

# 拡張産業連関表を用いた地熱発電のライフサイクル雇用分析

## Employment life cycle analysis of geothermal power generation using an extended input-output table

稗 貫 峻 一 \* ・ 本 藤 祐 樹 \*\*

Shunichi HIENUKI

Hiroki HONDO

The present study aims to create an extended input-output (I-O) table to analyze environmental and socio-economic impacts of renewable power generation technologies such as solar photovoltaic (PV), wind power, geothermal power. As the first step, the authors have already developed an extended I-O table including new sectors related to solar PV and wind power generation. As the second step, focusing on geothermal power generation, the present paper modifies the Japanese I-O table for 2005. The input coefficients and direct employment coefficients for geothermal-related sectors are estimated based on published statistics and interviews with research institutes and companies. Using the extended I-O table with geothermal-related sectors, employment life cycle analysis of geothermal power generation is performed. Total employment induced over the whole life cycle (e.g. well drilling, power plant construction and operation) is estimated to be 0.73 person/GWh. Indirect employment accounts for 78% of the total employment.

**Keywords** : Employment effect, Geothermal power generation, Input-output analysis,

### 1. 背景と目的

太陽光、風力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギー技術の導入は、二酸化炭素による地球温暖化の防止や、エネルギー自給率向上による安全保障の強化と共に、産業の活性化や雇用創出も期待されている。また、政府も固定価格買取制度<sup>1)</sup>などの政策によって再生可能エネルギーの利用を促進する方針を打ち出している。このような背景から、再生可能エネルギーの導入に伴う影響を、環境・社会・経済の側面から定量的に明らかにする必要がある。

社会的な側面においては、再生可能エネルギーと雇用の関係に着目した研究が、米国やEU諸国でなされてきた。例えば、Lehrら(2008)<sup>2)</sup>は、風力、水力、太陽光、地熱、バイオマスを対象とし、26400の関連事業者へのアンケート調査から拡張産業連関表を作成し、経済モデルとシナリオ分析を組み合わせることで、将来の労働市場に対して与える影響を分析している。また、Tourkoliasら(2011)<sup>3)</sup>は、失業率の問題を背景に、風力、水力、太陽光、地熱、バイオマスを対象とし、産業連関分析とシナリオ分析を用いて、再生可能エネルギー技術の導入と運用が生む直接・間接の雇用量を推計した上で、失業者の減少が社会にもたらす便益を分析している。

日本では環境省(2009)<sup>4)</sup>が産業連関表を用いて、再生可能エネルギーの普及に伴い創出される雇用量を報告している。しかし、2000年の104部門表を用いた分析であ

り、かつライフサイクル全体を考慮しておらず、それぞれの再生可能エネルギー技術の特性を十分に反映しているとは言い難い。それ故に、松本ら(2011)<sup>5)</sup>は、産業連関表(2005年基本表)を土台として、太陽光発電と風力発電に関連する8部門を新設した拡張産業連関表(413部門)を作成し、両技術のライフサイクルにわたる雇用効果を分析している。他方で、松本ら(2011)<sup>5)</sup>では地熱やバイオマスなどは検討されておらず、それらの発電技術も組み込んだ拡張産業連関表の作成が求められる。

本研究では、安定供給を特徴とする地熱発電に着目し、2005年産業連関表をベースに地熱発電に関連する部門を新設した拡張産業連関表を作成し、地熱発電のライフサイクル全体で発生する雇用量を推計することを目的としている。

### 2. 分析方法

#### 2.1 産業連関分析による誘発雇用量の推計

一般には、式(1)に示されるように、最終需要ベクトル $f$ にレオンチェフ逆行列を乗じることで、部門別誘発生産額ベクトル $X$ が算出される。さらに式(2)に示されるように、求められた部門別誘発生産額に部門別雇用係数を乗ずることで、直接間接に誘発される雇用量が算出される。

$$X = (I - A)^{-1} f \quad (1)$$

$$L = \ell (I - A)^{-1} f \quad (2)$$

$I$ : 単位行列,  $A$ : 投入係数行列,  $\ell$ : 雇用係数ベクトル,

$L$ : 直接間接に誘発される雇用量

\*横浜国立大学 大学院環境情報学府 博士課程前期  
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

\*\*横浜国立大学 大学院環境情報研究院 准教授  
〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

## 2.2 既存産業連関表の問題点

すべての経済活動は、産業連関表のいずれかの部門に必ず含まれている。本研究で対象としている地熱発電のライフサイクルにわたる全ての活動、すなわち資源調査、井戸掘削、発電施設建設、そして発電という活動も同様である。既存の産業連関表では、資源調査、井戸掘削、発電施設建設の3種の活動は「電力施設建設」部門に、地熱発電という活動は「事業用電力」部門に含まれる。

しかし、これらの「電力施設建設」「事業用電力」部門は、火力、原子力、水力発電など様々な発電技術が含まれている。それ故に、既存の産業連関表を用いて、地熱発電のライフサイクルにわたり直接間接に誘発される生産額や雇用量を推計すると、それらの値は全ての発電技術の平均値となってしまう。つまり、既存の産業連関表では、各発電技術の特性を十分に反映した分析は困難である。

## 2.3 ハイブリッド分析法の採用

本研究では、雇用量をよりの確に分析するために、直接的に生じる雇用量と、間接的に誘発される雇用量を別々に推計するハイブリッド分析法を用いる。

具体的には式(3)にしたがって、地熱発電のライフサイクルにわたり直接間接に誘発される雇用量 ( $L$ ) を推計する。上述した4種の活動に伴う直接雇用量 ( $L_{direct}$ ) は最終結果に与える影響が大きいと推察されるので、文献およびヒアリング調査により推計する。他方、それらの4種の活動に投入される財・サービスの生産に伴い間接的に生じる雇用量に関しては産業連関表を用いて推計する。ただし、本研究では、既存の投入係数行列の代わりに、「事業用地熱」部門を新設して電力部門を4部門に分割した拡張投入係数行列 ( $A'$ ) を用いている。また、より実態を反映した推計とするために、4種の活動に投入される財・サービスの額を表現している拡張最終需要ベクトル ( $f'$ ) もまた文献およびヒアリング調査に基づき推計している。

$$L = L_{direct} + \ell' \{(I - A')^{-1} f'\} \quad (3)$$

$I$ : 単位行列,  $A'$ : 拡張投入係数行列,

$f'$ : 最終需要ベクトル,  $\ell'$ : 拡張雇用係数ベクトル,

$L$ : 直接間接に誘発される雇用量,  $L_{direct}$ : 直接雇用量,

なお、電力部門だけを分割した拡張産業連関表を用いている理由は、発電技術の違い依存して投入構造が大きく異なるためである。他方で、地熱発電所の建設に必要なタービンや発電機などの設備機器は、対応する適切な部門が既存の産業連関表に存在することから、発電施設建設に関わる部門の新設は行わない<sup>脚注1)</sup>。

脚注1) 松本ら(2011)<sup>5)</sup>の太陽光発電の分析では、例えば、太陽電池を製造する「太陽電池」部門を新設している。これは、太陽電池が含まれる既存の産業連関表の部門の投入構造が、太陽電池のそれと大きく異なるからである。

## 3. 拡張産業連関表の作成

### 3.1 既設部門の統合と分割

本研究では2005年の日本の産業連関表(基本表)を用いており、財・サービスの生産は全て日本国内で発生すると仮定した。基本表は520行×407列であるが、以下の手順によって、403×403の正方行列を作成した。

まず、発電に関する「事業用発電」部門は、行1部門、列3部門(事業用原子力、事業用火力、水力・その他の事業用)であるため、行部門を「事業用原子力」、「事業用火力」、「水力・その他の事業用」に分割した。分割において、各部門への電力投入額は発電比率で按分した。

次に、発電部門以外の部門については、7桁の列コードを6桁の行コードに統一することで部門を統合した。なお、鉄屑、非鉄金属屑については、列部門に屑等の部門が存在しないので、それぞれ、銑鉄、非鉄金属地金に統合した。

### 3.2 「事業用地熱」部門の新設

地熱発電に関する活動を、「水力・その他の事業用」部門から以下の手順にしたがって分離し、「事業用地熱」部門を新設し、404×404の正方行列とした。

列部門を作成する際に必要な投入構造は、北海道電力、東北電力、東京電力、九州電力の平成22年度有価証券報告書<sup>6) 7) 8) 9)</sup>の、電気事業営業費用明細表と損益計算書の値に基づいて決定した。具体的には、電気事業営業費用明細表の「新エネルギー等発電費」の値に加えて、送電費、変電費、配電費、販売費を各発電技術の発電費によって按分した値を用いた。また、粗付加価値部門における営業余剰については、損益計算書における営業利益を同様に発電費で按分した値を用いることで投入構造を決定した。

行部門の産出構造は、3.1で示した方法と同様に、発電比率に基づき、「水力・その他の事業用」部門から「事業用地熱」を分割した。

### 3.3 「水力・その他の事業用」部門の調整

新設した「事業用地熱」部門の投入額と産出額が定まった後、分割前の「水力・その他の事業用」部門から新設部門の金額を差し引くことで既設部門の投入額と産出額を調整した。

調整方法については、松本ら<sup>5)</sup>と同じ方法を用いる。分割前の既存部門 $k$ への $j$ 部門からの投入額を $T_{jk}$ 、新設部門 $k+1$ への $j$ 部門からの投入額を $T_{jk+1}$ とすると、分割後の既存部門 $k$ への投入額( $T'_{jk}$ は式(4)のように表すことができる。

$$T'_{jk} = T_{jk} - T_{jk+1} \quad (T_{jk} > T_{jk+1}) \quad (4)$$

ただし $T_{jk} < T_{jk+1}$ のように新設部門への投入額が既設部門への投入額より大きくなることもあり、 $T'_{jk}$ がマイナスとなることがある。この場合、式(5)のように、 $j$ 部門から各部門 $i$ への産出額 $T_{ji}$ を $j$ 部門に対する中間需要合計 $\sum T_{ji}$ で除することで産出比率を求め、それに応じて $T_{jk+1}$

決定し、 $T'_{jk}$ がマイナスにならないようにした。

$$T'_{jk} = T_{jk} - T_{jk} / \sum_{i=1} T_{ji} \times T_{jk+1} \\ = T_{jk} (1 - T_{jk+1} / \sum_{i=1} T_{ji}) \quad (T_{jk} < T_{jk+1}) \quad (5)$$

### 3.4 雇用表の作成

投入係数表の拡張と同様に、雇用係数表についても拡張を行う。ここでの雇用係数とは有給役員数と雇用者数を生産額で除したものである。既設部門の雇用係数は、産業連関表の付帯表である雇用表の従業員数を用いて算出した。

3.1で新設した「事業用地熱」部門の雇用係数については、平成22年度再生可能エネルギーポテンシャル調査報告書（以下、ポテンシャル調査報告書）<sup>10)</sup>で設定されている式(6)に従って、14.5人とした。この値は、独自に行ったヒアリング調査の結果と比較しても妥当であることを確認している。なお、この人員数は、発電に必要な人数であり、協力会社の人数などは含まれていない。さらに、式(7)を用いて、この雇用量を国内総生産で割ることで、「事業用地熱」部門の雇用係数を0.0055と推計した。

$$\text{雇用量} = 0.0002 \times (\text{設備容量}) + 4.5327 \quad (6)$$

$$\text{雇用係数(人・年/百万円)} = \text{雇用量/国内総生産(百万円/年)} \quad (7)$$

## 4. 最終需要ベクトルと直接雇用量の推計

### 4.1 想定した地熱発電所

表1に、最終需要ベクトルと直接雇用量の推計において想定した地熱発電所の仕様を示す。詳細は後述するが、最終需要ベクトルの推計において用いた、ポテンシャル調査報告書<sup>10)</sup>で想定している発電所の仕様を基本とした。ただし発電方式と所内率については文献<sup>11) 12)</sup>およびヒアリング調査を参考に設定した。また、年間発電量については式(8)を用いて算出し、333 [GWh]とした。

$$Q_i \text{ (kWh)} = \text{設備容量}_i \text{ (kW)} \times 8760 \text{ (h/年)} \times \text{設備利用率} \times \\ (1 - \text{所内率}_i) \times \text{耐用年数}_i \text{ (年)} \quad (i = 1, 2, \dots, n)_i \quad (8)$$

### 4.2 最終需要ベクトルの推計

最終需要ベクトルの作成においては、適切なコストデータの入手が非常に重要である。そこで、公のデータであることに留意して、前述したポテンシャル調査報告書のコストデータを主として用いることとした。ポテンシャル調査報告書には、今後導入が考えられる標準的な5万kWの地熱発電のコストデータが示されており、その値は、NEDO「平成13年地熱開発促進調査」、新エネルギー財団の調査結果、有識者のヒアリング、事業者のヒアリングに基づき作成されている。

表2に、地熱発電のライフサイクルの各段階におけるコストを示す。表2に示されている値は、調査掘削と資源調査についてはヒアリング調査に基づき一部修正しているが、基本的にはポテンシャル調査報告書の値である。また運用費の一部は運転開始からの経過年数によって変化する

るが、ここではポテンシャル調査書と同様に8年目における運用費を用いた。表2からわかるように、運用費を除いた30年間で必要な金額の構成比は、大きいものから順に、37%が掘削（調査、初期投資、補充分）、28%が発電施設、18%が蒸気輸送管（初期投資、補充分）、10%が資源調査となっている。

表2のように、地熱発電のライフサイクルの各段階におけるコストの絶対額を決定した後に、各段階における投入資材の種類と金額、人件費など内訳を推計した。資源調査、掘削、蒸気輸送管に関しては、ヒアリング調査から得た情報に基づき、それらの活動に投入される財・サービスの種類と金額を決定した。また発電施設に関しては、地熱発電コスト計算システム操作マニュアル<sup>11)</sup>を用いて推計した。

### 4.3 直接雇用量の推計

地熱発電のライフサイクルの各段階（調査、建設、運用）において直接発生する雇用量については、ヒアリング調査に基づき決定した。

表1 想定した地熱発電所の仕様

設備容量	50000 [kW]	耐用年数	30 [年]
発電方式	シングルフラッシュ	所内率	4.9 [%]
設備利用率	80 [%]	年間発電量	333 [GWh]

表2 最終需要ベクトルのベースとなるコストデータ

	工程	詳細	金額	
			[百万円]	
調査	掘削 (調査)	小口径 調査井(生産井)	2,000m×7本 1,800m×4本	1400 1440
		還元井	1,200m×2本	480
		小計		3320
	資源調査	重力探査		20
		電磁探査		40
		環境調査		30
噴出試験			110	
小計		200		
建設	掘削 (初期投資)	生産井	1,800m×9本	3240
		還元井	1,200m×12本	2880
	小計		6120	
	用地取得	1,000,000㎡	1000	
	用地造成	25,800㎡	258	
	基礎		150	
	基地間道路	生産基地	3ルート	630
		還元基地	2ルート	280
	小計		910	
	蒸気輸送管 (初期投資)	生産井分	1,000m×11本	4400
還元井分		500m×13本	1105	
小計		5505		
発電施設			10000	
運用 (年間)	掘削 (補充分)	生産井	1,800m×11本/30年	132
		還元井	1,200m×13本/30年	104
	小計		236	
	蒸気輸送管 (補充分)	生産井分	100m×11本/30年	10
還元井分		200m×13本/30年	10	
小計		20		
運用費			1317	

## 5. 結果

地熱発電のライフサイクルにわたり直接間接に誘発される1GWhあたりの生産額と雇用量は、それぞれ、25.92百万円/GWh、0.73人・年/GWhと推計された。

図1は地熱のライフサイクル雇用原単位の内訳を示している。雇用量全体の22%が地熱のライフサイクルの各段階（資源調査、井戸掘削、蒸気輸送管、施設建設、運用）において直接的に生じている。他方で、機器の製造や輸送などに伴い間接的に誘発される雇用量が全体の78%を占めている。図2は間接的に誘発される雇用量の部門別内訳を示している。「変圧器・変成器」「その他の一般作業機械および装置」などの製造業よりも、「卸売」「その他の対事業所サービス」「道路貨物輸送」などのサービス業における雇用誘発が大きいことが認められる（ただし「事業用地熱」部門の投入係数に再検討を要する点が残されており、今後、値が変化する可能性があることに留意されたい）。

また雇用の継続性という観点からみると、発電所の運転に伴う継続的な雇用量は全体の55%を占めている。

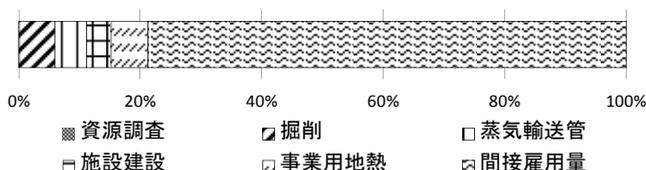


図1 ライフサイクル雇用原単位の内訳

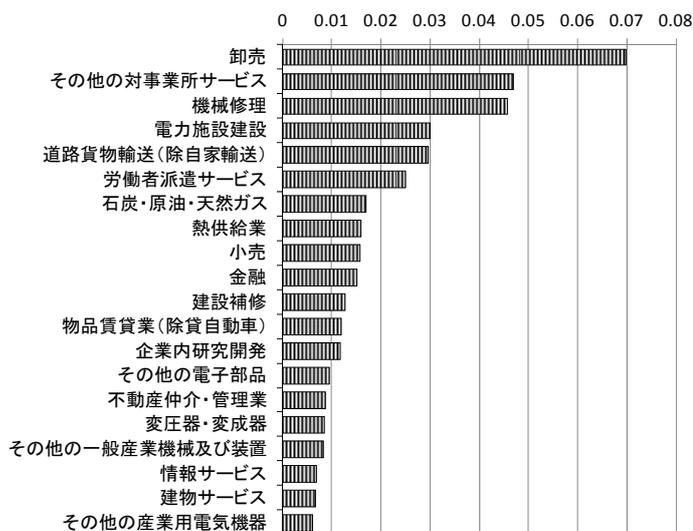


図2 ライフサイクル雇用原単位の間接分の部門別内訳

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、2005年産業連関表を基に、発電部門を分割した拡張産業連関表を作成し、地熱発電のライフサイクルにわたり直接間接に誘発される雇用量を推計した。その結果、地熱のライフサイクル雇用原単位は0.73人・年/GWhであり、このうち78%が間接的に発生する雇用であることがわかった。

ただし、以下の2点について今後検討を予定しており、その結果によって値が変わりうることに留意されたい。第一に、新設した「事業用地熱」部門の投入係数は有価証券

報告書から推計されているが、産業連関表の部門と有価証券報告書の費用明細表の区分との整合性などについて詳細に検討し、より妥当な投入係数を設定する予定である。第二に、設備容量5万kWの地熱発電を想定した最終需要ベクトルおよび直接雇用量についても、事業者や専門家へのヒアリング調査などに基づき、妥当性を確認することが求められる。

分析手法に関する今後の課題としては、固定資本の取り扱いが挙げられる。今回は、地熱発電のライフサイクル雇用原単位の推計を主たる目的としているため、井戸掘削や発電所建設など固定資本を産出する内生部門の新設は実施しなかった。しかし今後、風力や太陽光なども含めて複数の再生可能エネルギー技術に関連する様々な分析、評価を可能とするためには、固定資本を産出する内生部門を組み込んだ、より汎用的な拡張産業連関表の作成が期待される。

## 7. 謝辞

日鉄鉱コンサルタント(株)、奥会津地熱(株)、電力中央研究所の方々をはじめ、ヒアリング調査そしてデータ提供にご協力頂いた皆様に厚く御礼申し上げます。

## 8. 参考文献

- 1) 資源エネルギー庁； なっとく！再生可能エネルギー  
<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/index.html> (アクセス日 2011.11.30)
- 2) U. Lehr et. al; Renewable energy and employment in Germany, Energy Policy, 36(1), 108-117, (2008)
- 3) C. Tourkolia, S. Mirasgedis; Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(6), 2876-2886, (2011)
- 4) 低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策検討；低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及と政策について、参考7 再生可能エネルギー普及に要する費用と普及がもたらす具体的な効果, (2009)
- 5) 松本直也, 本藤祐樹；日本エネルギー学会誌, 90(3), 285-267, (2011)
- 6) 北海道電力；有価証券報告書, 平成22年度
- 7) 東北電力；有価証券報告書, 平成22年度
- 8) 東京電力；有価証券報告書, 平成22年度
- 9) 九州電力；有価証券報告書, 平成22年度
- 10) 環境省；平成22年度再生可能エネルギーポテンシャル調査報告書 (2011)
- 11) 西日本技術開発株式会社；地熱発電コスト計算システム操作マニュアル (平成14年6月改定)
- 12) 日本地熱調査会；わが国の地熱発電所設備要覧 (2000)