

# 鉄イオンを多量に含む温泉における設備上の酸化鉄障害低減策

国立大学法人 鹿児島大学理学部 地球環境学科

環境解析講座 教授 坂元 隼雄

## 1. はじめに

温泉は私達が住む地球がもつ自然の恵みの一つであり、特に日本は世界の温泉天国と言われている。また、日本人ほど温泉の好きな国民はほかにいないでしょう。温泉は湯治と呼ばれ、昔から療養やレクリエーションなどに広く利用されて来ました。

温泉施設における苦情、諸障害の中で、最も話題になるのはスケール障害に関するものが多い。温泉所有者の中には、スケール障害の問題はどうにもならないものと諦めておられるケースが多い。しかし、近年、種々のスケールの中で、炭酸カルシウム主体の障害は、ホスホン酸系のスケール防止剤を入れることで、ほぼ完璧な抑制が可能になっている。

しかし、鉄イオンが共存している場合、それも鉄イオン濃度が多くなるほど、酸化鉄による障害が残存し、ホスホン酸系のスケール防止剤のみでは酸化鉄障害を抑制することは困難なことが多い。特に、鉄が絡んだスケールでは、その赤褐色の沈殿の色がもつ不快感と、浴槽に付着するので、高価な浴槽タイルのイメージが損なわれるといった問題がある。

本研究実験は、化学薬品を投入しないで自然温泉を守りながら、浴室環境の改善に繋げ、環境にやさしい温泉利用を意図して行ったものである。本実験結果の活用は、鉄含有量が多く、着色などで問題を引き起こしている温泉施設への一助となることに間違いはないと考える。

通常、温泉施設は泉質に適した設計がなされていることが多く、このため鉄イオンの酸化が促進され、酸化鉄障害を助長しているケースが多い。

今回、既存の鉄イオンを多量に含む温泉を利用し、空気接触・静置－酸化鉄の沈殿除去による簡単な鉄イオンの低減策を提言する。

## 2. 鉄沈殿物の抑制・排除

一般に、温泉は地下深部から供給されるので、温泉水中の鉄は還元状態を反映して、2価の鉄( $\text{Fe}^{2+}$ )の形で溶けている。ところが地表へ湧出すると空気中の

酸素で酸化され 3 価の鉄( $\text{Fe}^{3+}$ )の形となり、この形での鉄は酸化鉄(鉄質沈殿物) (化学的には水酸化第二鉄: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )の形態をとり、障害を引き起こす。この鉄質沈殿物は、赤褐色～黄褐色～黒褐色、柔らかく付着する時と硬く付着することもある。

鉄を含む微酸性～中性の温泉では、2 価の鉄( $\text{Fe}^{2+}$ )が空気にさらされ、酸化が起こり、温泉水中に水酸化第二鉄: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  が浮遊し、浴槽水が茶褐色に濁り、浴槽の縁やタイルに付着しているのが見受けられる。

したがって、除鉄装置を設置しない温泉(送湯)施設においては、浴槽に注がれるまで、できる限り空気との強制接触を避ける設計・工夫が障害の低減に繋がる。

泉源から浴槽に至るまでの温泉のフローで、鉄イオンが最も酸化されやすい箇所は受湯槽である。本研究実験では、図 1、2 に示す除鉄を目的とした小型実験装置を試作し、実際に稼働させて改善を加え、温泉水中の鉄による障害の低減がどの程度まで可能であることを明らかにした。

### 3. 結果と考察

本研究実験は、鹿児島市桜島町の袴越にある国民宿舎さくらじま荘のご協力のもとに、同宿舎泉源からポンプ揚湯され、外部に流れ落ちている温泉水を使わせて頂いた。図 1、2 に示す実験装置を使用し、同温泉水中に 12～15 mg/リットル含まれる溶解性鉄(水中に溶けている鉄)を化学薬品の投入によらないで、どの程度まで効率的に除鉄を行うことができるかについて、実験条件をいろいろと変えながら検討を行った。実験結果は表 1～5 に示してある。

これらの実験結果から、同施設の温泉水中には溶解性鉄が 12～15 mg/リットル含まれているが、空気接触後 6 時間程度の静置時間をとれば、温泉水中の溶解性鉄が約 4 mg/リットルに減少(3 分の 1 程度)することが分かった。したがって、温泉水中の溶解性鉄の 3 分の 2 を不溶性鉄として沈殿させることができた。また、さらに 6 時間程度を置けば鉄が 1.5 mg/リットルになるが溶解性鉄 4 mg/リットル程度まで除鉄をすれば鉄質沈殿物のスケールによる障害は極めて少なくなる。したがって、浴槽に入れる前に除鉄を行い、浴槽に入れば浴槽の掃除に要する時間は軽減される。また、浴槽は鉄沈殿物が底に溜まって汚いという肉眼的なイメージを解消でき、天然温泉のイメージアップにも繋がることは間違いない。

また、鉄は自然界には大量に存在する成分であるが、環境基本法の水質汚濁防止法によれば、溶解性鉄は 10 mg/リットルを超える温泉水を河川や海などの公共用水域に垂れ流すことは水質汚染に繋がるので、決して許されることではない。したがって、溶解性鉄を 10 mg/リットル以上含む温泉水は浴槽に入れる前に、除鉄を行い有効利用されることをお勧めします。

#### 4. まとめ

##### スケールの障害とその対策

スケール対策を立てるに当たっては、温泉の泉質を十分に知り、総合的な判断が必要である。スケール対策としてどの方法が良いかは、温泉地の実状、経済性、温泉の利用形態、スケールがどのような種類のものか、障害の箇所はどこか、その程度などを総合的に判断し、決めることが必要です。

また、スケール対策はスケールの処理技術のみに重点が置かれ、温泉水の利用面からみた総合的な検討が不十分のことがあります。

換言すれば、スケールの処理はあくまでも手段であって目的ではなく、温泉水をどのように適正利用するかがもっとも大切な点です。

例えば、温泉送湯パイプにスケールが詰まった時、生半可な処理を行うよりも、場合によってはパイプを交換した方が経済的かもしれない。更にスケールを生成するような温泉をわざわざ処理してまでも利用するのが得策かどうかと言った点を十分に検討することが必要です。

スケールの対策のみに重点を置くのではなく、温泉水の揚湯・送湯・加熱・貯湯・配湯などの技術の中でスケールの問題を考えることが必要です。

また、最後に一番大事なことは温泉水を使用した後の地球環境問題への配慮を怠ってはなりません。さもないと利用者から環境対策をないがしろにした施設として世の中から見放されてしまうことを考えておく必要があります。

本研究実験を行うに当たり、株式会社 薩南工業 代表取締役 有村 昇様からの装置の作成並びに財政的なご援助を頂いた。深く感謝申し上げます。また、場所と施設の一部を使用させて頂いた国民宿舎さくらじま荘の社長 山根里英 様に厚くお礼申し上げます。さらに、鹿児島 TLO の代表取締役専務 大迫陽一 様、同特許流通アドバイザー 平川康人 様にご協力頂いた。心より深謝申し上げます。



図 1 除鉄実験装置の概観

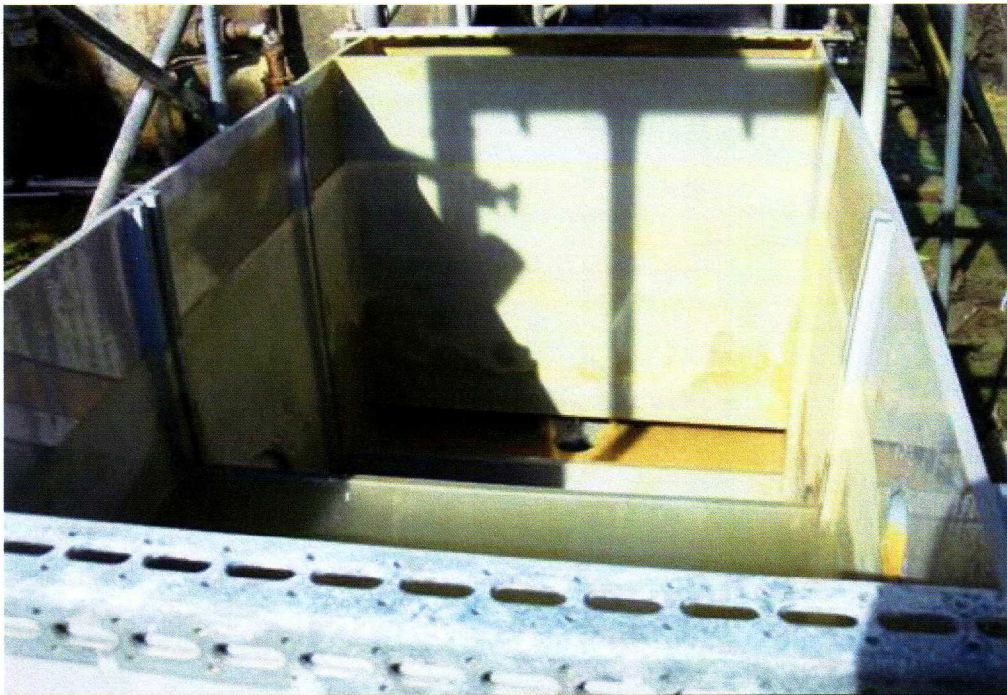


図 2 除鉄実験装置の内部

表 1 さくらじま荘温泉水の除鉄・除マンガンに関する分析結果

試料	採取年月日	温度 (°C)	pH	総鉄(Fe) (mg/l)	総マンガン(Mn) (mg/l)
原水(処理槽入口)	04.10.15	52.8	7.30	15.2	15.9
処理槽出口	04.10.15	46.8	7.65	9.1	15.7
さくらじま荘浴槽	04.10.15	40.2	6.47	12.1	15.8

表 2 さくらじま荘温泉水の除鉄・除マンガンに関する分析結果

試料	採取年月日	温度 (°C)	pH	総鉄(Fe) (mg/l)	総マンガン(Mn) (mg/l)	備考
						空気吹き込み
原水(処理槽入口)①	04.11.05	54.2	7.01	11.7	16.5	なし
第3槽オーバーフロー①	04.11.05	51.2	7.56	11.2	16.4	なし
第4槽オーバーフロー①	04.11.05	49.1	7.58	13.0	16.8	なし
第4槽出口①	04.11.05	-	7.63	4.58*	16.4	なし
原水(処理槽入口)②	04.11.05	55.1	7.07	12.0	16.3	あり
第3槽オーバーフロー②	04.11.05	44.8	7.98	11.2	16.4	あり
第4槽オーバーフロー②	04.11.05	43.5	8.06	10.8	16.5	あり
第4槽出口②	04.11.05	41.3	8.08	10.9	16.5	あり

①は空気を吹き込まないで放置されていたものを分析した。

②は①の試料を採取後、槽を完全に空にしてから空気を吹き込み、第4槽がオーバーフローした直後、

試料を採取して分析した。

\* は有村社長に取っていただいたもの。(私達が採取した 時間前のもの)

表3 さくらじま荘温泉水の除鉄・除マンガンに関する分析結果

試料	採取年月日	温度 (°C)	pH	総鉄(Fe) (mg/l)	総マンガン(Mn) (mg/l)	備考
原水(処理槽入口)①	04.11.22		7.08	1.55		沈殿含まず(上澄み)
原水(処理槽入口)①	04.11.22			11.6	16.3	沈殿含む
第4槽出口②	04.11.20		7.65	0.87		沈殿含まず(上澄み)
第4槽出口②	04.11.20			6.23	14.7	沈殿含む
第4槽出口②	04.11.22		7.65	0.93		沈殿含まず(上澄み)
第4槽出口②	04.11.22			3.48	14.6	沈殿含む

①は空気を吹き込まないで放置されていたものを分析した。(採取2日後に処理)

②は空気を吹き込み、第4槽の出口で採取後、沈殿を溶かしてもとの試料中の濃度に換算した。(採取2~4日に処理)  
なお、分析は04.11.27日に実施した。

表 4 さくらじま荘温泉水の除鉄・除マンガンに関する分析結果

試料番号	試料・採水日時等	pH	Fe(mg/l)	Mn(mg/l)
1	処理槽入口 12月14日 0.5H	7.05	12.0	15.4
2	処理槽入口 12月14日 1.0H	6.92	12.9	15.5
3	処理槽入口 12月14日 2.0H	6.96	11.8	15.4
4	処理槽入口 12月14日 4.0H	7.01	11.7	15.4
5	処理槽入口 12月15日 6.0H	7.11	11.6	15.6
6	処理槽 3槽 12月14日 0.5H	7.22	12.1	15.4
7	処理槽 3槽 12月14日 1.0H	7.54	10.8	15.7
8	処理槽 3槽 12月14日 2.0H	7.63	10.5	15.9
9	処理槽 3槽 12月14日 4.0H	7.81	9.33	15.3
10	処理槽 3槽 12月15日 6.0H	7.91	8.18	15.6
11	処理槽 3槽 12月15日 6時間で満水4時間貯留 10.0H	7.92	5.61	15.4
12	処理槽 3槽 12月15日 6時間で満水6時間貯留 12.0H	7.94	5.08	15.5
13	処理槽 4槽 12月14日 0.5H	7.39	10.8	15.2
14	処理槽 4槽 12月14日 1.0H	7.53	9.86	15.2
15	処理槽 4槽 12月14日 2.0H	7.61	9.05	15.4
16	処理槽 4槽 12月14日 4.0H	7.75	7.59	15.0
17	処理槽 4槽 12月15日 6.0H	7.78	7.67	15.1
18	処理槽 4槽 12月15日 6時間で満水4時間貯留 10.0H	7.85	4.61	14.9
19	処理槽 4槽 12月15日 6時間で満水6時間貯留 12.0H	7.91	3.89	14.9

表 5 さくらじま荘温泉水の除鉄・除マンガンに関する分析結果

試料番号	試料・採水日時等	pH	Fe(mg/l)	Mn(mg/l)
1	処理槽入口 3月1日 貯留時間(上澄み) 0 H	7.06	1.33	15.2
2	処理槽入口 3月1日 貯留時間(上澄み) 2 H	6.95	1.38	15.4
3	処理槽 3槽 3月1日 貯留時間(上澄み) 0 H	6.96	1.79	15.5
4	処理槽 3槽 3月1日 貯留時間(上澄み) 2 H	7.03	1.45	15.3
5	処理槽 3槽 3月1日 貯留時間(上澄み) 6 H	7.06	1.45	15.3
6	処理槽 4槽 3月1日 貯留時間(上澄み) 0 H	7.12	1.47	15.3
7	処理槽 4槽 3月1日 貯留時間(上澄み) 2 H	7.14	1.24	15.5
8	処理槽 4槽 3月1日 貯留時間(上澄み) 6 H	7.13	1.07	15.6
9	処理槽入口 3月1日 貯留時間 0 H	7.08	11.5	15.5
10	処理槽入口 3月1日 貯留時間 2 H	6.97	12.0	15.6
11	処理槽 3槽 3月1日 貯留時間 0 H	6.98	17.8	16.1
12	処理槽 3槽 3月1日 貯留時間 2 H	7.03	10.6	15.8
13	処理槽 3槽 3月1日 貯留時間 6 H	7.12	6.62	15.7
14	処理槽 4槽 3月1日 貯留時間 0 H	7.12	9.60	15.8
15	処理槽 4槽 3月1日 貯留時間 2 H	7.14	8.94	15.8
16	処理槽 4槽 3月1日 貯留時間 6 H	7.13	3.78	15.7