

【事業名】温泉発電における温泉熱利用効率の向上とノンフロン系媒体の安全性検証等によるCO2排出削減対策強化のための技術開発（領域 再生可能エネルギー・自立分散型エネルギー低炭素化技術開発分野）

【代表者】地熱技術開発株式会社 大里和己

【実施予定年度】平成25～27年度

(1)事業概要

①【事業概要】

普及が進みつつある不活性ガスを利用した温泉発電は、発電効率の低さとフロン類回収・破壊法改正に伴う媒体に対する規制強化のリスクがある。本技術開発では、ノンフロンガスであるが主任技術者選任等の規制緩和がなされていないアンモニア水を媒体に着目し、温泉発電の性能と安全性を高めるとともに、規制緩和を達成することで、不活性ガスへのみの利用状況と比較した場合に、CO2排出量削減を2.8倍にする。

②【期待されるCO2削減効果】

○発電可能量の底上げ効果

・不活性ガスから発電効率アップによって達成される削減量 $967,840\text{t-CO}_2 (=36\text{万kW (温泉発電のポテンシャル量)} \times 24\text{h} \times 365\text{日} \times (1-0.38) \times 0.9 \times 0.000550\text{t-CO}_2/\text{kWh}) \times \text{効率向上効果}1.18 \times \text{夏期出力向上} \cdot \text{省エネ効果}1.017 \times \text{蒸気の活用}1.18) = +1,773,220\text{t-CO}_2$ (現在の不活性ガス媒体における能力に上乗せする)

○2020年時点の削減効果

・2020年度までに実用機:3台(200kW級)※系統連系問題で事業化が中断している案件があり、これが解決することが必要。

・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO2削減量:約400t-CO2/年

・年間CO2削減量:約1,200t-CO2

③【技術開発の詳細】

(1) 温泉発電における温泉熱利用効率の向上

- ・低コストで高効率コンパクトな熱交換器(蒸発器)の開発と実証(同一容量で約2倍の熱交換性能の達成と溶接安全管理審査不要な構造の採用)
- ・ノンフロン系媒体(アンモニア水)の濃度制御による発電能力向上技術の開発(発電効率の1%アップを目指す)

(2) ノンフロン系媒体の安全性検証

- ・ノンフロン系媒体(アンモニア水)の安全対策強化技術の開発(センサー追加や緊急停止機構の細分化により、安全性を高める。)
- ・長期実証試験による安全性検証(2年間の連続運転による検証データの蓄積)

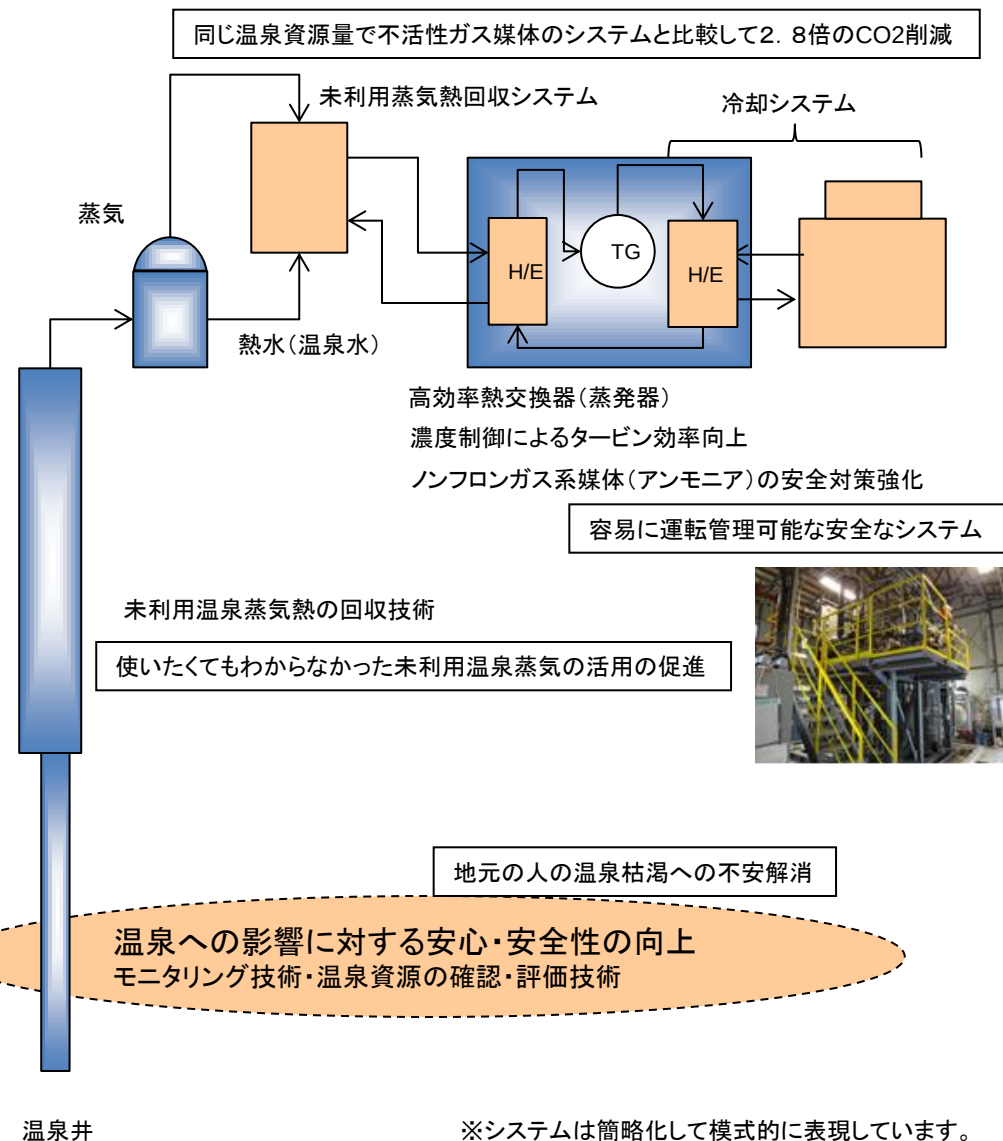
(3) 未利用温泉蒸気の有効利用

- ・未利用温泉蒸気回収システムの開発によって蒸気の利用による発電出力の2倍アップを目指す

(4) 温泉への影響に対する安心・安全性の向上

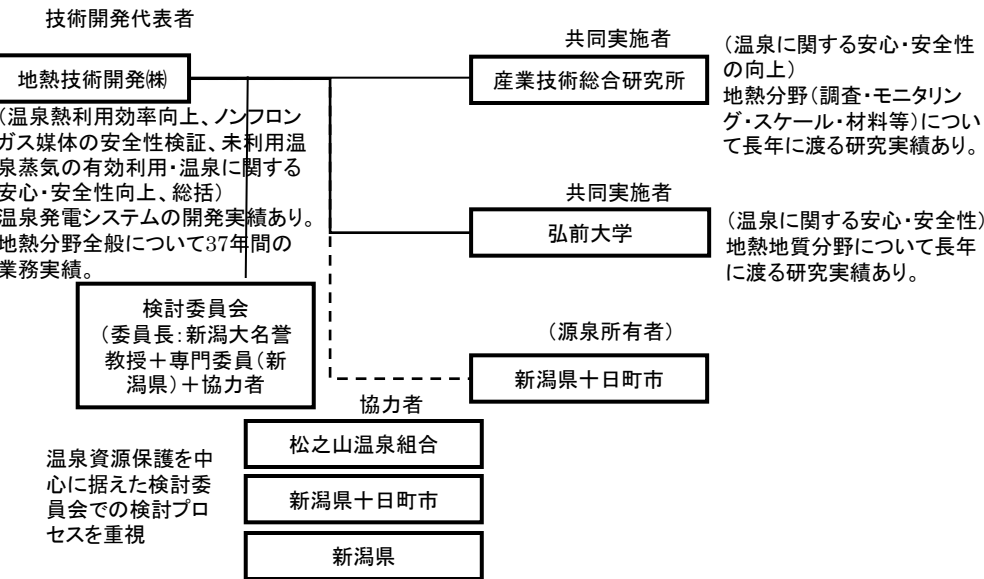
- ・モニタリング技術の開発(省力化につながる自動モニタリング装置の小型化)
- ・温泉資源の確認・評価技術の開発(閉鎖系(古海水起源)と考えられる温泉の湧出メカニズムを解明して、温泉枯渇に対する地元の不安を解消する)

④【システム構成】



(2)事業実施計画

①【実施体制】



②【実施計画】

	H25年度	H26年度	H27年度
温泉発電における温泉熱利用効率の向上	54,420千円	52,522千円	60,839千円
ノンフロン系媒体の安全性検証	14,252千円	13,455千円	14,902千円
未利用温泉蒸気の有効利用	35,300千円	34,069千円	36,902千円
温泉への影響に対する安心・安全性の向上	22,000千円	15,250千円	15,250千円
その他経費(間接経費)	20,535千円	26,746千円	2,4765千円
合計	136,427千円	142,342千円	152,658千円

③【目標設定・達成可能性】

○過去の実績

- ・ 設備容量87kWの実証機(実用機の1分の1規模)を製作済み(地域全体の温泉量の不足等で利用できる温泉量が減ったため、設備容量での実証試験等が未完了)
- ・ 地熱学会発表(2012年10月24日～26日)「タウンフォーラム・自然エネルギーの宝庫：温泉と地熱」(発表者：大里和己)ほか
- ・ 2013年1月30日日本テレビ系列ニュース番組「スッキリ」で取り上げられた。
- ・ 2013年1月28日テレビ朝日系列ニュース番組「ニュースバード」で取り上げられた。
- ・ 2012年12月16日NHK夜のニュースで取り上げられた。
- ・ その他、新聞各社・地方TV局でも多数報道されている。

○最終的な目標：

- ・ 仕様：設備容量87kW(最大出力) ※年平均70kW程度(外気温による)
- ・ タービン効率：5.4%(従来システム)→+6.4%の向上
- ・ 1台当たりの温泉水の使用量：約半減(不活性ガスによる同等システム比)
- ・ 不活性ガスによる同等システムに比べて、同一温泉量で2.8倍のCO2削減能力
- ・ 不活性ガス(フロン系)の回収・廃棄費用(3,000～10,000円/kg)と比較して安い(1,500円/kg)ため、点検や廃棄時のコストが掛からない

④【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

- ・ 2016年までに、海外委託生産を行い、タービン部分の低コスト化を実施。
- ・ 2016年までに、システム全体の低コスト化、高効率化及び省力化を実施。
- ・ 2016年を目処として、関連企業における販売ネットワークを核として、主任技術者兼務の可能な事業者や200kW以上の温泉量の豊富な事業者を中心に商品生産・販売開始

○事業展開における普及の見込み(～2020年)

実用化段階コスト目標：100万円/kW(2016年)→70万円/kW(2020年)

実用化段階単純償却年：8年程度(主任技術者等は含まず)

規制緩和

年度	2016	2017	2018	2019	2020
目標販売台数(台)	5	20	50	100	200
目標販売価格(円/kW)	100万	95万円	90万円	80万円	70万
CO2削減量(t-CO2/年)	750	3,000	7,500	15,000	30,000

※2020年までは先行する不活性ガス媒体を用いた機器の10%程度のシェアを目指す

(3) 事業開発成果

①【これまでの成果】

- ・87kW級の温泉発電システム実証機(実用機の1分の1規模)を開発
- ・最大発電量63kW(入熱量80%条件)。シミュレーションによる発電量試算値と実証試験による実際の発電量はほぼ同一であることを確認。
- ・未利用蒸気の利用に係る技術開発により、必要温泉量を当初の388L/min(98℃)より、200L/min(98℃)に低減し、温泉貯留層への負担を軽減した。
- ・100℃以下の温泉熱を熱源としたノンフロン系媒体(アンモニア水)を作動媒体とする温泉発電システムの性能を確認し、発電設備1基につき、約170~200t-CO₂/年のCO₂を削減できる結果となった。
- ・アンモニアのモニタリングから漏洩0を達成。その他、安全設備、緊急時対応マニュアルの整備、情報公開に係る手法を整備。
- ・温泉貯留層について地質学的調査、地化学調査等に基づき貯留層希望を推定した。
- ・温泉発電システム運用に係る近隣温泉のモニタリングを継続的に実施し、流量・温度・化学成分の推移に係る可視化を実施。
- ・自動サンプリング装置を開発し、豪雪地帯での冬季自動サンプリングを可能にした。これにより、通年の温泉モニタリングが可能となった。
- ・当該プロジェクトの成果によりボイラー・タービン主任技術者選任の資格要件(経済産業省・電力安全課)が、100kW未満であれば、高卒以上で3日間の講習で可能になった(H25.9末)。

②【CO₂の削減効果】

○2020年時点の削減効果

(試算方法パターン B-a, II-i)

- ・小規模の温泉発電システムについては、コスト競争力が十分でないことから、開発した温泉発電システムをベースに、温泉水に含まれる場合のあるメタンガスを併用したハイブリッドシステムの開発を進める。
- ・2020年度までに実用機:3台(200kW級)※系統連系問題で事業化が中断している案件があり、これが解決することが必要。
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO₂削減量:約400t-CO₂/年
- ・年間CO₂削減量:約1,200t-CO₂

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・2030年度に期待される最大普及量:25台(200kW級換算)
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO₂削減量:約400t-CO₂/年
- ・年間CO₂削減量:10,000t-CO₂

③【成果発表状況】

- ・地熱学会発表(2012年10月24日~26日)「タウンフォーラム・自然エネルギーの宝庫:温泉と地熱」(発表者:大里和己)ほか
- ・2013年1月30日日本テレビ系列ニュース番組「スッキリ」で取り上げられた。
- ・2013年1月28日テレビ朝日系列ニュース番組「ニュースバード」で取り上げられた。
- ・2012年12月16日NHK夜のニュースで取り上げられた

- ・その他、新聞各社・地方TV局でも多数報道されている。
- ・村岡洋文・井岡聖一郎・柳澤教雄・佐々木宗建・佐藤真丈・大里和己(2011):地圧型の新潟県松之山熱水系統とその予察的地質調査. 日本地熱学会平成23年学術講演会講演要旨集, B02

④【技術開発終了後の事業展開について】

- ・小規模の温泉発電システムについては、コスト競争力が十分でないことから、ランニングコストの低減等に向けた規制緩和等を推進していく。
- ・本技術開発の成果である温泉発電システムについて、同システムをベースに、温泉水に含まれる場合のあるメタンガスを併用したハイブリッドシステムの開発を進める。
- ・温泉発電全体としては、今回開発したシステム以外にも、工場排熱回収システムへの組み込みが可能であり、更なるCO₂削減効果が期待される。
- ・本システムの開発により地熱分野の温泉部門における大幅なCO₂削減効果の発現と低炭素型機器への更新が進むことが期待される。

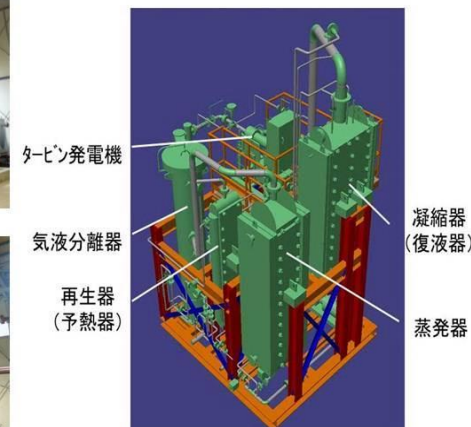
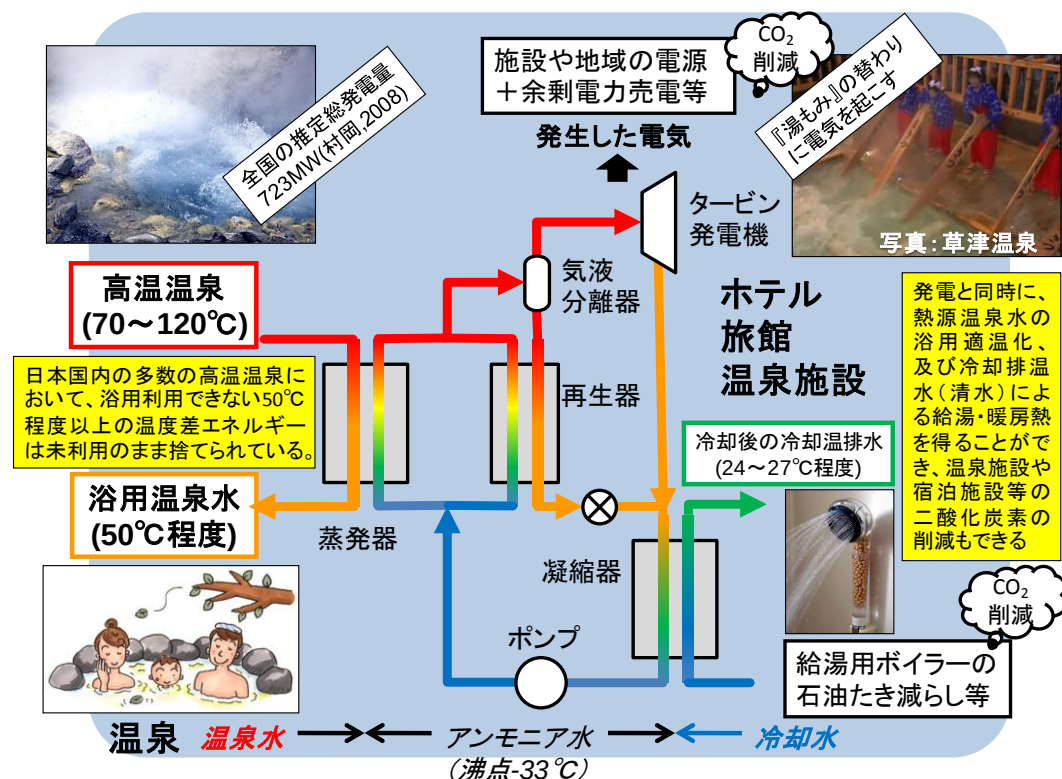
○事業拡大シナリオ

年度	2018	2020	2025	2030 (最終目標)
ハイブリッド型 温泉発電システム の開発	技術開発フェーズ		普及拡大フェーズ	
定コスト化・メン テナンス効率化				
規制緩和への 取り組み				

○シナリオ実現上の課題

- ・低コスト化のためのシステムの改良、メンテナンスの効率化のための技術開発。
- ・ハイブリッド型温泉発電システム適用地の調査
- ・電気事業法に基づく工事計画書、定期点検に係る義務付けの要件緩和の取組。
- ・

○参考資料① 温泉発電システムの概要



開発したシステム

日本国内の多数の高温温泉では、浴用利用できない50°C程度以上の温度差エネルギーは未利用のまま捨てられている。このような既存温泉の排熱による発電「温泉発電」のポテンシャルは723MWeと推定されている(村岡,2007)。温泉発電は、既に湧出している温泉を浴用可能な温度(50°C程度)まで冷ます温度差のエネルギーを用いて発電を行うため、「新たなボーリングを必要とせず」、「二酸化炭素の排出の少ない発電を」、「日照や天候等に左右されずに安定的に」、行うことが可能である。

また、人肌に触れることができない高温の温泉を浴用適用可能温度まで下げることができるため、高温温泉の冷却のために費用と手間が必要な温泉事業者にとっても、大きなメリットがある技術である。さらに、発電の途上で出る冷却水の排熱などについてうまく利用すれば、温泉旅館やホテルのボイラーや暖房等に利用する灯油や重油の節約も可能なため、化石燃料の節約による費用削減や二酸化炭素削減も期待できる。温泉発電のような新しいタイプの再生可能エネルギー利用は見学客などの集客効果も期待できるため、温泉事業者にとっては、ただ電気を利用するだけに留まらず、一石二鳥、一石三鳥のメリットがあるものである。

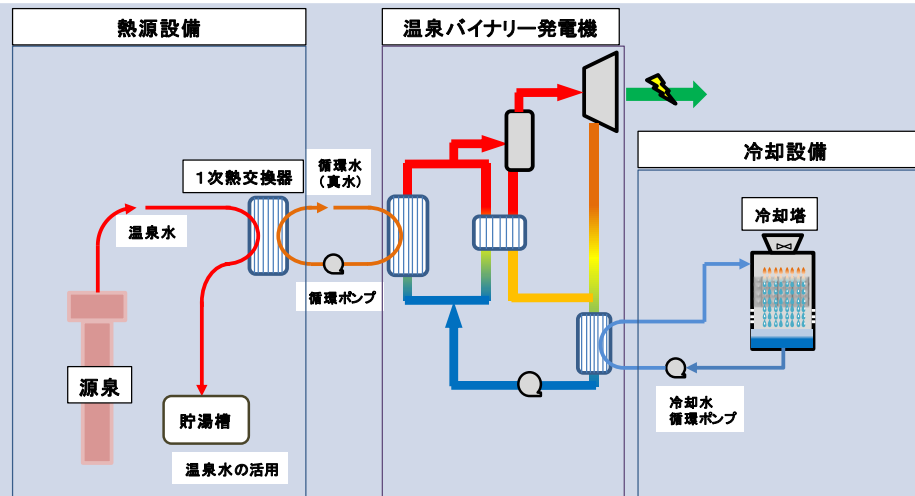
○参考資料② 未利用蒸気の活用技術

温泉熱利用のケース

1. 温泉水を利用するケース

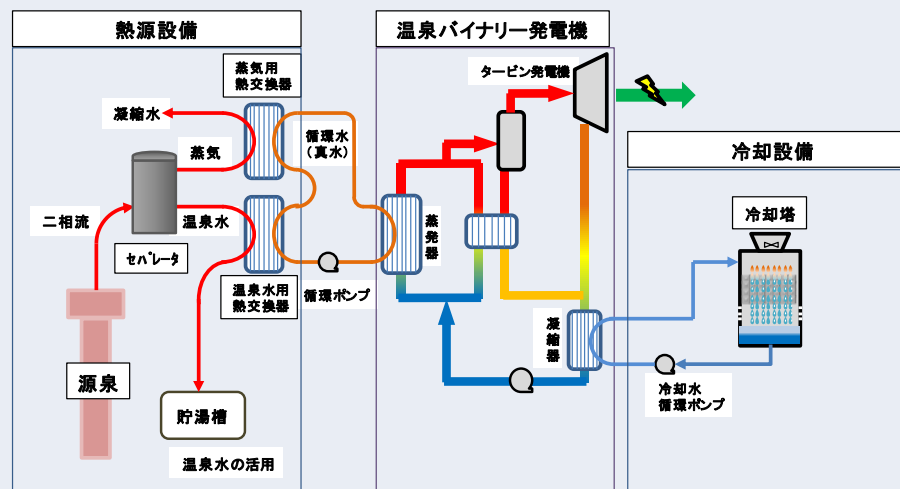
- ・ 温泉水を直接バイナリー発電機で使用する場合と1次熱交換器を利用するケースを選択。
- ・ スケールが発生する井戸では1次熱交換器の使用によりメンテナンス性が向上。
- ・ 源泉の資源量、モニタリング

システム概要図



2. 温泉水＋蒸気を利用するケース

- ・ 源泉が二相流の場合、セパレータ等を利用し、温泉水＋蒸気の熱を利用可。
- ・ 鷹の湯3号の実績では、同熱量の入熱に対して、約90L/minの温泉水(必要温泉水量の約30%に相当)を削減した。
- ・ セパレータを利用する場合、第1種压力容器の場合、年1回の検査が必要。非凝縮性ガスが多く含まれる場合は効率が低下する可能性がある。



○参考資料③ 温泉熱利用効率の向上

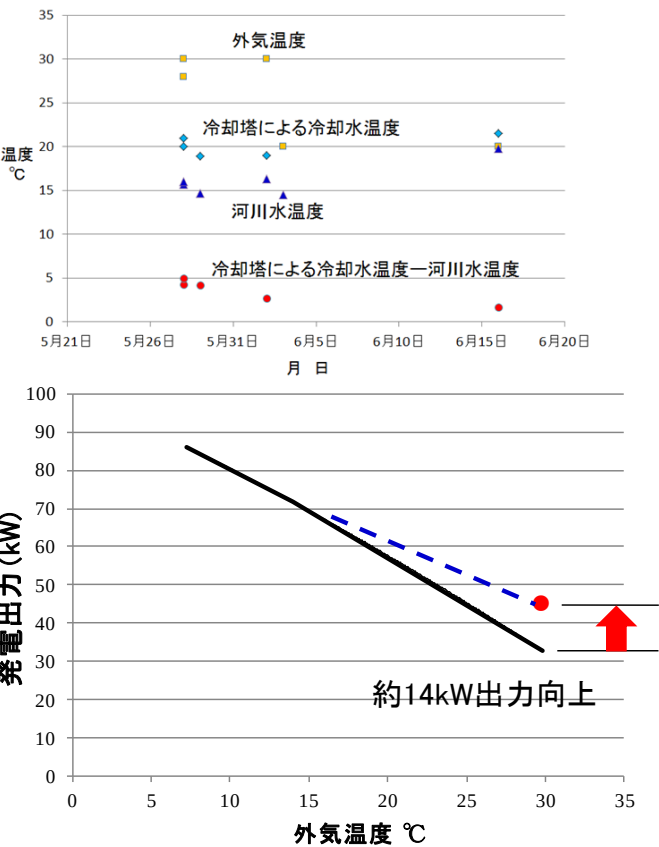
■ 夏場の効率向上

冷却水温度を下げることによる発電出力の向上を検討。冷却水の選定については設置箇所の状況により適切に選択することで、より発電量を向上させることができることを示した。

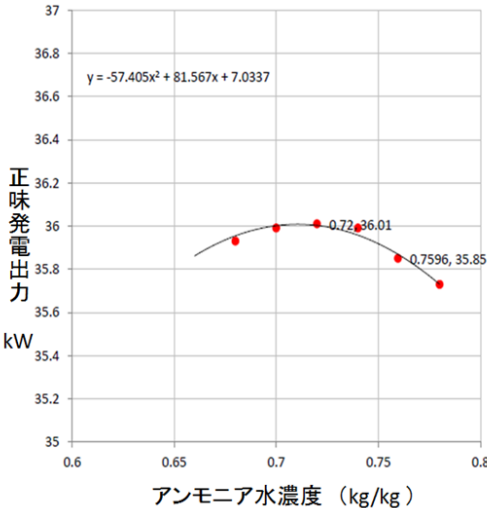
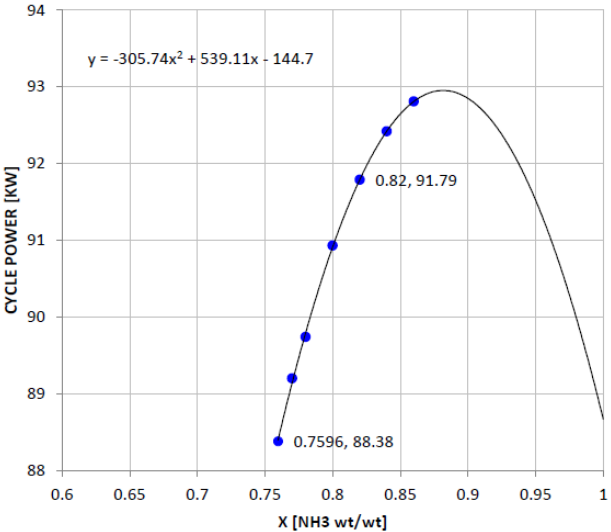
- 河川水の利用で冷却水温度が5℃低下することで約14kWの発電量の増加が見込まれる。
- 地下水を利用し1年を通じて冷却水温度を14℃とした場合、冷却塔を使用した場合と比較して約24%の発電量の増加が見込める。

■ ノンフロン系媒体濃度調整による発電能力向上

- カーリーナサイクルの特長であるアンモニア水の濃度の調整による発電量向上技術を開発した。その結果、年間で約5%の発電量が向上できることを示し、導入時の運用指針として活用できる成果が得られた。



項 目	冬季 (1月～3月、11・12月)	中間期 (4～6月、10月)	夏季 (7月～9月)
当初設計発電量	85.4	62.9	46.5
NH3濃度(%)調整後の発電量	88.7	63.3	46.6
NH3濃度(%)	82.0	74.7	72.4

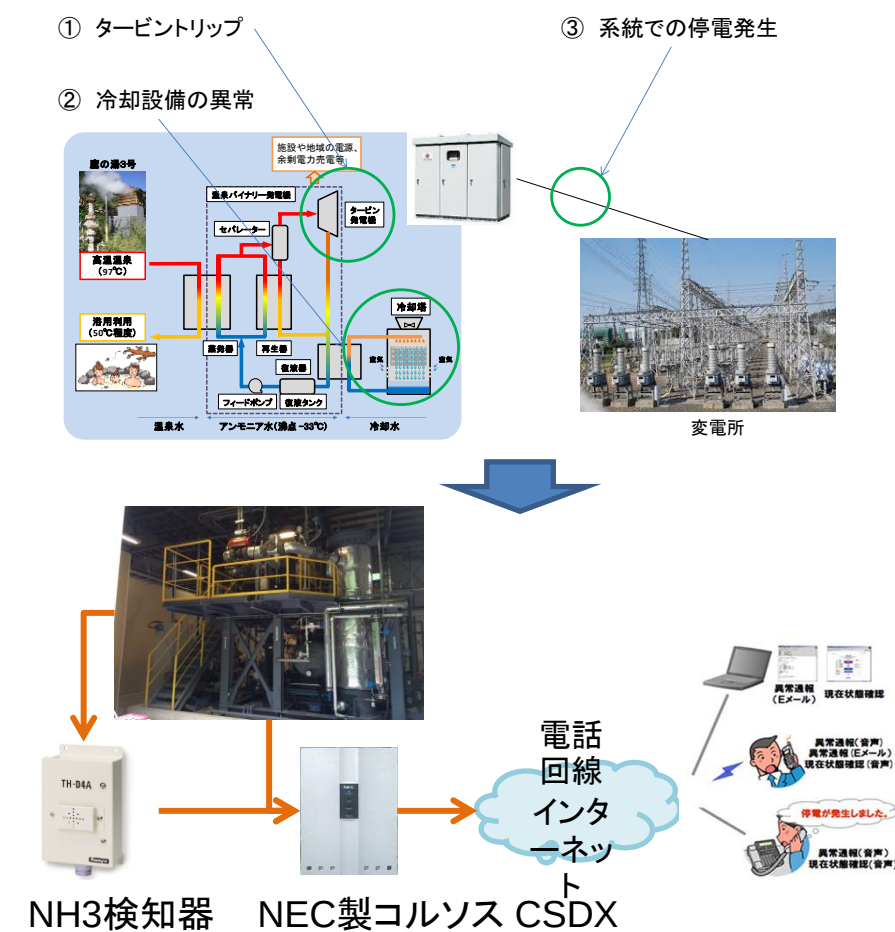


河川水を利用し冷却水温度を5℃低下した場合の発電出力

ノンフロン系媒体濃度調整による発電出力の変化

○参考資料④ ノンフロン系媒体使用に係る安全性向上に関する技術開発

- 実際にアンモニア水を媒体とした発電システムを稼働させ、安全に管理できることを実証した。
- 緊急時のアンモニアサイクルの制御について設計通り安全停止することを実証した。
- 異常発生時の通報システムを確立し、必要に応じて情報共有が可能なシステムを構築した。
- アンモニアの取り扱いに係るマニュアルを整備した。今後の導入時の指針としての活用が期待される。



項目	位置、個数	点検方法	点検結果	異常時の処置
室内換気扇の機能確認		運転し異常のないことを確認する。		
室内換気口の機能確認		詰まり等による換気機能の確認。		
室内検知器 濃度(ppm)確認		・外観点検と濃度値記録。 ・年次は、ガスによる実確認、又は校正を行う。		
携帯検知器		・外観及び0点確認。・年次は、ガスによる実確認、又は校正を行う。 ・ガスマスク保管場所又はタービン操作盤前の机上		
タービン・発電機、タンク、熱交換器、付属配管類の外観点検と携帯検知器による濃度(ppm)確認		・周囲を測定し記録確認する。		
ブローダウンタンク		使用側水位が適正レベル(水面計1/2程度)確認 使用側タンク異常有無の概観点検 使用側ガス入口弁「開」確認		
防毒マスクの機能確認	直結式小型 全面形 直結式小型 半面形 直結式小型 吸収缶	接顔体、面体に汚れ、傷、劣化の有無確認 接顔体に汚れ、傷、劣化の有無確認 在庫個数、保存期間確認、必要最小在庫数4個		
洗顔器	アイカップ 洗浄水	器が清潔に保たれて、保管位置・表示の確認 洗眼器用水(20容器)濁り、賞味期限確認		
ガス採取器		劣化、損傷有無確認		
ガス採取器用検知管		劣化、損傷有無確認		
安全データシートが整っているか		見やすい位置に備えられ、汚れ、乱調がないこと。		

安全運用に向けたマニュアル(チェックシート)

温泉発電システム異常発生時の通報システム概念図

○参考資料⑤ 温泉発電システム実証試験

■ 発電性能試験

- 発電性能評価試験を2016年9月29日～2016年9月30日にかけて実施した。発電試験実施時の条件は、熱源となる井戸の条件により、温泉発電システムの設計条件と異なるため、タービン発電機の回転数の違いによるTME (Turbine Mechanical Efficiency)、ならびにPCU (パワーコントロールユニット) 効率による補正を実施した。
- シミュレーションによる発電量試算値と実際の発電試験による発電量を比較した結果、両者の発電量はほぼ同じ値となることが分かった。この結果、開発した温泉発電システムは設計通りの性能を発揮していることが確認されたことになり、設計条件の入熱を与えることにより、設計発電量が得られると判断した。

■ 連続発電性能試験

- 連続発電時の健全性に係る試験を実施した。試験は平成28年8月30日8:00に開始し、9月15日まで計386時間に渡り実施した。この時、温泉発電システムへの入熱量は、連続発電試験途中において入熱量の大幅な変動を避けるため、安定的に入熱が可能と期待される約520kWの条件で実施した。
- 試験期間中、発電所内のシステムは正常に稼働した。温泉発電システムの性能評価結果と総合し、発電性能ならびに連続的な稼働が可能な温泉発電システムとして利用できることを確認した。

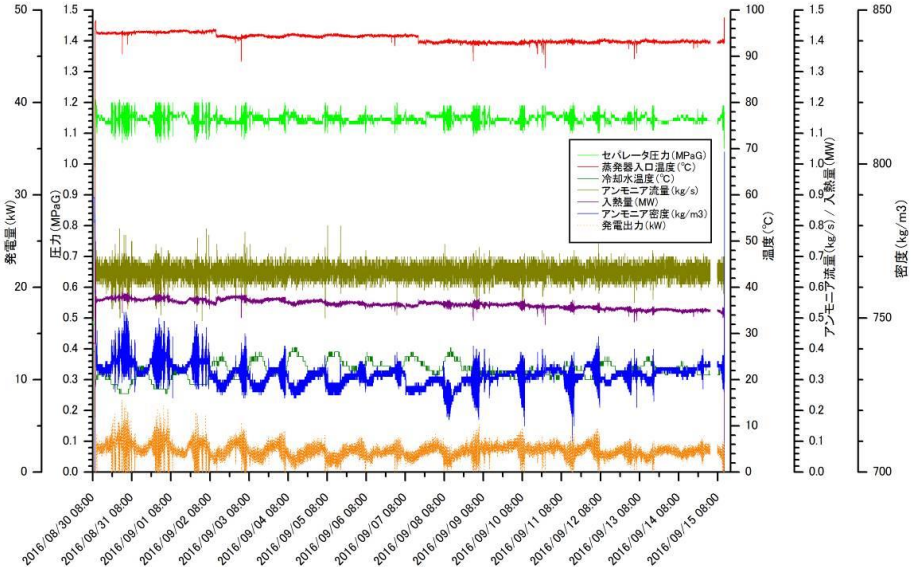
発電性能試験実施時の条件

項目	単位	シミュレーション条件	試験データ(平成28年9月30日)	シミュレーション条件に対する差
熱水流量(循環水)	L/min	370.2	361.35	97.53%
〃	kg/s	5.942	5.811	97.80%
熱水温度(循環水)	℃	93.0	90.6	2.4℃
冷却水流量	L/min	1281	1249.8	97.56%
冷却水入口温度	℃	7.2, 14.0, 25.0, 29.8	17.0	範囲内
アンモニア濃度	%	75.96	78.86	2.9%濃度高

シミュレーション結果と実際の発電量の比較

項目	シミュレーションデータ	試験データ(平成28年9月30日)	シミュレーション結果との差
タービンシャフト出力	31.17 kW	-	-
発電機出力	30.44 kW	-	-
PCU出力	27.68 kW	27.70 kW	100.1%

※PCU: Power Conversion Unit(インバータロス等に相当)



連続発電試験経過

CO₂排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- 評価点 6.2点（10点満点中）

- 評価コメント

- 設備開発について一定の成果が得られ、バイナリー発電及びアンモニアガス利用等の特徴を生かした地熱発電システムの実証を通して、今後の普及可能性を示した事業として評価する。
- システム実証について、今後も異なる条件下での運転データを十分に取得するとともに、あわせて普及を見据え、コスト低減に向けた取り組みを進めることを期待する。
- 温泉水を熱交換する際に生じるスケール対策等、メンテナンス方策に課題を残しているため、実用上の耐久性も含め、今後十分に検討することを期待する。
- 本事業の実施内容について積極的に成果を広く公表し、その際は環境省「CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」である旨を周知することを求める。