



講演概要

「カーリーナサイクル発電」

国内の多数の高温温泉では、浴用利用できない50℃以上の温度差エネルギーが未利用のまま捨てられている。これを活用するため、アンモニア水を沸騰させるカーリーナサイクルを応用した50KW級発電システムを開発した。

所 属 : 地熱技術開発株式会社 取締役 営業・事業開発部長
兼 技術部専門部長

資 格 : 技術士(応用理学)

専 門 : 地熱・温泉等を利用する低温発電技術ならびに物理探査・貯留層工学等の地下調査技術

経 歴 :

早稲田大学 理工学部 資源工学科開発工学(物理探査工学)卒業

昭和58年入社、NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)等の地熱関連の委託研究開発・委託調査事業、民間等の調査コンサルタント(物理探査・坑内計測・貯留層工学等)に従事

平成15年より、アンモニア水を利用した温泉熱・地熱・排熱用低温バイナリーサイクル発電(カーリーナサイクル)の設計・事業形成に参画(自治体・温泉事業者・電力事業者・地熱開発事業者などの導入検討調査・設計業務に従事)

平成15年~平成22年 群馬県嬭恋村・長野県小谷村・群馬県六合村・新潟県・静岡県等のNEDO地域新エネルギービジョン策定等事業における調査リーダーを担当

平成16年より、現職

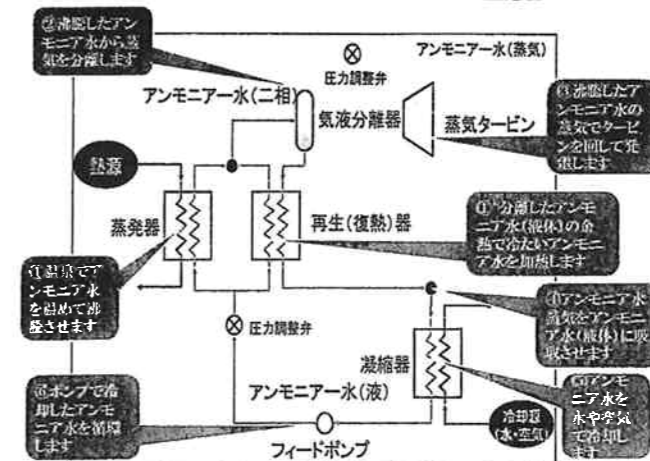
平成17~平成18年 NEDO「地熱開発促進調査小谷地域」においてプロジェクトリーダー



地熱技術開発株式会社 大里和己

カーリーナサイクルについて

GERD



カーリーナサイクル発電技術は、ロシア人のアレクサンダー・カーリーナ博士により1980年代に発明された発電方式で、発電用の二次媒体としてアンモニア水を利用します。純粋なアンモニアの沸点は -33.48°C ですが、水との混合比を変えることで様々な温度の熱源を利用して発電を行うことが可能で、1999年に世界初の商業プラントが日本で完成し、2000年に世界初の地熱用プラントがアイスランドで操業開始しました。低温側での利用で、オーガニックランキンサイクル(バイナリー)発電と比較して、発電効率が20~40%程度向上します。2009年にはドイツで3.4MWの地熱用プラントが操業開始しております。現在、弊社では 70°C ~ 120°C を対象とした温泉用50kW級小型発電システムの研究開発を進めております。

3

発表内容

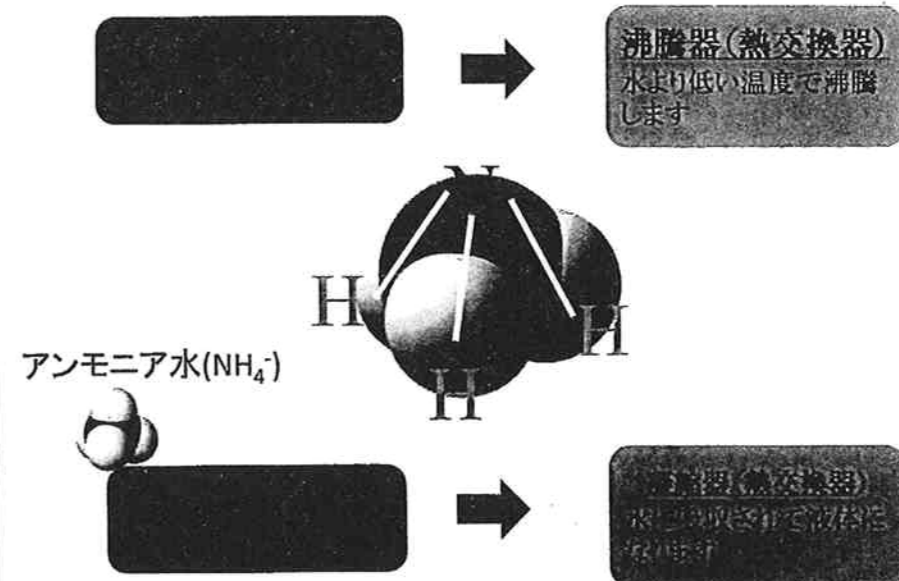
GERD

- カーリーナサイクルの概要
- 温泉発電システムに関する取り組み

2

アンモニア(NH₃)

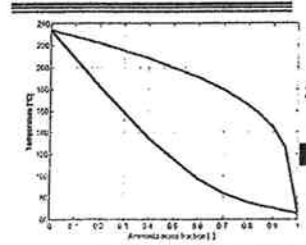
GERD



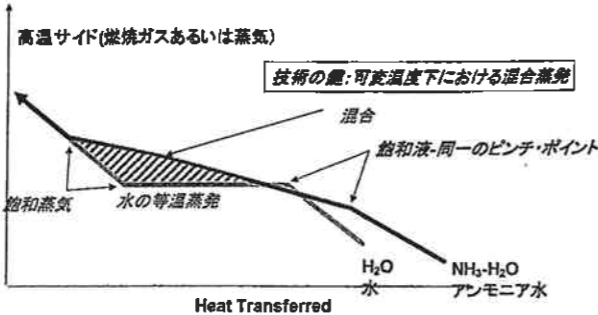
4

e/a カーリーナサイクルの特徴 GERD

Mixture boiling at 30 bar



アンモニア水(二元物質)の沸騰曲線 @30bar

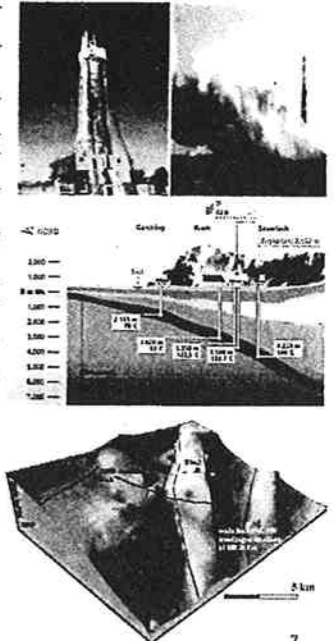


技術の進歩: 可変温度下における混合蒸発

アンモニア-水混合冷熱媒は非共沸性を有しており、単一冷熱媒よりも熱交換量が増大する特性を持ちます。このメカニズムを利用した動力回収機関がカーリーナサイクルと呼ばれるものです。一方、アンモニアは低沸点媒体でありそのままでは常温では凝縮しないため、吸収メカニズムを利用して濃度の低いアンモニア水溶液にアンモニア-水の混合蒸気を吸収させ、常温での凝縮を可能とする点がもう一つの特徴です。

e/a ウンテルハッキン(独)のカーリーナサイクル GERD

地域名	ウンテルハッキン (独) 邦
貯留層	キラッテ(マールや砂岩を含む第三紀層: 連山サイクルにおいてフリッシュが埋没したあとに堆積する後連山層の砂岩層と上とする厚い堆積物であり、連山層の産も外側を占める。一般に濃度を始め深い層に堆積物よりなる。)
断層構造	NE-SW系(地塊) NE-SW系(GtUha2)およびそれに直交するNW-SE系(GtUha1)
ターゲット	断層沿いに発達した高温水脈帯
坑井	生産井 1本(GtUha2) 還元井 1本(GtUha2) GtUha1: 掘進長 3.44km(掘進深度 3,350m), 最大傾斜 33° 掘削中の透水は少量で、掘削によって坑口圧力が 16bar から 0bar に低下した。 GtUha2: 掘進長 3.86km(掘進深度 3,500m), 最大傾斜 40°, 主要な断層帯通過深度(掘進長 3,340m 付近, 3,540m 付近) 掘削中に透水(掘進長 3,340m)
地層最高温度	GtUha1: 123°C GtUha2: 123°C
流体温度	GtUha1: 123°C GtUha2: 123°C
生産時の透水性	GtUha1: 180~240t/h(試験時)h=8~12Dm GtUha2: 198t/h(試験時) kh=13~20Dm
流体生産方法	ダウンホールポンプ(540t/h)
発電方法	カーリーナサイクル
利用方法	発電(発電機 4.3MW/送電機 3.7MW) → 3.36MWe(2010) 地熱熱回収(47MWth)
タービン発電機	Tristar (仏)
熱交換器	当初、プレート式熱交換器。その後アンモニアの腐蝕が生じるため、溶接プレート式熱交換器に換装した。
立地条件	工業団地内(防音対策等が必要)
事業性	ドイツの再生エネルギー固定価格買取制度により 15Euro €/kWh(2009-10) → 20Euro €/kWh(2009-)での買取



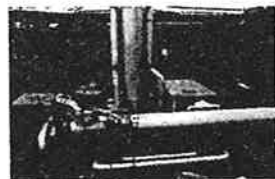
出典: Wolfrum, M., Barthelemy, J., Hoffmann, F., Kittel, G., Lenz, G., Seibt, P., Schütz, R., Thomas, R., Unger, H.J., Unterhaching geothermal well doublet: structural and hydrodynamic reservoir characteristics; Bavaria (Germany), Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007

e/a カーリーナ(アンモニア水)サイクル方式発電の例 1 GERD

中型のカーリーナサイクル発電設備



2000年に運開したアイスランドのフサビック地熱発電所 (2000kW)



1999年に運開した住友金属工業(株)鹿島製鋼所の廃熱発電 (3450kW)



2008年より運転中のドイツ・ミュンヘン近郊のウンテルハッキン地熱発電所 (3700kW)

e/a カーリーナ(アンモニア水)サイクル方式発電の例 2 GERD

太陽熱回収カーリーナサイクル発電デモンストレーション設備 (上海エキスポ2010)



Fig. 2 Shanghai Corporation 1st demo with solar thermal Kalina Cycle power plant (Shanghai, China)



Fig. 4 Solar thermal array installed on the roof of the Shanghai Corporation Pavilion by SNT



Fig. 3 Construction of solar thermal Kalina Cycle power plant by SNT

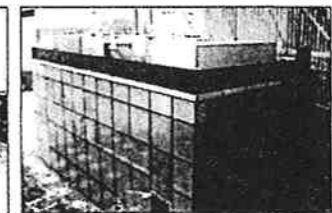
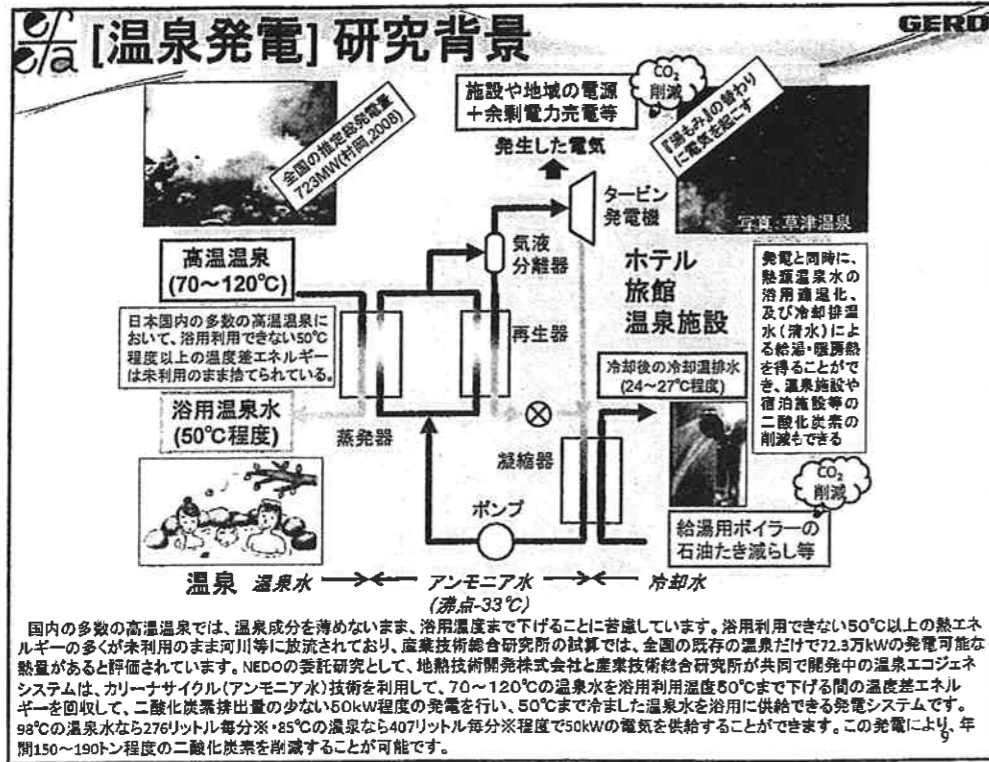


Fig. 5 Solar thermal Kalina Cycle power plant demonstration (2010 Shanghai Expo, China)

(写真・情報: Wasabi)

上海EXPO2010の上海共同パビリオン(Fig.2)において、上海盛合新能源科技有限公司(Shanghai Shenghe New Energy Resources Science & Technology Co. Ltd.)がデモンストレーション用に設置した太陽熱発電用カーリーナサイクル(50kW級, Fig.3(建設中), Fig.5(展示中))。パビリオン屋根に設置したパイプ式太陽光集熱器(Fig.4)でアンモニア水を直接90-95°Cまで加温して発電する。上海EXPO開幕より稼働(昼間)した。タービン発電機は、デモンストレーション用のため、既存の150kWの減圧弁交換用小型蒸気タービン(ENERGENT社製 Micro Steam Turbine): 縦型を流用している。



【新技術の基となる研究成果・技術】

① 実証機
平成19~21年度 NEDO新エネルギーベンチャー技術革新事業 [機器製作、性能評価試験]
平成22~23年度 (継続研究)工場・井戸での機器調整・性能評価試験継続

② 実用機(実証機の技術をベースに改良し、長期実証を行う)
平成22~24年度 環境省地球温暖化対策技術開発等事業(競争的資金)
(平成22年度) 許可申請・機器製作
(平成23年度) 機器組立・建設
実証試験開始(年度後半、新潟県十日町市松之山温泉)
(平成24年度) 実証試験・とりまとめ

【従来技術とその問題点(解決)】

課題	解決
1. 発電コストの低減	
小型化	→ 新開発の超小型タービン
高効率化	→ アンモニアによるカーリーナサイクル
多目的利用	→ 発電+浴用温水供給
2. 導入の簡略化	
初期投資	→ リース販売 → 地域単位での事業組合化による
運用メンテ	→ エネルギー供給事業 → インターネット通信での遠隔制御 → 温泉沈殿物除去機能

【新技術の基となる研究成果・技術】

温泉発電システム実証機(試作機)
(H19~H21, NEDO新エネルギーベンチャー技術革新事業)

発電端出力(kW)	70, 最大100
送電端出力(kW)	50, 最大75
温水入口温度(°C)	70~120
温水入口流量(ton/hr)	24(@98°C)
タービン発電機入口蒸気圧力(bar)	15.120(@98°C)
タービン発電機入口蒸気温度(°C)	94(@98°C)
タービン発電機回転数(rpm)	最大56,000

温泉沈殿物防止技術

超小型タービン発電機(軸直結式)

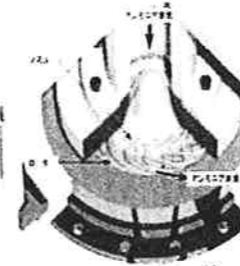
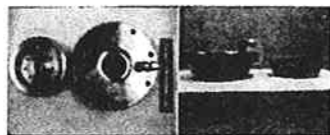
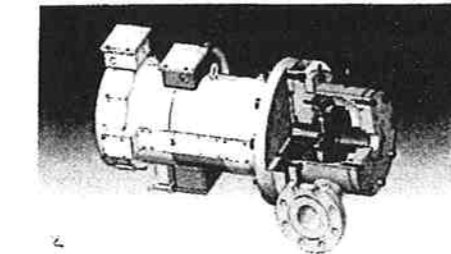
NEDOが開発した超小型タービン発電機の試験

LAN経由のWEB上からの遠隔監視制御

超小型タービン発電機の開発

GERD

- 三相
- 400V/50Hz, 480V/60Hz
- 同期発電機
- インバーター制御
- 軸流タービン(水車型)
- タービン・発電機軸直結
- 一体ケーシング
- 軸受封入装置(窒素ガス封入)
- 高速回転(56,000rpm)
- 空冷式マグネチックベアリング(温度・加速度センサー付き)



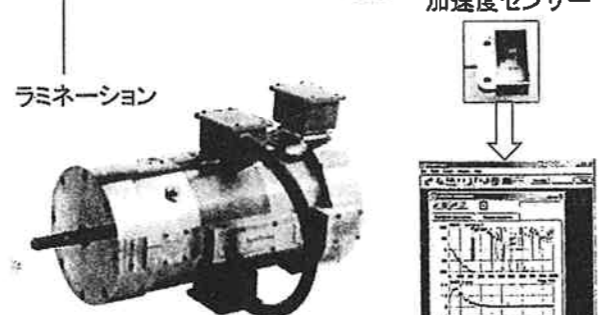
13

マグネチックベアリング

GERD

- 磁石の反発を利用して軸を浮上させる
- 高速回転が可能
- 空冷なので冷却油装置が不要
- 振動計・温度計内蔵のインテリジェントベアリング

ローター(永久磁石) スターター(電磁石)

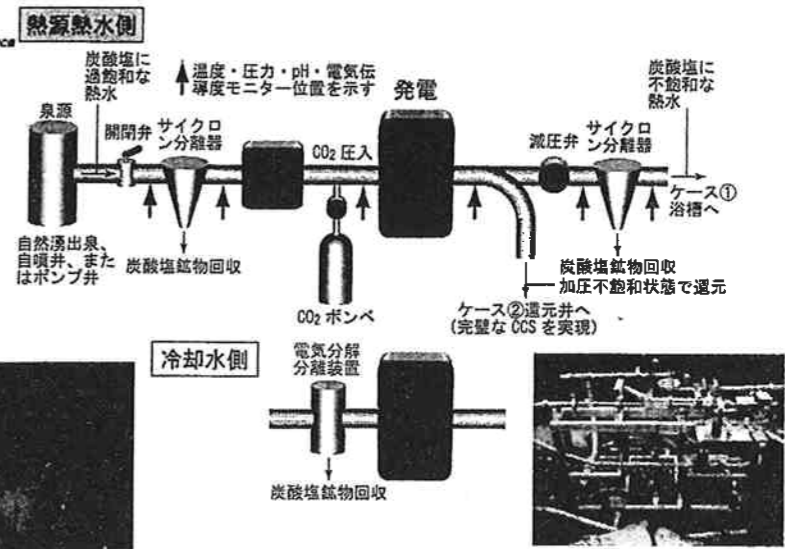


発電機本体

振動モニター・解析

温泉沈殿物除去技術(特許申請中, 一部)

GERD



17

新技術の特徴・従来技術との比較

GERD

※開発中のもの(代替フロン系)は存在する

小型の温泉発電設備

- 地熱技術開発 出力50kW アンモニア水
- 富士電機システムズ 出力220kW 炭化水素(インソバンタン) 霧島国際観光ホテル(鹿児島)
- ORMAT(イスラエル) 出力250kW 炭化水素 Bad Blumau, Austria
- PureCycle(UTC, 米) 出力225kW HFC(R134a) Chena Hot Spring(アラスカ)

温泉発電の利用率 90%以上

50kWの温泉発電 = 350kWの太陽光発電 (3.3kWの住宅用太陽光パネル100台に相当)

3.3 kW × 100 =

18

e/a 温泉発電で利用可能な熱媒体の地球温暖化係数の比較 GERD

熱媒体	沸点 (1気圧)	地球温暖化係数
アンモニア+水 (カーリーナサイクル)	-33.34 (アンモニア)	0
CO2	-78.5	1
炭化水素系	-11.7~36.5	約20
代替フロンR245fa	15.3	900
代替フロンR134a	-26.1	1300

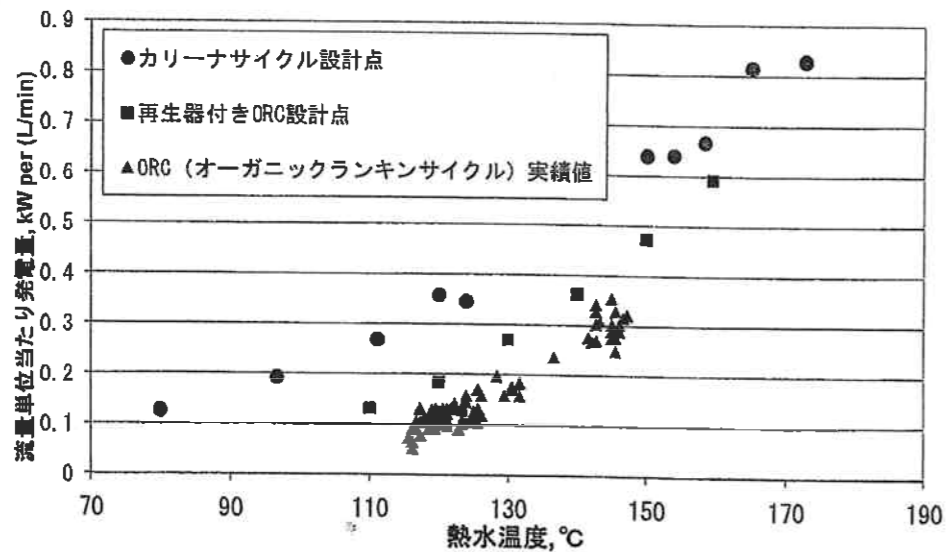
アンモニア(水)は、地球温暖化効果がゼロです。
 ノンフロンガスとして、代替フロン(HFC、京都議定書で規制物質とされ、国内では100%回収と破壊が義務付けられています)の代替として、冷凍機・冷房等の分野で見直されつつあります。

e/a 想定される用途 GERD

マーケット(産総研データ)

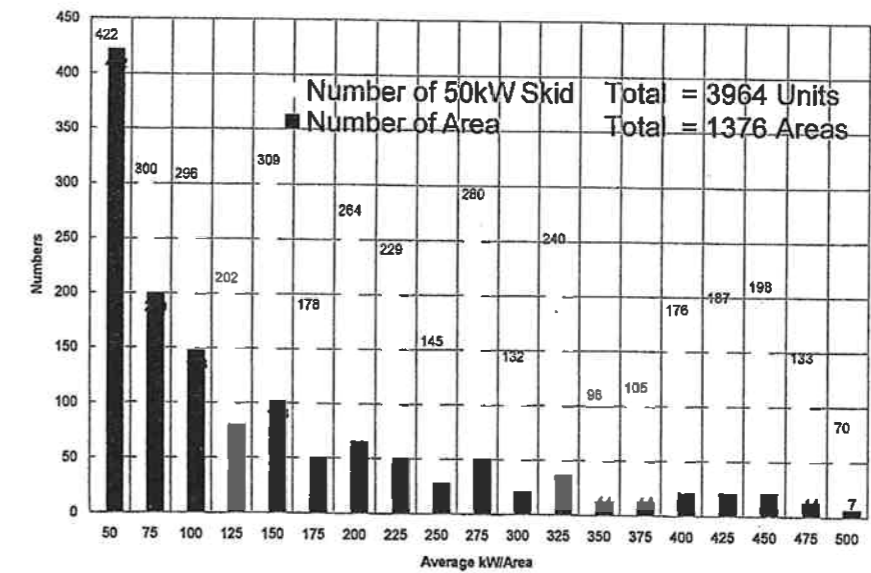


e/a オーガニックランキンサイクル(ペンタン等の有機媒体)とカーリーナサイクルの出力比較 GERD



カーリーナサイクルは、同じ量の温泉水からより多くの電気を発生することができます。

e/a 国内高温温泉での50kWの市場予測(500kW未満) GERD
 (サンプリング数13.2%から統計的に推定したもの)



想定される業界 GERD

- ◆ 高温温泉を所有する自治体・旅館業者・温泉供給会社・民間企業(石油会社・保養施設等) ほか
- ◆ 温泉以外の目的で掘られた高温の井戸・調査用試錐孔の所有者
- ◆ 民間(工場廃熱等)

- 無駄に捨てられている高温温泉の余熱を有効活用
- 電気と浴用適温の温泉と温水用ボイラーで用いる石油の置き換え
- 施設の排出するCO₂削減
- 新たな価値の獲得(環境意識の高い人・企業研修等)

温泉地の再生・復興のためのツール

実際の高温温泉の事例(岐阜県高山市奥飛騨温泉郷)

23

実用化に向けた課題 GERD

- 発電システムの長期的信頼性の検証
- 発電システムの電気事業法等の法規制への対応
- 顧客(温泉事業者・自治体等)への安全・安心の確立
- コストダウン(部品調達・組立工程)
- 国内組み立て・メンテナンス拠点の確保

25

将来的な波及効果 GERD

利用率	
太陽光(PV)	12%
温泉発電 (Spa)	>90%

太陽光(3.5kW) × 100 = 温泉発電 (50kW)

50kW 温泉発電 = 350kW 太陽光(PV) = 3.5kW PV パネル × 100 units

石油価格 ↑

CO₂ 削減 Δ150-19%

非ベース電源 系再生可能エネルギーとの組み合わせ(太陽光・風力など)

温泉発電

電気自動車の夜間充電用 (optional)

遠隔地(離島・山間)での重油炊き発電機の代替

中小工場の排熱



24

環境省 地球温暖化対策技術開発等事業 (H22~H24) GERD

「温泉発電システムの開発と実証」 適用地域

試験サイト(新潟県松之山温泉)

- 共同研究: 地熱技術開発網・産業技術総合研究所・弘前大学
- 使用する温泉: 鷹の湯3号源泉
 - ✓ 泉温 97.2°C
 - ✓ 最大湧出量 624L/分(現在の使用量 260L/分)
 - ✓ うち、130L/分は河川に放流(これも利用)
 - ✓ 50kW発電に必要な湧出量確保可能
- 実用機開発 (H22後半~H23前半)
- 実証試験(協力:十日町市・新潟県)
 - ✓ 発電実証試験(H23後半~H24)
 - ✓ 温泉影響モニタリング・評価
 - ✓ 熱交換器の温泉沈殿物対策

25

国内企業への期待 GERD

- 低コスト化のため、熱交換器・圧力容器等の部品メーカーの協力
- 国内組み立て・メンテナンス拠点の確保
- 所有している温泉施設や工場排熱利用への導入

27

お問い合わせ先 GERD

地熱技術開発株式会社
営業・事業開発部長 大里 和己

TEL 03-5541-9072
FAX 03-5541-9074
e-mail osato@gerd.co.jp

29

本技術に関する知的財産権 GERD

- 発明の名称 : 炭酸塩スケール障害を発生させない温泉水又は地熱水の輸送方法及び装置
- 出願番号 : 特願2008-135409
- 出願人 : 産業技術総合研究所
- 発明者 : 佐々木宗建, 柳澤教雄, 村岡洋文

28