

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22651023

研究課題名（和文）電磁処理による水配管のスケール防除の機構解明と応用

研究課題名（英文）Mechanism elucidation and application of scale prevention effect on water pipe by electromagnetic treatment

研究代表者

谷口 尚司（TANIGUCHI SHOJI）

東北大学・大学院環境科学研究科・教授

研究者番号：00111253

研究成果の概要（和文）：電磁処理によるスケール防止効果の機構解明を図るため、蒸気発生器等における実証試験を実施した。実証試験を通して、電磁処理の有効性と電磁場周波数による逆帯電効果が確認された。本逆帯電現象は、カチオン性の水処理薬品添加時に顕著に認められ、実用上も非常に有効であることが確認された。また、電磁処理のための水管理基準値が明らかとなり、実証試験を通して、このような値を制御しながら運転を行うことで、大幅にスケール付着を抑制できることも示された。

研究成果の概要（英文）： We conducted a demonstration experiment of steam generator and cooling facility in order to reveal the mechanism of scale prevention effect by electromagnetic treatment. Through the experiment, effectiveness of the electromagnetic treatment and the opposite-charging effect by electromagnetic field frequency were confirmed, along with the high effectiveness in practical use of this opposite charging phenomenon, which is remarkable when cationic water treatment chemicals is added. The water control standard value for electromagnetic treatment was revealed as well, controlling of which throughout the operation was also proven to inhibit scale adhesion to a large extent.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	0	900,000
2011年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	3,100,000	660,000	3,760,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：電磁処理、配管スケール、スケール防止、ゼータ電位、特異吸着

1. 研究開始当初の背景

配管の内壁や熱交換器の表面に水中のカルシウムやシリカ等が付着・堆積して生じるスケール障害は、配管の閉塞や熱効率の低下を引き起こし、水を使用す

る多くの設備で大きな問題となっている。このスケールの対策には、現在、主として高価で環境負荷の大きい化学薬品による処理が行われており、水質汚染と経済損失が生じている。このようなス

ケールの付着防止に、電磁場を用いる方法が一定の有効性を発揮している。これは、水の流路中にコイル等を設置して交流電磁場を発生させ、その下流域におけるスケール付着を防止するというものであるが、現在でもそのメカニズムは解明されておらず、従って信頼性が低いのが実情である。

この電磁処理によるスケール防止効果については、これまでの我々の研究から、数kHz程度の特定周波数域の交流電磁場印加によって、水中粒子のゼータ電位が大きくマイナス方向へ変化することが確認され、本方法によるスケール防止効果の基本的メカニズムが、水中に晶出したスケール結晶粒子と配管内壁との電気的斥力に起因するものであることが明らかにされた。

しかし、何故このような微弱な電磁場が固液界面に劇的な変化を生じさせるのか？という本質的な問題は謎のままであり、実験における現象の再現性も、現時点では残念ながら100%ではない。また、電磁処理周波数4kHz付近では、粒子の界面電位がしばしばプラス側へシフトする現象も認められているが、これは実操業下でも確認されており、決して無視できない。実用上も、電磁処理のための適切な水管理法の構築が必要とされており、理論的裏付けが求められている。

2. 研究の目的

本研究では、電磁処理実証試験と基礎実験を通して、本現象に関わる知見を集め、その機構解明を目指した。また、実用上の信頼性向上のため、電磁処理が適合する水質条件等を明らかにし、簡便なモニター法を開発することも目的とした。

3. 研究の方法

これまでの研究から開発された電磁処理装置を、蒸気発生器や冷却設備に設置して実証試験を行った。本実証試験を通して、上述の目的を達成するためのデータ収集とその考察を行った。

尚、当初計画では、実証試験と並行して電磁処理による液中微粒子のゼータ電位変化に関わる基礎実験を実施する予定であったが、東日本大震災により大学の実験室が壊滅したため実行できなかった。

4. 研究成果

電磁処理によるスケール防止効果の実証とデータ収集を目的に、東北大学病院および株式会社亀山鉄工所の協力を得て、冬期の病棟加湿用の蒸気発生器を用いた実証試験を行った。本装置については、その用途からクリーンな蒸気が必要とされるので、補給水に水処理薬品を添加することができない。その

ため、熱交換器に分厚い硬質のスケールがびっしりと付着し、毎年運転が終了する春期に薬品洗浄と開放・整備を行っている。

本蒸気発生器に、これまでの研究成果をもとに開発されたスケール防止電磁処理装置：「ZETA WAVE」ZW-5（株式会社テクノラボ社製）を設置し、補給水に対して8kHzの電磁場を印加して運転を行った。運転中は缶水の「水質検査（pH、導電率、全硬度、溶性シリカ、全鉄）」と、水のスケール性を、水滴を滴下～乾燥させた場合の沈殿物の観察から判定する「判定試験（→図1）」を適時行いながら、その推移を観察し、必要に応じて蒸気発生器本体の調整を行った。このようにして平成23年3月11日の東日本大震災で装置が停止するまで蒸気発生器の運転を行い、同年6月に開放点検を実施した。図2に蒸気発生器加熱部のスケール付着状況を示す。

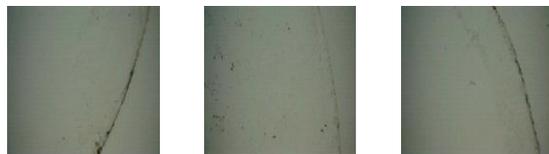


図1 蒸気発生器補給水源水の判定試験結果
（左から未処理、8kHz 電磁処理、4kHz 電磁処理）



図2 蒸気発生器加熱部のスケール付着状況（左：H22/未処理、右：H23/8kHz 電磁処理）

平成22年までの未処理と比較して、電磁処理を行った場合は大幅にスケール付着が減少していることが判る。また、固着したスケールが剥離していることも確認され、缶底部に堆積したスケールも小型化、減少していることも目視で確認された。更には、蒸気発生器の洗浄時に、以前は固着して剥離しなかったスケールが、軟質化して容易に除去できるようになっていた。以上の実証試験では、導電率計のトラブルや震災による中断があったにもかかわらず、電磁処理とそれに適した運転を行うことで、顕著なスケール防止効果が得られることが確認された。また、スケール物質の元素分析から、未処理においては硬質なスケールがシリカと炭酸カルシウムで形成されているのに対して、電磁処理後のスケールは大半がシリカであることも判明した。このことから電磁処理によりカルシウムケールの付着が大幅に抑制されていることが示された。（→図3）

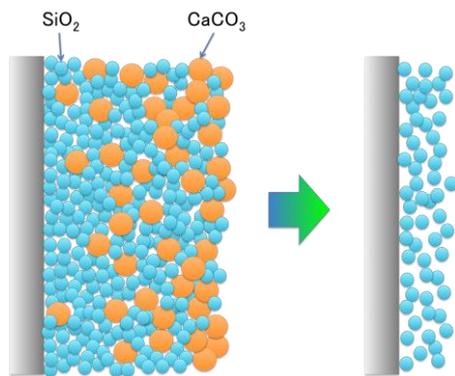


図3 スケール付着の概念 (左: 未処理、右: 電磁処理)

次に、福島県会津若松市のガス製造工場の冷却設備において実証試験を行った。本工場には、これまでに高周波周波数変調型電磁処理装置が導入されていたが、完全にスケール付着を防止するまでには至っていなかった。その理由は、別系統から混入する水処理薬品の影響であると推定されており、判定試験から薬品の切り替えや、低周波型(4kHz)電磁処理装置への切り替えが推奨されていた。さて、電磁処理に関する基礎的実験において、4kHzの低周波処理を行うことでスケール微粒子(CaCO_3)のゼータ電位をプラス側へ変化させる現象も確認されている。(→図4)

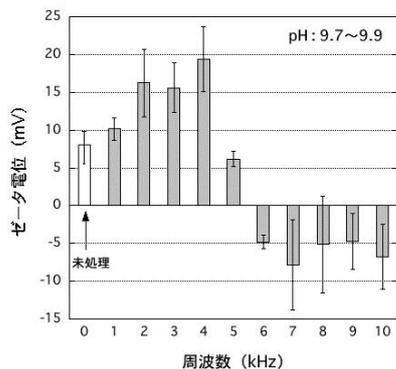


図4 CaCO_3 懸濁液の電磁処理によるゼータ電位変化

この現象は、高周波によるマイナス側への変化と比較して再現性には難があるが、何度も確認されており、更には「判定試験」の結果にも明確に現れている。本現象は、電磁処理のメカニズム解明において、また、実用上も非常に重要なものだと考える。よって、本設備における状況調査と低周波型電磁処理効果の実証試験を実施した。

「判定試験」の結果をもとに、既設の高周波変調型電磁処理装置から、スケール防止電磁処理装置:「ZETA WAVE」ZW-40(株式会社テクノラボ社製)に切り替えて、用水に4kHzの電磁場を印加しながら設備の運転を行った。

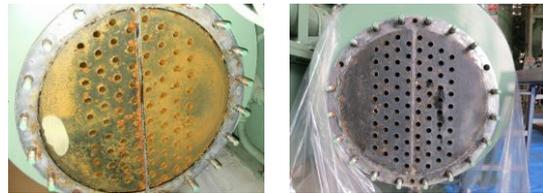


図5 冷却設備熱交換器のスケール付着状況 (左: ~H22/8kHz 電磁処理、右: H23/4kHz 電磁処理)

図5に示すのは、開放点検時の熱交換器の写真である。左は従来の高周波型電磁処理に対する阻害性薬品の混入+8kHz電磁処理を行った場合(半年間運転)、右は4kHz電磁処理を行った場合である(2年間運転)。4kHz電磁処理の方は、約2年間放置していたにも関わらずスケール付着が明らかに減少していることが判る。

さて、本研究で行った実証試験から、電磁処理によるスケール防止は大変有効であることが確認されたが、確実な効果を得るためには、電磁処理のための適切な水管理が必須であることも明らかになった。先に示した蒸気発生器の場合は、研究分担者である株式会社テクノラボの経験を基に、水質分析からCa/シリカモル比と導電率に注視しながら運転を行った。通常シリカスケールは、液中のCa、Fe、Al等の陽イオンとのイオン結合によりシリカ化合物を形成し、電気的引力により配管や熱交換器の表面へ吸着して発達する。あるいは、溶液のpHが低く、液中のFe、Alイオンの(+)帯電性の影響によって(+)帯電化している配管内壁に(-)帯電するゲル状シリカの付着を生じる場合もある。

さて、蒸気発生器やクーリングタワーのような蒸発による濃縮が生じる設備において電磁処理を適用する場合、源水のCa/シリカモル比によっては、シリカ濃縮に特に注意が必要である。例えば、全硬度60ppm、溶性シリカ60ppmの水に対して電磁処理を行う場合は、以下のような水管理が必要だと考えられる。

- Caモル濃度 = $60/100$ (CaCO_3 の分子量) = 0.6mmol/L
- シリカモル濃度 = $60/60$ (SiO_2 の分子量) = 1.0mmol/L
- ☞ Ca/シリカモル濃度 = $0.6/1.0 = 0.6$

このCa/シリカモル比0.6に相当する分は結晶化し、これは電磁処理で付着が防止できるが、残りの0.4mmol/L相当のシリカは陽イオンが少なく液中に残留するものと推察される。よって、液中には $60\text{ppm} \times 0.4\text{mmol/L} = 24\text{ppm}$ の溶性シリカが残留するので、例えばpH9以下の条件で22°Cの場合、150(シリカの溶解度から)/24 = 6.25倍程度の濃縮を超えないよう、導電率値をもとに定期的なブロー管理が必要である。このように電磁処理にお

いては、定期的な水質検査と判定試験等により適時状況を確認しながら（特に導入初期は）運転を行うことが極めて重要であることが確認された。

次に示した冷却設備では、従来型の高周波変調型電磁処理を行っても完全なスケール防止には至らなかった設備に対して、判定試験をもとに低周波電磁処理に切り替えることで確実なスケール防止効果が得られることが確かめられた。本設備では、状況調査から電磁処理効果を阻害する薬品の混入が予想されていたが、判定試験を繰り返し実施することで対応策を見いだした。本実証試験から、判定試験の妥当性が再確認され、阻害性薬品が使用されている設備でも効果的な電磁処理の運用が図れることが明らかになった。

以上より、電磁処理においては「水質検査」と「判定試験」等の電磁処理のための管理法を併用することが不可欠であり、このような運用を行うことで確実なスケール防止効果、薬品の大幅削減が場合によっては無薬注運転、更には大きな省エネ効果等々が得られることが確かめられた。また、判定試験の妥当性が確認されたことにより、現場で容易に水のスケール性と電磁処理適合性を確認できるモニター装置も考案した。

尚、先にも述べた通り、本研究期間中に発生した東日本大震災の影響により、当初計画していた基礎的実験を行うことがほとんどできなかった。本現象の機構解明にせまるため、実証試験と並行して基礎実験を行うことが必要であるが、今後の課題としたい。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計1件）

1. 梅木千真・「配管や熱交換器におけるスケール防止電磁処理技術」・（社）建築設備技術者協会/新事例発表会・2012. 2. 17・宮城県仙台市

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

谷口 尚司 (TANIGUCHI SHOJI)
東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号：00111253

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

大谷 裕一 (OTANI HIROKAZU)
株式会社テクノラボ・代表取締役
研究者番号：

梅木 千真 (UMEKI SENSIN)
東北大学・大学院環境科学研究科・
リサーチフェロー
（兼任）株式会社ガイア環境技術研究所・
取締役／研究開発本部長
研究者番号：20436158※
※株式会社ガイア環境技術研究所