

主力電源としての地熱発電導入の展望

日本地熱協会

2022年11月1日

地熱発電導入実績及び見込み

- 2012年度以降の導入量は79MWe、開発・建設中は103MWeの計182MWe。本格的な資源調査が不要でリードタイムの短い**小・中規模案件が先行**。
 - 地熱調査の結果、資源量が十分でなく、断念せざるを得なかった案件が、大規模で4地点、中規模で2地点ある→**失敗リスク低減策**が必要。
- 2030年度**エネルギーミックス**には程遠い。
 - 導入目標：1,480MWe →FIT導入後の**新規積増し**目標は、**+約1,000MW**。
- **調査中の大規模案件を加速するとともに、新規大規模案件を発掘する必要がある。**

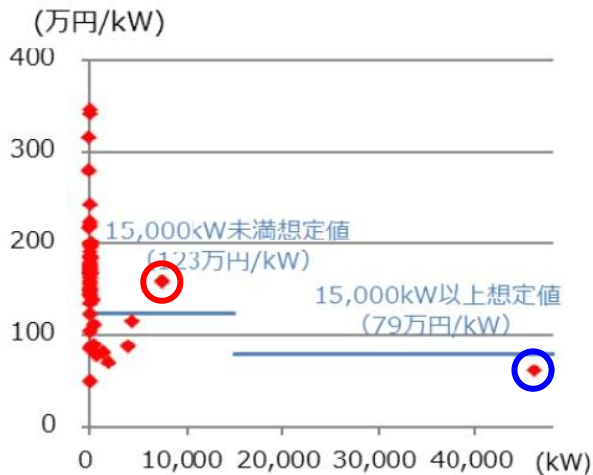
区分	2011年度末時点の既設発電所		2012年度以降の導入量		開発・建設中		調査中(推計)		新規地点(目標)		合計	
	ユニット数	2022年8月出力MWe	件数	出力MWe	件数	出力MWe	件数	出力見込MWe	件数	出力見込MWe	ユニット数/件数	出力見込MWe
大規模 (10MW以上)	14	449	2 (1)	46	5 (2)	51	17	238	20	280	58 (3)	1,065
中規模 (1-10MW)	3	13	6	25	12 (1)	44	36	180	20	100	77 (1)	362
小規模 (1MW未満)	1	1	59	8	33	7	N.D.	N.D.	20	3	113	19
合計	18 [20]	464 [540]	67 (1)	79	50 (3)	103	53	418	60	383	248 (4)	1,446

<備考> ①[]内数値は、2011年度末時点のユニット数と出力。②()内数値はリプレース件数。
③「調査中(推計)」と「新規地点(目標)」の出力試算の前提:大規模14MWe/地点、中規模5MWe/地点、小規模0.13MWe/地点。

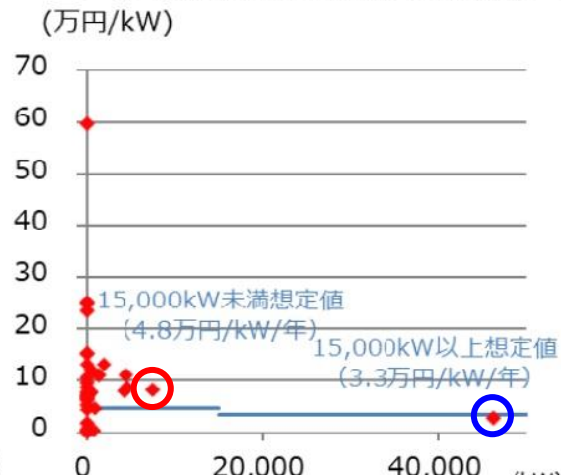
導入状況とコスト分析(1)

- 1000kW未満の**小規模発電の資本費**は154-188万円/kWと高い。温泉発電でFITのコスト想定対象外であり、資本費、運転維持費共に**バラツキが極めて大きく**、個別要因の影響が大きい事に留意が必要
- **中規模(1,000-10,000kW)の資本費**平均値が102万円/kWとFIT想定値(123万円/kW)を**下回る**が、既存の井戸、熱水を利用した**探査・掘削コストを含まない案件が含まれる**。掘削が伴う松尾八幡平(7,499kW, 2019年1月運開)は想定値を上回った。**大規模**の1件(山葵沢46、199kW)は61万円/kWと大規模(15,000kW以上)の想定値79万円/kWを**若干下回り**、現行の規模区分によるFIP/FIT価格の妥当性を示している。
- **運転維持費**は**中規模**が10.0万円/kW、**小規模**が10.0-11.3万円/kWと想定値(4.8万円/kW)を**上回った**。**大規模**(山葵沢)は2.8万円/kWと想定値(3.3万円/kW)を**下回った**。
- **主要な減価償却が終了する15年まではFIT、FIP等によって投資回収の確実性が担保されることが、投資判断の上で重要であるが、その後は数十年にわたり格段に運転維持費が安く、自立可能と考えられるので、こうした電源特性を踏まえたFIT、FIP価格の検証が必要**

＜出力と資本費の関係＞



＜出力と運転維持費の関係＞



○ 松尾八幡平 ○ 山葵沢

地熱発電の規模別のコスト動向

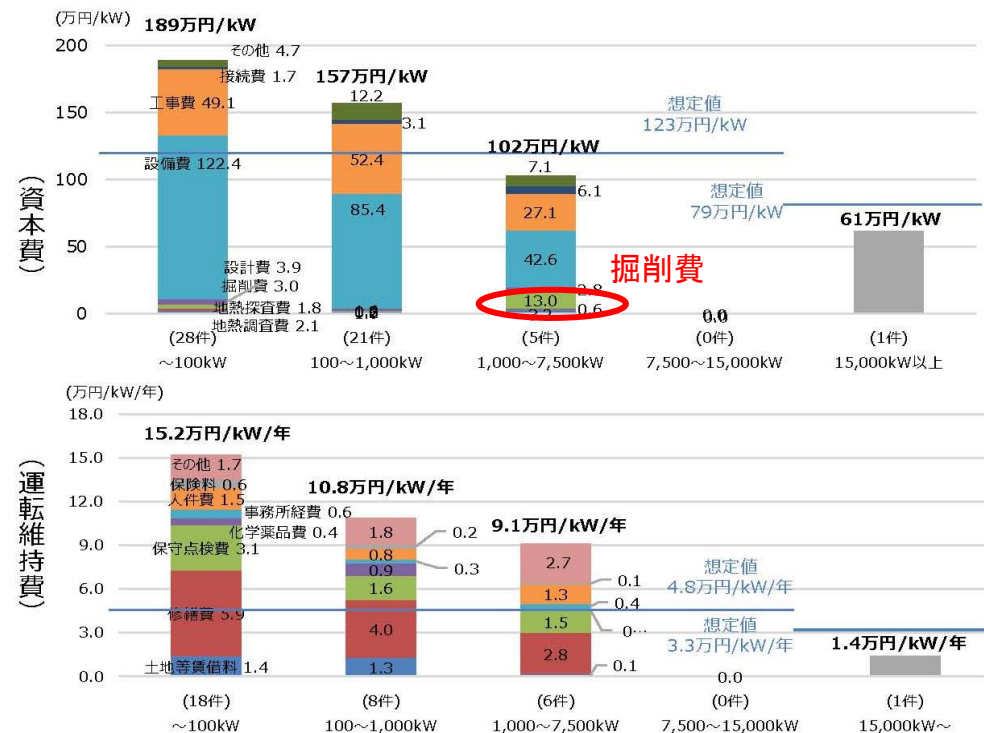
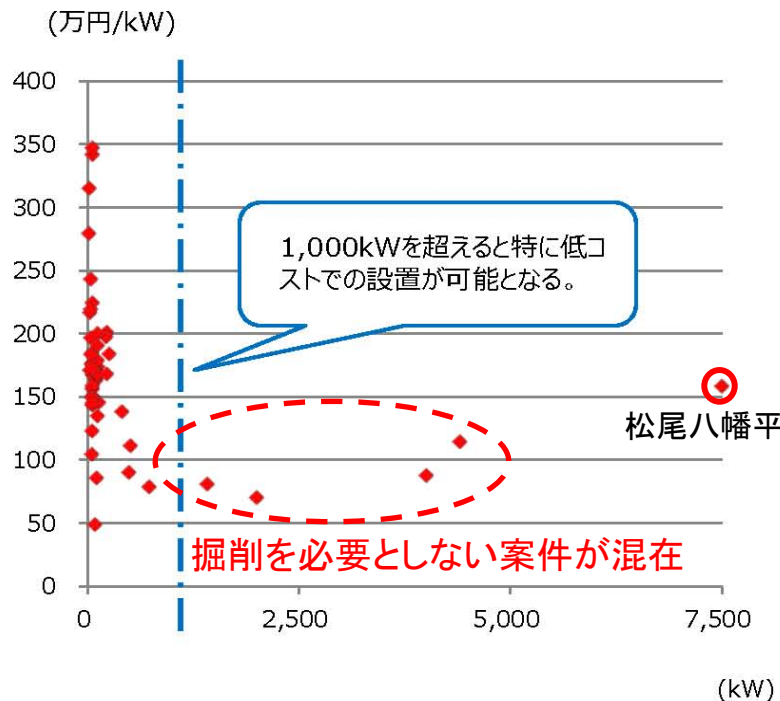
	-100kW	100-1,000kW	1,000-7,500kW	7,500-15,000kW	15,000kW-
認定件数	43件	45件	11件	2件	1件
導入件数	37件	33件	6件	0件	1件
資本費平均値(万円/kW)	188	154	102	—	61
運転維持費平均値(万円/kW/年)	10.0	11.3	10.0	—	2.8*

※15,000kW以上の定期報告データ1件は運転開始から1年を経過した年度のデータであるため、今後の動向に留意が必要。

導入状況とコスト分析(2)

- 資本費では中規模(1,000-10,000kW)の平均102万円/kWのうち、小規模ではほとんど含まれなかった掘削費が13万円/kWで約13%を占める。新たな掘削を必要とする開発では、掘削費の占める割合はもっと高いと想定される。掘削費を必要とする開発では資本費が高くなると見込まれるので、中規模以上の開発では、資本費を抑えるために掘削費の低減と井戸の成功率の向上が課題となる。

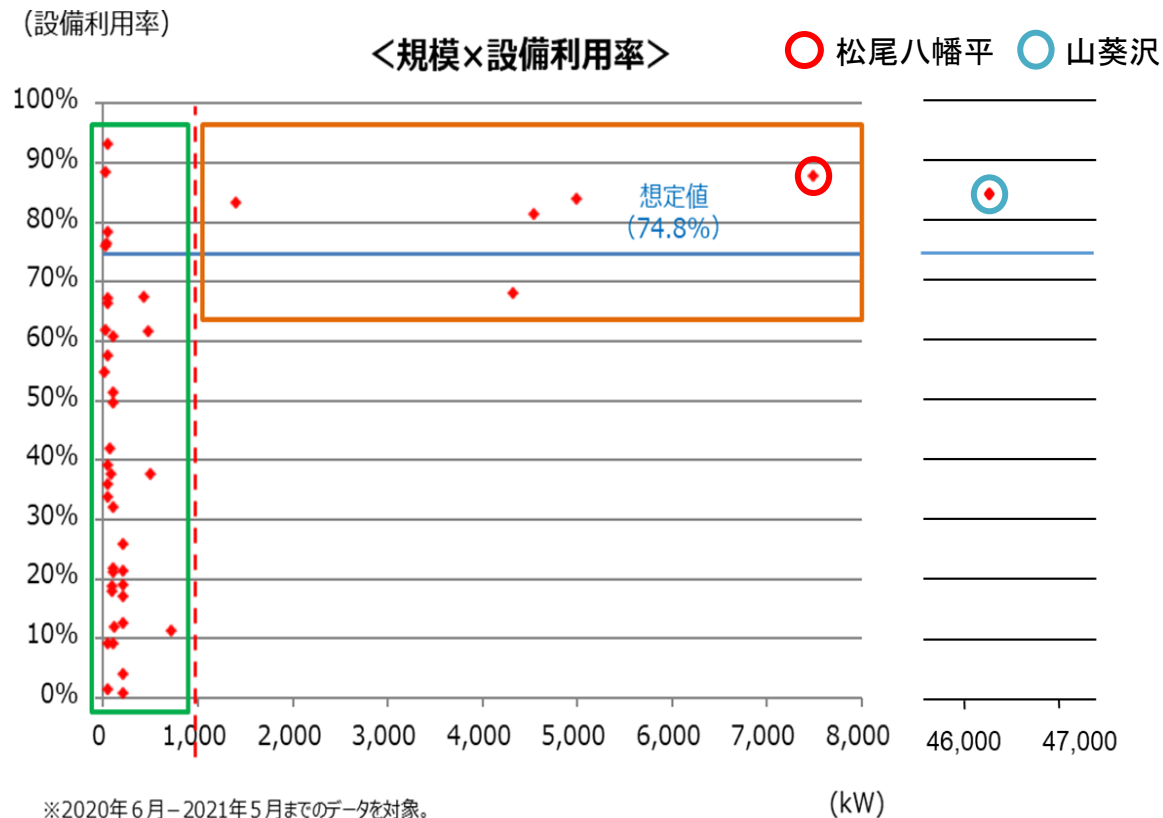
<出力と資本費の関係>



※15,000kW以上の運転維持費は参考値(報告期間が12か月未満の報告値)
 ※2020年9月23日時点までに報告された定期報告を対象。

導入状況とコスト分析(3)

- 設備利用率は15,000kW未満では平均値44.2%で想定値74.8%を大きく下回った。
- **1000kW以上15,000kW未満に限ると平均値81.0%で想定値74.8%を上回った。**
- **15,000kW以上の1件は84.3%で、想定値73.9%を上回った。**



<出典>「調達価格等算定委員会(令和4年2月4日):令和4年度以降の調達価格等に関する意見。」および「火力原子力発電技術協会(2022)地熱発電の現状と動向 2021年。」

導入量を実現可能とする方策 (1)

1. 経済性の担保と向上

- ◆ 現行FIT、FIP価格水準を維持し、FIT-FIP制度下での開発予見性を担保
- ◆ 現在のJOGMECの助成金事業において、一定要件下での助成率・助成対象の拡大（例えば、自然公園、国有林野内の環境保全対策への支援）
- ◆ 「地熱発電の資源量調査事業費助成金交付事業」の制限緩和（坑井本数、期間）

2. 地下資源探査・開発リスクの低減 ⇒ 有望地点発掘、資源量拡大

- 地熱は常に掘削失敗リスク（資源がない／資源に当たらない）を伴う
- 掘削失敗が重なると、資源はあっても事業化できないケースがある
- 現行FITで運転開始まで辿りつけた案件(2,000kW以上) には既往調査（NEDO促進調査等）の調査結果を活用できる等、資源探査リスク低減を享受

- ◆ JOGMEC資源調査範囲・探査内容の拡大と加速
- ◆ JOGMEC先導的資源量調査と従来のJOGMEC支援を活用した民間事業者調査の並行による新たな開発対象地域をより多く創出
- ◆ 掘削成功確率向上 ※JOGMECおよびNEDOで開発中の最新技術の適用
- ◆ 休止案件の再発掘

導入量を実現可能とする方策 (2)

3. 系統制約の解決

- 地熱発電は、調査・開発後期にならないと設備容量を確定できないため系統連系を申請できない ※確定できるのは、掘削・噴気による貯留層評価後
- 他電源と系統枠を争う制度においては、系統を押さえられない/想定外の系統費用負担を余儀なくされた案件が続出。 ※資源があっても事業化できない

⇒ただでさえハイリスクの地熱開発への投資マインドを一層低下

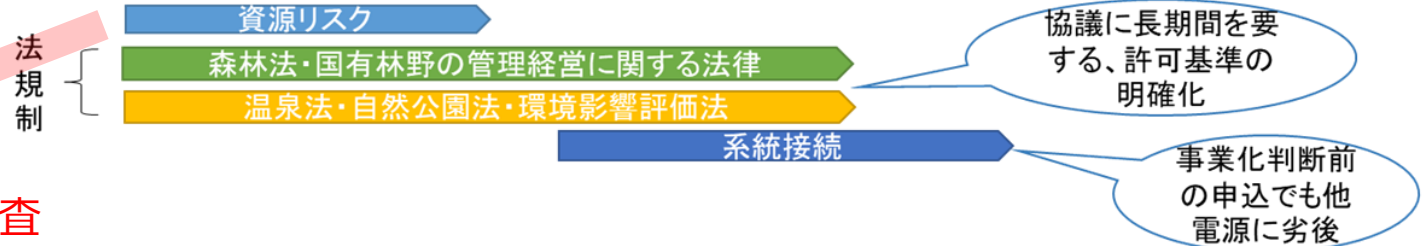
- ◆ 地熱ポテンシャルをふまえた「プッシュ型」整備（特に、北海道・東北・九州）
- ◆ 基準を満たす案件は、設備容量が確定しない初期段階での系統枠の確保（仮押さえ）を認める ※例えば、JOGMEC助成時に認められた目標出力での系統枠確保と開発進捗に応じた変更を可能とするなど
- ◆ 電源線の整備や、開発リードタイムと系統手続きのミスマッチで生じるリスクマネーに対する公的負担

4. リードタイム短縮⇒地域受容推進、温泉法、自然公園、国有林等の規制緩和

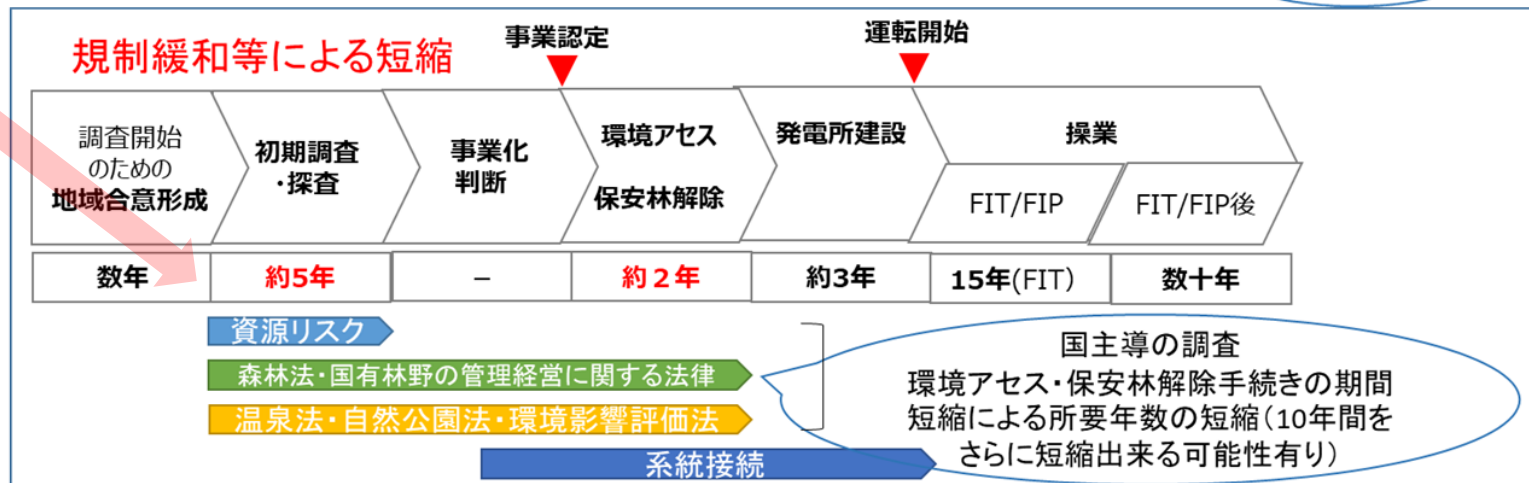
- ◆ 地域の温泉事業者・自然保護関係者の理解促進
- ◆ 温泉法下で都道府県ごとに定められた非科学的な許可基準の是正とその情報公開
- ◆ 国有林野内および保安林内作業許可取得、保安林解除等の手続き迅速化
- ◆ 地熱法による開発権の付与（温泉法などとの調和）
- ◆ 改正温対法における「促進地域」での諸手続き等ワンストップ化等の効果

リードタイム短縮の可能性

- JOGMECの技術開発成果、各種規制緩和による手続き時間の短縮、温対法の改正による手続きのワンストップ化などの国・JOGMECの支援や、規制・制度の見直しを活用し、開発期間の短縮を図る



JOGMEC
先導的資源量調査
が重要



出所：再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会(第30回)(2021年3月22日)

地熱発電の特長

- 燃料が不要である（日本のエネルギー自給率向上のため、安全保障に貢献）
- クリーンエネルギーであり、温室効果ガス排出抑制効果が高い
- 豊富に賦存する純国産エネルギー（2,437万kW、世界第3位）の有効利用ができる

再エネが本来持つ上記特長に加え、

- ✓ 昼夜・天候に左右されず年間を通じて安定した電気供給が可能である
 - 出力変動に応じたバックアップ電源が不要、インバランスコスト負担が小さい
- ✓ 長寿命で高い設備利用率（長期視点で経済的）
 - 50～100年の長期間操業を前提としたエネルギー
- ✓ 世界最高水準の地熱発電設備技術を有しており、地熱発電の普及は国内産業の活性化と国際的競争力の強化に繋がる
 - 海外依存度が低く、地熱発電は調査、開発、操業まで一貫して国産化可能
つまり資金が海外に流出せず、信頼できる海外輸出技術を保有
- ✓ 地熱資源を有する立地地域の振興に貢献ができ、発電後の熱水利用（ハウス栽培や養殖事業）等、エネルギーの多段階利用が可能である
- ✓ 地震や台風などの自然災害に強い、レジリエンスな電源

FIP制度についての要望

対 象

- 1,000kW以上

取扱い

- FIP制度

- FIP：基準価格

➢ 1,000kW以上、15,000kW未満：40円/kWh

➢ 15,000kW以上：26円/kWh

現行のFIP価格を維持して頂きたい

- **現行FIP価格の変更を検討するために十分な実績データが揃っていない**

➢ FIT以降、運転開始に至った2,000kW以上の案件は7件のみ（かつこの7件は特殊事情も含み、今後の案件のコスト構造として単純に適用できない点に留意が必要：前述の通り）

- **十分な運開実績がない／未だ多数が開発途上にある現状での価格切下げは、民間の投資マインドを大きく冷やすリスクがある**

➢ 地熱開発において、事業認定前に企業が負担する先行投資額は、例えば2,000kW級でも数億円、30,000kW級では数十億円に及ぶ

※JOGMEC助成分を控除した、純粋な企業負担分

➢ FIT/FIPは常に価格変更（切下げ）可能性を伴う制度であるものの、リードタイムが長い地熱開発において、業界全体として十分な運開件数に辿り着けていない現状での価格切下げは、民間企業の経営判断において深刻なネガティブ情報となる

制度案

併せて、1,000kW未満についても従前の価格を維持して頂きたい

<参考> 地熱発電所は長寿命

－50年以上稼働し続ける日本の地熱発電所－

- FIT制度施行「前」に営業運転を開始した1,000kW以上の発電所は15か所

発電所	設備容量 (kW)	運転開始	運転期間
松川	23,500	1966年10月	約56年
大岳*	14,500	1967年8月	約55年
大沼	10,000	1974年6月	約48年
八丁原1号	55,000	1977年6月	約45年



松川23,500kW 1966年運開

<備考>

- ①大岳*は2018年4月～設備更新工事、2020年9月再併入。
- ②葛根田地熱発電所1号機（50,000kW：1975年5月運転開始）は本年10月をもって廃止、2号機（1996年3月運転開始）は継続運転中。

**次なる目標は、100年持続を実証している
イタリアのラルデレロ地熱発電所**



大岳14,500kW 1967年運開、
2020年リプレース再開

<参考> 地域に便益をもたらす事例 (地熱発電)

- 地熱発電の地域活用の事例を下に記す。
 - **発電事業者が電気の売電を行わず自家消費**している事例
 - **観光資源**としての事例
 - **発電後の蒸気・熱水を地域で有効活用**している事例
- 地域活用を促進することは、**エネルギーの有効利用の観点からも重要**である。

<自家消費の事例>

- ✓ 杉乃井ホテルの地熱発電所（大分県別府市：出力1,900kW）により発電された電気は、同ホテル内で**自家消費**され、ピーク時の使用電力の40%超が賄われている。



<観光資源の事例>

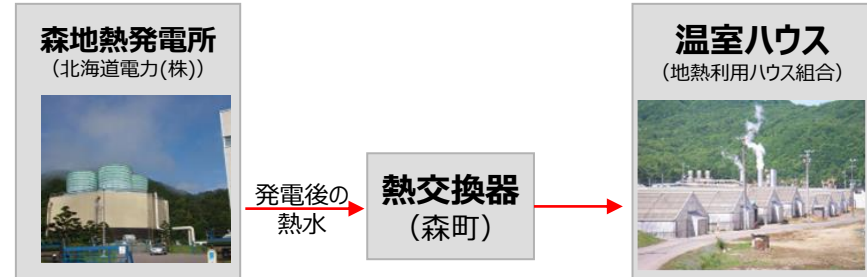
- ✓ 九州電力（株）八丁原発電所（大分県九重町）を訪れた見学者が地元にもたらした波及効果は2012年度で約5億円だったという試算を別府大学国際経営学部の阿部博光教授（環境エネルギー政策）がまとめた。再生可能エネルギーへの関心が高まる中、地熱発電が注目を集めるだけでなく、観光資源としての役割も果たしているようだ（<出典>大分合同新聞、2014年1月4日）。



<出典>JOGMECホームページ。
https://geothermal.jogmec.go.jp/information/plant_japan/010.html

<蒸気・熱水の有効利用の事例①>

- ✓ 北海道電力（株）の森地熱発電所（北海道森町：出力25,000kW）では、還元熱水の一部が清水と熱交換され、トマト・キュウリ等を栽培する温室ハウスで活用されている。



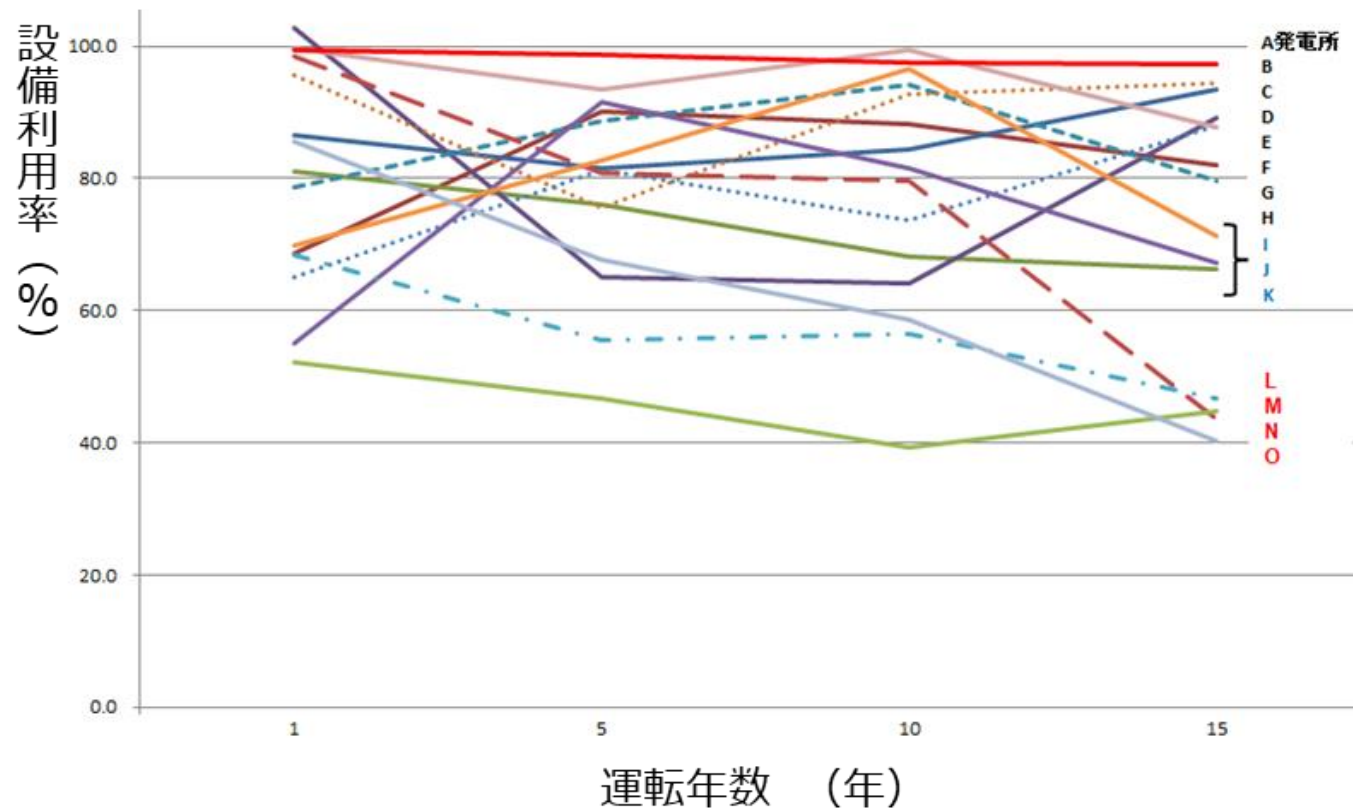
<蒸気・熱水の有効利用の事例②>

- ✓ 土湯温泉バイナリー発電所（福島県福島市：出力440kW）では、発電後の熱水が、エビの養殖に活用されている。



<参考>大規模地熱発電所運転開始後15年間の設備（暦日）利用率推移

- 運転開始から15年経過時の15発電所の平均利用率は73%であるが、
- I発電所は運開20年後に83%へ、J発電所は運開19年後に87%へと利用率が回復している、また、
- K発電所は運開52年後の2020年に出力14MWeに増負荷リプレイス再開
- L,M,N,Oの4発電所を除いた平均利用率は83%



<参考>小規模バイナリーの利用率低下要因

B30

小規模バイナリー地熱発電のIoT-AI 適用化研究(1)：発電停止分析と異常予兆検知
IoT-AI application research in small-scale binary geothermal power generation (1) : Analysis of power generation troubles and abnormal sign detection

塩崎 功・松原 洋 (ENAA)・荒金 聡 (サンコーコンサルタント)・高市 和義・船戸 遥子 (CTC)
I. Shiozaki, H. Matsubara, S. Arakane, K. Takaichi and Y. Funato

1. はじめに

本研究は、小規模バイナリー地熱発電所におけるトラブル発生率20%低減と暦日利用率10%向上を目的とし、(一財)エンジニアリング協会、(一財)電力中央研究所、(国大)東京海洋大学、伊藤忠テクノソリューションズ(株)の4団体が実施した、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託事業「地熱発電技術研究開発/地熱エネルギーの高度利用化に係る技術開発/IoT-AI 適用による小規模地熱スマート発電&熱供給の研究開発 (2018年度~2021年度)」の成果の一部である。

2. 発電停止の原因分析

5つの小規模バイナリー地熱発電所における発電停止のトラブル原因ならびに定期点検などのメンテナンス情報を、発電機の運転データと対比することにより、発電機停止の原因を分析した。分析対象とした5つの発電所の総発電停止時間は15,225時間(約634日)で、停止件数は合計515件である。発電停止の原因を、①不調、②検査、③工事、④停電、⑤清掃、⑥その他、および原因不明の7種類に分類して集計した結果を表1に示す。

表1 発電停止トラブル原因分析結果

No.	原因種別	停止時間累計 (時間)		停止件数累計 (件数)		1件あたりの停止時間(日)	備 考
①	不 調	9,627.8	63.2%	131	25.4%	73.5 (3.1)	故障、異常、トラブル、修理、交換など
②	検 査	1,365.1	9.0%	29	5.6%	47.1 (2.0)	検査・点検、メンテナンス、法定点検など
③	工 事	812.3	5.3%	19	3.7%	42.8 (1.8)	取付・取替、修繕・修理、定期工事など
④	停 電	611.5	4.0%	35	6.8%	17.5 (0.7)	瞬停、停電
⑤	清 掃	572.2	3.8%	43	8.3%	13.3 (0.6)	清掃、洗浄
⑥	そ の 他	75.7	0.5%	11	2.1%	6.9 (0.3)	誤差、断水、地震など
※	原因不明	2,160.6	14.2%	247	48.0%	8.7 (0.4)	発電停止原因不明
	(計)	15,225.2	100.0%	515	100.0%		

(注) 1件あたりの停止時間(時間) = 停止時間累計 ÷ 停止件数累計、()内の数字は日数を示す。

発電停止トラブルの最たる原因は設備(主に発電機)の①不調である。今回の分析では、発電停止時間の63%は設備不調によるもので、他の原因に比べて突出して多い。一方、発生件数は全体の25%に留まり、1件あたりのトラブル復旧に要する時間も他の原因に比べて非常に長い(73.5時間(3.1日)/件)。したがって、暦日利用率を向上させるには設備不調に対する対策を行うことが最も効率的である。設備不調に続く発電停止原因には、②検査、③工事、④停電、⑤清掃がある。停電を除けば自ら計画・管理できる原因である。一方、これら4つの原因による発電停止時間の合計値は、設備不調の63%に対して22%に過ぎない。したがって、予防保全として検査・工事・清掃の頻度や時間を増やし、それに勝るだけ設備不調の時間が抑えられる可能性があれば、積極的に予防保全を検討すべきである。

3. 異常予兆検知によるトラブル発生率の低減

発電停止時間が最も長い設備不調が低減できれば、本事業の目的である暦日利用率は向上する。そこで、「事前に予兆検知可能なトラブルは、何らかの措置を行うことによりトラブル発生を予防可能」という前提条件を置いてトラブル発生率の低減率を試算した。実際に発生したトラブルが予兆検知可能なトラブルであるか否かに関しては、米国ベンチャー ECG 社が開発した AI を使った異常予兆検知ソフトである Predict-It™ を用いた複数の試行解析を行い、予兆検知できる可能性のあるトラブル事象を抽出した。実証試験サイトとして選定した2つの発電所において発生したトラブル事象の分析から、「予兆検知できる可能性のあるすべてのトラブル事象の件数: 13件」、Predict-It を用いた複数の試行解析から、「予兆検知できる可能性が示されたトラブル事象の件数: 3件」となり、上述の前提条件に基づくトラブル発生率の平均的な低減率は、 $3/13=0.23=23\%$ と試算できる。

出典：日本地熱学会学術講演会予稿集 (2021)

発電停止の原因分析 (5発電所を対象)

- ・主要原因：設備(主に発電機)不調
 - ・発電停止時間の63%
 - ・発生件数は全体の25%



- ・1件あたりのトラブル復旧所要時間が長い (73.5時間/件)



- ・利用率向上には設備不調への対策が効率的