

技術報告

温泉水に含まれる可燃性ガスへの技術的対策

—茨城県かみす若松温泉での実験—

堀川 有<sup>1)</sup>, 飛田 格<sup>1)</sup>, 宮田 厚<sup>2)</sup>

(平成 20 年 11 月 26 日受付, 平成 21 年 2 月 12 日受理)

Technological Countermeasure for Flammable Gas  
in Hot Spring Water

—Experiments at Kamisu-Wakamatsu Hot Spring  
Source in Ibaraki Prefecture—

Yuu HORIKAWA<sup>1)</sup>, Tadashi TOBITA<sup>1)</sup> and Atsushi MIYATA<sup>2)</sup>

Abstract

Although flammable gases are not always contained in hot spring waters, their concentrations and output are depending on various factors, such as locality, depth and geological settings of hot spring sources. Here, we studied flammable gas (methane) in Kamisu-Wakamatsu hot spring source in Kamisu City of Ibaraki Prefecture in relation to its concentrations and gas-water ratios during stepwise hot spring water lifting tests. Also, we investigated changes in gas concentrations in hot spring waters on the way through hot spring facilities such as a gas separator and so on. This report summarizes those data obtained in the experiments in order to apply to flammable gas treatment in hot springs hereafter.

Key words : Kamisu-Wakamatsu hot spring source, methane gas, flammable natural gas, gas-water ratio, gas composition.

要 旨

可燃性天然ガスは、すべての温泉に含まれているわけではなく、含まれている場合でも、その温泉の地域、深度や地質的な要因により、そのガス量やガス濃度は様々である。また汲み上げる温泉の量によって、ガス量（ガス水比）がどのように変化するかも不明な点が多い。そこで今回は、可燃性ガスを含む茨城県神栖市の「かみす若松温泉」の源泉を用い、湧出するガス

<sup>1)</sup> 茨城温泉開発株式会社 〒311-4143 水戸市大塚町 1888 番地, <sup>1)</sup> Ibaraki Hot Spring Developer Co., Ltd., 1888, Ootsuka-cho, Mito, Ibaraki Prefecture 311-4143, Japan.

<sup>2)</sup> 株式会社ドリリング計測 〒062-0931 札幌市豊平区平岸 1 条 8 丁目 2 番 30 号, <sup>2)</sup> Drilling Keisoku Co., Ltd., 2-30, Hiragishi 1-Jyou 8-Chome, Toyohira-ku, Sapporo 062-0931, Japan.

の組成や段階揚湯試験時におけるガス水比を調査した。また源泉のガス分離設備などにおいて、メタンガス濃度がどのように変化するかについても調べた。当報告書では、今後のガス対策に役立てていくためにこれらのデータを総括した。

キーワード：かみす若松温泉，メタンガス，可燃性天然ガス，ガス水比，ガス組成

## 1. はじめに

平成 19 年 6 月 19 日に東京都渋谷区での温泉施設爆発事故は記憶に新しいところである。この事故は、温泉水に含まれる可燃性天然ガスが引き起こしたもので、事故以前にも温泉掘削中に引火し火災を起こすなど、たびたびこの可燃性天然ガスは問題を起こしてきた。現在は、温泉法が改正され、温泉掘削や温泉施設での可燃性天然ガス事故を防ぐ安全対策が義務づけられている。

このような可燃性天然ガスが多く含まれる井戸では、温泉水は地下で温泉水圧の下でガスを溶存させているので、汲み上げられて管内を上昇するとガスが気体化し、揚湯の障害となるので、うまくガスを分離し排出する仕組みが必要である。ガスがメタンを主成分とする可燃性ガスであると爆発や燃焼の危険性があるため、メタンガスを付随する温泉の設備ではガスを滞留させない構造とすることが重要である。メタンガスは温泉法に規定する成分ではないため、温泉分析において従来から分析されずにきた経緯があり、メタンガスが含まれる井戸でも、温泉汲み上げ量に対してどれくらいのガス量を伴うのか（ガス水比）やそのガス濃度がほとんど測定されていない。温泉を安全に利用するためには、個々の温泉においてメタンガスの有無や濃度を確認することが重要である。

温泉水には Table 1 のようなガス成分が含まれる。そのうち二酸化炭素と硫化水素は温泉法に規定された成分であり、従来から分析や利用上の安全対策が行われてきた。しかし、炭化水素（メタンガス等）はほとんど分析されず、利用上の安全対策は考慮されていなかった。

可燃性ガス（メタン等）の多い井戸は揚湯管内でガスロックやキャビテーションを起こしやすいほか、モーター負荷が不安定になるような欠点がある。これらの問題を解決するため、水中ポンプに関し次のような 2 つの対策がとられている。① 水中ポンプの設置深度を深くする。ポンプの設置深度を深くすることによって、水圧によりガスが気化しづらくなる性質を利用した対策である。可燃性ガスの多い井戸に対して施され一定の効果があるが、分離が不十分なこともある。② 水中ポンプにガスセパレーターを設置する。Fig. 1A に示すように直接ポンプの吸い込み口に流入する流体に対しては、Fig. 1B のようにポンプの下部を覆うカバーを付け、上方から流体を吸い込むようにした対策である。水中ポンプに入る前に気化したガスは水面に上昇するので、一層ポンプに吸い込まれにくくなる。実験を行った源泉ではこの方式を採用している。

Table 1 Gasses in hot spring water

表 1 温泉水に含まれるガス

	温泉法規定成分	空気に対する比重	爆発性（可燃性）
酸素 O <sub>2</sub>	×	同等 1.105	—
窒素 N <sub>2</sub>	×	同等 0.97	不燃性
一酸化炭素 CO	×	同等 0.967	12.5～74 vol.% で爆発性あり
二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	○	重い 1.529	不燃性
硫化水素 H <sub>2</sub> S	○	重い 1.199	不燃性
メタンガス CH <sub>4</sub>	×	軽い 0.555	5～15 vol.% で爆発性あり

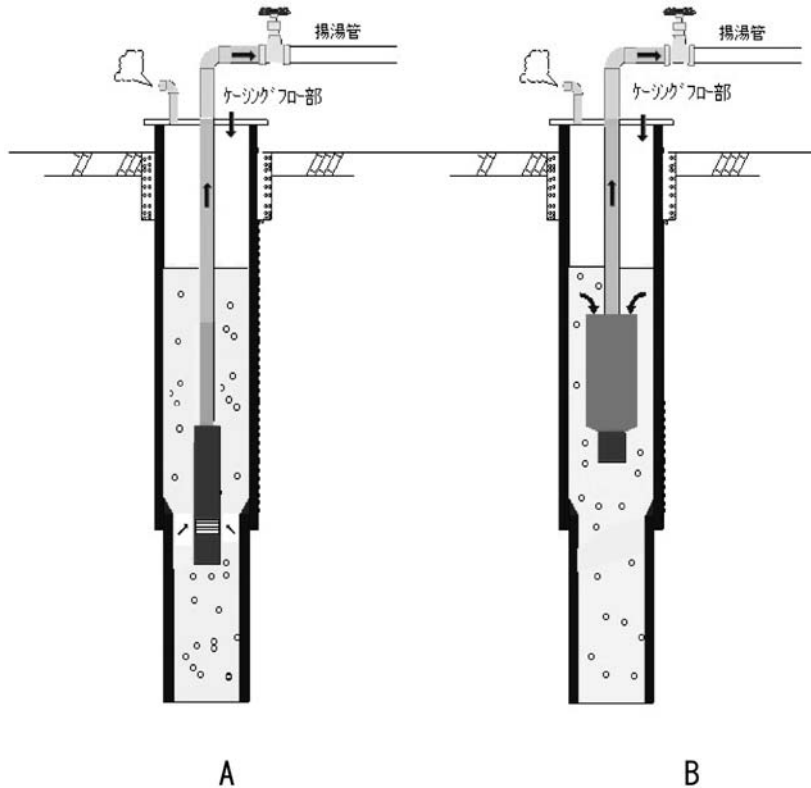


Fig. 1 Submersible pump set upped in a depth (A) and gas separator (reverse flow method, B).  
 図 1 水中ポンプ深部設置 (A) およびガスセパレーター (リバース・フロー方式, B)

今回は、メタンガスを付随する温泉井戸内にガスを分離する揚湯装置を導入し、この状態で行う段階揚湯試験の各揚湯段階で、どのようにガス水比が変動するかを確認した。次にメタンガスを滞留させないように、温泉流路の各所に排気口を設けた温泉地上設備を設置した。その上で、今後の安全対策のための資料を得る目的で、温泉設備が完成した後に、流路の数点で流れに沿ってメタンガス濃度がどう変化するかを測定したので、その結果を報告する。

## 2. 実 験

### 2.1 神栖市のかみす若松温泉源泉

実験に用いた源泉は茨城県南西端の神栖市に位置し (Fig. 2), 918 m の井戸から、湧出量 160 l/min, 泉温 24.2°C, 泉質ナトリウム-塩化物泉の泉質である。実験は、平成 19 年 9 月 18 日~9 月 20 日に行った。

### 2.2 設 備

温泉水は水中ポンプで揚湯され、ガス分離・除砂装置を経て貯湯槽に入れられる (Fig. 3)。この各設備の諸元は次のとおりである。

- ・水中ポンプ

SP-5A7N 1.5 kW 200 V

ガスセパレーター (リバース・フロー方式) 付 (グルンドフォス社製)

・ガス分離・除砂装置

SUS304 防爆形排風機付 (茨城温泉開発社製)

・貯湯槽

4 m×4 m×2.5 mH FRP (ブリヂストン社製)

このうち水中ポンプの特徴は次の 2 つである。

① 設置深度が可変であり、かなり深い位置に設置できる。本実験では、設置深度 -200 m、運転水位 -50 m で、水中長 150 m である。

② リバース・フロー方式を採用している。本方式によるガス分離を目的とし水中ポンプに接続される部分は、一般にガスセパレーター、ガス分離ジャケット、シュラウドなどと呼ばれている。ガスの分離効果が非常に高い。



Fig. 2 Kamisu-Wakamatsu hot spring source used in the experiment.  
 図 2 実験に用いたかみす若松源泉



Fig. 3 Facilities of Kamisu-Wakamatsu hot spring source.  
 図 3 かみす若松源泉の温泉設備

### 2.3 方法

温泉掘削終了後, 水中ポンプを $-200\text{ m}$  に設置し, 揚湯試験の際に温泉水量とガス (揚湯管内ガス) 量を同時に測定した. 汲み上げた温泉水を簡易ガスセパレーター (Fig. 4) に通して分離し, オリフィス流量計を通過させガス量を測定した (Fig. 5). 水量は, 簡易ガスセパレーターの手前に電磁流量計を設置し測定した. 源泉設備の完成後は, 揚湯管内だけでなくケーシング内の揚湯管外の部分 (以下ケーシングフロー部) のガスもウェルヘッドで合流させ (全揚湯ガス), セパレーターへ導入してガス量を測定した.



Fig. 4 Simple gas separator of Kamisu-Wakamatsu hot spring source.

図 4 かみす若松源泉の簡易ガスセパレーター



Fig. 5 Orifice flow meter of Kamisu-Wakamatsu hot spring source.

図 5 かみす若松源泉のオリフィス流量計

### 3. 結 果

#### 3.1 ガス組成

この温泉水に含まれるガスの組成は、上記の簡易ガスセパレーターを通過したガスの一部を平成 19 年 9 月 19 日に採取しガスクロマトグラフィーにて分析した。その結果は Fig. 6 のとおりであるが、井戸内は還元性であり酸素は含まれないため、温泉水中の酸素はサンプリング時の空気混入によりもたらされたものと考えられる。この酸素分を基に算出した空気の混入量を補正すると、温泉水中原ガス中のメタンガスの割合は 83.8% となる。

#### 3.2 ガス水比

Table 2 は段階揚湯試験時の各段階でのガス水比を示したものである。揚湯量を多くする（動水位を下げる）とガスの割合が多くなる。

Fig. 7 には、Table 2 の揚湯管内ガスのガス水比の変化と、源泉設備完成後に揚湯量を変えて測定した全揚湯ガス比の変化を示した。また、ガス水比は揚湯量最大時の揚湯管内ガスと全揚湯ガスで  $0.4 \text{ m}^3/\text{kl}$  とほぼ一定であった。

#### 3.3 温泉設備でのガス濃度

温泉設備の各所におけるガス濃度は Fig. 8 に示すとおりである。濃度は%LEL（爆発下限界に対する割合）で表示しており、メタンガスの場合 50,000 ppm が 100% LEL である。平成 19 年 11 月

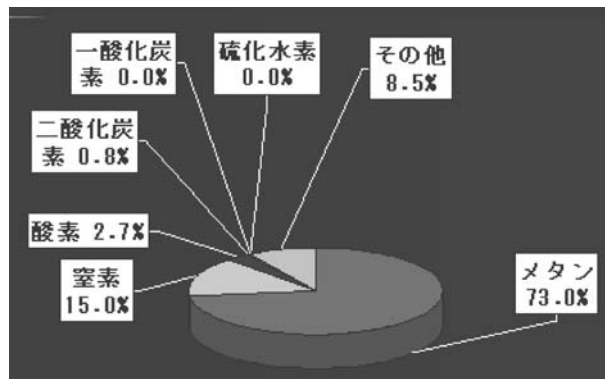


Fig. 6 Gas composition of Kamisu-Wakamatsu hot spring source.

図 6 かみす若松源泉に含まれるガス組成

Table 2 Gas-water ratio at stepwise pumping tests of Kamisu-Wakamatsu hot spring source.

表 2 かみす若松源泉の段階揚湯試験時の揚湯管内ガス水比

	揚湯量 (l/分)	ガス量 ( $\text{m}^3/\text{日}$ )	ガス水比 ( $\text{m}^3/\text{kl}$ )	動水位 (m)
第 1 段階	50	19.9	0.277	-21.3
第 2 段階	85	32.1	0.262	-28.8
第 3 段階	120	60.3	0.349	-40
第 4 段階	155	90.8	0.407	-52.8

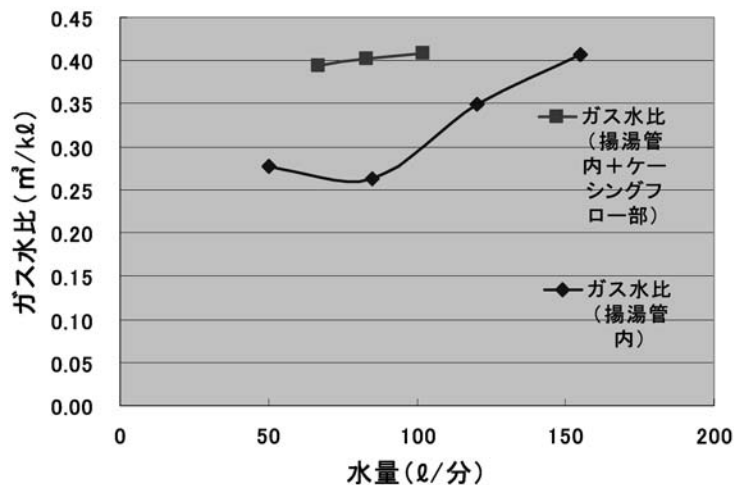


Fig. 7 Gas-water ratio during pumping of Kamisu-Wakamatsu hot spring source.

図 7 かみす若松源泉の温泉揚湯時の全揚湯ガス水比

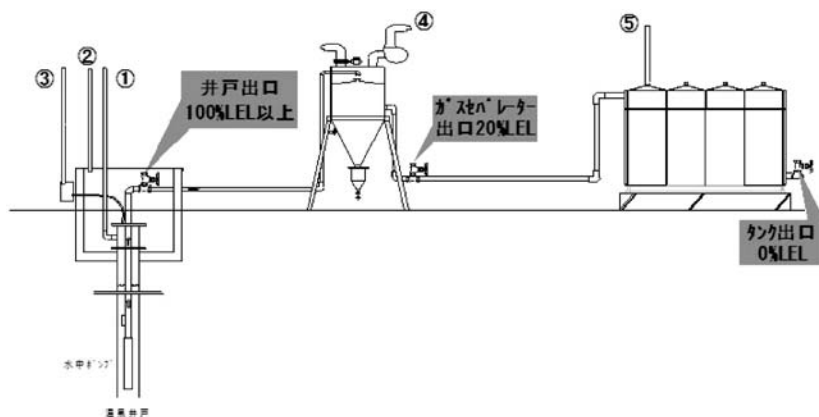


Fig. 8 Methane gas concentrations in Kamisu-Wakamatsu hot spring facilities. Methane gas concentrations were measured by headspace analysis.

図 8 かみす若松源泉の温泉設備におけるメタンガス濃度  
メタンガス濃度はヘッドスペース法にて測定した。

30日公布の改正温泉法では、ガスの滞留しやすい所には排気口を設けることが義務づけられている。本実験では、Fig. 8のように、①井戸、②井戸ピット、③ジャンクションボックス、④ガスセパレーター、⑤タンクの5ヶ所の排気口（地面から高さ3m以上）を設置している。これらの排気口の効果のために、温泉設備のガス濃度は、井戸出口で爆発下限界を上回っていたものが流路に沿って減少し、末端のタンク出口では検出されなくなる。このとき特に、ガスセパレーターでの濃度低下の効果が大きく、その性能を向上させることが安全性確保の鍵となる。

#### 4. 考 察

掘削後の揚湯試験では、揚湯量を増加させるとガス水比が上昇した。これは水中ポンプの吸い込

み部流入速度の増加に伴って、ガスの吸入割合が増大することによると考えられる。すなわち、温泉水をゆっくり汲み上げているときのガスはケーシングフロー部に逃げ、温泉水を急激に汲み上げているときのガスは揚湯管内に多く混入している。

また、今回ケーシングフロー部のガスも加えてガス水比を算出したところ、揚湯量に関係なくほぼ一定にガス水比  $0.4 \text{ m}^3/\text{kl}$  であったことから、温泉胚胎層においてメタンガスの溶解量は一定であったことが分かる。したがって、温泉本来のガス量を把握し対策するためには、揚湯管から汲み上げられるガスだけではなく、ケーシングフロー部からのガスも考慮に入れるべきである。

さらに、温泉掘削時のメタンガス噴出の危険性はメタンガスの付随量が大きいと増すが、メタンガスの溶解度は圧力によって増大することから、地域的なガス分布以外に掘削深度の効果も考慮すべきである。

温泉設備に関しては、ガス量やガス濃度に応じてガスセパレーターを設置する必要がある。その際、ガスセパレーターに攪拌機能や強制排気機能等を設けるとより効果的である。

## 謝 辞

実験に際し快く御協力頂きました神栖市役所並びにゆ〜ぽ〜とはさきの施設の皆様、また本稿を作成するにあたりご指導頂きました産業技術総合研究所の野田徹郎顧問に深く御礼申し上げます。

(2008年9月26日、日本温泉科学会第61回大会にて発表)