

〔製品と技術〕

電磁化水発生装置イーサー

- スケール除去・防止および防錆 -

株式会社エイコー、ロイヤル機器株式会社、株式会社計測研究所

1. はじめに

磁気処理水によってスケールを除去するとともに鉄管を防錆する方法がよく知られている。1945年にベルギー人の T. Vermeiren が特許取得した湯あか形成を抑制する水の磁気処理の実用化を契機に、ソ連の研究者らによってその物理化学的性質の変化が、他の多くの場合にも効果として現れることが確認された。最近まで、水系の磁気処理には磁石による静磁場あるいは300Hz以下の低周波磁場が用いられてきた。これらの磁気処理水を一般的に磁化水と称するが、ここに紹介する新製品「イーサー」は、数百kHzのラジオ波を使用することから、あえて電磁化水発生装置と称することとした。従来の電磁波による磁気処理水発生装置は対象によっては効果が不明瞭となることから、その原因を解明するために平成12年度公的補助金による研究を実施し、その成果を凝縮して平成13年11月に発売を開始したものである。

2. 従来の電磁波による磁気処理水発生方法

平成14年2月発行の東京商船大学学術講演会論文集掲載の「磁気処理水による船体・機関プラントへの海洋生物付着防止実証実験」と題する報告によると、海水磁気処理実験には、図1に示すような海水磁気処理装置が用いられている。処理する海水システムの配管1の一部分に、絶縁された電線2がコイル状に数ターン巻きつけられ、その電線2に、パルスジェネレータ3で発生した周波数が5~20kHzの微弱な電流が流されて、図1において破線で示すような磁束を発生する磁場が形成される。つまり、電線2に供給される微弱電流は、周波数が5~20kHzまで掃引される。すると、配管1内を流れる水4は帯電し、この帯電した水が配管1内を流れることにより、配管1内には、海洋生物が好むスケールの付着を防止することができ、結果的に海洋生物の船体局所への付着を防止することができるとされている。

また、同種の磁気処理水を用いる市販品の例では、図1に示したものと同等の構成のもので、電線2に流

す電流は、500Hz~3kHzの範囲で広範囲にシフトさせるものである。この場合は、磁界エネルギーと共に、周波数変調によって生じる電界エネルギー（渦電流）により、硬化したカルシウムや銲物の形状やサイズを徐々に物理的に変化させ、付着力を弱めて水に流すようにすると説明されている。

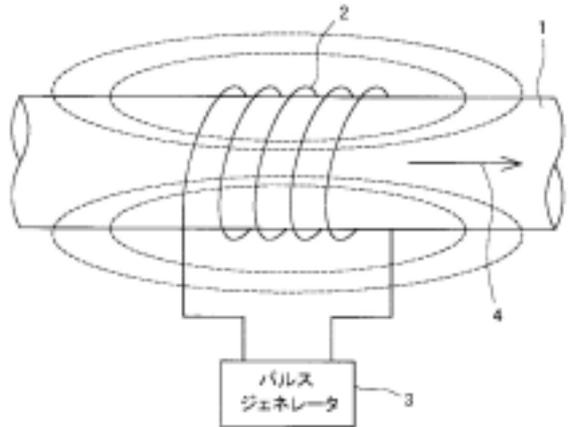


図1 従来の電磁化水発生装置

3. 本製品の特徴

従来の装置は、所定の周波数範囲をサーチするように磁場発生用コイルに電流を流すものであって、特定のスケール構成物質を狙い撃ちして除去するものではないため、エネルギーロスが大きいと考えられ、非効率であるという問題があった。

本製品は、特定のスケール構成物質を効率良く狙い撃ちして除去することが可能なスケール除去方法を用いたものである。

3-1 具体的方法

コイルに周波数信号を供給した際に、その電磁波を照射された管内の水中に電流が流れる現象を利用する。これは、元素ごとに異なる電磁波の周波数に反応してその元素がイオン化して溶出する現象を用いるものである。

図2に示すように、本製品は配管に取付た電磁界発信器およびその信号を供給する制御器の2点から構成

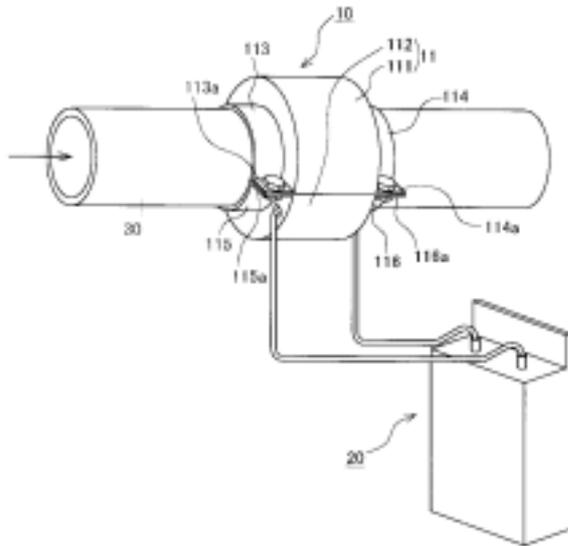


図2 本製品の配管への取付要領

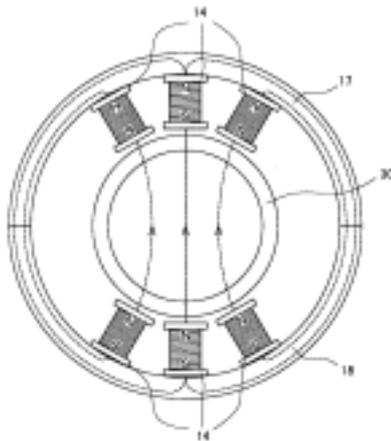


図3 電磁界発信器および配管の断面および磁力線の方向(ただし交番磁界である)

されている。電磁界発信器は、ドーナツ状の円環が2つ割りになったものを4つのボルトで配管の外部に密着させて取り付ける。その近傍に設置された制御器からコードを通じて、予め設定された周波数を持つ信号が電磁界発信器に供給される。

本製品の装着に際しては、配管を傷付けることなく

配管外部に密着して装着すればよく、管内の水中にそのスケールを構成する物質の元素に対応する予め設定された周波数信号を照射する。すると、その周波数に対応するスケール構成元素がイオン化して徐々に溶出する。

この周波数信号の周波数は、従来からよく知られたESR (Electron Spin Resonance) の周波数よりも低い周波数であることを特徴としており、実験的に求められたものである。

また、配管内の水は任意の速度で前記スケールが付着した面に沿う方向に流れる。磁場は、図3に示されるように水中において、物質がイオン化する際に生じる電子が水流の方向と交差する方向にローレンツ力を受けるように形成される。

一般には、除去対象のスケールとして、複数の異なるスケールが存在する場合に備えて、複数の異なるスケール構成元素のそれぞれについて、特定の周波数に反応して水中に電流が流れる現象を利用して予め設定された複数の周波数信号を、時分割で電磁界発信器に供給する。

さらに、複数の周波数信号のそれぞれが占める時分割期間は、除去する複数のスケール構成元素のそれぞれについて含有比率に応じて可変とすることが出来る。

3 - 2 作用効果

上述の構成によって、スケールに覆われた配管内の水中へ予め設定した周波数信号を電磁界発信器から照射することが出来るため、除去をしようとする目的のスケールを効率良く狙い撃ちして除去することが可能である。

この効果は、次のようにして推論することができる。

通常、水はイオン化しないが、これに電解質が溶け出すと急激にイオン化が可能となる。スケールが発生し易い水には、元々スケール除去対象の電解質が存在することにより、水はイオン化している。水のイオン化により発生した電子は、電磁界発信器に周波数信号を供給することにより形成された電磁場により発生するローレンツ力を受けて、スケール(例えば特定元素の酸化物)に衝突する方向に移動する。

このとき、除去すべきスケール構成元素のイオン化電圧以上のエネルギーが発生すると、その元素から電子が飛び出してその元素(原子)がイオン化して水に溶け出す。これにより、水中には、電流がさらに急激に流れるようになると考えられる。

イオン化電圧は、一般には、ESR (Electron Spin

Resonance)の周波数よりも高い共振周波数(元素ごとに異なる周波数)において、生じるものとされている。そして、この ESR の周波数は、一般的に非常に高い周波数であって、非常に高価な発振器を用いないと得ることができないものである。

しかし、本製品において利用される周波数は、このような高い周波数ではなく、実験的に探索されたものであり、従来の ESR の周波数よりも低い実用的な周波数である。

3 - 3 下流への効果の持続

以上のようにしてスケールから水中に溶け出した元素イオンは、一部はそのまま残るが、多くは小粒子の水酸化物に変化する。このとき、水がイオン化していることから、その還元作用により酸化物にさらに変化することが妨げられ、小粒子の水酸化物は水中に浮遊する状態になる。

したがって、小粒子の水酸化物は下流に流される。このとき、水中に溶け出した元素イオン(正イオン)は、水和イオン(イオンの周囲を水分子が水素結合によってカゴ状に取り囲む現象。ただし、水分子の水素結合は始終付いたり離れたりしている)となって流水により電磁界発信器により形成された電磁場の存在しない下流に流される。そして、その下流において、元素イオンはスケール構成元素から電子を吸い出し、これにより、その元素をイオン化させ、水中に溶け出させる。その後は、上述と同様の作用効果が連続的に生じる。

以上の作用効果が、流水のはるか下流においても発生し、元素イオンが消滅するまでの期間(半減期に相当すると考えられ、鉄の場合は約4日間とされている)にわたって、行なわれるものと考えられる。

水中の電子は、スケールが付着する配管内面の方向に磁場により移動させられるようにしなければならないが、水流の方向と交差する方向に電子がローレンツ力を受けるように磁場を形成しているので、スケール構成元素のイオン化が効率良く行なわれるように電子に力が働き、効率の良いスケール除去効果が得られる。

前述の下流における作用効果の説明からも判るように、電磁場によりローレンツ力を受けた電子によってイオン化した元素イオンは、瞬時に存在しなくなるのではなく、水分子による水和により、所定の期間、存続する。このため、スケール毎の周波数信号が電磁界発信器に供給されることにより発生する電磁場は、連続的に存在している必要はなく、間欠的な時間に存在

する場合でも、上述と同様のスケール除去効果が得られる。

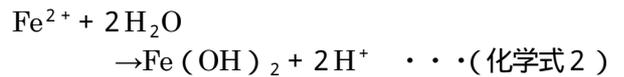
例えば、スケールの成分比率が50%、25%、5%の3種のスケールを除去対象とする場合には、それぞれのスケールに対する周波数信号をコイルに供給する時間区間を、10:5:1とすることにより、3種のスケールの除去を効率良く行なうことができる。

3 - 4 防錆効果

スケールが酸化鉄(Fe₂O₃;赤錆)の場合に相当するもので、浸食性の赤錆が除去される過程を、以下に説明する。鉄は水に触れると2価の鉄イオン(Fe²⁺)になって、水中に溶け出す。すなわち、

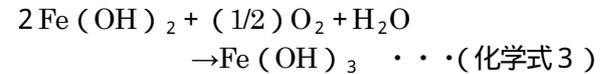


となる。2価の鉄イオンは、水中の水酸イオン(OH⁻)と結合して水酸化第1鉄(Fe(OH)₂)となる。すなわち、



となる。

水酸化第1鉄(Fe(OH)₂)は、すぐに水中の酸素等によって酸化されて水酸化第2鉄(Fe(OH)₃)になる。すなわち、

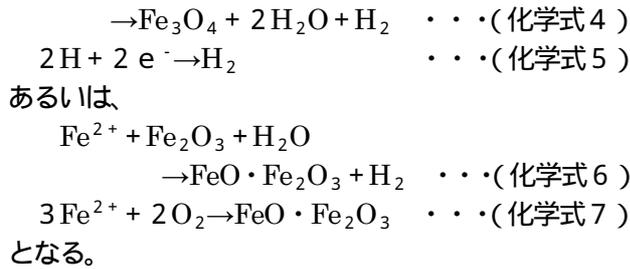


となる。そして、この水酸化第2鉄(Fe(OH)₃)は、さらに加水分解されて、赤錆(Fe₂O₃)となる。

以上が赤錆(Fe₂O₃)の生成メカニズムであるが、電磁場内において、スケール構成元素を対象とする周波数信号が供給された場合には、効率良くイオン化された電磁化水により、次のようにして、赤錆の発生が抑制されると同時に、生成された赤錆が配管から除去される。すなわち、前述のようにして、スケールとしての赤錆から電離された鉄イオンおよび、水中に元々含まれる鉄イオンは、このときにも上述の(化学式2)のようにして、水酸化第1鉄(Fe(OH)₂)になり、前述の(化学式3)のようにして、赤褐色のヘドロ状の水酸化第2鉄(Fe(OH)₃)に変化するが、イオン化された電磁化水の還元作用により、水酸化第2鉄(Fe(OH)₃)には、なりにくくなる。

そして、生成された水酸化第1鉄(Fe(OH)₂)は、赤錆にならずに、次のようにして、2価の鉄イオンと、3価の鉄イオンとが化合した黒錆(Fe₃O₄)が生成される。すなわち、





すなわち、この場合には、(化学式2)の状態から、直接(化学式4)または(化学式6)の状態に進み、赤錆の生成を防止しながら、スケールを除去し、配管を腐食しない黒錆が生成するようになる。

そして、水中の鉄イオンは、前述したように、水和イオンとなって流水により、電磁界発信器により形成された電磁界の存在しない下流に流される。そして、その下流において、鉄イオンは赤錆スケール中から電子を吸い出し、これにより、管壁に付着する赤錆スケール中から鉄イオンを放出させ、水中に溶け出させる。その後は、上述の化学式6等と同様の作用が生じる。

4. 具体的実証例

本製品は、平成12年度の研究開発着手から約2年後の平成13年11月に発売開始して以来、両期間を通じて机上実験、フィールド試験および客先設備における設置試験等、さまざまな設備を対象にして作用効果の実績を蓄積してきた。ここに、そのうちの代表的な例を紹介する。

4-1 机上試験

本製品は、スケール構成物質に対応するイオン化を促進する周波数信号を交番電磁界として照射するため、



写真1 温泉配管の輪切りをピーカー内で電磁波照射
左：4月2日開始時 - スケールが固着
右：4月16日 - 配管内面のシリカ成分が溶解

ピーカーにコイルを巻くだけの簡単な設備で実験することが出来る。スケール構成物質がカルシウムを主体とする場合には、欧州や米国で普及している永久磁石や従来の電磁波方式であっても時間が掛かるものの、効果があることは良く知られている。

わが国のようにシリカ成分の多い水質およびスケールに対しては従来の方式では全く効果が出ないことも経験されてきた。写真1は、温泉配管の一部を輪切りにしたサンプルである。年輪状に形成したスケールの最外周(配管内面)にはシリカが主体のスケールが見られることから、シリカを対象とする周波数信号を照射した。左の写真は処理前の初期状態であり、右の写真は2週間後にスケールの外周から崩壊し始めた状態を示し、今にもスケールが抜け落ちるところである。

4-2 工場事務棟の水道配管

平成13年2月1日～平成13年6月27日までに、多摩地区の工場事務棟の水道配管を対象に146日間にわたって、新電磁化水発生装置の検証試験を実施した。検証方法は、すでにこの工場において永久磁石をはじめとする各種スケール除去装置を試験してきた脱着可能な短尺管を対象として、この間の管内スケールの経時変化を観察することによった。観測対象とした短尺管は、新電磁化水発生装置を設置したポンプ室に隣接する工場事務棟(7階建て)の屋上にある高架水槽を経て1階にある上水道蛇口手前に設置してある。屋上の高架水槽内には赤錆びた鉄片を入れて、新電磁化水発生装置の黒錆びコーティング効果を検証することと



写真2 脱着可能な短尺管出口から見たスケール
左：2月1日開始時 - 刺々しく硬い
右：11月27日 - スケール除去が進む

した。

写真2に示すように、試験開始時には赤錆主体のスケールは刺々しく硬いごつごつした物性であったものが、1ヶ月もの長期間の後ではあるがスケールの除去が進み、かつ滑らかな状態に変化している。

写真3は、高架水槽に入れておいた鉄片を同様に観察したものである。初期状態においては、鉄片表面の赤錆が成長し、地金の浸食が徐々に進んでいる状況である。約6ヶ月後の鉄片の表面には、赤錆がほとんど流出して、そのアトに黒錆化が進んでいることが分かる。ただし、黒色部分はFeOであって、本来の黒錆の

色は灰色であり、普通は FeO の下に黒錆の Fe₃O₄ が形成されている。

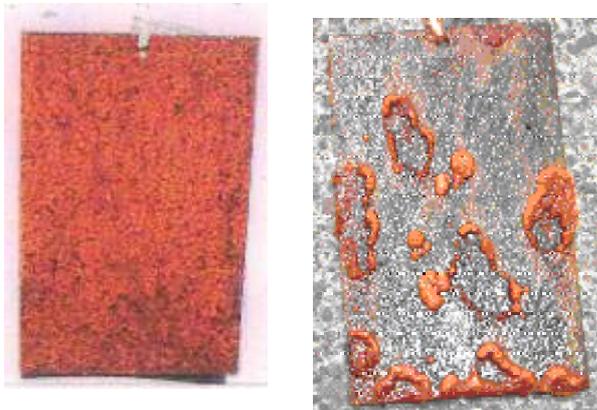


写真3 高架水槽に入れた鉄片の防錆状況
左：2月14日初期状態 - 赤錆化して投入
右：6月27日赤錆が流出し、黒錆化が進行

4 - 3 マンション上水ライン

築後約 25 年を経過したマンションの水道配管は、配管のつなぎ目に電解腐食があるために全配管を交換する必要があった。

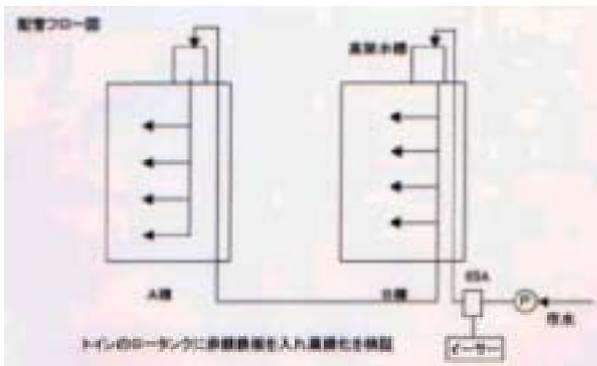


写真4 築後約 25 年のマンションへの設置例
イーサー設置場所は右下の市水取入れ口のポンプ直後

写真4に示すように、市水を取り入れるポンプ直後に本製品を取り付けた。市水は、B棟の高架水槽、B棟各階の各室を経て、A棟の高架水槽およびA棟の各階の各室に配水されている。

写真5は、本製品設置時の本年1月にA,B棟それぞれの数戸の各室にあるトイレのロータンク内に鉄片を浸し、約2ヶ月後の本年3月にこれらを取り出して再度撮影したものである。写真から明らかなように、鉄

片の黒錆化の進行が明瞭に観察された。



写真5 マンション水道水配管の鉄片防錆検証試験
左4枚：各室トイレ・ロータンクへ入れた赤錆鉄片
右4枚：本製品設置後約2ヶ月の鉄片、黒錆化進行前節4-2および4-3似については、もともと他の方式により検証試験をしてきたが、いずれの方式を用いても効果が認められなかった。本製品を設置して初めて有効な結果が得られたとのことであった。

4 - 5 ボイラー配管内のシリカ

きこの工場の小型ボイラーに本製品を設置して1ヶ月後の検証結果を示す。

本製品の設置前に図4の低部点検孔から配管の内部を覗くと、金属表面が成長した硝子状のスケールで白く覆われ、しかもその表面は凹凸で厚さを感じる状態であった。本製品の設置1ヶ月を経て観察すると、金属表面が薄い白色スケールに変化してきており、地肌が見え始めてきた。濃い白さを呈している部分も銅チューブを差込みその部分を触ると筋が引けるような状態にあつた。低部へのスケール溜まりも無く、ブロー排水時に剥離したスケールは、排出されたものと考えられる。

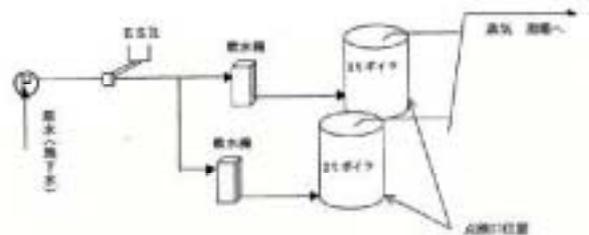


図4 ボイラーの左方にある軟水機の上流に本製品を設置。2台の容量2トンのボイラーに配水。右下の点検孔から管内を観察した。

写真6は、点検孔から観察した軟化しつつあるシリカスケールおよび剥離したシリカスケールを手にとったところを示している。



写真6 ボイラーのシリカスケール除去の例、上：点検孔
右：剥離したスケール



写真8 排ガス脱塩設備の熱ガス冷却用熱交換器
左：冷却水入口スケール無し、黒錆化
右：同出口 - スケール無し、やや黒錆化
本設備に対しても(1)と同時期に本製品を設置し、同じく5月の分解時に観察した。

4 - 6 冷却塔のスケール

工場の冷却塔の冷却管に付着したスケールの典型例を写真7に示す。冷却塔の上部から流れ落ちる冷却水は、その上流配管に設置された本製品によって電磁化水となっている。写真7右は、本製品設置後約3ヶ月を経てスケールが剥離している状況を示している。

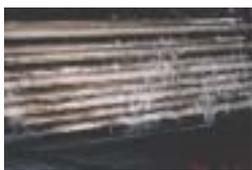


写真7 冷却管のスケール除去
左：未処理の冷却管にスケール付着状況
右：本製品設置約3ヶ月後の剥離状況

写真9は、熱交換器用冷却水配管のストレーナである。左は、エレメントのツバ受け部に水流が当たらないため、赤錆が残っているが、右の抜き出したままのエレメントには錆およびスケールともに全く無く、内側も同様であった。



写真9 冷凍機設備熱交換器のストレーナ
左：流水の無いツバ受け部の赤錆
右：錆もスケールも無いストレーナ本体

4 - 7 熱交換器のスケール除去と防錆

(1) 排ガス脱塩設備の熱ガス冷却用熱交換器

本設備は、例年5月に年一度の分解および化学洗浄を行っている。また、スケールおよびサビ対策用の薬品を用いていたが、一年を経過するとスケールやサビの発生でほとんど当該設備の運転ができなくなるほどの状態であった。本製品を本年(平成14年)1月に設置し、約5ヶ月経過した5月の分解時に熱交換器の冷却水入口および出口を観察した。写真8に示すように、スケールは完全に除去されたうえに、黒錆化が進行していた。

(2) 冷凍機設備の熱交換器

本設備の熱交換器では、ストレーナの差圧が上昇するために目詰まり除去のための掃除を要し、かつ冷凍機内部の冷却水通路にもスケールが付着し、設備の能力を低下させていた。また、藻やスライム問題も有り、対策として次亜塩素酸ソーダの注入を行っている。このことはサビ腐食を促進させる大きな要因となる。

5. まとめ

磁化水あるいは電磁化水的作用を、旧ソ連の文献(水の磁気処理;、出典:, 1982)は多数の論文を引用しながら紹介しているが、その原理を理論的に分かり易く説明するには至っていない。わが国でも最近、永久磁石や電磁波等を利用した水処理装置が目立つようになってきた。この電磁現象を利用した水処理装置の世界は、ひょっとすると昨今の超常現象の世界のように見えるかも知れない。しかし、そこには確固たる自然科学の法則が貫かれ、それに基づいた結果が現れることは間違いない。本製品は、実験的な探求から実用化までに平成12年度公的補助金研究を含めてほぼ5年の歳月を費やしてきた。著者らは、この水およびその溶解物質に対する電磁現象の正しい理解を踏まえて、電場・磁場によってコントロール可能な優れた性能を持つ水処理装置を提供していく所存である。