

Title	拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設建設の経済・環境への波及効果分析
Author(s)	古川, 貴雄; 林, 和弘; 中野, 諭; 朝倉, 啓一郎; 鷲津, 明由
Citation	年次学術大会講演要旨集, 28: 239-244
Issue Date	2013-11-02
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/11708
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電 施設建設の経済・環境への波及効果分析

○古川 貴雄 林 和弘(科学技術・学術政策研究所) 中野 諭(労働政策研究・研修機構)
朝倉 啓一郎(流通経済大学) 鷲津 明由(早稲田大学)

1. はじめに

本研究では、科学技術イノベーション政策を実施する際のエビデンスを提供するための、公的な研究開発投資による経済的・社会的な効果を定量的に分析する手法の構築を目的とする。本稿では、科学技術イノベーションによって創出される将来の新産業について、経済・環境への波及効果を推計する方法として産業連関分析を応用する。ここでは、新産業として成長が期待される再生可能エネルギー分野を取り上げ、生産誘発額、雇用誘発数、エネルギー消費量、CO₂ 排出量の推計値から多面的に波及効果を分析する手法を示す。さらに、科学技術イノベーション政策への応用を想定した分析手法について述べる。

2. 科学技術のもたらす波及効果の定量分析

2.1 研究開発の経済効果分析

科学技術は経済成長の源泉とされ、様々な観点から科学技術のもたらす経済効果が議論されている[1]。科学技術の進歩に研究開発が大きく寄与することから、研究開発の成果による生産性向上に注目した研究が行われてきた[2-4]。これらの研究では、研究開発投資によって創出された知識の蓄積や流動を生産関数に導入し、生産性向上を定量的に分析している。このような研究を背景に、技術進歩を内生化した欧州のマクロ経済モデル NEMESIS が開発され[5]、EU の第7次フレームワークプログラム(FP7)の経済効果分析に用いられている[6]。

NEMESIS では産業部門を30に分け、それぞれの技術進歩を個別に記述している。技術進歩は、当該部門及び他部門における研究開発の蓄積や公的な研究開発の蓄積によって生み出される知識の増分として表現され、これが全要素生産性の増分に比例すると仮定している。このように、産業部門別の技術進歩は抽象化された数理モデルに記述される。

2.2 産業連関分析の応用

産業連関分析は、産業部門別の生産誘発額や雇用誘発数といった経済効果を分析する手法の一つであり、公的投資による直接・間接効果の測定や産業波及効果の推計に利用されている。また、製品を構成する原材料の需給に注目した産業連関分析は、製造工程におけるエネルギー消費量や環境汚染物

質の排出量の推計にも利用されている[7,8]。

産業連関分析は、産業政策やエネルギー・環境政策の波及効果を検討する際に、定量的なエビデンスを示すために用いることが多い。例えば、英国におけるエネルギー・環境政策を検討するために、英国の石炭、石油産出・精製、電気、ガス等のエネルギー産業部門を含む10部門の産業連関表を用いて、生産・雇用誘発と大気汚染物質(SO₂, NO_x, CO₂ 等)排出量の関係が分析された[9]。また、欧州地域の産業連関分析を用いて雇用誘発効果の観点からバイオ燃料に関する政策を検討した例[10]や、ドイツ国内における雇用誘発の観点から再生可能エネルギーの経済波及効果を分析した例がある[11]。他にも、バイオ燃料も含めたバイオテクノロジー産業によるドイツ国内の生産・雇用誘発を分析した例がある[12]。これらの分析にはシナリオに基づいた将来推計も含まれている[10-12]。日本国内の再生可能エネルギーによる雇用誘発に注目し、住宅用太陽光発電と風力発電[13]、地熱発電[14]について分析した例も報告されている。

既存の産業連関表を、研究開発の成果として生み出される新しい製品・サービスに対応するように拡張すれば、当該技術を導入した場合の経済波及効果や、エネルギー消費や環境汚染物質排出などの環境への負荷を定量的に分析できる。このような分析により、推進すべき技術の候補を多面的、かつ定量的に評価し、公的な研究開発投資の選択と集中を行うためのエビデンスを示すことができる。さらに、産業連関表では、新素材開発等の技術進歩は、原材料の使用量や構成比の変化として明示的に記述されるという特徴がある。そのため、新技術の波及効果分析から、生産・雇用誘発やエネルギー・環境に支配的影響を与える研究領域や研究課題の特定も可能となり、研究開発の方向性を提示することもできる。

3. 再生可能エネルギー導入の波及効果を推計する方法

3.1 産業連関表の拡張

2009年に公表された総務省「平成17年(2005年)産業連関表」[15]では、再生可能エネルギーに関係する産業は独立した部門として扱われていない。そこで、再生可能エネルギーに関係する新しい産業の波

及効果を分析するために、当該産業の財・サービスの生産活動(アクティビティ)を記述した。再生可能エネルギーの利活用は発電と熱利用に大別されるが、ここでは、現状の我が国においてエネルギー供給に影響の大きな再生可能エネルギー発電を分析対象とした。再生可能エネルギー発電に関連するアクティビティには、施設建設と経常運転があるが、本調査研究では施設建設に注目して分析を行った。再生可能エネルギー発電施設建設のアクティビティは、当該技術の文献調査と研究者・技術者への調査に基づいて作成し(表 1)¹、約 400 部門の産業連関表を拡張した。

3.2 再生可能エネルギー発電施設建設による経済・環境への波及効果分析

分析には、最終需要等を外生的に与えられる静学的産業連関オープンモデルを用いる。各アクティビティを最終需要ベクトル $\mathbf{f}$ として与え、レオンティエフ逆行列を乗じることで、生産誘発額ベクトル $\mathbf{x}$ が算出される。

$$\mathbf{x} = \{\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\}^{-1}\mathbf{f} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{x}$: 生産誘発額ベクトル、 $\mathbf{I}$: 単位行列、 $\mathbf{A}$: 投入係数行列、 $\hat{\mathbf{M}}$: 輸入係数行列、 $\mathbf{f}$: 最終需要ベクトルである。

産業連関分析の静学オープンモデルによって算出される生産誘発額に、生産額単位当たりの労働投入量、エネルギー消費量及び CO₂ 排出量(それぞれ、労働係数、エネルギー消費原単位及び CO₂ 排出原単位)を乗じれば、各電力施設建設に伴う労働力誘発、エネルギー消費誘発及び CO₂ 排出誘発の直接・間接波及効果を計測することができる。

$$\mathbf{l} = \hat{\mathbf{U}}^L \{\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\}^{-1}\mathbf{f} \quad (2)$$

$$\mathbf{e} = \hat{\mathbf{U}}^E \{\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\}^{-1}\mathbf{f} \quad (3)$$

$$\mathbf{c} = \hat{\mathbf{U}}^C \{\mathbf{I} - (\mathbf{I} - \hat{\mathbf{M}})\mathbf{A}\}^{-1}\mathbf{f} \quad (4)$$

ここで、 $\mathbf{l}$: 労働力誘発ベクトル(従業者ベース)、 $\hat{\mathbf{U}}^L$: 労働係数行列(従業者ベース)、 $\mathbf{e}$: エネルギー消費誘発ベクトル、 $\hat{\mathbf{U}}^E$: エネルギー消費原単位行列、 $\mathbf{c}$: CO₂ 排出誘発ベクトル、 $\hat{\mathbf{U}}^C$: CO₂ 排出原単位行列である。

発電容量 1kW あたりの再生可能エネルギー発電施設建設の生産誘発額、雇用誘発数、エネルギー消費量、CO₂ 排出量について直接・間接効果を推計する²。間接効果は直接効果から誘発される第 1 次間

接効果、第 n 次間接効果から誘発される第 $n+1$ 次間接効果($n=1,2,3,\dots$)の総和である。雇用誘発数の推計には、総務省「平成 17 年(2005 年)産業連関表」[13]の部門別従業者数から算出した労働係数を用いる。エネルギー消費量と CO₂ 排出量の推計には、国立環境研究所「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)2005 年版」[14]を用いた。

4. 再生可能エネルギー発電施設建設による経済・環境への波及効果

各種再生可能エネルギーについて、発電施設建設による発電容量 1kW あたりの生産誘発額、雇用誘発数、エネルギー消費量、CO₂ 排出量の直接・間接効果を推計した結果を図 1 に示す。生産誘発額の直接効果は各発電施設の建設費用や発電設備の価格に対応し、生産誘発額の間接効果は経済波及効果に対応する(図 1 (a))。

以下に、再生可能エネルギー発電施設建設の分析結果から得られた傾向をまとめる。

- 生産誘発額と雇用誘発数については間接効果が直接効果よりも小さいが、エネルギー消費量と CO₂ 排出量については間接効果が直接効果よりも大きい点が共通している(図 1)。
- 太陽光発電(戸建住宅、メガソーラー)、風力発電(陸上、洋上着床)、フラッシュサイクル地熱発電、木質バイオマス発電の施設建設の場合、生産誘発額の間接効果(波及効果)は相対的に小さいが、生産誘発額の直接効果(単位発電容量あたりの初期費用)の面からは、再生可能エネルギーの中でも経済性(コスト効果)が高いと推察される(図 1(a))³。
- 戸建住宅用太陽光発電施設建設の雇用誘発数はメガソーラー建設よりも多いにもかかわらず、生産誘発額はメガソーラー建設よりも小さい。同じ太陽光発電でも、単位発電容量あたりで見れば、戸建住宅用太陽光発電施設建設はより大きな雇用を創出することを意味する(図 1(b))。
- エネルギー消費量を単位発電容量あたりの初期費用で見れば、風力発電(陸上、洋上着床)と木質バイオマスの発電施設建設の場合に少ない。これらの再生可能エネルギーは発電施設の建設段階においてエネルギー効率が高いと言える(図 1(c))。
- CO₂ 排出量を単位発電容量あたりの初期費用で見れば、太陽光発電(戸建住宅、メガソーラー)、風力発電(陸上、洋上風力)、木質バイオマ

¹ 再生可能エネルギー発電施設建設のアクティビティ作成については文献[17,18]を参照されたい。

² 計算方法の詳細は文献[19]を参照されたい。

³ バイオマス発電施設の場合、バイオマス処理が施設本来の用途で発電は副次的な用途である。水力発電の場合、治水等の効果も考慮する必要がある。そのため、経済性の評価は生産誘発額だけでなく多面的な評価が必要となる。

ス発電が少なく、これらの発電施設建設は環境への負荷が低いことがわかる(図 1(d))。

5. 経済・環境への波及効果分析から得られる示唆

今後の普及拡大が見込まれるメガソーラーによる太陽光発電、洋上着床式風力発電、フラッシュサイクル地熱発電について、単位発電容量あたりの生産誘発額、雇用誘発数、エネルギー消費量、CO₂ 排出量の直接・間接効果の関係を分析した結果を以下にまとめる。

5.1 生産誘発額と雇用誘発数の関係から見る再生可能エネルギー発電施設建設

研究開発の進め方によっては、発電施設建設費用を削減すると同時に雇用も減少させ、結果として経済波及効果を縮小させる可能性もある。今後の再生可能エネルギー利用の拡大に向け、発電施設建設費用を削減しつつ、国内における雇用誘発という観点にも留意した研究開発の方向性が考えられる(図 2)

再生可能エネルギー利用を拡大するためには、発電施設建設費用を削減し、発電単価を抑制する必要がある。波及効果の分析結果から、次に示す研究開発の方向性が示唆される。

- メガソーラー太陽光発電の施設建設費用を削減するには、「太陽電池製造」の費用の削減に寄与する研究開発を推進する必要がある(図 3 (a))。
- 洋上着床式風力発電の施設建設費用を削減するには、「建設工事」だけでなく風力発電施設というシステム全体の費用を削減する最適化が必要になる。また、洋上着床式風力発電では、発電施設建設費用を削減する海洋インフラの構築技術も必要とされる(図 3 (b))。
- フラッシュサイクル地熱発電の施設建設の費用を削減するために、「建設工事」を効率化する技術が必要とされる(図 3 (c))。

5.2 生産誘発額とエネルギー消費量の関係から見る再生可能エネルギー発電施設建設

再生可能エネルギー利用の拡大に向けた今後の研究開発として、発電施設建設によるエネルギー消費量を削減しつつ、生産誘発額の直接効果を削減して発電コストを下げる方向性が考えられる(図 4)。

エネルギー消費量は、どの再生可能エネルギー発電施設建設でも間接効果の「事業用電力」や「銑鉄」が大きいため、発電施設建設によるエネルギー消費量の削減には、「事業用電力」、「銑鉄」部門のエネルギー消費量の削減が大きく寄与する(図 5)。

再生可能エネルギー発電施設建設によるエネルギー消費量を削減するには、鉄に代わる生産時にエネルギー消費量の少ない原材料の研究開発や、建

設時の間接的使用電力における再生可能エネルギー発電比率の拡大が必要とされる。

5.3 生産誘発額と CO₂ 排出量の関係から見る再生可能エネルギー発電施設建設

再生可能エネルギー利用の拡大に向けた今後の研究開発として、CO₂ 排出量を削減して地球温暖化対策に貢献し、生産誘発額の直接効果を削減して発電コストを下げる方向性が考えられる(図 6)。

発電施設建設における CO₂ 排出量削減には、「銑鉄」の他、「事業用電力」、「自家発電」、「セメント」などの間接部門における CO₂ 排出量削減が相対的に大きく寄与する(図 7)。

CO₂ 固定・貯留技術などの「銑鉄」部門における CO₂ 排出削減技術や、「事業用発電」、「自家発電」部門における CO₂ 排出を削減する再生可能エネルギーの導入拡大に寄与する研究開発が求められる。

6. おわりに

本調査研究では、科学技術イノベーションによって創出される将来の新産業の経済・環境への波及効果を推計するための手法を示した。新産業として、将来の成長が期待される再生可能エネルギーを取り上げ、産業連関分析を用いて再生可能エネルギー発電施設建設による生産誘発額、雇用誘発数、エネルギー消費量、CO₂ 排出量の直接効果と間接効果を推計した。推計結果から、雇用誘発数は直接効果に対して間接効果が小さく、反対に、エネルギー消費量と CO₂ 排出量は直接効果に対して間接効果の大きいことが示された。産業部門別の分析から、直接効果、あるいは、間接効果の大きな部門を特定することができ、発電施設建設の費用やエネルギー消費量、CO₂ 排出量を削減するための研究開発への示唆が得られた。今後、導入の拡大が見込まれるメガソーラー、洋上着床式風力発電、フラッシュサイクル地熱発電の施設建設に関して、経済・環境への波及効果を多面的に分析することにより、以下に示す 3 つの研究開発の方向性が示唆された。

- (1) 再生可能エネルギー発電施設建設費用を削減して発電コスト低減に寄与する研究開発の例
 - 太陽電池製造における費用削減
 - 海洋インフラ構築技術や風力発電施設というシステム全体の最適化
 - 地熱発電施設の建設工事の効率化
- (2) 再生可能エネルギー発電施設建設によるエネルギー消費量を削減しつつ、発電施設建設費用を削減して発電コスト低減に寄与する研究開発の例
 - 事業用電力部門におけるエネルギー消費量の削減や鉄に代わる生産時にエネルギー消費量の少ない安価な代替原材料の研究開発
- (3) 再生可能エネルギー発電施設建設による CO₂

排出量の削減しつつ、発電施設建設費用を削減して発電コスト低減に寄与する研究開発の例

- 銑鉄、セメント部門における CO₂ 固定・貯留技術 CO₂ 排出削減技術や事業用発電、自家発電部門における再生可能エネルギーの導入を拡大する研究開発

生産誘発額、エネルギー消費量、CO₂ 排出量といった個別の指標については従来から研究開発を議論はあったが、社会的課題の解決に向けて、複数の研究開発指標から多面的に研究開発の方向性を議論していくことが重要であろう。特に、雇用誘発数と研究開発の関係については、これまでに議論が少なく、今後の公的研究開発投資を考える上で注目すべき論点と考えられる。再生可能エネルギーは地域的に遍在する特徴があるため、地域性を考慮した雇用誘発効果の分析も検討する必要がある。

本調査研究の分析対象は、再生可能エネルギー発電施設建設に留まっており、経常運転を含めた波及効果の分析、発電施設の耐用年数や設備利用率を考慮した発電費用等については検討の余地がある。輸出入を含めた詳細な波及効果の分析も検討の必要がある。さらに、科学技術イノベーションによってもたらされる将来の産業構造や社会の変化を反映したシナリオに基づく、経済・環境への波及効果の分析が今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 23310033 の助成を受けた。

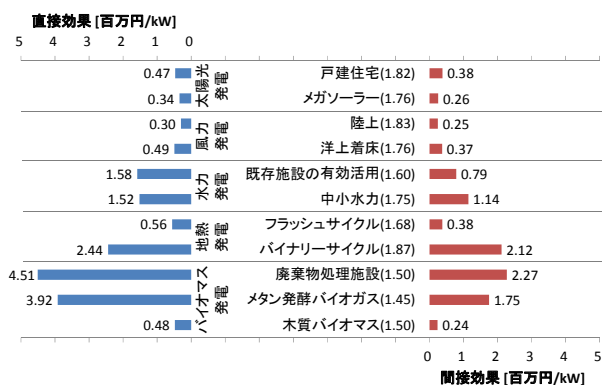
文献

- [1] Stephan, P. E. (1996). The economics of science. *Journal of Economic literature*, 34(3), 1199-1235.
- [2] Griliches, Z. (1998). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. In *R&D and Productivity: The Econometric Evidence* (pp. 17-45). University of Chicago Press.
- [3] Audretsch, D. B., Bozeman, B., Combs, K. L., Feldman, M., Link, A. N., Siegel, D. S., Stephan, P. E., Tassay, C., Wessner, C. (2002). The economics of science and technology. *The Journal of Technology Transfer*, 27(2), 155-203.
- [4] Jaffe, A. B. (2008). The “Science of Science Policy”: reflections on the important questions and the challenges

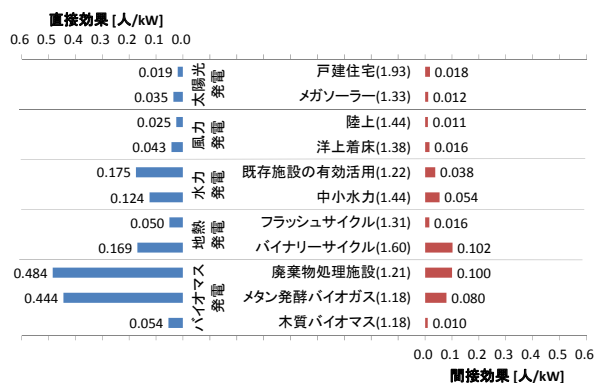
- they present. *The Journal of Technology Transfer*, 33(2), 131-139.
- [5] Brécard, D., Fougeyrollas, A., Le Mouél, P., Lemiale, L., Zagamé, P. (2006). Macro-economic consequences of European research policy: Prospects of the Nemesis model in the year 2030. *Research Policy*, 35(7), 910-924.
 - [6] Fougeyrollas, A., Le Mouél, P., Zagamé, P. (2010). Consequences of the 2010 FP7 Budget on European Economy and Employment, DEMETER Report.
 - [7] Leontief, W. (1986). *Input output economics. Second edition*. Oxford University Press.
 - [8] Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge University Press.
 - [9] Hawdon, D., & Pearson, P. (1995). Input-output simulations of energy, environment, economy interactions in the UK. *Energy economics*, 17(1), 73-86.
 - [10] Neuwahl, F., Löschel, A., Mongelli, I., Delgado, L. (2008). Employment impacts of EU biofuels policy: Combining bottom-up technology information and sectoral market simulations in an input-output framework. *Ecological Economics*, 68(1), 447-460.
 - [11] Lehr, U., Nitsch, J., Kratzat, M., Lutz, C., Edler, D. (2008). Renewable energy and employment in Germany. *Energy Policy*, 36(1), 108-117.
 - [12] Wydra, S. (2011). Production and Employment Impacts of Biotechnology—Input-output Analysis for Germany. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(7), 1200-1209.
 - [13] 総務省統計局 (2009) 平成 17 年産業連関表.
 - [14] 国立環境研究所 (2009) 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)2005 年版.
 - [15] 松本 直也, 本藤 祐樹 (2011) 拡張産業連関表を利用した再生可能エネルギー導入の雇用効果分析, 日本エネルギー学会誌, 90 (3), 258-267.
 - [16] 稗貫 峻一, 本藤 祐樹 (2013) 拡張産業連関モデルを用いた地熱発電のライフサイクル雇用分析, 日本エネルギー学会誌, 92 (1), 164-173.
 - [17] 中野 諭, 鷲津 明由 (2013) 再生可能エネルギー電力施設建設アクティビティの作成と静学的波及効果の推計, WorkingPaper Series No. 2012-3, 早稲田大学社会科学部.
 - [18] 朝倉 啓一郎 (2013) ベース電源型再生可能エネルギー発電設備の建設投資コストについて(その1), 流通経済大学論集, 48 (2)
 - [19] 鷲津 明由, 中野 諭, 朝倉 啓一郎, 高瀬 浩二, 古川 貴雄, 新井 園枝, 林 和弘, 奥和田 久美 (2013) 拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設建設の経済・環境への波及効果分析, NISTEP Discussion Paper, No. 96, 科学技術・学術政策研究所.

表 1 再生可能エネルギー発電施設のアクティビティ

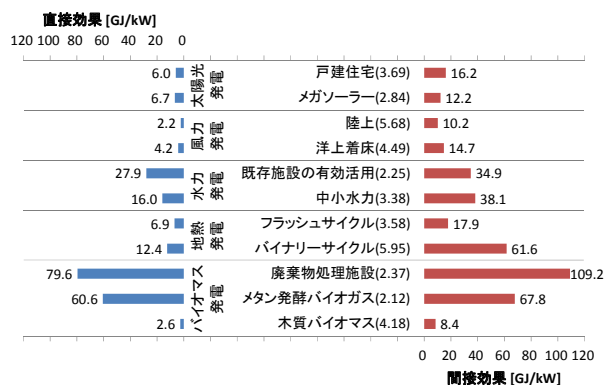
発電施設	発電容量[kW]	備考
太陽光発電	戸建住宅	4 多結晶シリコン太陽電池
	メガソーラー	2,000 多結晶シリコン太陽電池
風力発電	陸上	20,000 ギア式風車 2,000[kW] × 10基
	洋上着床	150,000 ギアレズ式風車 5,000[kW] × 30基
水力発電	既存発電施設の有効利用	3,690,000 既存ダムのかさ上げ 1,791,000[kW]+運用見直し1,981,000[kW]
	中小水力	100 水路式
地熱発電	フラッシュサイクル	50,000 蒸気でタービンを回転させて発電
	小型バイナリーサイクル	50 低温域の温泉等で利用するために沸点の低い熱媒体を利用
バイオマス発電	廃棄物処理施設	都市部の大型ゴミ焼却施設
	メタン発酵バイオガス	家畜糞尿や食物残渣等の処理
	木質バイオマス	5,700 未利用間伐材等の処理



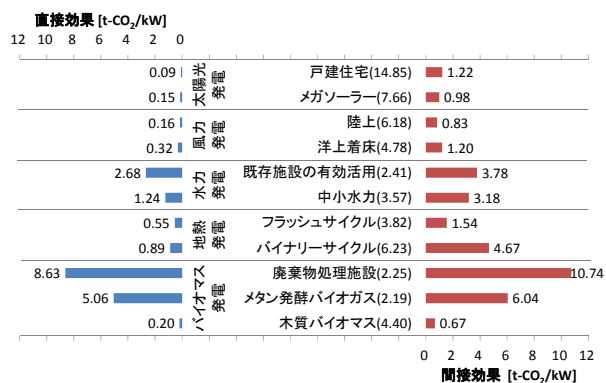
(a) 生産誘発額



(b) 雇用誘発数



(c) エネルギー消費量



(d) CO₂ 排出量

図1 再生可能エネルギー発電施設建設による経済・環境への波及効果

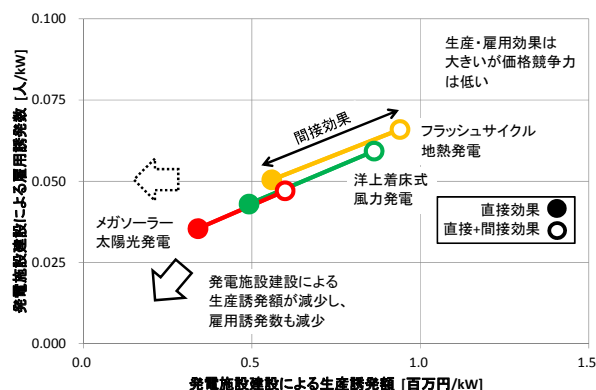
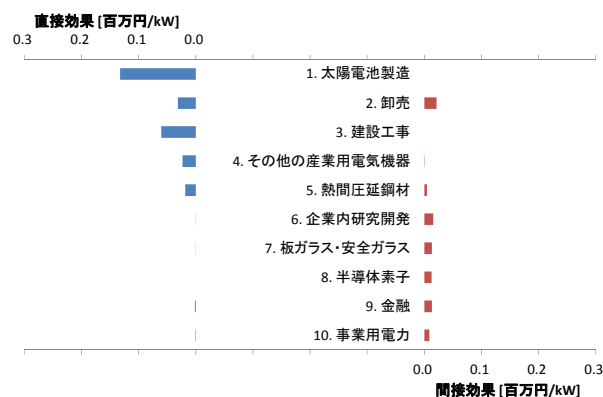
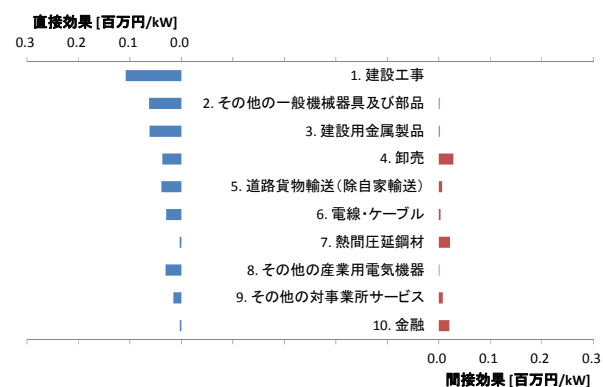


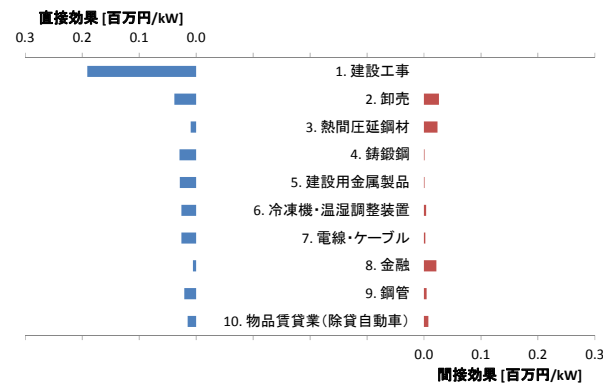
図2 生産誘発額と雇用誘発数の関係から見る発電施設建設の直接・間接効果



(a) メガソーラー



(b) 洋上着床式風力発電



(c) フラッシュサイクル地熱発電

図3 発電施設建設による産業部門別の生産誘発額 (直接効果と間接効果の総和の大きい上位10部門)

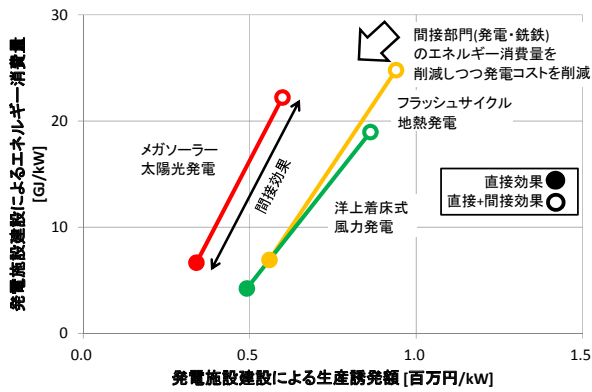


図 4 生産誘発額とエネルギー消費量の関係から見る発電施設建設の直接・間接効果

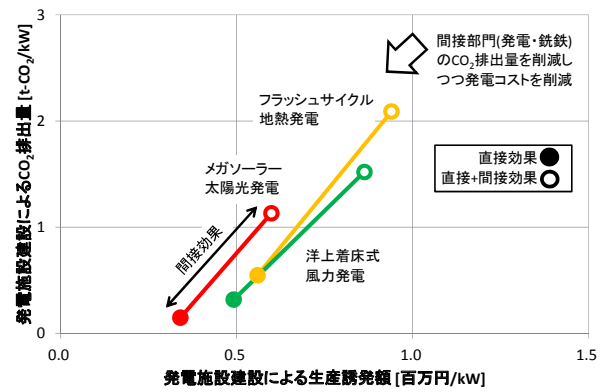
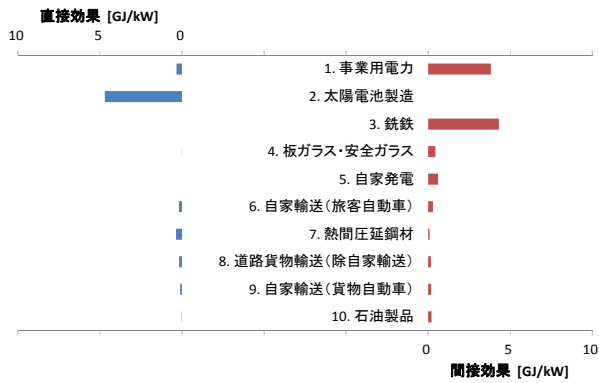
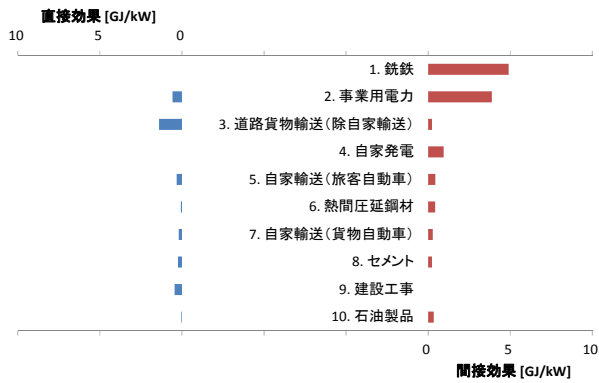


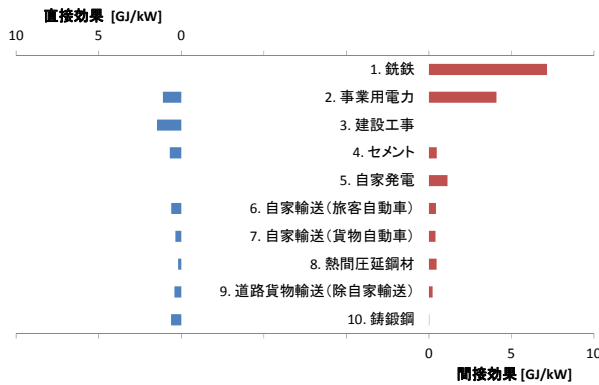
図 6 生産誘発額とCO₂排出量の関係から見る発電施設建設の直接・間接効果



(a) メガソーラー

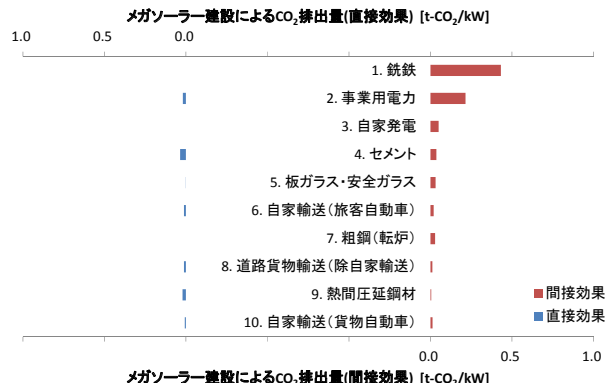


(b) 洋上着床式風力発電

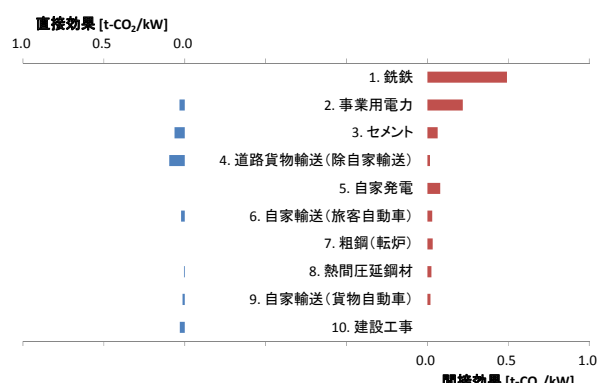


(c) フラッシュサイクル地熱発電

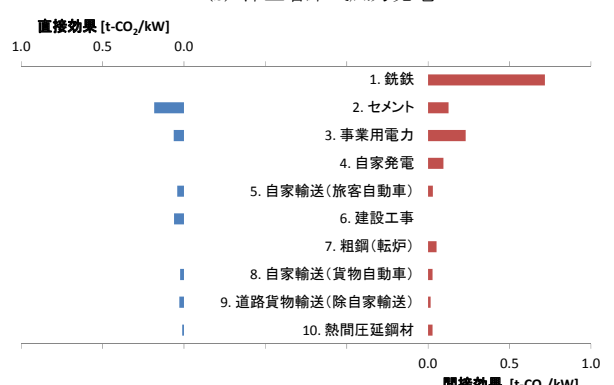
図 5 発電施設建設による産業部門別のエネルギー消費量(直接効果と間接効果の総和の大きい上位 10 部門)



(a) メガソーラー



(b) 洋上着床式風力発電



(c) フラッシュサイクル地熱発電

図 7 発電施設建設による産業部門別のCO₂排出量(直接効果と間接効果の総和の大きい上位 10 部門)