

温泉利用熱交換器のスケール自動洗浄法の開発

石畑清武・福留紘二・有田重信

(1987年9月19日 受理)

On Removal of Hot-Spring Water Scales by Cleaning Agents on the Heat Exchanger between Hot-Spring Water and Water

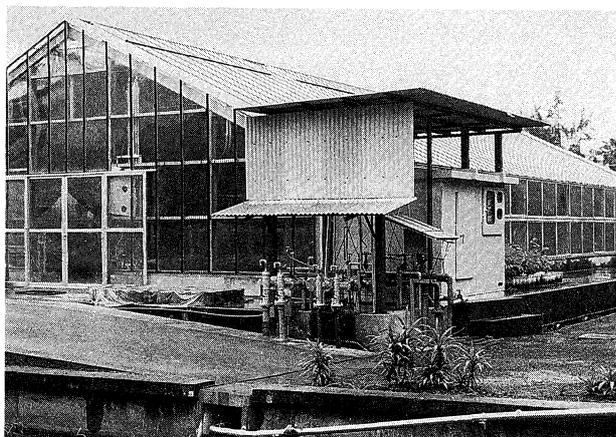
Kiyotake ISHIHATA, Koji FUKUDOME and Shigenobu ARITA

緒 言

温泉利用による栽培施設の加温は、従来、パイピング法が主であったが、最近は温泉-水、温泉-空気等の熱交換方式がとりいられるようになった。各地で利用されている殆ど温泉は、スケールが発生し^{5,6,8)}、器材の内面へ付着し、熱利用効果を著しく低下させており、これの解決が望まれている。著者ら¹⁻⁴⁾は、今日までに数型の温泉-水、温泉-空気熱交換器を試作し、栽培施設加温の効果及び経済性等の検討を行ってきた。試作した熱交換器の中で、高い熱交換性能の得られたプレート式温泉-水熱交換器は密閉式でスケール除去対策が重要な課題である。

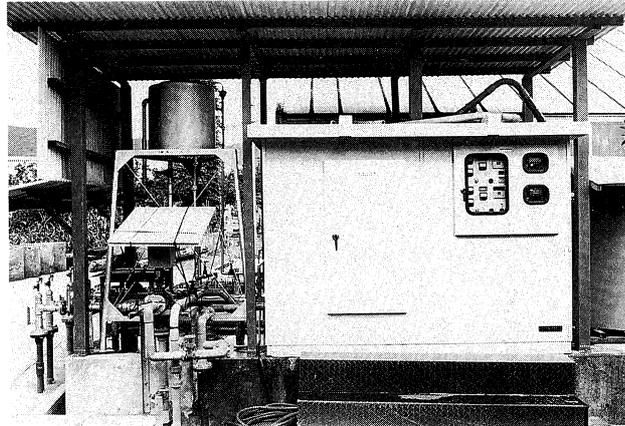
これまで、温泉供給側のプレート面及びパイプ等に付着するスケール除去は手作業によるブラッシングで行ってきた⁴⁾。この作業を省力化し、温泉から水への熱交換能力を高めるために、本実験では洗浄剤処理によるスケール除去を検討した。

本実験は、鹿児島県資源開発協議会の委託研究費の援助、東洋電機製作所稲森政博氏の協力により行われた。実験調査は指宿植物試験場清野進、福村和則、宮浦伸生、井立田三郎各氏の協力により行った。ここに謝意を表する。



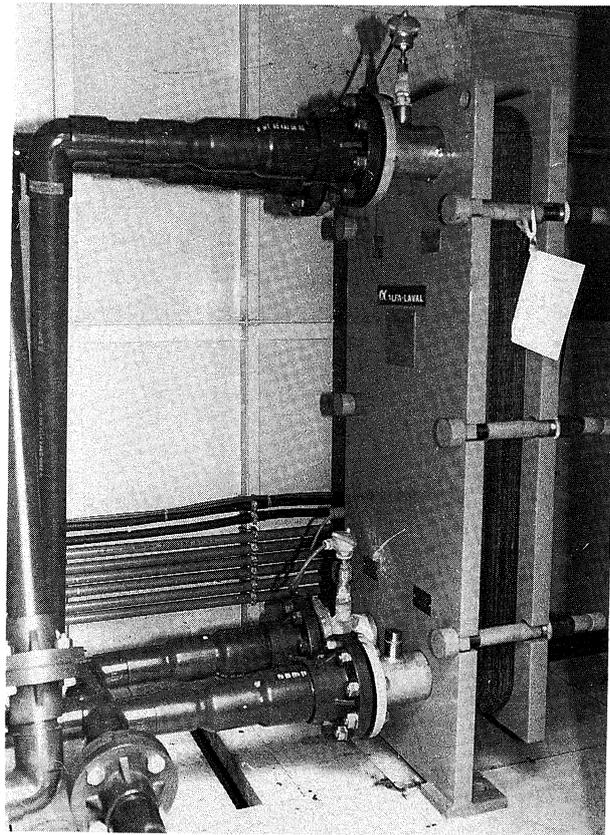
第1図 温泉-水熱交換器設置場

Fig. 1. Installation site of heat exchanger between hot-spring water and water.



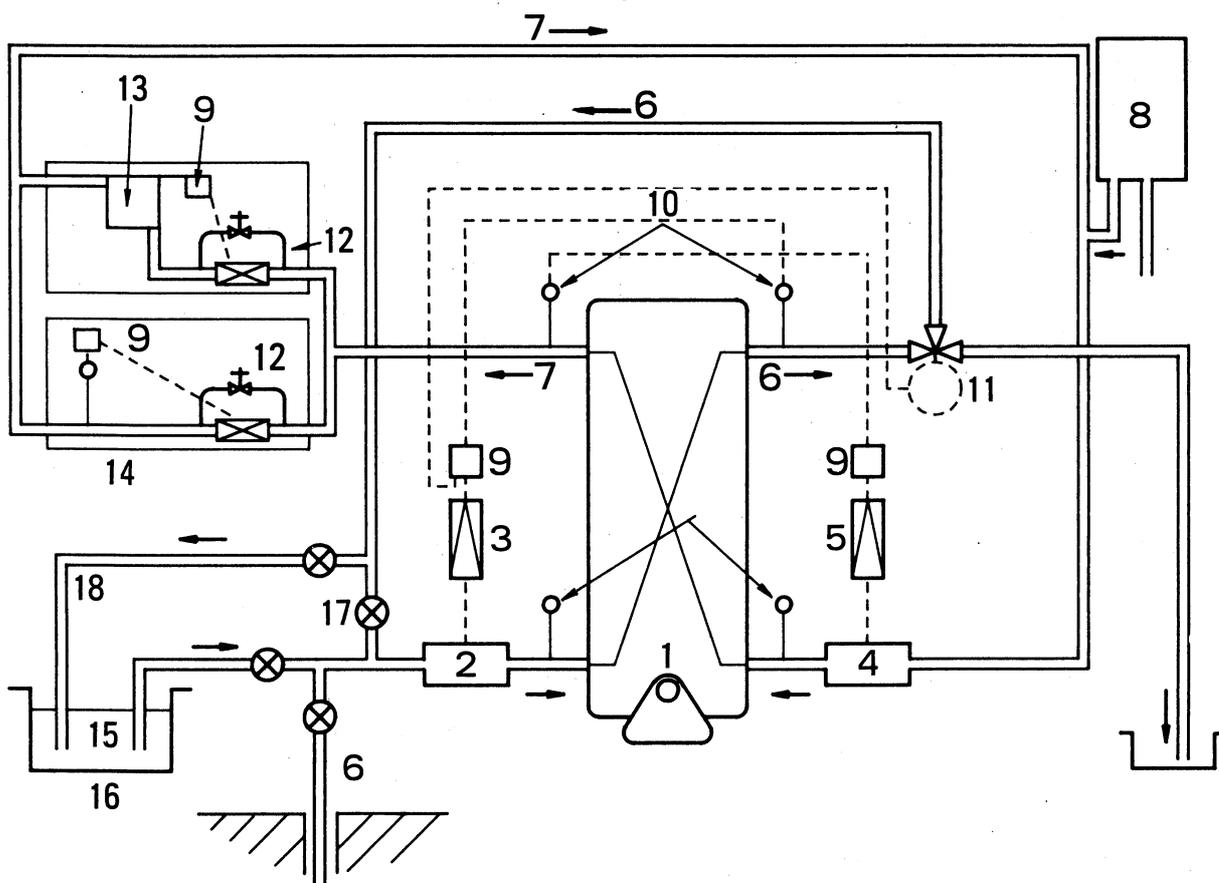
第2図 温泉—水熱交換器収納室

Fig. 2. Chamber of heat exchanger between hot-spring water and water.



第3図 プレート式温泉—水熱交換器

Fig. 3. Plate heat exchanger between hot-spring water and water.



第4図 プレート式温泉—水熱交換装置とスケール洗浄装置

Fig. 4. Plate type heat exchange system between hot-spring water and water, and washing system of scales by cleaning agents

- | | |
|--|--|
| 1. 温泉—水熱交換器,
Heat exchanger between hot-spring water and water, | 2. 温泉ポンプ,
Hot-spring water pump, |
| 3. 温泉用インバーター,
Invertor to control hot-spring water, | 4. 循環水ポンプ,
Circulating water pump, |
| 5. 循環水用インバーター,
Invertor to control circulating water, | 6. 温泉,
Hot-spring water, |
| | 7. 循環水,
Circulating water, |
| 8. 補給水タンク,
Cistern, | 9. 温度調節器,
Thermoregulator, |
| | 10. 測温体,
Thermostat, |
| 11. 三方弁,
Three-way valve, | |
| 12. 二方弁,
Two-way valve, | 13. ユニットヒーター,
Unit heater, |
| | 14. ハウス群,
Green houses, |
| 15. 洗浄液,
Solution of cleaning agent, | |
| 16. 洗浄液循環槽,
Circulating solution tank, | 17. バルブ,
Valve, |
| | 18. 洗浄液循環パイプライン.
Pipe line of circulating solution of cleaning agent. |

材料及び方法

実験は鹿児島大学農学部指宿植物試験場で1987年1月～3月に行った。

プレート式温泉—水熱交換装置の構造は、第1, 2, 3, 4図に、その諸元は第1表に示す。

第1表 プレート式温泉—水熱交換装置の諸元

Table 1. The specifications of heat exchange system between hot-spring water and water

項目 Items	諸元 Specifications					
熱交換器 Heat exchanger	プレート式水—水対向流式 Plate type heat exchanger between hot-spring water and water by counterflow system				伝熱面積 Heating surface area	5.76 m ²
熱出力 Thermal output	143,000 kcal·hr ⁻¹					
電子温度調節器 Electric thermo-regulator	デジタル温度表示 Digital display	出力 Power	4-20 mA	台数 Numbers	2	
測温体 Thermometer	直径 Diameter	6.4 mm	抵抗 Resistance	100 Ω	本数 Numbers	4
インバーター Invertor	電圧 Voltage	200 V	電流 Electric current	15 A-5.0 KVA	台数 Numbers	2
循環ポンプ Circulation pump	温泉用 Hot-spring water	200 V 0.75 KW	全揚程 Total head	11.0 m	揚水量 Pump discharge rate of flow	100 l·min ⁻¹
	循環水用 Circulating water pump	200 V 1.5 KW	全揚程 Total head	20.5 m	揚水量 Pump discharge rate of flow	180 l·min ⁻¹
三方弁 Three way valve	分割型 Split type					
量水器 Water meter	フローセル Flow cell					

すなわち、装置はプレート式熱交換器、循環水ポンプ、温泉給湯ポンプ、電子温度調節器、インバーター、積算電力計、量水器(フローセル)等で構成され、供試熱交換器の熱交換可能量は 143,000 kcal·hr⁻¹ である。

第4図に示すスケール洗浄装置は、温泉—水熱交換装置の温泉供給側にバイパスで洗浄液を供給できるように薬液槽を設置し、温泉ポンプにより熱交換器内を洗浄液が循環する構造とした。洗浄液としては、温泉の化学成分及び発生したスケールから塩酸⁵⁾を主成分とする洗浄液が適切と考えた。したがって、予備試験でスケール除去効果の認められた、シリカ、カルシウム及び赤錆系スケール洗浄剤アクアクリーン B(酸性液体 HCl 19%, NH₄HF₂ 10%, 比重 1.135 g/cc, 東京, 日本表面化学株式会社製)とセイフター 1(東京, サンロード株式会社製)を用いた。前者の濃度は 5.0%, 7.5%, 10.0%, 後者は 5.0%とし、各濃度とも 1 回ずつ計 4 回処理した。処理液量は 1 回当り 100 l, 洗浄処理は各液とも日中加温を要しない間に 2 時間行った。処理後洗浄剤は石灰で中和の後放流した。スケール除去実験の時期は、熱交換器により加温される循環水の温度がある程度低下した時に行った。

この熱交換器により加温された温水で、果菜、熱帯性果樹及び植物栽培用ガラス温室 748 m² (3 棟), ビニールハウス 180 m² (2 棟) 計 928 m² を暖房した。温泉は熱交換器運転時は温泉井よりポンプで直接汲上げ利用し、休止時は自然湧出のまま放流した。

調査は温泉成分(ネポン株式会社に依頼)、スケール洗浄前後の温泉—水熱交換器による温泉から熱交換器への供給熱量、熱貫流率の変化及びプレート表面のスケール除去状況について行った。

結果及び考察

温泉成分

実験に供した温泉の成分は表2に示すとおりで、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ が多く金属腐食成分のほか、曝気によりスケール発生の要因となる Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 SiO_3^{2-} 等が多く含まれていた。熱交換器及びパイプ内壁等に付着したスケールの重量比は、 SiO_3 33%、Fe 29.5%、Al 1.14%、Mg 0.3%、Ca 0.38%、Na 0.5%等であった。

スケール除去と温泉から熱交換器への伝熱量の推移

温泉から熱交換器への電熱量を第3表に示す。温泉から熱交換器への供給熱量は次式で求めた。

$$Q = C_p \cdot V (W_{ti} - W_{to}) \dots \dots \dots (1)$$

Q : 温泉からの交換熱量 $\dots \dots \text{kcal} \cdot \text{hr}^{-1}$

C_p : 比熱 $\dots \dots \dots \text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

V : 温泉量 $\dots \dots \dots \text{kg} \cdot \text{hr}^{-1}$

$W_{ti} - W_{to}$: 温泉入口-温泉出口温度 $\dots \dots \dots ^\circ\text{C}$

スケール除去前後の日の5時~6時の熱交換器への供給熱量をみると、スケール除去後はアクアクリーンBでは除去前の118,320~119,700 $\text{kcal} \cdot \text{hr}^{-1}$ の3.0~11.0%。セイフター1では除去前の107,322 $\text{kcal} \cdot \text{hr}^{-1}$ の1.4%それぞれ増加した。またアクアクリーンBは高濃度処理ほど熱交換器への供給熱量は増加した。プレートのスケール洗浄液処理は手作業ブラッシング除去した場合⁴⁾よりもよく除去され(第5図)、したがって、手作業による場合よりも熱交換器への供給熱量は増加した。一方セイフター1の5%処理は熱供給量の増加率少なく、これは更に長時間処理が必要と思われる。

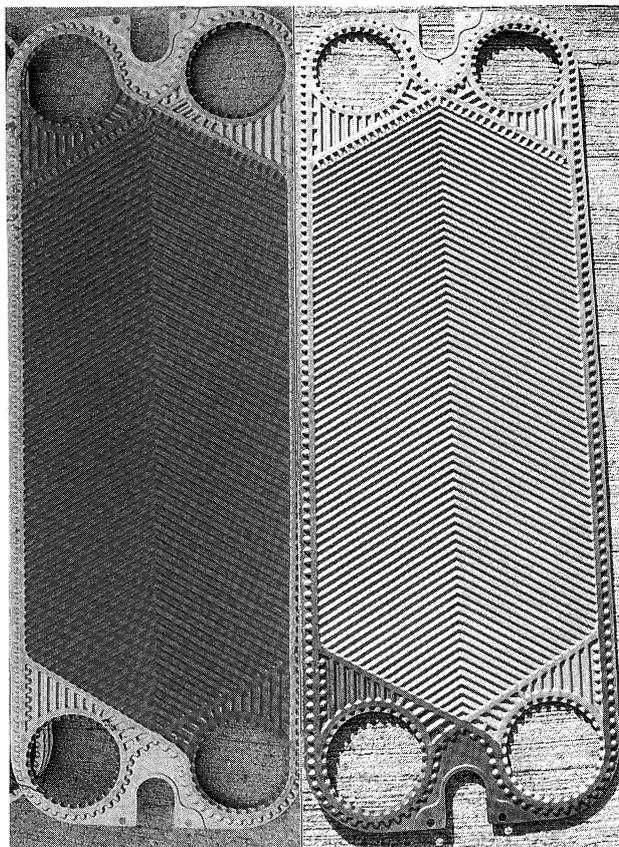
第2表 温泉の成分

Table 2. Components of hot-spring water

成分 Components	含有量 Contents
Na^+	1,424.0 ppm
Ca^{2+}	281.0
Mg^{2+}	24.8
Fe^{2+}	33.6
Cl^-	2,438.0
SO_4^{2-}	248.4
SiO_3^{2-}	199.0
HCO_3^-	50.3
蒸発残留物 Residue	5,084.0
pH	5.1
大気接触 In contact with air	淡黄色沈殿 Light yellowish sediments

第3表 スケール洗浄による温泉から熱交換器への供給熱量と熱貫流率の推移 (1987)
 Table 3. Changes of the supply quantity of heat transfer and overall heat transfer coefficient after scale-cleaning by cleaning agents on the heat exchanger between hot-spring water and water (1987)

月日	洗浄剤	濃度	時間	温泉		循環水		熱交換器への供給熱量	熱貫流率	熱貫流率の増加割合	
				供給量	入口温度	出口温度	入口温度				出口温度
Month Date	Cleaning agent	Concentration	Time to time a. m.	Quantity $kg \cdot min^{-1}$	Inlet temp. $^{\circ}C$	Outlet temp. $^{\circ}C$	Inlet temp. $^{\circ}C$	Outlet temp. $^{\circ}C$	Supply quantity of heat transfer $kcal \cdot hr^{-1}$	Overall heat transfer coefficient $kcal \cdot m^{-2} \cdot hr^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$	Increased ratio of overall heat transfer coefficient %
1,25 *			5~6	114.0	52.0	34.5	35.0	39.5	119,700	5,147	
2, 1 **	アクリリン B Aqua Clean B	10.0%	"	128.0	52.3	35.0	35.5	40.5	132,864	5,929	15.28
2, 9 *			"	116.0	53.0	36.0	36.0	40.5	118,320	4,158	
2,16 **	アクリリン B Aqua Clean B	7.5%	"	128.0	53.0	36.5	36.5	41.8	126,720	4,751	14.27
2,28 *			"	116.0	53.0	36.0	36.0	40.5	118,320	4,158	
3, 3 **	アクリリン B Aqua Clean B	5.0%	"	127.0	53.0	37.0	37.0	41.6	121,920	4,522	8.77
3,26 *			"	115.4	53.0	37.5	37.0	41.0	107,322	5,147	
3,27 **	セイフター I Safety-I	5.0%	"	125.0	53.0	38.5	37.9	42.0	108,750	5,288	2.75
*	洗浄処理前										
**	洗浄処理後										
	Before washing,										
	After washing,										



第5図 プレートの温泉スケール洗浄前（左）と後（右）

Fig. 5. Before (left) and after (right) washing of plate scales.

スケール除去と熱貫流率の推移

プレートの熱貫流率は次式で求めた^{7,9)}。

$$K = Q/A\Delta tm \dots\dots\dots (2)$$

K : 熱貫流率..... $kcal \cdot m^{-2} \cdot hr^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$

A : 伝熱面積..... m^2

Δtm : 入口及び出口温度の対数平均温度差 $^\circ C$

スケール洗浄前後の熱貫流率の推移を第3表に示す。洗浄後の熱貫流率は $4,522 \sim 5,929 kcal \cdot m^{-2} \cdot hr^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ で、アクアクリン B では洗浄前の 8.77 ~ 15.28 %, セイフター 1 では 2.75 % 増加した。すなわち、熱貫流率は処理時間が同一であれば、洗浄処理液濃度が高いほど増加した。

以上のように、本実験ではプレートを組合せた熱交換器を分解することなく、洗浄液を温泉供給側に循環させ、温泉から発生したスケールを除去した。洗浄剤は 1 回当たり 5,000 (5.0 %) ~ 10,000

円（10.0%）の低い価格であり、植物生産コストの低下にも効果があると思われる。洗浄液によるスケール除去作業は、冬日中の高温時で、施設加温を要しない時間帯に行うことができ、また他の方法に比べきわめて省力的であった。

摘 要

作物栽培温室に加温水を供給するために開発したプレート式温泉-水熱交換器に付着する温泉スケールを洗浄剤で除去した。洗浄剤は酸性液のアクアクリーン B とセイフター 1 を供試し、濃度は前者は 5.0%、7.5%、10.0%、後者は 5.0% 液とした。スケール除去は熱交換器の温泉給湯側に洗浄液を循環処理する方法で行い、洗浄時間は各濃度区とも 2 時間とした。その結果、アクアクリーン B の 10.0% 及び 7.5% 溶液による洗浄処理区は、温泉から熱交換器への供給熱量及び熱貫流率ともに増加し、スケール洗浄効果の高いことが認められた。したがって、洗浄剤によるスケール洗浄を省力的に行うことが可能なことを実証した。

文 献

- 1) 石畑清武・有田重信・井立田三郎・福留紘二, 1977. 温泉を利用する施設園芸用熱交換施設の基礎的研究. 鹿児島県資源開発協議会調査研究報告, **13**: 17 - 34.
- 2) 石畑清武・有田重信・福留紘二・清野進・井立田三郎, 1979. 地熱利用暖房システムの開発に関する研究. 鹿児島県資源開発協議会調査研究報告, **16**: 1 - 8.
- 3) 石畑清武・有田重信・清野進・川畑久雄・福留紘二, 1983. 低温泉水による施設加温と経済性, 一地下水利用熱交換器加温効果と小ナスの栽培. 鹿児島県資源開発協議会調査研究報告, **20(2)**: 3 - 24.
- 4) 石畑清武・有田重信・福留紘二・清野進・川畑久雄, 1985. 温泉による施設加温と経済性, 一温泉-水熱交換器による施設の加温一. 鹿児島県資源開発協議会調査研究報告, **22(2)**: 2 - 17.
- 5) 鎌田政明・小沢竹二郎・村上悠紀雄・吉田 稔, 1986. 「地熱流体の化学」, 東京大学出版会, 東京, 28 - 114.
- 6) 児玉牧夫・奥村竜昭, 1986. ロトルア農業試験所における地熱多目的利用の状況. 地熱, **22(5)**: 445 - 453.
- 7) 松村篤躬・越後雅夫, 1984. 「熱力学の計算法」, 東京電機大学出版会, 東京, 138 - 140.
- 8) 須田雄悦・柴田哲次, 1977. 施設園芸における地熱熱水の利用. 一とくに二次利用による熱利用幅の拡大一. 農及園, **52**: 427 - 453.
- 9) 槌田 昭・神谷昌平, 1980. 「伝熱工学演習」, 学献社, 東京, 181 - 185.

Summary

By making use of some cleaning agents, we succeeded in removing the hot-spring water scales, which unavoidably came to be attached on to the plate-type heat exchanger, installed in order to supply the greenhouses with heated water.

The details of the process is to be described briefly in the following.

The cleaning agents were composed of the two kinds of the solutions, namely, the one, named Aqua Clean B fixed at the concentrations of 5.0 %, 7.5 % or 10.0 %, and another, named, the Safety-1 fixed at the concentration of 5.0 %.

The cleaning was carried out by letting the cleaning agents circulate through the hot-spring water path on the heat exchanger between hot-spring water and water. The cleaning-time was managed to be about 2 hours at the respective concentration-units.

Consequently, it was confirmed that both the heat-amount from the hot-spring water to the heat exchanger and the overall heat-transfer-coefficients were made to be increased at the cleaning parts treated by Aqua Clean B both at 10.0 % and at 7.5 % solutions, indicating the highest efficiency removing the scales.

These results show the possibility of saving the labours hitherto required for cleaning the scales on the heat exchanger.