

白浜町における熱水融通システム構築と バイナリー発電の適用について

佐藤 涼祐¹・四條 雅之¹・松井 翔太¹・齋藤 健太郎¹・
靄巻 峰夫²・中尾 彰文³・吉田 登⁴

¹非会員 八千代エンジニアリング株式会社 技術推進本部（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8CSタワー）

E-mail: ry-sato@yachiyo-eng.co.jp

²正会員 和歌山工業高等専門学校 環境都市工学科（〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77）

E-mail: tsurumaki@wakayama-nct.ac.jp

³非会員 和歌山大学システム工学部（〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930）

E-mail: nakao.akifumi@g.wakayama-u.jp

⁴正会員 和歌山大学システム工学部環境システム学科（〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930）

E-mail: yoshida@sys.wakayama-u.ac.jp

和歌山県白浜町において、温泉熱を活用したバイナリー発電事業会社を設立し、事業会社が温泉熱による発電を行った後、旅館等に給湯する事業を構想した。このとき、他の源泉、需要者との調整によって温泉水消費量、海域放流量を現状のままとして、源泉枯渇や放流量増加による環境影響を回避する方策も提案した。しかし、採算性の検討では、売電にFIT制度を活用してもFIT制度適用期間内に初期投資の回収が難しいという結果になり、他の既存事例と同様に初期投資に係る費用に対する補助金が必要であることがわかった。

この事業におけるCO₂削減効果としては年間約46.9t-CO₂と算定された。また、白浜町地域産業連関表を作成し、経済波及効果を検討したところ、見学による新規の客数増加を考慮すると直接投入金額の約1.5倍の経済波及効果が試算された。

Key Words : renewable energy, geothermal power, binary cycle power generator, CO₂ reduction, economic effect

1. はじめに

もメリットがある形が望まれる。

(1) 再生可能エネルギー開発事業の課題

地球温暖化対策として、環境負荷の少ない再生可能エネルギーの普及が目指されている。2015年7月に閣議決定された「長期エネルギー需給見通し（エネルギーミックス）」によれば、2030年度における再生可能エネルギーの導入水準は22～24%である。固定価格買取制度（以下「FIT制度」という）の影響もあり、開始後の4年で再生可能エネルギーの設備容量は2.5倍となった¹⁾。この様に、再生可能エネルギーの導入は積極的に進められているが、一方で、開発による地元の空洞化も問題になっている。再生可能エネルギーを当該地域の資源と捉えれば、社会システムとしては、資源を提供した地元に

(2) 地熱発電の特徴とバイナリー発電

地熱発電は一般的に次の性質を有するとされる。①CO₂排出量が非常に少なく②出力が安定し③エネルギーの枯渇が考え難いというものである。地熱発電のライフサイクルCO₂は13.1g-CO₂/kWhであり、石油火力発電の平均値738.0g-CO₂/kWhと比較すると、約56分の一である²⁾。また、地熱発電は昼夜問わず、天候や季節に左右されないため、設備利用率が70%とされ、その稼働率は太陽光の約6倍近い³⁾。さらに、地熱発電はマグマの熱により形成された地熱貯留層の地熱流体を使用するが、マグマの枯渇は考え難い。

一方、地熱発電は地熱貯留槽が必ずしも地中浅部に存

在するとは限らないため、基本的な発電方式であるフラッシュ方式は地熱流体のエネルギーを蒸気の形で使用するが、温度の低い蒸気に本方式を適用しても、コストの割に出力を十分に得られないとされる⁴⁾。そこで活用されるのがバイナリー方式である。バイナリー方式は、水よりも沸点の低い熱媒体と熱交換することにより得られる蒸気を用いて発電する方式であり、フラッシュ方式よりも適用可能な温度範囲が広い。メーカーによっては地熱流体の温度が70℃から発電が可能であり、工場排熱や温泉熱等の未利用熱を有効活用することができる。未利用熱エネルギー活用は、地球温暖化の重要な対策として位置づけられており、バイナリー発電は低温の熱水等を利用して発電する有用な手法のひとつであると言える。

また、地熱発電は、分散型システム、地域活性化のための地産地消システム等への貢献としても着目されている。例えば、発電に使用した後の熱水を二次利用して、熱水で農業ハウスのボイラーを代替し、収益性の高い農作物の栽培を可能となる。これにより、新たな雇用創出や地域特産品の開発等も可能になる⁵⁾。

(3) 本誌の目的

以上の背景の中で、和歌山県白浜町において、バイナリー発電を使用した発電事業と発電に使用後の熱水を地域に融通する事業の構想を立て、その可能性調査を行った。本事業においては、地元の抱える不安を解消しつつ、事業性を満たすことが求められた。本誌は、その取組内容を紹介し、今後の開発事業や持続可能な社会・環境システム構築の一助とすることを目的とする。

2. 地元の抱える課題

白浜町は、和歌山県の南部に位置する人口21,533人の町⁶⁾であり、有馬・道後と並ぶ日本三大古湯「白浜温泉」を有する観光地である。温泉業が盛んであるが、他の地域と異なり、温泉組合が無い。また、旅館やホテルが自社の温泉井戸を保有している形態と異なり、温泉井戸を保有し旅館等に対し温泉を供給する会社（以下「温泉供給会社」という）が、各々の経営判断で各旅館・ホテルと契約し温泉を供給する商慣習が成立している。したがって、温泉供給会社から旅館等には各供給会社が独自にパイプラインを引き、管理している。そして、この地域では、温泉は生活排水として処理されず、専用の排水ルートを辿り直接海域へ流出する。以上のような特徴から、白浜町には次の懸念・課題が存在した。

(1) 漁業関係者の懸念

海域に流出する温泉成分及び温泉の流入による海温上

昇が海洋環境に影響を与えるのではないかと、という懸念が存在した。

(2) 温泉供給会社の懸念

今回活用を予定した源泉は、通常時は湧出を止めている源泉であった。そのため、温泉供給会社の中には、源泉を改めて湧出させることにより、自社源泉の湧出量減少又は湧出停止を招くのではないかと、という懸念が存在した。

(3) 冬季の熱量不足

本地域には、冬季十分に温泉を提供できない旅館等が存在した。理由は、前述の商慣習により、地域で温泉パイプラインの効率的な敷設が行われていないことによる。具体的には、自社から離れた旅館に対して温泉を供給している場合、冬季、パイプラインを通じ熱が奪われ、結果として旅館側が温泉の提供温度を維持できない事態が生じていた。

3. 熱水融通モデル

(1) 熱水融通モデル

上記の懸念・課題を解決することを目指し、構築したモデルが「熱水融通モデル」である。これは、発電に使用した熱水を白浜町内の温泉供給会社へ融通し、融通を受けた温泉供給会社は融通を受ける分だけ取水量を抑えることにより、白浜町全体の温泉総利用量を発電事業開始前後で変化させないモデルである。これにより、発電所から海域への直接放流を避けることができ、海域放流量も発電事業前後で変動しないことになる。また、白浜温泉全体での湧出量が発電事業前後で変わらないため、温泉の涵養に大きな負荷を与えない。そして、温泉の融通先は、可能な限り冬季に熱量が不足する温泉供給会社とすることで地元の課題を解決することができる。

そして、本モデル事業の事業主体として、温泉供給会社の出資を含む特定目的会社（SPC：Special Purpose Company）を想定した。これにより、得られるベネフィットを直接地元と共有することができる。

かかる事業モデルの実現性を、地元温泉供給会社のヒアリングを通じて検証したところ、以下の課題が明らかになった。

(2) 熱水融通モデルの課題

a) 取水方法

発電所で使用した温泉を融通する際、熱水受給者が、自社保有の温泉井から取水量を「融通を受ける分だけ」抑える必要がある。ここで、温泉の揚湯方法の問題が生

じる。揚湯方法には大きく、自噴、エアリフト、動力揚湯の三種類があるとされており、取水量を任意に操作できる温泉井は、動力揚湯の場合だけである。自噴及びエアリフトの場合に取水量を調整できないのは、一旦湧出を始めると自然に湧出を続け、無理に湧出量を調整し坑井に圧力をかけると、坑井自体が崩壊するためである。したがって、自噴泉に融通する場合には、融通分温泉の取水が増えるため、過度な取水が白浜温泉全体に影響を与えないよう、白浜温泉全体の坑井のモニタリングをする必要がある。

b) 泉質

温泉を公共の浴用・飲用に利用する者は、都道府県知事又は保険所設置市長の許可が必要を受けることが必要であり、許可を得た施設では、温泉成分の揭示が必要である。そしてこの揭示は、登録分析機関の行う温泉成分分析結果（10年に一度の定期的な分析を要する）が必要である⁷⁾。

そのため、温泉を混合させ、泉質に変化が生じた場合は改めて温泉成分の分析を行い、その結果を揭示する必要がある。したがって、発電に使用する熱水の泉質と、融通を受ける側の泉質が近いことが望ましく、仮に泉質が変化する場合、追加のコストが必要となる。

(3) 融通料

温泉の融通先に対して、融通の対価（融通料）を請求する場合には、その金額が問題となる。温泉の販売対価は、当該地域における商慣習に従い算出され、白浜町においては「石売り」という方式が採用されている。これは、5.5 m³を一石とし単価が設けられ、一石の容積を有する浴槽を満たし続ける量の温泉を提供する義務を温泉供給会社は負う。例えば、自宅に一石のバスタブを有する需要者が、100万円/石/月の契約をする場合、需要者は一か月間100万円で自宅のバスタブに温泉をかけ流しで使用できるということになる。もちろん、具体的な金額は、個別の契約条件に左右される。

融通料は、熱水を供給する側、される側双方の事業性に影響を与える内容であるが、原則は、熱水供給を受ける側が、自己保有の源泉から取水を免れた分と同等以下のコストで融通することが求められる。

4. 事業性評価

(1) ポテンシャルと発電規模

本モデルの事業性の前提として、検討対象の源泉が有するポテンシャルを確認した。白浜地域の特徴として、湯崎付近に断層があり、地温もこの地域が唯一90℃を超えるが、図-1に示す通り、発電に必要な70℃以上の

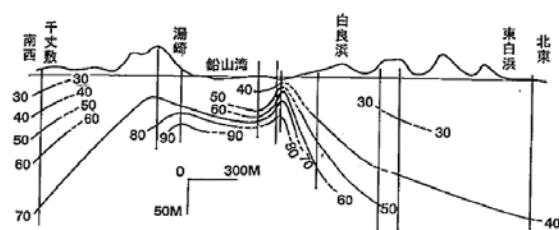


図-1 白浜温泉地温分布⁹⁾

地温を示す地域は、湯崎-鉛山湾間以外では地下300メートルを超え、温泉井戸としては深い⁸⁾⁹⁾。したがって、発電に適する温泉が湧出する地域は湯崎-鉛山湾周辺に限られる。なお、今回活用する源泉は、当該地域に存在する。

加えて、検討対象源泉の湧出量及び温度調査を行ったところ、湧出量平均564L/min、温度平均86.3℃だった。この結果に基づき、導入を検討した発電設備は、株式会社IHI（以下「IHI社」という）の「Heat Recovery」及び株式会社神戸製鋼所（以下「神戸製鋼所」という）の「Microbinary」である。どちらも、不活性ガスを二次媒体としたバイナリー発電機である。

(2) 採算性検証

a) 収益

まずはIHI社のHeat Recoveryをベースに検討した。設備費、建設費は、合計3,000万円とした。

発電出力は、上記の熱水条件に加え、冷却水条件を必要量10L/min、温度平均25℃と設定すると、16~17kWとなる。但し、冷却水ポンプ、温水ポンプに動力を使用するため、これらの消費電力合計5kW前後を差し引くと、送電端出力は11~12kWとなる。

次に、設備における年間稼働率の設定が問題となるが、同設備を導入した先行事例である湯梨浜地熱発電所及び湯村温泉バイナリー発電施設（新温泉町）にヒアリングを行ったところ、湯梨浜では、発電機を止めたことは殆どなく年間3日程であった。一方、新温泉町では1ヶ月近く運転を止める場合もあったという。そこで、今回の検討では、年間315~335日稼働すると考え、年間稼働率9割と設定した。

そして、FIT制度を活用し売電する場合は、買取価格が40円（税抜）/kWhであるから、年間の売電額は以下のとおりとなる。

$$12\text{kW} \times 24 \text{ (時間)} \times 365 \text{ (日)} \times 0.9 \text{ (稼働率)} \\ \times 40 \text{ 円 (税抜) / kWh} = 3,784,320 \text{ 円/年}$$

b) 費用

本発電設備のメンテナンスは、発電ユニットを構成す

る各部で必要となるが、特にコストとしてインパクトを与える項目が、タービンの軸受け及びグリスの交換費用である。これは、年1回、必ず必要とされる。これに係る費用について、新温泉町、サンバレー那須、湯梨浜地熱発電所でのヒアリング結果を踏まえ、120～150万円/年と見込んだ。

その他、設備の備品交換、スケール対策等を見込む必要があるが、特にバイナリー発電において重要なのは、熱交換プレートの洗浄である。泉質によって洗浄頻度は大きく異なる。なお、洗浄費用は、1回100万円程とされている。

ここで、検討対象源泉を活用した場合の熱交換プレート洗浄頻度を予測するために、先行事例と検討対象源泉との泉質比較を行った。各源泉の温泉分析書記載項目の中で、比較可能な項目を抽出し、整理した結果を表-1に示す。検討対象源泉の特徴として、塩化物イオン及び全硬度の値が高い。塩化物イオンは、設備を腐食させ、全硬度はスケール生成に影響を与える。塩化物イオン、全硬度ともに、サンバレー那須の2倍ほどである。この結果を踏まえ、現状における一応の予測として、新温泉町、サンバレー那須の倍近い頻度（1回/2年）で、スケール洗浄が必要と仮定する。したがって、熱交換器洗浄費用を50万円/年と見込み、その他の部品交換の費用も含め、80万円/年とする。以上から、発電設備のメンテナンス費用は下記計算に従い、220万円/年と設定した。

$$140 \text{ 万円 (軸受け+グリス)} + 80 \text{ 万円 (その他メンテナンス費)} = 220 \text{ 万円/年}$$

次に冷却水費である。本ケースで冷却に必要な水の量は778 m³である。白浜町における水道料金（基本水量：1,000 m³以下）は、基本料金が68,440円（2ヶ月）であり、1,000 m³を超える場合には超過料金として1 m³あたり70円必要である。しかし、本ケースでは、1,000 m³を超えないため、1,000 m³超に課せられる70円は不要である。したがって、年間の水道料金は、下記計算に従い、410,640円と設定した。

$$68,440 \text{ 円 (2ヶ月)} \times 6 \text{ (2ヶ月料金を1年分に換算)} = 410,640 \text{ 円}$$

表-1 泉質比較表

項目	検討対象源泉	新温泉町	サンバレー那須
pH (25℃)	7.8	7.4	8.1
塩化物イオン (mgCl/L)	1,408	140.2	746.5
硫酸イオン (mgSO ₄ ²⁻ /L)	5.1	150.2	484.9
全硬度 (mgCaCO ₃ /L)	137.19	49.71	66.34
カルシウム硬度 (mgCaCO ₃ /L)	82.25	49.25	56.5
遊離炭酸 (mgCO ₂ /L)	64.6	-	3.3

上記の他、電気保安協会に対する委託手数料30万円/年、減価償却費200万円/年が必要になる。また、資源購入料及び各業務委託手数料について検討が必要であるが、ここでは、変動項目として取り扱う。なお、資源購入料は、温泉を購入する場合には高く、熱のみ購入する場合には安くなる。

c) 検証

これまで前提条件として確定させた費用を整理すると、表-2のとおりである。

ここで、変動項目を含めて検証する。具体的には、収益として熱水融通料、費用として資源購入料及び各業務委託費用を検討する。

熱のみ購入する場合の資源購入料は40万円/年とし、熱水融通料は0円とした。温泉を購入する場合は各々1,000万円/年と設定した。温泉を購入するケースで熱水融通量と資源購入量を同料金としたのは、温泉の売買により、SPCに利益を残さないことを意味する。一方、業務委託手数料については、400万円/年と仮定する。結果は表-3のとおりとなる。

両パターンでは、損益、キャッシュフローともにマイナスとなる。したがって、この条件では、事業の継続が不可能である。

そこで、変動項目を変化させる。費用項目で、これ以上に抑えることが可能な項目はないため、収益項目を変化させる。温泉購入パターンにおいて、熱水融通料を15,000,000円とする。この時収支は表-4に示すとおりとなり、本パターンのキャッシュフローはプラスに転じる。この時、初期用の回収に係る年数は下記計算の通り、14.1年となる。

表-2 事業費用概算

単位：円（税抜き）

項目	事業費用
設置費、建設費	30,000,000
イニシャルコスト合計	30,000,000
設備メンテナンス費	2,200,000
冷却水費	410,640
電気保安協会委託手数料	300,000
減価償却費	2,000,000
ランニングコスト（一部）合計	4,910,640

表-3 パターン別事業費用概算

単位：円（税抜き）

項目	事業費用	
	温泉購入パターン	熱購入パターン
売電額	3,784,320	3,784,320
熱水融通料	10,000,000	0
収益合計	13,784,320	3,784,320
資源購入料	10,000,000	400,000
業務委託手数料	4,000,000	4,000,000
設備メンテナンス費	2,200,000	2,200,000
冷却水費	410,640	410,640
電気保安協会委託手数料	300,000	300,000
減価償却費	2,000,000	2,000,000
費用合計	18,910,640	9,310,640
損益合計	-5,126,320	-5,526,320
キャッシュフロー	-3,126,320	-3,526,320

$$30,000,000 \div 2,126,320 = 14.1 \text{ 年}$$

しかし、この結果では事業のキャッシュフローはプラスとなるが、SPCが熱水の融通により500万円の利益を上げる事業となる。これでは熱水融通条件のコスト条件を満たさない場合もあるし、何より、地元利益を還元する趣旨に沿わない。そこで、次に、神戸製鋼所の「Microbinary」を適用したケースを検証した。条件として、設備費及び建設費合計を65,000,000円、予想出力を37kW、所内動力分を除く送電端出力を30kWと設定すると、設備稼働率が9割のとき、年間売電量が236,520kWh、売電額9,460,800円/年となる。

一方、費用についてこれまで検討した金額から変更が必要なものは、減価償却費と冷却水代金である。

本ケースにおいて、冷却水の量は1,555 m³/2ヶ月である。前述の白浜町の水道料金体系に照らすと、年間の水道料金は643,740円となる。

$$(68,440 \text{ 円 (2ヶ月分基本料金)} + 555 \text{ m}^3 (1,000 \text{ m}^3 \text{超過分}) \times 70 \text{ 円}) \times 6 (2 \text{ ヶ月料金を1年分に換算}) = 643,740 \text{ 円}$$

整理すると表-5のとおりとなる。温泉購入パターンでも、熱購入パターンでも、キャッシュフローはプラスに転ずる。

d) 課題

Microbinary適用条件で、初期投資の回収に係る期間を計算すると

●温泉購入パターン

$$\text{初期投資額} 65,000,000 \text{ 円} \div 2,317,060 \text{ 円} = 28.0 \text{ 年}$$

表-4 収益項目を変化させた場合の事業費用概算

単位：円（税抜き）

項目	事業費用
	温泉購入パターン
売電額	3,784,320
熱水融通料	15,000,000
収益合計	18,784,320
資源購入料	10,000,000
業務委託手数料	4,000,000
設備メンテナンス費	2,200,000
冷却水費	410,640
電気保安協会委託手数料	300,000
減価償却費	2,000,000
費用合計	18,910,640
損益合計	-126,320
キャッシュフロー	2,126,320

●熱購入パターン

$$\text{初期投資額} 65,000,000 \text{ 円} \div 1,917,060 \text{ 円} = 33.9 \text{ 年}$$

となり、FIT期間である15年以内に回収できない。この結果から、送電端出力が30kWh以下の場合には、初期費用のコストダウンが事業の成否に大きく影響を与えることが分かった。現在は、FIT制度と両立が認められる補助金が極めて少ないが、未利用熱活用事業普及の観点からは、このようなバイナリー発電機を使用する小規模地熱発電事業に対する補助の必要性は高いと考える。また、同時に、メーカー側のイニシャルコスト、メンテナンスコスト削減を促す技術開発促進の必要もある。

表-5 Microbinary を適用した場合における事業費用概算

(単位：円/税抜)

項目	事業費用	
	温泉購入パターン	熱購入パターン
売電額	9,460,800	9,460,800
熱水融通料	10,000,000	0
収益合計	19,460,800	9,460,800
資源購入料	10,000,000	400,000
業務委託手数料	4,000,000	4,000,000
設備メンテナンス費	2,200,000	2,200,000
冷却水費	643,740	643,740
電気保安協会委託手数料	300,000	300,000
減価償却費	4,333,333	4,333,333
費用合計	21,477,073	11,877,073
損益合計	-2,016,273	-2,416,273
キャッシュフロー	2,317,060	1,917,060

5. CO₂排出量及び経済波及効果

(1) CO₂排出量

本事業の CO₂削減効果は、関西電力管内の事業であることに鑑み、

$CO_2 \text{削減効果} = \text{発電量 (kWh/年)} \times \text{関西電力の } CO_2 \text{ 排出係数 (kg-CO}_2\text{/kWh)}$

で求める。関西電力の CO₂ 排出係数は 0.496 (kg-CO₂/kWh)¹⁰⁾であるから、CO₂ 削減効果は以下のとおりとなる。

●Heat Recovery のケース

$$94,608 \text{ kWh/年} \times 0.496 \text{ kg-CO}_2\text{/kWh} = 46,926 \text{ kg-CO}_2\text{/年}$$

●Microbinary のケース

$$236,520 \text{ kWh/年} \times 0.496 \text{ kg-CO}_2\text{/kWh} = 117,314 \text{ kg-CO}_2\text{/年}$$

(2) 経済波及効果

a) 白浜町の観光客入込客集予測

検討の前提として、白浜温泉の観光者数を整理した。白浜温泉単独の統計は公表されていないため、白浜温泉・椿温泉の合算の統計を確認したところ、平成 27 年の観光客総数は 3,444,030 人であった¹¹⁾。ここで、発電事業開始後の集客数を予測する。参考として、長崎県小浜温泉の事例と、福島県土湯温泉の事例をもとに観光客入込客集を検討した。

小浜温泉では、2015 年 9 月から温泉熱発電による売電事業 (FIT 制度利用) を行っている。観光客は平成 23 年に大きく減少したものの、現在は回復基調にある。回復基調に転換した背景として、平成 25 年頃から地元の温

泉を生かした地域活性化の取り組みを開始したことが挙げられる。メディアに取り上げられ、視察訪問者は 2016 年 4 月現在延べ 3,900 人に達しているとされる¹²⁾。正確なデータは無いが、2013 年 4 月から 2016 年 4 月の期間とすると、月平均約 110 人前後が訪れている計算である。

次に土湯温泉については、震災による温泉街の衰退に歯止めをかけるために、地元では「温泉」だけの地域活性化は難しいと判断し、再生可能エネルギーに積極的に取り組む発案がなされた。その結果、本地域では、地熱発電事業の他小水力発電事業にも取り組み、2012 年 10 月に株式会社元気アップつちゆを設立し、地域活性化を担っている。以来、2015 年 11 月までに約一万人の視察者が本地域を訪れている¹³⁾。月平均約 260 人前後が訪れている計算である。これらの結果から、白浜町の観光客入込数を予測する。小浜温泉では平成 27 年観光客入込数年間 350 万人に対し発電事業関連の視察者は約 110 人/月、約 1,320 人/年であり、全体の 0.37%にあたる。土湯温泉では平成 26 年観光客入込数年間 20 万人に対し、発電事業関連の視察者は約 260 人/月、約 3,120 人/年であり、全体の 1.56%にあたる。

各地域の年間観光客入込数と視察者数は相関関係になく、取り組み内容により大きく変化する。したがって、今回は一先ず約 1,320 人/年及び約 3,120 人/年の実績を参考として、宿泊者として 2,000 人/年の増加を見込むこととする。

b) 経済波及効果の算出

本事業が地域の活性化にとってどの程度の貢献がなされるかを検討する。事業を行うことは、その事業自体に採算性があるかが前提となるが、優先度を考慮する場合、当該事業が地域にどの程度役に立つかという視点も重要となる。

ここでは、経済波及効果の検討手法として比較的汎用的に用いられている産業連関表¹⁴⁾と産業連関表から作成されるレオンチェフ逆行列を用いた解析を行う（以下「産業連関分析」という）。また、現状において、行政で作成されている地域産業連関表は都道府県レベルが一般的で市町村レベルでは極まれであるが、事業対象地である白浜町にとっての経済波及効果を計測するために、本検討では、「白浜町産業連関表」を作成して検討を行う。

(3) 白浜町産業連関表

本検討では既存文献¹⁵⁾¹⁷⁾に示されている検討方法を用いて白浜町の産業連関表を作成した。基本構成としては和歌山県産業連関表 108 部門表¹⁸⁾（以下「県産連表」という）にならない 108 部門表を作成する。各項目の計算方法の概要は表-6 に示すとおりである。

次に県内生産額をもとに白浜町内生産額を計算する。補正データは和歌山県統計年鑑（2011 年データ）に記載された関連数値を用いて内挿する。ただし、2011 年統計表にない数値は過去の数値も採用する。求めた町内生産額をコントロール・トータルズ(CT: Control Totals)として各取引額に配分する。

なお、内生部門及び粗付加価値部門への配分は県産連表の投入係数を用いる。

そして、最終需要部門は項目毎に以下のとおりである。家計外消費支出は、粗付加価値部門でも計上されており、行和として合計が計算できる。行和を最終需要部門の列和として県産連表の最終需要部門・家計外消費支出構成比で配分する。

民間消費支出は県・町の人口比で各部門に配分する。

一般政府消費支出及び同・社会資本減耗分は普通会計決算額の比で列和を計算し、配分は県産連表の構成比で各部門に配分する。

土木部門及び建築部門は、産出が固定資本形成部門のみである。公共事業部門の生産額を公的部門に全額割り当てる。建築部門の生産額は、民間に割り当てた後、残額を公的部門に割り当てる。

移輸出と移輸入は、既存検討事例では県外分と県内分とに区分して検討が行われている。県外分については、県産連表より計算できる部門別移輸入率、移輸出率より計算する。

県内分の移輸出入は、最後に残された計算となるので行和の町内生産額と他部門の総和の差額として計上する。

このとき、正の値の場合移輸出額に、負の値の場合移輸入額に加算する。

そして、以上の方法で作成した産業連関表を 13 部門表に統合する。

(4) 検討

経済効果は以下の 3 種類について検討を行う。

- ① 事業による他の事業者等に支払われる支出額（直接効果）
- ② 直接効果額のうち、他の事業者を支払われる支出額によって誘発される効果（一次波及効果）
- ③ 直接効果及び一次波及額のうち雇用者所得として支払われる金額のうち雇用者がさらに支出することによって誘発される効果（二次波及効果）

直接効果としては、次の 2 種類を算定対象とする。

- ① 事業会社の支出
- ② 事業の視察等による入り込み客の支出

表-6 白浜町地域産業連関表の各項目の算定方法

部門区分			計算方法
内生部門	町内 生産額 (CT)	農林水産業	産出額の比。利用できない場合は関連面積の比率
		鉱業	町内算出 0
		製造業	関連する製造業 32 部門別製造製品出荷額の比
		商業・金融・サービス業	関連産業部門の従業員数の比
		取引額配分	県産連表・投入係数により配分
粗付加価値部門		県産連表・粗付加価値部門の投入係数で配分	
最終需要部門	家計外消費支出		粗付加価値部門の行和を列和とする。県産連表・列部門構成比により配分
	民間消費支出		県産連表の額を人口比で配分
	一般会計消費支出		県産連表の額を普通会計決算額の比で配分
	町内総固定資本形成（公的）		土木部門生産額を県産連表の構成比で該当部門に全額配分
	町内総固定資本形成（民間）		建設部門生産額を県産連表の構成比で当該部門に配分。残額を公的部門に配分
	移輸出	県外分	県産連表・移輸出率
	移輸入	県外分	県産連表・移輸入率
	移輸出	県内分	全体の差分　プラスの場合　移出，マイナスの場合　移入
	移輸入	県内分	

表-7 産業連関分析へ入力する直接効果額

区分	支出項目	配分先の産業分類	支出額 (千円)	見積根拠など
事業会社	資源購入量	その他の対象事業所サービス	10,000	事業計画による
	業務委託手数料	その他の対象事業所サービス	4,000	同上
	設備メンテナンス費	自動車整備・機械修理	2,200	同上
	冷却水費	水道	411	同上
	電気保安協会委託手数料	自動車整備・機械修理	300	同上
	事業会社 計		16,911	
視察者等 宿泊客	お土産	食料品	6,000	3千円/人×2千人
	宿泊	宿泊業	20,000	10千円/人・泊×2千人×1泊
	昼食	飲食サービス	4,000	1千円/人・回×2千人×2回
	その他飲食	飲食サービス	2,000	夜外出・外食割合 20%×2千人×5千円/人
	視察者宿泊客 計		32,000	
合 計			48,911	

事業会社の支出は「4. 事業性評価」において設定された支出額について前項で作成した産業連関表の産業部門への配分を行う。

また、視察者等の事業化によって新たに発生する入り込み客数は、前項の通り、宿泊者として 2,000 人/年を見込み、支出額についても表-7 のように想定した。表-7 を入力して検討した結果を図-2 に示す。

直接効果額 48.9 百万円に対して、一次波及額 13.7 百万円、二次波及額 10.6 百万円となり、合計で 73.2 百万円と計算された。全体額は、直接効果額の約 1.5 倍となった。

6. まとめ

地熱発電の普及が進まない課題として、地元の反対を受ける事例がある。反対の理由は地域により異なるが、開発に当たり地元の空洞化を招かない工夫や、丁寧な検証と説明により、地元との関係を構築することが必要である。本事業では、本誌で述べたとおり、温泉供給会社の SPC への出資、熱水融通モデルの構築により、地元の空洞化を防ぎ、環境負荷を軽減するシステムを提案した。それ以外にも、発電所の熱水が全て海域に流入したケースでの影響を評価し、温泉資源の枯渇を防ぐための地域モニタリングの提案なども合わせて行うことで、一定程度、関係者の理解と納得を得られた。事業規模等によって地元の反応の程度は異なるものの、地元資源を活用し、地元利益が還元され、地元の課題が解決されるような開発が求められている。

一方、今回検討した規模のバイナリー発電事業では初期投資を回収することはできなかった。民間事業者だけでなく、国や地方自治体が積極的に普及策を講じ、大学

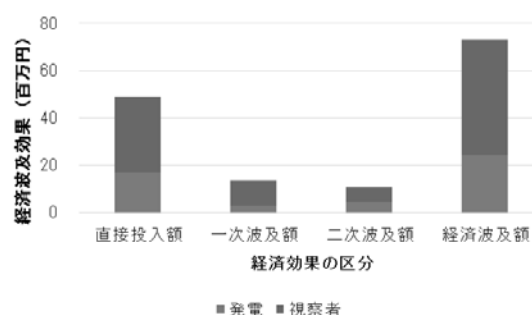


図-2 経済波及効果の検討結果

等と連携して技術開発に取り組むことが望ましい。例えば、湯梨浜地熱発電所では、湯梨浜町と鳥取県が、県内初の地熱発電事業化に向けて新たに補助制度を創設する等、主導的な役割を果たした。未利用熱を活用する小規模バイナリー発電の普及には、この様に、開発事業者、地元関係者、地方自治体が一体となる取り組みが求められる。

謝辞：株式会社白浜試錐、藤乃湯有限会社、協和地建コンサルタント株式会社、新温泉町役場温泉総合支所地域振興課、株式会社ホテルサンバレーには種々のデータを提供して頂きました。また、白浜温泉土地連盟、和歌山県商工観光労働部企業政策局産業技術政策課、白浜町総務課の皆様には貴重なアドバイスを頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁：エネルギー白書，pp.53，2016
- 2) 電力中央研究所：日本における発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量総合評価，pp.45，2016
- 3) コスト等検証委員会：報告書，pp.62，2011

- <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111221/hokoku.pdf> (2017.8.8 閲覧)
- 4) 日本地熱学会：地熱エネルギーハンドブック，pp.348, オーム社，2014
 - 5) 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構：我が国における地熱発電の現状と JOGMEC の役割，pp.5-6，2015
<http://geothermal.jogmec.go.jp/report/file/data03.pdf> (2017.8.8. 閲覧)
 - 6) 総務省統計局：平成 27 年国勢調査 人口等基本集計
 - 7) 温泉法第 15 条及び第 18 条
 - 8) 佐藤幸二：地質学雑誌 vol.70，pp110-126，1964
 - 9) 甘露寺泰男：温泉科学 51 巻，pp.23，2001
 - 10) 環境省：電気事業者別排出係数（特定排出者の温室効果ガス排出量算定用）-平成 27 年度実績-，pp.1-2，2016
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/104428.pdf> (2017.8.8 閲覧)
 - 11) 白浜町：白浜温泉街活性化構想推進計画，pp.9，2016
 - 12) 秋田涼子，平島佳奈，森谷優季：日経研月報 2016，再生可能エネルギーの活用可能性～日本の地熱利用を巡る現状と課題～第 2 回，様々な地熱発電の試み，pp.7，2016
 - 13) 秋田涼子，平島佳奈，森谷優季：日経研月報 2016，再生可能エネルギーの活用可能性～日本の地熱利用を巡る現状と課題～第 2 回，様々な地熱発電の試み，pp.9，2016
 - 14) 総理府 産業連関表 HP 産業連関表の概要 http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/index.htm#1 (2017.8.8. 閲覧)
 - 15) 中澤純治：市町村地域産業連関表の作成とその問題点，政策科学，Vol.9，No.2，pp.113-125，2002
 - 16) 本田豊，中澤純治：市町村地域産業連関表の作成と応用，立命館経済学，Vol.49，No.4，pp.51-76，2000
 - 17) 大久保優子，石塚孔信：鹿児島市産業連関表の作成と地域経済分析，経済学論集，Vol.73，鹿児島大学法文学部，pp.1-39，2009
 - 18) 和歌山県 産業連関表 HP <http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/020300/sangyo/> (2017.8.8. 閲覧)

(2017.8.25 受付)

STUDY ON THE ACCOMMODATIVE HOT SPRING SUPPLY AND THE APPLICATION OF BINARY CYCLE POWER GENERATOR

Ryosuke SATO, Shota MATUI, Kentaro SAITO, Masayuki SIJYO, Mineo TSURUMAKI, Akifumi NAKAO, Noboru YOSHIDA

In Wakayama Prefecture Shirahama-cho, we envisioned a binary power generation company that utilizes hot spring heat, and after the business, supply hot water to the inn. At this time, by adjusting with other sources and consumers, we propose measures to avoid the environmental impact caused by exhaustion of source and increase of discharged amount, while keeping hot spring water consumption and maritime discharge amount as they are. However, in the review of profitability, even if the FIT system is used for power selling, it is difficult to recover the initial investment within the application period of the FIT system, and as with other existing cases, subsidies for initial investment was found to be necessary.

As a CO₂ reduction effect in this project, it was calculated to be about 49.5 t-CO₂ per year. In addition, when we created the Shirahama-cho area input-output table and examined the economic ripple effects, it was estimated that the economic ripple effect of about 1.5 times the direct input amount was taken into consideration, considering the increase in new customers due to the inspection.