

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (A)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18206091
 研究課題名 (和文) 地域の再生可能エネルギーシステム設計法の構築：岩瀬湯本地区における実践的アプローチ
 研究課題名 (英文) Establishment of design methodology of *EIMY*: Experimental approach at Iwase Yumoto
 研究代表
 新妻 弘明 (NIITSUMA HIROAKI)
 東北大学・大学院環境科学研究科・教授
 研究者番号：90108473

研究成果の概要：

福島県天栄村湯本地区で既存の坑井 (1600m) を水圧刺激し、A E の超解像マッピング解析や坑井試験の結果をもとに、地下構造・地下性状の情報取得を行った。さらに *EIMY* の概念に基づき、熱エネルギー、地下水資源、経済性の点で持続可能なシステムの設計法を検討し、地域のためのエネルギーシステムを設計した。また、同地域で地中熱ヒートポンプの実証試験を行い、条件有利地域での特性を明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	11,900,000	3,570,000	15,470,000
2007年度	21,500,000	6,450,000	27,950,000
2008年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	37,100,000	11,130,000	48,230,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム工学

キーワード：*EIMY*，再生可能エネルギー，地熱，水圧刺激，地中熱利用

1. 研究開始当初の背景

本研究の代表者である新妻は *EIMY* (*Energy In My Yard*) の概念を提唱し、これまでその実現のための一連の研究を行ってきた。*EIMY* とは、ある需要単位があった場合、その地域の再生可能エネルギーを、エネルギー需要に応じて、技術的、経済的に許容できる限り最大限利用するエネルギーシステム・社会システムであり、エネルギーの過不足分はナショナルグリッド等を通して需給される。

EIMY においては、風力、太陽等の再生可能エネルギーを地域の賦存状態に応じて

最大限利用するが、我が国の場合、地熱エネルギーは中小水力とならび、安定かつ経済的に有利なエネルギー源となり得る場合が多く重要な選択肢の一つである。しかし、従来型の地熱開発は大規模な発電を想定したもので、*EIMY* としての利用には解決すべき課題も多い。

本研究を実施した福島県天栄村湯本地区では、平成 16 年度から地熱開発促進調査 C により深度 1600 m および 1400 m の 2 本の坑井が掘削され、温度約 140 °C の岩体の存在が確認されている。しかし、この 2 本の坑井をこのままの形で用いたのでは当初想定し

ていた規模の発電量（数 MWe）が見込めないことから、平成 17 年度で調査が終了した。したがってこの地域の地熱資源から、地熱の直接利用や人工き裂を用いた次世代型地熱利用、より小規模な熱電併給システム、他の再生可能エネルギーとの組合せなど、どのような形態でどのようなエネルギー利用が可能かどうかの検討がなされる予定はなかった。

一方、新妻らは、再生可能エネルギーシステムのモデル化、シミュレータの開発等、技術的側面からアプローチを行い成果を上げる一方、*EIMY*実現のための社会的条件調査として、湯本地区の社会状況調査、エネルギー需給調査を行い、本地域が*EIMY*実現のモデル地域として適していることを明らかにしてきた。また、新妻は天栄村地域再生ネットワーク顧問として、「自然エネルギーの標本箱」をテーマにした村の地域再生計画に対して助言を行ってきた経緯もある。

2. 研究の目的

本研究は、申請者らのこれまでの研究成果をもとに、福島県天栄村岩瀬湯本地区を具体的な*EIMY*モデル地区として取りあげ、本地域に賦存する地熱資源、小水力資源、風力、太陽光に着目して、持続可能性、地域メリットを追求した総合再生可能エネルギーシステムを設計・提示するとともに、一連の手順の検証を行うことにより*EIMY*のスリムな設計手法を構築することを目的として実施した。特に、地熱資源の活用に関しては、次世代地熱開発技術・地下計測技術を駆使した新しい手法の開発を試み、熱エネルギーと熱水資源を区別した持続可能な利用のための新しい設計手法の確立を目指すとともに、他の再生可能エネルギーとの最適組合せを追求することとした。また、本地域は地表湧出温泉があることから、地中熱利用に関して優位性が高いと考えられるため、本地域で地中熱ヒートポンプシステムの実証試験を行い、条件有利地域での本システムの特性と運用方法を明らかにすることも目的とした。

本研究で目指した*EIMY*型の地熱利用技術は、従来型の地熱開発技術とは大きく異なる。すなわち、従来型地熱開発では、ナショナルグリッドに電力を供給することを前提にある一定の出力を有するシステムを想定し、それに基づき有望地域を選定して調査井の掘削・評価を行う。地下の諸条件が想定内であれば開発に移行し、想定外であれば他地域の調査・開発を行う。これに対し、*EIMY*型開発では、ある地域においてそこに賦存する資源・エネルギーをその特性に応じて、その地域のために最大限活用しようとするものである。

3. 研究の方法

本研究は湯本地区での実践的アプローチにより地域の総合再生可能エネルギーシステムの設計法について検討を行った。主な研究項目とその内容は以下の通りである。

(1) 既存坑井の水圧刺激

- －地質条件、既存坑井の掘削時データ、坑井仕上げ状況等を勘案して水圧刺激プログラムを決定した。
- －A E ネットワークの感度解析を行った後、深さ 100m の観測井を 3 本掘削した。坑井内 A E 検出器等を導入し、水圧刺激の A E モニタリングを実現可能にした。
- －2 回の水圧刺激（総送水量 260kL）およびその前後のステップレート試験、フォールオフ試験を実施した。水圧刺激後に揚水試験を実施した。水圧刺激前後には A E 計測を実施した。
- －水圧刺激データ、揚水試験データ、検層データ、A E 活性度およびマッピング結果等から水圧刺激の効果を検討した。

(2) 坑井熱抽出システムの性能評価

- －坑井利用熱抽出シミュレータに水圧刺激試験の結果を組み込み、熱抽出方法と採熱量、持続性等の関連を検討した。

(3) 地域の再生可能エネルギーシステムの設計

- －湯本地区住民からのヒヤリング、地域の調査結果等を元に、地中熱と小水力を組み合わせた熱水供給システム、および保養施設を設計した。本保養施設の経済性、エネルギー収支、地域への寄与等について検討した。

(4) 条件有利地域での地中熱ヒートポンプ特性評価

- －湯本地区に掘削した試験井を用いてサーマルレスポンス試験を行い、本地域での地中熱利用可能性を検討した。
- －湯本へき地保育所へ地中熱ヒートポンプシステムを設置し、実証試験を行った。その結果をもとに条件有利地域での地中熱ヒートポンプシステムの性能、運転方法等を検討した。

4. 研究成果

本研究の主な成果は以下の通りである。

(1) 既存坑井の水圧刺激

- －水圧刺激時の最大坑口圧は 16.2MPa であった。また、水圧刺激中に明確なブレイクダウン等は見られなかった。
- －ステップレート試験、およびフォールオフ試験の結果、水圧刺激後の透水性は 7～8 mDm であり、坑井周りのスキンが小さくなったこと、および、還元指数約 2 倍にな

ったことが明らかになった。また、1450m～1550mの区間で坑井から流体の90%が流出していることが明らかになった。揚水試験の結果、本坑井から50L/min程度の流量で連続的に揚水可能であることが示された。

－水圧刺激中に103イベントのAEを観測した。AEイベントは坑口圧が15MPaを越えた時点で発生し始めた。これらのうちマッピングできたイベントは東西方向に走向を有するほぼ垂直な面構造を示した。2回目の水圧刺激時に発生したAEのエネルギーは1回目のものに比して小さく、またAE源位置の進展も見られなかった。このことより、これらのAEは1回目の刺激時のせん断滑りを起こした領域内で発生したと考えられる。

(2) 坑井熱抽出システムの性能評価

－シミュレーションの結果、同軸型熱交換器を使用して熱抽出を行った場合、約115kWt、U字管を使用して熱交換を行った場合、65kWtの熱出力で持続的に45℃以上の熱水を得られることが明らかになった。ただし、初期コストの差により、同軸型熱交換を行った場合、発熱量単価はU字管の場合の約5倍程度となることも判明した。

－同軸型熱交換を行った場合、給水地点と坑口との標高差および熱水の対流効果により、循環ポンプなしに熱水を回収できることが明らかとなった。

(3) 地域の再生可能エネルギーシステムの設計

－地域住民からのヒヤリング、地域の現状調査結果から、坑井から採取した熱水を使用する施設として、温泉、歩行浴、理髪店、創作室、案内所等を有した保養施設を想定することが適切であるとの結論に達し、施設の間取り、エネルギーシステムを具体的に検討した。

－坑井から採取した熱水、木質バイオマスボイラー出力、および、近辺での小水力発電による電力で施設のエネルギー需要を賄えることが明らかとなった。また、地熱に関しては15年以上の期間にわたり持続的に利用可能であることが明らかになった。

－本施設が湯本地区に与える経済効果、経済外的効果について検討した。また、今後検討すべき課題についても具体的に明らかにした。

(4) 条件有利地域での地中熱ヒートポンプ特性評価

－湯本地区のように、地温勾配が高く、かつ、熱伝導率が大きい条件有利地域ではヒートポンプの熱源温度を高く保つことがで

き、このことにより圧縮機での消費電力の低減(COPの上昇)、坑井長の短縮が実現することが明らかになった。

－条件有利地域では、一次側循環流体温度を高く保てることから、不凍液濃度を下げて循環ポンプ消費電力を低減できる可能性があることが明らかになった。

－条件有利地域では断続運転を行った方が一次側循環流体および地層の温度低下を抑制でき、圧縮機消費電力量を低減できる。このため高いCOPを期待できることが明らかになった。

－条件有利地域では一般的な地域に比べ1.4倍程度の熱を持続的に採熱可能であることが示された。

－本研究で実証試験を行った湯本へき地保育所の断熱性能が高ければ(熱損失係数が1.9W/(m²・K)程度)、システムの耐用年数の間、試験井一本で保育所の全館暖房が可能であることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ①池上, 増田, 駒庭, 浅沼, 新妻, 経済性ならびに環境効果向上のための温泉排湯熱有効利用法の検討, 日本地熱学会誌, 31, 39-50, (2009) (査読有)
- ②駒庭, 森谷, 浅沼, 新妻, 再生可能エネルギー複合利用システムシミュレータのための地中熱ヒートポンプシステムモデルの開発, 日本地熱学会誌, 30, 215-226, (2008) (査読有)
- ③新妻, 能動的・持続的地熱利用のための地下計測, OHM, 2-3 (2007) (査読無)
- ④新妻, 池上, 福島県天栄村湯本地区における古来のエネルギーシステムの持続可能性, エネルギー・資源, 37-43, (2006) (査読有)
- ⑤Y. Komaniwa, H. Moriya, H. Asanuma, H. Niitsuma, Application of an integrated renewable energy system simulator for rural and mountainous area in Tohoku Region, Japan, Proc. RE2006 (2006) (CDROM) (査読有)
- ⑥H. Asanuma, S. Tagami, H. Niitsuma, A geothermal heat pump system powered by non-stationary renewable energy, Proc. RE2006 (2006) (CDROM) (査読有)
- ⑦H. Niitsuma, M. Ikegami, “Energy In My Yard”: A concept of renewable energy

usage for a sustainable civilization,
Proc. RE2006 (2006) (CDROM) (査読有)

- ⑧M. Ikegami, H. Niitsuma, The old renewable energy system and its sustainability in Yumoto-Onsen district, Fukushima Prefecture, Japan, Proc. RE2006 (2006) (CDROM) (査読有)

- ⑨H. Niitsuma, Microseismicity and stimulated hydrogeologic structures in HDR/HWR reservoirs, AGU 2006 Fall Mtg. Abst. (2006) (査読有)

[学会発表] (計12件)

- ①岡部, 伊藤, 浅沼, ラインハート・ユング, 新妻, 卯城, 福島県天栄村湯本地区における水圧破碎実験, 日本地熱学会平成20年度学術講演会, Kanazawa, Japan, (2008.11.1)

- ②浅沼, 白石, 新妻, 相馬, 福島県天栄村湯本地区における水圧破碎のAEモニタリング, 日本地熱学会平成20年度学術講演会, Kanazawa, Japan, (2008.11.1)

- ③関川, 池上, 新妻, 浅沼, 森谷, 小山, 福島県天栄村湯本へき地保育所における地中熱ヒートポンプ冬季運転特性, 日本地熱学会平成20年度学術講演会, Kanazawa, Japan, (2008.10.30)

- ④森谷, 山田, 浅沼, 新妻, 新堀, 地下水が流動する地層における地中熱利用システムのシミュレーター—地下水流動と温度応答, 見かけ熱伝導率との関係— 日本地熱学会平成20年度学術講演会, Kanazawa, Japan, (2008.10.30)

- ⑤池上, 新妻, エネルギー貯蔵システムとしての農耕馬の役割とその効果—福島県天栄村湯本地区での事例調査—, 第27回エネルギー・資源学会研究発表会, Tokyo, Japan, (2008.6.6)

- ⑥森谷, 清水, 駒庭, 松島, 池上, 浅沼, 新妻, 福島県天栄村湯本地区における地中熱利用のためのサーマルレスポンス試験, 日本地熱学会平成19年度学術講演会, Tsukuba, Japan, (2007.11.30)

- ⑦池上, 増田, 駒庭, 浅沼, 新妻, 経済性ならびに環境効果向上のための温泉排湯熱有効利用法の検討, 日本地熱学会平成19年度学術講演会, Tsukuba, Japan, (2007.11.30)

- ⑧H. Niitsuma, Microseismicity and Stimulated Hydrogeologic Structures in HDR/HWR Reservoirs, AGU 2006 Fall Mtg.,

San Francisco, USA, (2006.12.6)

- ⑨山田, 新堀, 横原, 新妻, 地下水が流動する地層における地中熱利用システムの抽熱シミュレーション, 日本地熱学会平成18年度学術講演会, Ten-ei, Fukushima, (2006.11.19)

- ⑩駒庭, 森谷, 浅沼, 新妻, 再生可能エネルギー複合利用システムシミュレータを用いた東北の中山間地域での熱供給に関する考察, 日本地熱学会平成18年度学術講演会, Ten-ei, Fukushima, (2006.11.19)

- ⑪浅沼, 田上, 新妻, 地中熱利用を想定した自立型ヒートポンプシステムの試作, 日本地熱学会平成18年度学術講演会, Ten-ei, Fukushima, (2006.11.19)

- ⑫田上, 浅沼, 新妻, 風力と太陽光を電源とするヒートポンプシステムの試作と特性評価, エネルギー・資源学会研究発表会, Tokyo, Japan, (2006.6.9)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新妻 弘明(NIITSUMA HIROAKI)
東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号: 90108473

(2) 研究分担者

浅沼 宏(ASANUMA HIROSHI)
東北大学・大学院環境科学研究科・准教授
研究者番号: 50250717

森谷 祐一(MORIYA HIROKAZU)
東北大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 60261591

伊藤 高敏(ITO TAKATOSHI)
東北大学・流体科学研究所・准教授
研究者番号: 00184664

村岡 洋文(MURAOKA HIROFUMI)
独立行政法人産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門地熱資源研究グループ・グループ長
研究者番号: 20358146

相馬 宣和(SOMA NOBUKAZU)
独立行政法人産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門地圏資源工学研究グループ・研究員
研究者番号：40357330

(3)連携研究者