

S - 3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案 手法の確立に関する総合研究プロジェクト

3．都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

(2) 都市エネルギー供給由来の二酸化炭素排出評価と変革による削減効果

東京大学 大学院工学系研究科 電気工学専攻 藤井 康正

[要旨]

都市部の民生業務・家庭部門における最終需要端での省エネルギー施策の導入や分散電源の大規模導入が、電力系統の二酸化炭素排出量に与える影響を詳細に検討するため、日本全国を9地域に分割した最適電源構成モデルを構築した。モデルの時間解像度は、7季節、24時間帯であり、電源の種類としては原子力・石炭・IGCC・LNG・LNG複合・石油・揚水・一般水力、地熱（外生値）を考慮し、9地域別の電力需給構造の差異や地域間での電力の経済融通も考慮している。この最適電源構成モデルは、計算時点間隔を5年として2050年までを対象としており、大規模な線形計画問題として定式化され、変数の個数は約100万個となっている。また、二酸化炭素排出削減技術として二酸化炭素回収貯留設備も考慮しているのが特徴である。この最適電源構成モデルを活用すれば、最終需要端での二酸化炭素排出削減策と、発電部門自体での二酸化炭素排出削減策を総合的に評価できることになるため、全電源平均や火力平均などの電力の二酸化炭素排出原単位を用いた試算よりも精度の高い計算ができることになる。

今年度の作業では、最適電源構成モデル自体の挙動を調べるために、最終需要端での二酸化炭素排出削減策を考慮せず、所与の電力需要シナリオの下でのモデル試算（2035年まで）を行ったが、二酸化炭素回収処分装置の導入を前提とすれば、天然ガスを利用した発電設備の容量拡大などにより、原子力発電所の総設備容量が70GWとしても、発電部門だけを見た場合でも、2035年までに1990年比で7割近い二酸化炭素排出量削減が可能となるとの結果を得た。

[キーワード] 二酸化炭素排出削減策、最適電源構成モデル、二酸化炭素回収貯留、線形計画、経済融通

1．はじめに

京都議定書が発効し、日本でも1990年比6%の温室効果ガスの削減が要求されることとなった。これにより、産業、民生、運輸などの各最終需要部門におけるエネルギー利用の高効率化、低環境負荷を実現するとともに、エネルギー転換部門としての発電部門においても、京都議定書に対応するための電源構成やその運用などが求められている。

発電部門における二酸化炭素排出削減策を検討するためには、各種の発電設備の拡張計画を明示的に考慮する必要がある。発電設備の耐用年数は二十年以上となるのが一般的であり、その拡張計画は複数時点を同時に考慮しなくてはならない。また、発電部門は、原子力発電、石炭火力発電、IGCC（石炭ガス化複合発電）、LNG火力発電、LNG複合発電、石油火力発電、一般水力発電、揚水発電、地熱発電など、建設単価や燃料単価、そして二酸化炭素排出原単位がそれぞれ異なる多種の電源で構成されており、これらの電源のそれぞれのシェアや、時間的に変動する電

力需要に対応したそれぞれの設備の運用方法を合理的に決める必要がある。さらには、発電部門からの二酸化炭素排出量を大幅に削減するための技術として二酸化炭素回収貯留が昨今注目を集めているが、この技術を適用した場合、付加的なコストとエネルギー損失が伴うため、その有効性を検討するためには、発電部門を一つのシステムと見なした包括的な評価が必要となる。

上記したような評価を行うためのツールとしては、最適電源構成モデルがある。最適電源構成モデルとは、各種発電設備や二酸化炭素回収貯留設備の設備容量やそれらの季節別時間帯別の発電出力や二酸化炭素回収量を変数とし、それらの変数の関係を複数の制約条件式（エネルギー保存則などの等式や、出力上限制約などの不等式）で表現した数学モデルである。そして、線形計画法などのシステム最適化手法により、与えられたこれらの制約条件式を満たしつつ、システム総コストなどの評価関数の値を最小とする変数の組合せを求めるものである。

2．研究目的

平成16年度の本研究の目的は、都市部の民生業務・家庭部門における最終需要端での省エネルギー施策の導入や分散電源の大規模導入が、電力系統の二酸化炭素排出量に与える影響を詳細に検討するため、日本全国を9地域に分割した最適電源構成モデルを構築することである。また、発電部門からの二酸化炭素排出量を大幅に削減するための技術として注目されている二酸化炭素回収貯留についても、中長期的な対策オプションとして考慮した最適電源構成モデルを定式化し、モデルの基本的な動作を確認することである。

3．研究方法

本研究で構築した最適電源構成モデルは、与えられた電力需要の将来シナリオに対して、電源種別の特性や二酸化炭素削減策などを考慮しつつ、日本全体の発電事業総費用を最小にするような電源構成や運用方法を線形計画法により求めるものである。

日本国内（北海道、本州、四国、九州の4島）での電気事業は、現時点では互いに連系された9社の一般電気事業社の寡占状態であり日本を9地域に分割し、それぞれの地域の電力需要のほとんどをまかなっている。そこで、本モデルにおいてはこのような現状を反映させて、日本を9地域に分割し、地域ごとの電力需要の将来シナリオを与える。日本の電力需要の伸び率に関しては、平成11年度日本電力調査委員会報告書(第94回)¹⁾に基づく平成20年度までの電力需要増加率を参考にして、2010年までは1.9%、2010年以降は0.5%で成長するものとする。2010年以降の一般水力の増加率は0.5%、地熱の増加率は0%であるものと仮定した^{2)～5)}。

（1）最適電源構成モデルの概要

- ・ 対象期間：1990年から2050年（13期間）。実際の計算では終端効果を抑制するため、2060年（15期間）計算を行う。
- ・ 地域分割：日本の9地域（北海道・東北・関東・北陸・中部・近畿・中国・四国・九州）
- ・ 評価関数：対象期間中の発電事業総費用（期間中の割引率は5%で現在価値換算）
- ・ 制約条件：電力需給制約、供給予備力制約、設備容量制約、発電出力制約、揚水式水力関連制約、電力融通制約（未導入）、負荷追従制約、LNG消費量制約、二酸化炭素排出量制約、二酸化炭素回収設備制約、二酸化炭素貯留制約
- ・ 電源種類：原子力、石炭、IGCC、LNG、LNG複合、石油、揚水、一般水力・地熱（外生

値)、周辺他社からの融通

- ・ 想定負荷曲線のパターン: 各地域・年度につき24時間帯で構成されたモデル日負荷曲線(年間7パターン)を想定(例、図1)
- ・ 二酸化炭素回収設備: 石炭・IGCC・LNG・LNG複合発電にのみ導入可能
- ・ 二酸化炭素貯留: 日本の帯水層、油・ガス田、海洋への貯留を考慮する。輸送パイプライン、注入法等についても考慮。(ただし、現時点では貯留容量のみを考慮)

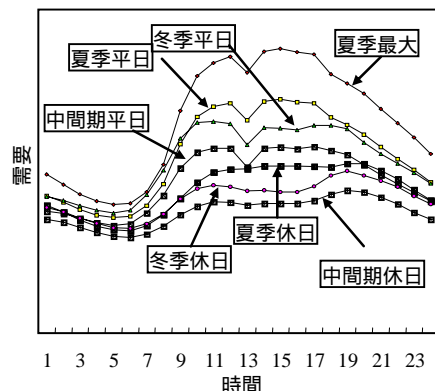


図1 日負荷曲線の例

本モデルは線形計画問題として定式化されるが、変数の個数はおよそ100万個となっている。

(2) 二酸化炭素排出量制約

イギリス、フランス、ドイツなどの欧州諸国では2050年までに二酸化炭素排出量を45～75%削減する目標を立てていることを受けて⁶⁾、本研究では2050年の日本の発電部門からの二酸化炭素排出量を1990年比8割削減となるように、二酸化炭素排出量を毎年一定の率で削減する排出量上限制約(制約ケース)を課して、最適化計算を行う。(図2-1参照)

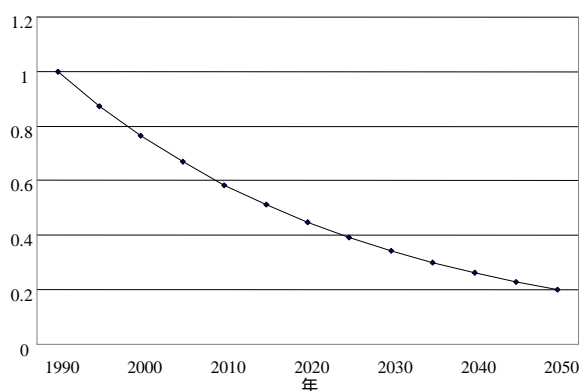


図2-1 時点別の二酸化炭素排出量制約(1990年比)

4. 結果・考察

今年度の作業では、最適電源構成モデル自体の挙動を調べるために、最終需要端での二酸化炭素排出削減策を考慮せず、所与の電力需要シナリオの下でのモデル試算(2035年まで)を行った。

(1) 設備容量変化

図2-2には、9地域合計の電源種別の設備容量の推移を示す。設備容量の合計の時間推移が滑らかではないのは、二酸化炭素排出制約が存在するために、石炭などの二酸化炭素排出量が比較的大きい発電設備の一部が、設備としては存在するにもかかわらず、利用されないという状況になるためである。すなわち、総設備容量と電力需要のピーク供給力とが必ずしも対応していない。

電源種別に見ると、原子力が早くから最大限導入され、その容量を維持し続けるのがわかる。また、石油火力はピーク用に少し使われるのみで、ほとんどがLNG複合発電に置き換わっていくことになるのがわかる。

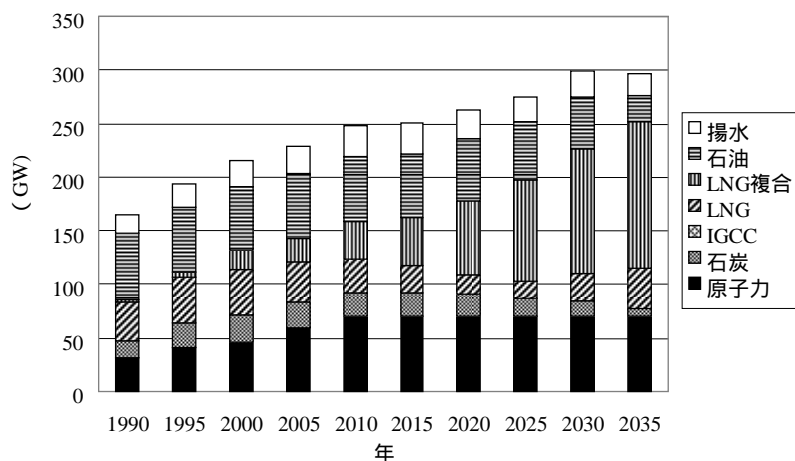


図2-2 CO2排出量制約下の設備容量変化

(2) 地域別の発電電力量

以下の図3から図11には9地域別の発電電力量の推移を示す。いずれの地域でも原子力発電所の割合が大きく、石油火力や石炭火力による発電電力量が大幅に減少していくのがわかる。

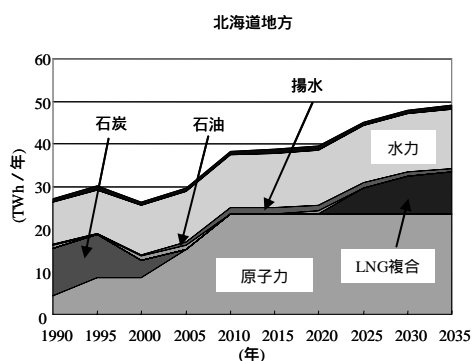


図3 北海道の発電電力量の推移

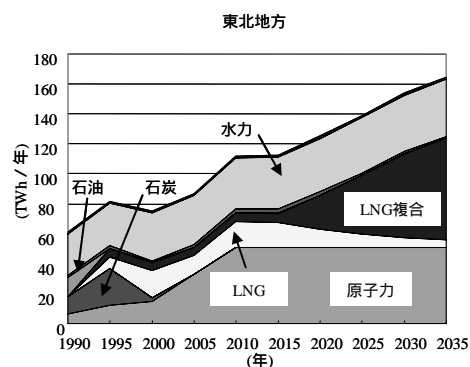


図4 東北の発電電力量の推移

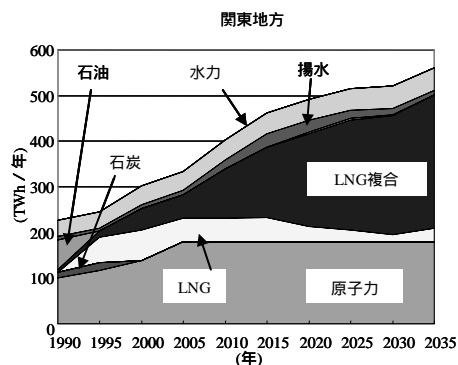


図5 関東の発電電力量の推移

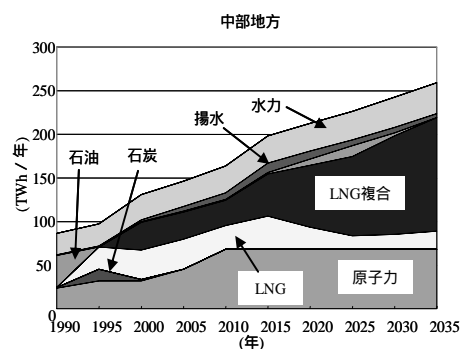


図6 中部の発電電力量の推移

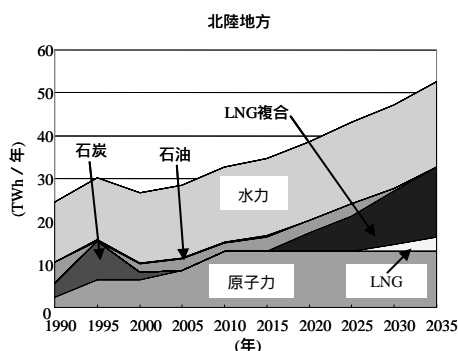


図7 北陸の発電電力量の推移

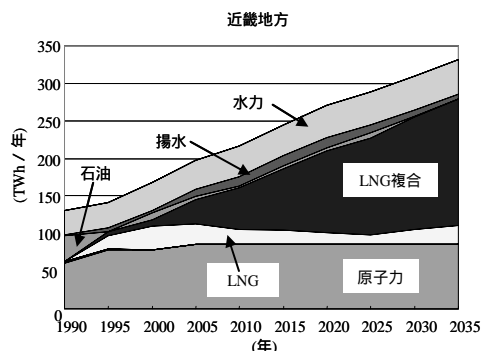


図8 近畿の発電電力量の推移

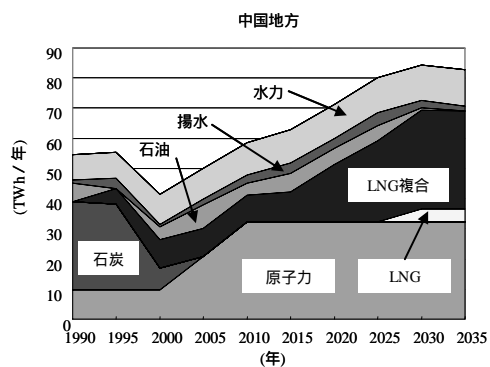


図9 中国の発電電力量の推移

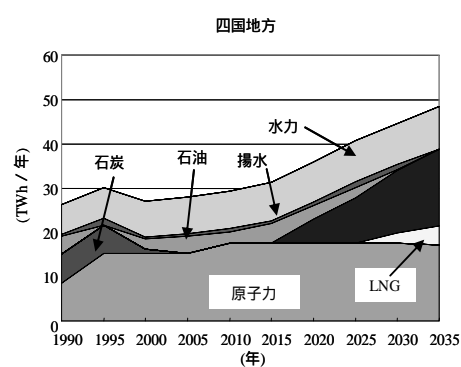


図10 四国の発電電力量の推移

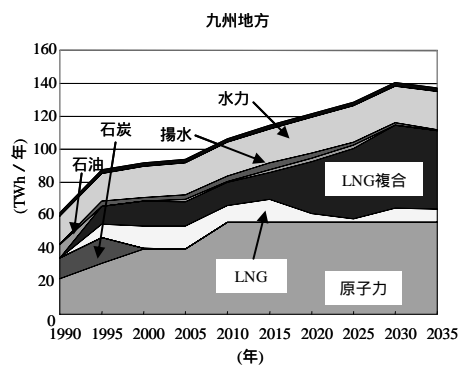


図11 九州の発電電力量の推移

5．本研究により得られた成果

本試算を通じて以下のことがわかった。

- ・ 二酸化炭素回収処分装置の導入を前提とすれば、天然ガスを利用した発電設備の容量拡大などにより、原子力発電所の総設備容量が70GWとしても、発電部門だけを見た場合、2035年までに1990年比で7割近い二酸化炭素排出量削減が実現可能と考えられる。
- ・ その際、LNG複合が大きな割合を占め、それにあわせて二酸化炭素回収設備もLNG複合に多く設置される。二酸化炭素排出原単位の大きい石炭は制約ケースでは競争力を持たず、導入され難い状況となる。

今後は、最終需要端での二酸化炭素排出削減策も考慮した総合的な評価が行えるモデルを構築するとともに、建設単価や燃料単価などのコストデータを中心にモデルパラメータの精査を行う必要がある。

6．引用文献

- 1) 電気事業連合会統計委員会編、「電気事業便覧」，平成11年版
- 2) 電気事業連合会統計委員会編、「電気事業便覧」，平成12年度版
- 3) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編、「電力需給の概要40」、平成2年度版
- 4) 日本電気協会電力年報委員会、「電気事業の現状」、平成12年版
- 5) 小宮山涼一著、「エネルギー市場自由化の下でのオンサイト電源導入可能性評価」(博士論文)，2002年
- 6) 西岡秀三、「気候変動の長期的影響評価とポスト京都の目標設定」(エネルギー・資源学会平成16年度地球温暖化対策ワークショップ配布資料)、2004年11月

7．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8．研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

なし

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

(2) 口頭発表(学会)

戸張智貴、藤井康正、山地憲治：2005年電気学会全国大会(2005)

「CO₂排出量制約下での日本における最適電源構成の中期見通し」

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

9 . 成果の政策的な寄与・貢献について

今後、電気学会、エネルギー・資源学会などの主要なエネルギー関連学会での発表を通じ、関連業種の専門家における本モデルの認知度を高め、その妥当性の向上を目指すとともに、政策評価の道具としての説得力を高めるように努める。