発

電については平成 26 年度のエネルギー基本計画の中で原子力とともにコストが低く、安定供給ができるベースロード電源として位置づけられていることに加え、今現在も実際に高い割合で利用されているという状況であり、今後とも日本の電力需要の大きな部分を支えていくことが予想される。

こうした状況を踏まえたうえで日本のエネルギー政策を検討するときに、まず原子力を発電の選択肢の一つとして数えるべきではないと私たちは考えた。そして、現在ベースロード電源として火力発電が実際に日本の電気エネルギーを支えている。ゆえに、火力発電がこのまま高い割合で電力供給を支え続けていかなければならないことを前提として、その環境負荷を如何にして低減させるかということもエネルギー政策の中で検討すべき問題なのではないだろうか考える。





第2章 現状把握

本章では、問題意識でも述べた「火力発電所の排出する二酸化炭素」について、現状把握を行う。

第1節 現行の政策

本節では、火力発電の排出する二酸化炭素について、現在の政府が行う政策、及びその政策評価について論じる。東日本大震災以前の日本において、火力発電所の排出する二酸化炭素に対して、法的規制は存在しなかった（特定有害物質の排出や公害防止などの法律は適用されるが、ここでは地球温暖化防止をはじめとした環境保護を目的とする二酸化炭素の排出制限のうち、火力発電所に科せられるものを意味する）。たしかに「火力発電所で新技術が開発、発電効率が上がり二酸化炭素排出量削減」などという記事や広告を目にすることがあるが、あくまで企業や研究者内での努力結果に過ぎないものとされていた。つまり、火力発電所の排出する二酸化炭素について、環境規制は行われてこなかったということになる。発電フローで二酸化炭素を排出しない原子力発電による貢献が、火力発電所の排出する二酸化炭素の環境負荷を隠していたということである。

しかし、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故後、火力発電所への依存が顕著になり、それに伴う二酸化炭素の削減が求められるようになった。また、少ない施設数で大幅な削減量が見込めることから、アメリカ政府は火力発電所限定で排出権取引を導入した。この結果アメリカでは、多くの二酸化炭素を削減することに成功しており、日本でも注目が高まっている。

今年 2014 年の 7 月には、環境省が電力業界に「火力発電を新設したら古い設備は廃止に」するように要求した。現在九州を拠点にする西部ガスは、大規模な火力発電所の建設計画を北九州市で進めている。この計画に対して、環境省は、古い発電設備を代替する形で進めるように求めた。これは、火力発電に伴う二酸化炭素排出量を抑制するためと公表されており、加えて環境省は経済産業省に対して、電力業界が二酸化炭素排出量の削減目標を自主的に策定して業界全体で取り組むと同時に、運転開始から長期間を経過した火力発電設備を最新鋭の設備に早期に代替するように要求した。1 カ所の火力発電設備の環境影響評価にとどまらない内容まで踏み込んでいて、この点も注目すべき指摘であるとされている。

つまり、これまで特に規制が設けられてこなかった火力発電所に、環境規制が設けられたと言うことである。

今後、環境省からの火力発電への環境規制は、具体化されていくと考えられるがいまだ明瞭な対策は提示されていない。また、電力自由化に伴い、火力発電所を有する企業に

は、経営においてある程度の方向転換が考えられる。従って、火力発電所の排出する二酸化炭素に対して、政策を考察することは有意義であると考えられる。

第2節 考えられる削減方法

本節では、火力発電所の排出する二酸化炭素を削減するために考えられる方法を述べ、それぞれの現状を把握、特徴を考察する。

2014 年 10 月現在の日本において、火力発電所の排出する二酸化炭素量を削減するには、主に 3 つの方法が考えられる。（他の手段も考えられるが、政府の予算や先行研究などを参考に以下 3 つの手段とした。また、並列して政策を行うことも考えられ、特定の政策のみを行うべきであるという主張ではない。）

- ① 原子力発電所を再稼働し、火力発電所への依存から脱却する
- ② 再生可能エネルギーなどの「発電過程で二酸化炭素を排出しない」エネルギーを促進させ、大幅導入を行う。その結果、出力の割合を高めることで火力発電への依存から脱却する。
- ③ 火力発電へ依存しつつ、二酸化炭素の排出を抑えた高効率の火力発電設備へとシフトさせる

①では、原子力発電の再稼働を前提とし、発電量及び割合を以前の値まで戻すことを意味する。これにより東日本大震災以前の割合にまで火力発電所の出力を引き戻すことができ、二酸化炭素の排出量も以前の値にまで抑えることが可能である。

②では、再生可能エネルギーなどを促進させ出力を高める。それによって火力発電の発電量に代替するような形で割合を高めることを意味する。

③では、現在の火力発電に依存した状態はそのままに、火力発電所の発電小売効率や排出二酸化炭素がこれまでより少ない発電システムを導入することで、二酸化炭素排出量を削減する方法を意味する。

実際にそうした発電システムは既に存在している。「MACCⅡ」とは現在最も環境負荷が少なく、且つこれまでで最も発電効率の良い火力発電システムである。詳細は第 3 章に譲るが、こうした新火力発電所の導入も、二酸化炭素排出量の削減方法となる。

第3節 予算割当と今後の動向

本節では、2 節で述べた考えられる削減方法に対して現在の予算割当や政府の意向を考察し、今後の動向を推察する。また、それに対する評価を行う。

現在、原子力発電再稼働に関する議論は絶えず行われている。平成 26 年の「エネルギー基本計画」では、原子力発電所の再稼働を行うことが示唆されている。また、原子力委員会には平成 27 年予算案にして 182 億円もの予算が割り当てられている。従って、原子力発電の再稼働は必至であると考えられ、それに伴う総出力に占める火力発電の割合低下、二酸化炭素排出量の削減が見込める。

しかし、東日本大震災以前の値にまで原子力が再稼働されることは難しいと考えられる。東日本大震災以前の総出力に占める原子力発電の割合は約3割であり、この値に戻すことはしないという政府の方針が発表されている。2014年10月24日の読売新聞オンラインに以下の記事が掲載されている。

宮沢経済産業相は23日、読売新聞などのインタビューに応じ、将来の国内の全発電量に占める原子力発電の割合について「3割を目指すことには絶対にならない」と述べ、3割を下回る水準にする考えを示した。政府は「原発への依存度を可能な限り低減させる」としているが、閣僚が具体的な水準を示したのは初めて。出典：2014年10月24日読売新聞 <http://www.yomiuri.co.jp/politics/20141023-OYT1T50105.html>（最終アクセス日 2014年11月2日）

以上から、原子力発電の再稼働は今後考えられるが、以前の値にまで引き戻されることはなく、①の方法のみでは二酸化炭素の削減を、東日本大震災以前の値にまで戻すことは難しいと考えられる。

再生可能エネルギーには、大幅に予算が当てられている。これについては東日本大震災以前からのことであるが、平成26年度政府予算では、「再生可能エネルギーの最大限の導入」を名目に総額1364億円（電力系統出力変動対応技術研究開発事業40億円、地熱資源開発調査事業費補助金65億円、再生可能エネルギー熱利用加速化支援対策費補助金40億円など）の予算が割り当てられている。

また、「平成26年エネルギー基本計画」では、再生可能エネルギーについて、今後拡大を見込む分野であるとし、今後も再生可能エネルギーは促進されていくと考えられる。

最後に、火力発電所の立て替え、修繕などで二酸化炭素を削減するという方法であるが、これにはほとんど対策がなされていない。第1節でも述べたが、環境省による要請のみであり、予算が充てられているということはなさそうである。確かに、26年度政府予算では「高効率火力発電の開発・活用加速化」の名目で249億円の予算が当てられている。しかしこの予算は、火力発電所を新設し二酸化炭素を削減する目的ではなく、あくまで新技術の開発や実験に用いられているのである。

東京電力は現在、火力発電での他社との「包括提携」で、中部電力などに、千葉県の古くなった3カ所の火力発電所の建て替えなどを提案していることが分かった。東京電力の提案は、東京湾岸にある千葉県の五井、姉崎（ともに市原市）、袖ケ浦（袖ケ浦市）の3カ所を軸にした老朽火力発電所の建て替えである。3カ所の発電設備の容量の合計は約900万kWであり、東京電力全体の火力発電容量の約2割になる。いずれも運転開始から35年たっており、発電の効率が悪くなり、環境に負荷をかけていた。朝日新聞では、この提携理由を東京電力の立て替え資金不足と報じており、このことから政府が立て替えの援助や予算配分などを行っていないことが見て取れる。

以上のように、手段を3つとした場合、今後の政府は①と②の手段を用いて、原子力を再稼働し、少ない割合で運転しつつ、再生可能エネルギーを促進することで、現在の火力発電への依存を改善していく動向である。しかし、それはよりお金をかけず確実に二酸化炭素を削減する方法になるのであろうか。本研究では、③の火力発電所を高効率化した場合の試算を行い、それを明らかにする。

第3章 先行研究と本論文の 独自性

第1節 先行研究

火力発電所の高効率化に対し、電気エネルギー部門における二酸化炭素排出量を削減する手段として、再生可能エネルギーでの発電という選択肢がある。本研究では、既存の火力発電所の発電電力量を MACCⅡによる火力発電への変更することで削減される二酸化炭素の量と再生可能エネルギーの普及によって削減される二酸化炭素の量を比較する。また、その削減を達成するためにかかる両手段の費用を計算し、比較することで、どちらの手段が費用に対し大きな二酸化炭素排出量の削減という効果を出すことができるのかを明らかにする。

本研究の目的を達成するためには、現状で最も熱効率の良い火力発電所を建設するためにかかる費用および設備運営に係る費用、再生可能エネルギーでそれと同量の二酸化炭素を削減する発電設備を作るための費用およびその設備運営に係る費用を算出しなければならない。これらのデータは電力会社によって正式に公表されているものではなく、東京電力に対するヒアリングの回答も、公表することはできないというものであった。また、私たちが把握しうるデータから費用等の妥当な算出をすることは極めて難しい。よって、本研究では以下の調査・研究によって明らかにされたデータを参考に試算を行う。

まず、最も熱効率の良い火力発電所を建設するための費用、及びその設備運営に係る費用については、東京都環境局(2012)「天然ガス発電所設置技術検討調査結果報告書」を用いて検討する。

①東京都環境局(2012)「天然ガス発電所設置技術検討調査結果報告書」

この調査は、東日本大震災の影響により福島に立地する原子力発電所から送電されていた約 900 万 kW の電力を東京都が失い、都内の一部で計画停電が行われたことを受け、東京都内 5 箇所の発電所検討対象地の発電所設置可能性を検討したものである。

この調査で想定されている発電所は主に 100 万 kW 級のガスタービンコンバインドサイクル発電のものである。その主機の性能は、高効率の発電所を実現するという趣旨のもと、単機出力、プラント熱効率が優れている 1600℃級の MACCⅡ方式を基本仕様としている。また、発電効率については現時点での最高値である 61.0%としている。

建設及び維持管理に関するコストは、建設が可能と判断された 3 検討対象地(中央防波堤外側埋立地、砂町水再生センター用地①、葛西水再生センター用地)を対象に試算されている。発電所の建設費用は、設備本体や建屋などの発電設備費、土壌汚染調査費や地盤改良費などの基盤整備費、インフラ整備にかかる接続費用の 3 つに大きく分けられる。発電所の維持管理費は、人件費、燃料費、修繕費、上下水道費などのユーティリティ費、道路等占有料費の 4 つに分けられており、3 検討対象地ごと算出されている。

試算の結果、中央防波堤外側埋立地の発電所建設費用は 1599 億 6200 万円、維持管理費用は年間 345 億 4300 万円、砂町再生センター用地①の発電所建設費用は 1256 億 6100 万円、維持管理費は年間 350 億 3500 万円、そして葛西水再生センター用地の発電所建設費用は 1250 億 9200 万円、維持管理費用が年間 350 億 3600 万円であることが明らかにされている。

火力発電所の建設費用、維持管理費用については、私たちはこの調査によって明らかにされたデータを利用して試算を行う。なぜなら、この調査で想定されている火力発電所では現時点で最も高い約 61%という熱効率の性能を持つ 1600℃級の MACCⅡを利用することを前提としているからである。2014 年 10 月現在で稼働している火力発電所では関西電力姫路第二発電所の新 1 号機から新 5 号機までが MACCⅡによる発電を行っており、新 6 号機についても今後運転を始める予定である。東京電力でも川崎火力発電所の 2 号系列第 2 軸、3 軸に MACCⅡが導入される予定である²。今後の技術革新によりさらに熱効率の高い設備が導入される可能性ももちろん考えられるが、現時点で実用化されている中で最も熱効率の高い設備を想定して試算を行うことが最も現実に即していると私たちは考えたため、MACCⅡを活用した発電設備を想定しているこの調査の結果を参考にする。

次に再生可能エネルギーに関しては 2 つの研究を参考にする。一口に再生可能エネルギーによる発電といっても、太陽光発電、水力発電、風力発電等、多様な発電方法がある。また、それぞれの発電方法が同じ電力量の発電をしても、それにかかったコストはこれもまた多様である。つまり、将来的にどの電源がどれだけの量を発電するかによって発電に係る費用が変わってくる。そのためにまず、どれだけの量を発電するかという点について将来的な予測を定量的に検討している調査が必要となる。

②低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及拡大方策等検討会(2013)「低炭素社会づくりのための エネルギーの低炭素化に向けた提言 (2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー 普及可能性検証検討)」

この研究では、原子力発電への依存の低減という方針のもと、平時には地球温暖化対策を進めつつ純国産エネルギーとして利用でき、緊急時にも最低限のエネルギーを確保するために、防災、エネルギーセキュリティの観点から戦略的な再生可能エネルギーの普及を推進していくことが必要であるとし、中長期的な再生可能エネルギーの普及の見通しについて定量的に検討しているほか、普及の実現に向けた方策について取りまとめている。

再生可能エネルギーの導入見込み量の推計は、2020 年、2030 年、2050 年の 3 つの時点で行っている。また、推計には低位、中位、高位、の 3 つのケースが想定されている。導入される地点の自然条件によって発電コストが大きく変わりうる再生可能エネルギー（中小水力、地熱、バイオマス、風力）については、コスト別の導入ポテンシャルを利用した推計を実施している。太陽光発電は、導入される地点の自然条件が発電コストに与える影響は他の再生可能エネルギーに比べて小さいことから、導入ポテンシャルをもとに導入量を推計するのではなく、設置者の投資意向に着目した推計を行っている。

具体的な導入見込み量については、まず一次エネルギー供給量(原油換算)で見ると直近年と比較して太陽光発電、風力発電、地熱発電は 2010 年、大規模水力、中小水力は 2009 年、太陽熱利用は 2007 年、バイオマス発電・熱利用は 2005 年)と比較して、2020 は 1.4~1.8 倍、2030 年派約 2~3 倍、2050 億円は約 4~7 倍と推計されている。直近年の導入が 5%であるところ、2050 年の一次エネルギー国内供給に対して 36~61%となる見込みである。

² 東京電力「2014 年度東京電力グループアクション・プラン」

<http://www.tepco.co.jp/ir/tool/setumei/pdf/140404-1.pdf>(最終閲覧日 2014 年 10 月 29 日)

設備容量で見ると、直近年と比較して 2020 年は 2.0~2.5 倍、2030 年は約 3~5 倍、2050 年は約 9~10 倍と推計されている。一次エネルギー供給量に対して倍率が高くなっているのは、太陽光発電の稼働率が比較的低いことの影響である。

発電電力量で見た場合の増加傾向は一次エネルギー供給量と同じである。直近年の発電電力量が 1,009 億 kWh であったのに対し、2020 年は 1,442~1,817 億 kWh、2030 年は 2,025~3,171 億 kWh、2050 年は 4,456~6,908 億 kWh となる見込みである。

2020 年、2030 年、2050 年までにどの電源がどれだけ普及しているかということ、一次エネルギー供給量、設備容量、発電電力量の 3 つの指標で明らかにしているこの研究を用いて、将来の再生可能エネルギーの中の電源構成を導き、それによって削減される二酸化炭素の量とそれに係る費用を計算していく。

次に、再生可能エネルギーのそれぞれの発電方法で前述の導入見込み量だけ発電したときにどれだけのコストがかかるかを試算するために、再生可能エネルギーの電源ごとの建設費用や設備の維持費用を明らかにしたデータが必要となる。また、再生可能エネルギーの建設費用や設備維持費用については将来的に大きく変動することが考えられることに加え、再生可能エネルギーの導入見込みについても 2020 年から 2050 年という長いスパンで考えられているため、建設費用等のコストについても将来的な価格の変動が考慮されたデータを利用する。

③エネルギー・環境会議コスト等検証委員会(2011)「コスト等検証委員会報告書」

前述した前提に合致したデータを示すものとして、この報告書を利用する。この報告書では、再生可能エネルギーのみならず原子力や火力を含めた主な電源の発電コストが明らかにされている。この検証の主な目的のひとつに原子力発電のコストの徹底検証が挙げられている。福島第一原発事故を踏まえ、これまで低廉であるとされてきた原子力による発電のコストについて、勘案されていなかったコストがあることを考慮に入れ、徹底的に検証されている。しかしそれだけでなく、検証の目的の中には、原子力発電への依存度低減のシナリオを検討するに当たって、現在まだ主要電源とはなっていない再生可能エネルギーなどの電源の将来の可能性を検討することが含まれている。そのため、現在の建設費用や設備維持費だけでなく、将来のそれらの費用の変化が考慮されたうえでの発電コストがこの検証によって明らかにされている。また、これによって明らかにされた発電コストのデータは、原発への依存度低減のシナリオを国民的議論の中で検討するための客観的かつ透明性の高いデータとして提示することも目的のひとつとしている。

検証の結果を見ると、原子力はすべての電源の中でも発電コストは安価であるが、事故による損害額がいまだ不確定なため、下限が 8.9 円/kWh で、損害額が増えるごとに上昇していくとされている。一方火力については、石炭火力がもっとも安価で 9.5~10.3 円/kWh となっており、次に LNG 火力が 10.7~10.9 円/kWh、石油火力がもっとも高価で 36.0~38.9 円/kWh となっている。再生可能エネルギーは、住宅用太陽光の場合 33.4~38.3 円/kWh と比較的高い水準だが、システム価格が低減しつつあり、2030 年には量産効果などにより大幅な価格低下が期待され、9.9~20.0 円/kWh となる可能性がある。これが実現すれば石油火力よりもコスト面で優位となり、ピーク時の需給の逼迫の改善に資する電源として期待できるとしている。

このデータから、現在の再生可能エネルギーの発電コスト、将来の再生可能エネルギーの発電コストの見込み、またそれらを試算するための、モデルプラントを利用した設備利用率や耐用年数などの各エネルギーの妥当な前提を知ることができる。つまりこのデータから、発電電力量に対して、それにかかる費用を算出することが可能となる。

第2節 本論文の独自性

第1節に記した3つの先行研究を参考に、私たちの研究では二酸化炭素削減量をベースに火力発電所の効率化と再生可能エネルギーの積極的な普及のどちらが安価で削減を行うことができるかを分析し、政策提言へつなげる。

先行研究の中で、熱効率の良い MACCⅡの火力発電所を建設した際のコストは算出されているものの、既存の火力発電所が一定量 MACCⅡによる火力発電に取って代わることによってかかるコスト、及び削減される二酸化炭素の量は試算されていない。しかし、第1章でも述べたとおり、原子力発電が一時的にでもなくなっている今の日本の電気エネルギー事情を考えれば、電源の選択を比較する際に発電コストとともに環境に対する負荷、二酸化炭素についても考えなくてはならないと私たちは考える。また、再生可能エネルギーについても二酸化炭素削減量をベースにしてコストを試算、および火力と比較しているものはない。そこで本研究では、東京電力が保有する火力発電所をすべて MACCⅡに変えた場合の建設費用および維持管理費用とそれによって削減される二酸化炭素排出量を試算し、同量の二酸化炭素を削減するための再生可能エネルギー発電にかかる建設費用及び維持管理費を試算、そしてその二つのコストを比較する。よって、発電の選択肢を発電コストだけでなく、環境に対する影響を中心とした比較をするものとして、私たちの研究には独自性があると考ええる。

第4章 現状分析

私たちは以下 6 つの試算を通して、火力発電所において同量の二酸化炭素を削減するためには火力発電所を高効率化する場合と、火力発電所を高効率化せず再生可能エネルギーを拡大する場合でどちらの費用対効果が大きいのかということを明らかにする。この目的を達成するために

①火力発電所を高効率化したときの費用

②火力発電所を高効率化したときに削減できる二酸化炭素を再生可能エネルギーで補ったときの費用

の二つの費用を算出し比較を行う。また、出力 kW 数を同一にするため②の再生可能エネルギーの費用に火力発電所を高効率化しなかった場合の費用も計上する。

分析の流れ

- I. 東京電力が保有している火力発電所をすべて MACCⅡに変えた場合の費用の試算
- II. 東京電力が保有している火力発電所をすべて MACCⅡに変えた場合の削減二酸化炭素の試算
- III. IIで削減可能な二酸化炭素量を達成するために既存の火力発電設備で必要な削減電力量の試算
- IV. IIIで必要な削減電力量を再生可能エネルギーにより代替する場合に必要な各再生可能エネルギーの発電量の試算
- V. IVを達成するために再生可能エネルギーの発電量を増加させるにあたって必要な費用の試算
- VI. 出力数を同一にするため、再生可能エネルギーを拡大させた場合の火力発電所の費用

今回私たちは、試算に必要な単機容量や熱効率がすべて公開されており、もっとも身近である東京電力の火力発電所を対象として試算を行った。なお、試算に用いた火力発電所の一覧とその単機容量と熱効率等は表 1 に示すとおりである。

表 1：東京電力火力発電所一覧

発電所名	最大出力 (kW)	ユニットNo.	設計熱効率 (%) (LHV)	単機容量 (kW)	kW h	使用燃料
千葉	2,880,000	1号系列	54.2	472400	3310579200	LNG
		1-1号 ~ 1-4号	54.2	967600	6780940800	
		2号系列	54.2	508000	3560064000	
		2-1号 ~ 2-4号	54.2	932000	6531456000	
五井	1,886,000	1号機	42.4	265,000	1857120000	LNG
		2号機	42.4	265,000	1857120000	
		3号機	42.4	265,000	1857120000	
		4号機	42.4	265,000	1857120000	
		5号機	42.2	350,000	2452800000	
		6号機	45.7	350,000	2452800000	
			45.7	126,000	883008000	
姉崎	3,600,000	1号機	42.7	600,000	2628000000	石油
		2号機	42.7	600,000	2628000000	
		3号機	42.7	600,000	2628000000	
		4号機	42.7	600,000	2628000000	
		5号機	43	600,000	2628000000	
		6号機	43	600,000	2628000000	
袖ヶ浦	3,600,000	1号機	43	600,000	4204800000	LNG
		2号機	43.5	1,000,000	7008000000	
		3号機	43.5	1,000,000	7008000000	
		4号機	43.5	1,000,000	7008000000	
富津	5,040,000	1号系列	47.2	365239	2559594912	LNG
		1-1号 ~ 1-7号	47.2	789761	5534645088	
		2号系列	47.2	365239	2559594912	
		2-1号 ~ 2-7号	47.2	789761	5534645088	
		3号系列	55.3	524000	3672192000	
		3-1号 ~ 3-4号	55.3	996000	6979968000	
		4号系列	58.6	513000	3595104000	
		4-1号 ~ 4-3号	58.6	1008000	7064064000	
横須賀	2,274,000	3号機	42.2	350,000	1533000000	石油
		4号機	42.2	350,000	1533000000	
		5号機	42.2	350,000	1533000000	
		6号機	42.2	350,000	1533000000	
		7号機	42.2	350,000	1533000000	
		8号機	42.2	350,000	1533000000	
		6/T1号	24.2	30,000	131400000	
		6/T2号	32.8	144,000	1009152000	
						都市ガス軽油
川崎	2,000,000	1号系列	58.6	501000	3511008000	LNG
		1-1号 ~ 1-3号	58.6	999000	7000992000	
		2号系列	58.6	167000	1170336000	
		2-1号	58.6	333000	2333664000	
横浜	3,325,000	5号機	41.6	175,000	766500000	石油
		6号機	42.2	350,000	1533000000	
		7号系列	54.1	500000	3504000000	LNG
		7-1号 ~ 7-4号	54.1	900000	6307200000	
		8号系列	54.1	500000	3504000000	
		8-1号 ~ 8-4号	54.1	900000	6307200000	
南横浜	1,150,000	1号機	42.4	350,000	2452800000	LNG
		2号機	42.4	350,000	2452800000	
		3号機	42.4	450,000	3153600000	
東扇島	2,000,000	1号機	44.6	1,000,000	7008000000	LNG
		2号機	44.7	1,000,000	7008000000	
鹿島	4,400,000	1号機	42.7	600,000	2628000000	石油
		2号機	42.7	600,000	2628000000	
		3号機	42.7	600,000	2628000000	
		4号機	42.7	600,000	2628000000	
		5号機	43.2	1,000,000	4380000000	
		6号機	43.2	1,000,000	4380000000	
大井	1,050,000	1号機	42.2	350,000	1533000000	石油
		2号機	42.2	350,000	1533000000	
		3号機	42.2	350,000	1533000000	
広野	4,400,000	1号機	43.1	600,000	2628000000	石油
		2号機	43.1	600,000	2628000000	
		3号機	44.3	1,000,000	4380000000	
		4号機	44.2	1,000,000	4380000000	
		5号機	45.2	600,000	4204800000	
		6号機	45.2	600,000	4204800000	石炭
品川	1,140,000	1号系列	55.3	399000	2796192000	都市ガス
		1-1号 ~ 1-3号	55.3	741000	5192928000	
常陸那珂	2,000,000	1号機	45.2	1,000,000	7008000000	石炭
		2号機	45.2	1,000,000	7008000000	
		平均設計熱効率 (%)	46.17		石炭 (kW h)	22,425,600,000
		合計単機容量 (kW)	41056000.0		ガス (kW h)	160840608000
					石油 (kW h)	652839000000
					合計 (kW h)	652839000000

(出典：東京電力「電力供給設備」に基づき筆者作成)

I. 東京電力が保有している火力発電所をすべて MACC II に変えた場合の費用の試算

MACC II の費用として試算の対象となったものは建設費と管理維持費である。まず、MACC II の建設費について試算を行う。先行研究で示した東京都環境局が発表しているデータを用いて、東京都の火力発電所をすべて MACC II に変えた時の建設費を算出した。東京都環境局では 3 つの場所に出力 100 万 kW の MACC II を建設することを想定して建設費を試算している。この 3 つの数字の平均値をとり、東京電力の火力発電所の出力 4100 万 kW³に合わせて建設費を計算したところ合計で約 5620 億円となることが分かった。(表 2)

表 2 : MACC II 建設費

(百万円)	中央防波堤 外側埋立地	砂町水再生 センター用地	葛西水再生 センター用地	平均値	東京電力の火力発電所を すべて MACC II に変える
発電設備費	100000	100000	100000	100000	4105600
基盤設備費	35711	16223	13932	21955.33333	901398.1653
接続費用	24251	9438	11160	14949.66667	613773.5147
				合計	5620771.68

(出典:東京都環境局 2012「天然ガス発電所設置技術検討調査報告書」に基づき筆者作成)

更に 1 年間にかかる費用を求めたいので、この 5620 億円を稼働年数で割り、1 年間にかかる建設費が求められる。MACC II の稼働年数は 40 年とされているため、

$$5620771.68 \div 40 = 140519.292$$

より 1 年間にかかる MACC II の建設費は約 1405 億円となる。

次に管理維持費の試算を行う。先ほどと同様に東京都環境局が発表しているデータを用いて、3 つの平均値を算出し、東京電力の火力発電所の出力 4100 万 kW⁴に合わせて建設費を計算したところ合計で約 1 兆 4316 億円となることが分かった。(表 3)この数字は 1 年間で必要とされている費用である。

表 3 : MACC II 管理維持費

(百万円)	中央防波堤 外側埋立地	砂町水再生 センター用地	葛西水再生 センター用地	平均値	東京電力の火力発電所を すべて MACC II に変える
人件費	205	205	205	205	8416.48
燃料費	31003	31003	31003	31003	1272859.168
修繕費	3000	3000	3000	3000	123168
ユーティリティ費	332	825	825	660.6666667	27124.33067
その他費用	3	2	3	2.666666667	109.4826667
				合計	1431677.461

(出典:東京都環境局 2012「天然ガス発電所設置技術検討調査報告書」に基づき筆者作成)

以上の計算を踏まえると、東京電力の火力発電所すべてを MACC II に変えたときに 1 年間に必要とされる費用は、1 年あたりの建設費用と維持管理費を合計し、

$$140519.292 + 1431677.461 = 1572196.753$$

約 1 兆 5722 億円となる。

³ 表 1 : 東京電力火力発電所一覧参照

⁴ 表 1 : 東京電力火力発電所一覧参照

II. 東京電力が保有している火力発電所をすべて MACC II に変えた場合の削減二酸化炭素の試算

東京電力の火力発電全体の平均熱効率が 1%上がると年間約 190 万 t の二酸化炭素を削減することができる⁵。そのため、MACC II の熱効率と現在の東京電力の火力発電所全体の平均熱効率の差を求め、190 万 t を乗じて削減二酸化炭素を試算する。

MACC II 熱効率は 61%⁶であり、現在の東京電力の火力発電全体の平均熱効率が 46.17%⁷のため、

$$(61 - 46.17) \times 190 \text{ 万 t} = 2817 \text{ 万 t}$$

より東京電力の火力発電所をすべて MACC II に変えることにより年間約 2817 万 t の二酸化炭素を削減することが可能になる。

III. II で削減可能な二酸化炭素量を達成するために既存の火力発電設備で必要な削減電力量の試算

火力発電所において同量の二酸化炭素を削減するためには火力発電所を高効率化する場合と、火力発電所を高効率化せず再生可能エネルギーを拡大する場合でどちらのコストパフォーマンスが良いのかということをはっきりとさせるために次は再生可能エネルギーについて試算を行う。まずは先ほど算出された 2817 万 t/年・CO₂ を削減するために再生可能エネルギーに転換しなければならない発電量を求める。火力発電には石炭・石油・ガスなどの種類があるが、二酸化炭素の排出量が最大である石炭火力と二番目の石油火力を試算の対象とした。

試算は

- ①東京電力で一年間に石炭と石油による火力発電で発電される発電量を求める
- ②①の発電量に伴って排出されている二酸化炭素の量を求める
- ③②で求めた二酸化炭素の量から 2817 万 t でどれくらいの発電量が必要なのかを求めるという手順で進めていく。

- ①東京電力で一年間に石炭と石油により発電される発電量⁸

東京電力の年間石炭発電量は、224.3 億 kWh

東京電力の年間石油発電量は、652.8 億 kWh

- ②石炭火力発電に伴って排出される二酸化炭素

石炭火力は 1kWh あたり 864g の二酸化炭素⁹を排出している。ゆえに 1 年間で石炭火力発電から排出される二酸化炭素の量は

$$\begin{aligned} 864\text{g} \times 224.3 \text{ 億 kWh} &= 1937 \text{ 億 g} - \text{CO}_2 \\ &= 1937 \text{ 万 t-CO}_2 \end{aligned}$$

1937 万 t であることがわかった。

石炭火力から出る二酸化炭素排出量では 2817 万 t に満たないため、残りの 880 万 t 分を石油火力から計算する。

⁵ 東京都環境局「天然ガス発電所設置技術検討調査報告書」

⁶ 東京電力(2010)「サステナビリティレポート 2010」

⁷ 表 1：東京電力火力発電所一覧参照

⁸ 表 1：東京電力火力発電所一覧参照

⁹ 電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2014」

石油火力は 1kWh あたり 695g の二酸化炭素¹⁰を排出している。ゆえに 1 年間で石油火力発電から排出される二酸化炭素の量は

$$695\text{g} \times 652.8 \text{ 億 kWh} = 4537 \text{ 億 g} - \text{CO}_2 \\ = 4537 \text{ 万 t} \cdot \text{CO}_2$$

③石炭火力発電で二酸化炭素を 1937 万 t 削減するためには、224.3 億 kWh 全ての発電量を再生可能エネルギーに転換する必要がある。

石油火力発電で二酸化炭素を 880 万 t 削減するために②で算出した数字をもとに、石油火力で削減しなければならない電力量を X と置き、比を用いて求める。

$$880 \text{ 万 t} : 4537 \text{ 万 t} = X : 652.8 \text{ 億 kWh} \\ X = 126.6 \text{ 億 kWh}$$

よって、

$$224.3 \text{ 億 kWh} + 126.6 \text{ 億 kWh} = 350.9 \text{ 億 kWh}$$

以上の計算より、火力発電所を高効率化しない場合、現在の火力発電を 350.9 億 kWh 再生可能エネルギーに転換すれば、2817 万 t の二酸化炭素を削減することができる。

IV. 350.9 億 kWh を再生可能エネルギーで発電する場合に必要な各再生可能エネルギーの発電量の試算

再生可能エネルギーには太陽光発電、風力発電、水力発電など様々な種類がある。そこで再生可能エネルギーの普及予測(表 4)をもとに 350.9 億 kWh の発電量をどの再生可能エネルギーの電源でどれだけ発電するかを試算する。

	2020			2030			2050		
(億kWh)	低位	中位	高位	低位	中位	高位	低位	中位	高位
太陽光発電(住宅)	138	138	138	254	254	254	763	848	994
太陽光発電(非住宅等)	154	154	223	181	445	650	1358	1556	1680
風力発電(陸上)	131	187	193	284	380	415	315	473	613
風力発電(着床)	1	8	11	63	79	84	118	171	210
大規模水力	244	244	244	244	244	244	244	244	244
中小水力発電	491	539	586	517	613	708	570	761	952
地熱発電	49	49	49	122	128	135	456	456	496
バイオマス発電	234	302	370	234	312	390	234	332	431
合計	1442	1621	1814	1899	2455	2880	4058	4841	5620

表 4：再生可能エネルギーの普及予想

(出典：再生可能エネルギー普及拡大方策等検討会(2013)「低炭素社会づくりのための エネルギーの低炭素化に向けた提言 (2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー 普及可能性検証検討)」に基づき筆者作成)

表 4 の再生可能エネルギーの普及予想をもとに合計が 350.9 億 kWh になるように計算を行った。この結果が表 5 である。

表 5：再生可能エネルギーの普及予想(合計 350.9kWh)

¹⁰ 電気事業連合会「原子力・エネルギー図面集 2014」

	2020			2030			2050		
(億kWh)	低位	中位	高位	低位	中位	高位	低位	中位	高位
太陽光発電(住宅)	33.5813	29.873	26.6947	46.9345	36.3049	30.9474	65.9775	61.4673	62.0631
太陽光発電(非住宅等)	37.4748	33.3366	43.1371	33.4454	63.6051	79.1962	117.428	112.787	104.895
風力発電(陸上)	31.8779	40.4801	37.3339	52.4779	54.3145	50.5637	27.2384	34.2854	38.2743
風力発電(着床)	0.24334	1.73177	2.12784	11.6412	11.2917	10.2346	10.2036	12.3949	13.1119
大規模水力	59.3756	52.819	47.1993	45.0867	34.8756	29.729	21.099	17.6863	15.2348
中小水力発電	119.481	116.678	113.356	95.532	87.6178	86.2629	49.2886	55.1611	59.4407
地熱発電	11.9238	10.6071	9.47856	22.5433	18.2954	16.4484	39.4309	33.0532	30.9691
バイオマス発電	56.9422	65.3743	71.5728	43.2389	44.595	47.5177	20.2343	24.065	26.9107
合計	350.9	350.9	350.9	350.9	350.9	350.9	350.9	350.9	350.9

(出典：再生可能エネルギー普及拡大方策等検討会(2013)
「低炭素社会づくりのための エネルギーの低炭素化に向けた提言
(2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー 普及可能性検証検討)」に基づき筆者作成)

算出された発電量をもとにこれらの発電に必要な費用を計算する。

V. 再生可能エネルギーの発電量を増加させるにあたって必要な費用の試算

IVにおいて算出された各発電設備の発電量をもとに 1 年あたりに必要な費用の試算を行う。コスト等検証委員会の「コスト等検証委員会報告書」が予測している再生可能エネルギーの発電コスト予測を用いて試算を行った。なお、使用した数値は 2030 年までの予想となっており、2050 年に関しては試算対象外とした。結果としては平均値が 689040668622.66 円(6890 億円)となった。(表 6)

表 6：再生可能エネルギーのコスト試算

			円/kWh	低位	中位	高位
太陽光(住宅)	2020	下限	33.4	112161461858.530	99775958050.586	89160324145.535
		上限	38.8	130295350901.526	115907400370.142	103575466372.657
	2030	下限	9.9	46465146919.431	35941879429.735	30637956250.000
		上限	20	93868983675.619	72609857433.809	61894861111.111
太陽光(非住宅等)	2020	下限	30.1	112799019417.476	100343112893.276	129842671995.590
		上限	45.8	171634388349.515	152681547193.091	197567919514.884
	2030	下限	12.1	40468988414.955	76962160896.130	95827378472.222
		上限	26.4	88295974723.539	167917441955.193	209077916666.667
風力(陸上)	2020	下限	9.9	31559099167.823	40075334361.505	36960563947.078
		上限	17.3	55148728848.821	70030634793.337	64587652149.945
	2030	下限	8.8	46180583464.982	47796725050.917	44496069444.445
		上限	17.3	90786828857.293	93964016293.279	87475227430.556
風力(着床)	2020	下限	9.4	228742024.965	1627864281.308	2000168687.982
		上限	23.1	562121359.223	4000389882.788	4915308158.765
	2030	下限	8.6	10011459715.640	9710853767.821	1829941565.601
		上限	23.1	26891246445.498	26083804887.984	4915308158.765
大規模水力	2020		10.5	62344368932.039	55459950647.748	49559305402.426
	2030		10.5	47341011058.452	36619380855.397	31215479166.667
小水力	2020	下限	19.1	228209104715.673	222855053053.671	216509555678.060
		上限	22	262858654646.325	256691684145.589	249382734288.864
	2030	下限	19.1	182466152185.361	167349998778.004	164762170833.333
		上限	22	210170437072.143	192759160896.130	189778416666.667
地熱	2020	下限	9.2	10969883495.146	9758526835.287	8720271223.815

	2030	上限	11.6	13831592233.010	12304229487.970	10995124586.549
		下限	9.2	20739871511.322	16831765376.782	15132562500.000
		上限	11.6	26150272775.145	21222660692.464	19080187500.000
バイオマス	2020	下限	17.4	99079364771.151	113751346082.665	124536615214.994
		上限	32.3	183923188626.907	211159107958.051	231180038588.754
	2030	下限	17.4	75235620853.081	77595353156.823	82680812500.000
		上限	32.3	139661526066.351	144041948676.171	153482197916.667
合計 (円)	2020	最小値		657351044382.802	643647146206.046	657289476295.480
		最大値		880598393897.365	878234944478.717	911763549062.845
	2030	最小値		468908834123.223	468808117311.609	466582370732.268
		最大値		723166280674.039	755218271690.428	756919594617.098

(出典:エネルギー・環境会議コスト等検証委員会(2011))

「コスト等検証委員会報告書」に基づき筆者作成)

VI. 再生可能エネルギーを拡大した場合の火力発電所の費用

出力数を同一にするため、Vで求めた再生可能エネルギー拡大に必要な費用に、火力発電所を高効率化しない場合の費用を計上する。再生可能エネルギーで 2817 万 t の二酸化炭素を削減するために必要な電力は 350.9 億 kWh であった。この数字を火力発電の電力から引き、その費用を求める。東京電力において、発電時に最も二酸化炭素を排出する石炭燃料を用いた発電が年間 22,425,600,000kWh(約 220 億kWh)であるため、この発電量を 350.9 億 kWh から引く。その結果あと約 126 億 kWh の発電量を火力発電から削減しなければならない。そのため石炭燃料の次に二酸化炭素を多く排出している石油燃料を用いた発電量からこの約 106 億 kWh の電力量を引くこととする。その結果、石油燃料では 52,619,500,000kWh(約 526 億 kWh)、LNG ガスでは 160840608000(約 1608 億 kWh)の電力量が必要となる。この電力量を元に費用を試算する。なお、この場合火力発電所を高効率化しないため費用に建設費は含まれず燃料費と運転維持費のみを試算の対象とした。(表 7)

表 7: 再生可能エネルギーを拡大した場合の火力発電所の費用

電源			円/kWh	設備利用率	kWh	費用(円)	平均費用(円)
石炭	2020	下限	5.6	80%	0	0	0
		上限	5.8			0	
ガス	2020	下限	8.9	50%	160840608000	1431481411200	1495817654400
		上限	9.3			1495817654400	
	2020	下限	9.3	80%		1495817654400	
		上限	9.7			1560153897600	
石油	2020	下限	17.6	80%	52619500000	926103200000	110150153333
		上限	19.2			1010294400000	
	2020	下限	18.2	50%		957674900000	
		上限	19.8			1041866100000	
	2020	下限	24.6	10%		1294439700000	
		上限	26.2			1378630900000	
						合計(円)	2597319187733

(出典:エネルギー・環境会議コスト等検証委員会(2011)「コスト等検証委員会報告書」筆者作成)

その結果、2597319187733 円(2 兆 5973 億円)という数字になり、2817 万 t の二酸化

炭素を再生可能エネルギーの拡大によって削減する場合、再生可能エネルギーの費用 689040668622.66 円(平均値)と再生可能エネルギーの拡大で補いきれなかった分の火力発電の発電費用 2649338521067 円を足し、

$$689040668622.66 + 2649338521067 = 3286359856356$$

3 兆 2863 億円という値になった。

以上の試算の結果をまとめると以下のようになる。

東京電力が保有する火力発電所をすべて MACCⅡに変えた場合、年間 1 兆 5722 億円で 2817 万 t の二酸化炭素を削減することができる。もし、この 2817 万 t の二酸化炭素の削減を再生可能エネルギーの拡大によって達成しようとするのであれば、年間 3 兆 2863 億円の費用がかかる。ゆえに、火力発電所からの二酸化炭素の排出を削減するためには、火力発電所を MACCⅡに変えることがもっとも費用対効果大きいといえる。

第5章 政策提言

第1節 政策提言

本研究では原子力発電が一時的にでも停止され、火力発電に依存している今の日本の電気エネルギー事情を鑑み、発電の選択肢を発電コストだけでなく、環境に対する影響も比較対象に置いて比較を行ったということ、そして先行研究においてまだ明らかにされていない、既存の火力発電所が一定量 MACCⅡによる火力発電に取って代わることによってかかるコスト、及び削減される二酸化炭素の量の試算をおこなったことに独自性があると考ええる。

分析の結果、東京電力内にある火力発電所を熱効率の良い MACCⅡに立て替えた場合の費用は年間約 1 兆 5722 億円であり、この結果 2817 万 t の二酸化炭素を削減することが可能であるとわかった。一方でこの削減可能な二酸化炭素を再生可能エネルギーの拡大により代替した場合にかかる費用は年間約 3 兆 2895 億円であった。つまり、火力発電が排出する二酸化炭素を削減するための火力発電所の建て替え及びその維持にかかる費用が、再生可能エネルギーのそれに比べて、低くなることが明らかになった。この分析結果を元に本研究では、今後の政府の予算配分について言及する。

2 章で述べたように、現在再生可能エネルギーには、年間 1364 億円もの予算が配分されており、今後、政府が推察する通り再生可能エネルギーの普及促進によって、多くの二酸化炭素の削減が見込まれている。一方、火力発電所については、新技術開発のための予算は配分されているものの、建て替えに関する予算配分はなく、東京電力などの電力会社も他社と提携することでその予算を創出しようとしているのが現状である。

しかし本研究で明らかにしたように、火力発電所が排出している莫大な量の二酸化炭素の削減をエネルギー分野で達成するためには、現在政府が力を入れて行っている再生可能エネルギーの普及促進よりも、火力発電所の建て替えを行う方が低予算に抑えることができるのである。従って政府は、現段階では火力発電所の建て替えに関する予算配分を行うべきであり、二酸化炭素を削減するという意味では、再生可能エネルギーの予算配分を抑え、それを火力発電への投資にまわすべきであると考ええる。

第2節 政策提言の意義・正当性

ここで、本研究に対して予想される議論とそれに対する我々の答えを示したいと思う。予想される議論として、①天然ガスに依存することで生じる問題 ②エネルギー自給率の問題 この二点をとりあげる。

①天然ガスに依存することで生じる問題

本提言は、再生可能エネルギーの普及促進よりも火力発電の建て替えに投資した方が低コストで二酸化炭素削減が可能というものであった。しかし、前述の通り、この MACCⅡは天然ガスを燃料とする最新設備であるため、一次エネルギーにおける天然ガスの割合が増加することになる。仮に現在の日本の全ての火力発電所が MACCⅡに転換された場合、一次エネルギーの約 88%を天然ガスが占めることとなる。そうすると、一種の燃料に日本のエネルギーの 9 割近くを依存するということになるため、燃料枯渇の心配や輸入先依存に関する懸念などが出てくるだろう。ここで、これらを検証していきたいと思う。

まず、燃料枯渇の心配はあるのだろうか。日本ガス協会によると、2011 年の世界での確認埋蔵量は 208.4 兆 m³であり、可採年数は 64 年とされている。しかし、採掘・生産技術の進歩によりガスの確認埋蔵量は年々増加しており、今後も増加していくのは確実だと言われている。それを踏まえた在来型・非在来型推定埋蔵量は 752 兆 m³であり、230 年分に相当する。我々は、再生可能エネルギーの低コスト化や普及が進むまでの過程として MACCⅡを使用すべきだと考えており、いずれは再生可能エネルギーに移行していくべきだと考えている。よって、230 年分の天然ガスが存在しているのであれば枯渇の心配はないと考えてよいだろう。

では、輸入先に関してはどうだろうか。天然ガスにエネルギーの 9 割近くを依存することで、日本の燃料輸入先が特定の国・地域に限定されてしまうのだろうか。2012 年日本の天然ガス輸入先はオーストラリア(18.2%)、カタール(17.9%)、マレーシア(16.7%)、ロシア(9.5%)、インドネシア(7.1%)、その他(30.6%)となっており¹¹、国・地域ともに比較的バランスがとれていると言える。一方、石炭・石油を見てみると、2012 年石炭の輸入先はオーストラリア(62.6%)、インドネシア(19.5%)、ロシア(6.7%)、カナダ(5.3%)、アメリカ合衆国(3.4%)、その他(3.1%)であり¹²、6 割以上をオーストラリアに依存している。また、2012 年原油の輸入はサウジアラビア(30.3%)、アラブ首長国連邦(21.8%)、カタール(10.7%)、クウェート(7.6%)、イラン(5.2%)、その他(21.7%)であり¹³、8 割以上を中東に依存しているのが現状である。つまり、石炭・石油に比べ天然ガスは最も輸入先が分散している燃料であり、日本で石炭・石油発電が天然ガス発電に切り替わったとしても、特定の国・地域に輸入先が限定されることはなく、比較的安定した供給が見込めるといえるだろう。

②エネルギー自給率の問題

次に、エネルギー自給率について考えたい。東日本大震災以後原発が止まり、日本のエネルギー自給率は 6.0%(2014 年)¹⁴まで落ち込んだ。資源の乏しい日本において自給率を上げるためには、再生可能エネルギーを普及させるしかないだろう。我々は再生可能エネルギーよりも火力を高効率化することを提言しているが、このままエネルギー自給率の低いままでよいのかという議論が予想される。確かに、燃料の安定供給を考えると、エネルギー自給率が高いに越したことはないだろう。しかし、現在の再生可能エネルギーは費用も高く、天候に左右されるなど不安定な要素も多い。そのため短期間で再生可能エネルギーを普及させることは金銭的に難しく、また安定供給も保障できないだろう。よって、現段階では火力の高効率化に予算を割き、再生可能エネルギーの更なる技術革新や低コスト化が進んだ後に移行することで、いずれはエネルギー自給率も確保していくことが出来るものと考えている。

¹¹ 帝国書院「天然ガスのトップ 10 と日本の輸入先」

<https://www.teikokushoin.co.jp/statistics/map/index17.html> (最終アクセス日 2014/11/01)

¹² 帝国書院「石炭の生産トップ 10 と日本の輸入先」

<https://www.teikokushoin.co.jp/statistics/map/index18.html> (最終アクセス日 2014/11/01)

¹³ 帝国書院「原油の生産トップ 10 と日本の輸入先」

<https://www.teikokushoin.co.jp/statistics/map/index16.html> (最終アクセス日 2014/11/01)

¹⁴ 経済産業省(2014)「平成 25 年度エネルギーに関する年次報告」

第3節 本論文の結論

本研究では、火力発電所の高効率化による二酸化炭素排出量の削減が、再生可能エネルギーによるものと比べてコスト面で優位であることを双方の建設費用および維持管理費用を試算し比較することで明らかにした。本研究での成果を考慮し、政府は再生可能エネルギーに多く割り当てられているエネルギー関連予算を火力発電所の高効率化にも配分すべきである。この提言は、電気エネルギー分野で排出二酸化炭素量を減らすためのものである。先に述べた通り、現在日本の総出力の約 8 割を火力発電による発電で賄っている。火力による発電は多くの二酸化炭素を排出しており、日本において早急に解決しなければならない問題である。また、政府はそれを解決するための手段として、再生可能エネルギーの促進に力を入れていた。しかし、本研究では、コスト面で火力発電所の高効率化が優位であることを明らかにした。また、この研究によって、火力発電所の効率化に予算を配分すべきであるということが証明された。従って、本研究による試算及び提言は現在の環境問題とエネルギー問題が絡まりあった日本社会の中で非常に有意義なものと言える。

第4節 本論文の課題

本研究の今後の課題としては、2 点あげられる。1 点目は対象が東京電力のみであったという点である。日本にある火力発電所は東京電力以外にも関西電力や四国電力など各地域に存在し、さらに電気事業者だけでなく日本製紙や日立製作所といった企業も自家発電のために火力発電を導入している。しかし、東京電力以外の火力発電所は、試算に必要な電力量等を公開していないところが存在したため、今回は身近な東京電力のみを対象として試算を行った。今後は本研究が日本の二酸化炭素削減にどれほど貢献しているのかということを証明するためにも、試算に必要なデータを収集し日本全体の火力発電所を対象とした試算を行う必要があると考える。

2 点目は、本研究で効率の良い火力発電設備とした MACC II は主に天然ガスを燃料とした火力発電の発電設備であり、石炭や石油を燃料とした発電には適していない。そのため、1 点目の課題とあわせて、日本全体の天然ガスを燃料とした火力発電設備を MACC II に建て替えた際の試算も行う必要があると考える。

先行研究・参考文献・データ出典

先行研究

エネルギー・環境会議コスト等検証委員会(2011)「コスト等検証委員会報告書」
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111221/hokoku.pdf>(最終アクセス日 : 2014 年 10 月 30 日)

再生可能エネルギー普及拡大方策等検討会(2013)「低炭素社会づくりのための エネルギーの低炭素化に向けた提言 (2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー 普及可能性検証検討)」http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/tochi_energy_suishin/(最終アクセス日 : 2014 年 10 月 30 日)

東京都環境局(2012)「天然ガス発電所設置技術検討調査結果報告書」
http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/tochi_energy_suishin/(最終アクセス日 : 2014 年 10 月 30 日)

データ出典

エネルギー・環境会議コスト等検証委員会(2011)「コスト等検証委員会報告書」
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111221/hokoku.pdf>(最終アクセス日 : 2014 年 10 月 30 日)

環境省「2012 年度(平成 24 年度)の温室効果ガス排出量(確定値)について」
http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=24375&hou_id=18039(最終アクセス日 : 2014 年 10 月 30 日)

経済産業省(2014)「平成 25 年度エネルギーに関する年次報告」
再生可能エネルギー普及拡大方策等検討会(2013)「低炭素社会づくりのための エネルギーの低炭素化に向けた提言 (2050 年再生可能エネルギー等分散型エネルギー 普及可能性検証検討)」http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/tochi_energy_suishin/(最終アクセス日 : 2014 年 10 月 30 日)

帝国書院「天然ガスのトップ 10 と日本の輸入先」
<https://www.teikokushoin.co.jp/statistics/map/index17.html> (最終アクセス日 : 2014 年 11 月 1 日)

帝国書院「石炭の生産トップ 10 と日本の輸入先」

<https://www.teikokushoin.co.jp/statistics/map/index18.html> (最終アクセス日：2014 年 11 月 1 日)

帝国書院「原油の生産トップ 10 と日本の輸入先」

<https://www.teikokushoin.co.jp/statistics/map/index16.html> (最終アクセス日：2014 年 11 月 1 日)

電気事業連合会(2014)「原子力・エネルギー図面集 2014」

<http://www.fepec.or.jp/library/pamphlet/zumenshu/pdf/all.pdf>(最終アクセス日：2014 年 10 月 30 日)

電気事業連合会(2014)「電気事業連合会会長会見資料 1」

http://www.fepec.or.jp/about_us/pr/kaiken/_icsFiles/afieldfile/2014/05/23/kaiken_20140523.pdf(最終アクセス日：2014 年 10 月 30 日)

東京都環境局(2012)「天然ガス発電所設置技術検討調査結果報告書」

http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/energy/tochi_energy_suishin/ (最終アクセス日：2014 年 10 月 30 日)

東京電力(2010)「サステナビリティレポート 2010」

<http://www.tepco.co.jp/csr/report/2010/pdf/2010J.pdf>(最終アクセス日：2014 年 10 月 30 日)

東京電力「2014 年度東京電力グループアクション・プラン」

<http://www.tepco.co.jp/ir/tool/setumei/pdf/140404-1.pdf>(最終閲覧日 2014 年 10 月 29 日)

東京電力「電力供給設備」

<http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/electricity-supply/thermal-j.html>(最終アクセス日：2014 年 10 月 30 日)