

監修 友澤史紀

平成18年11月25日発行/毎月1回25日発行 第23巻第12号通巻273号 昭和60年3月28日 第3種郵便物認可

総合建築リフォーム&リニューアル技術誌

www.refo.jp

REFORM

月刊リフォーム

特集

求められる中高層建物の外装クリーニング

- 外壁洗浄による建物の延命 外壁洗浄の必要性の理解を深めるために
- 外壁クリーニングにおける洗浄剤・工法の選択とそれらの性能評価について
- 建物外装の美観を保つクリーニングと光触媒コーティング
- 増加するアルミ外装建物とその維持
- 各社の要素技術と事例紹介



12

2006 DECEMBER

最近日本でも増加している微生物腐食も解決できる 配管内赤錆防止・配管延命の新技术 NMR工法

日本システム企画株式会社
社長室 企画広報 マーケティング
山根慶一

I. ある病院での腐食事例

●配管更新後3年で赤水・漏水が発生

まず、給湯管や暖房用温水管に多発している微生物腐食について、英国での事例をご覧ください。

写真1の建物は、イギリス東部のケンブリッジ市にあるアッデンプルックス病院である。アッデンプルックス病院は、病床数1300床を誇るイギリス国内最大の総合病院である。築31年目に、給湯管の赤錆劣化が深刻であるため、配管更新工事を実施した。更新に使用された管材は亜鉛めっき鋼管である。ところが、配管更新を行ってわずか3年で、赤水や漏水が頻発する事態がおこった。赤水の状況を把握するために、8時間以上使用を停止した夜間滞留水を早

朝に採水して水質検査を行ったところ、鉄イオン値が1.07mg/lと非常に高い値であった。イギリスの水道法水質基準値は0.2mg/lであり、このことから給湯管が非常に深刻な赤錆劣化を起こしていることがわかる。これでは配管更新工事を行った意味がない。

亜鉛めっき鋼管は、比較的早くに亜鉛めっき層が消失してしまい、経年とともに赤錆劣化が深刻化して赤水や漏水が発生してしまう。しかし、わずか3年で赤水や漏水が頻発するのはまれなケースである。

そこで、亜鉛めっき鋼管をこれほど早く腐食させた微生物腐食について、少し詳しく述べてみたい。

II. 一般的な腐食反応と微生物腐食

●微生物が原因の腐食

金属の腐食過程解明に対する一般的な学問的枠組は、化学における電気化学という分野が基礎となっている。非常に簡単に述べれば、ある場所から別の場所への電子の移動に見合う酸化還元反応、いわゆる「電池作用」を基礎にして腐食反応を考える。

例えば、水の流れている鉄の配管内に赤錆が発生する場合の、ごく一般的な説明は次のようなものとなる。

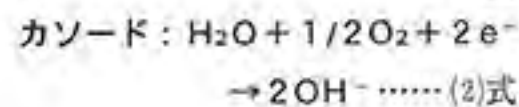
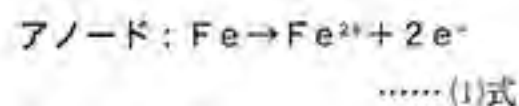


写真1 アッデンプルックス病院 建物概観

アッデンプルックス病院 概要

【問題】給湯管の赤水発生、漏水多発

建物概要：築34年、配管更新後3年経過

規模：5階建て病院施設、1300床

給湯方式：循環給湯方式

給湯配管 管材：亜鉛めっき鋼管

所在地：イギリス、ケンブリッジ市

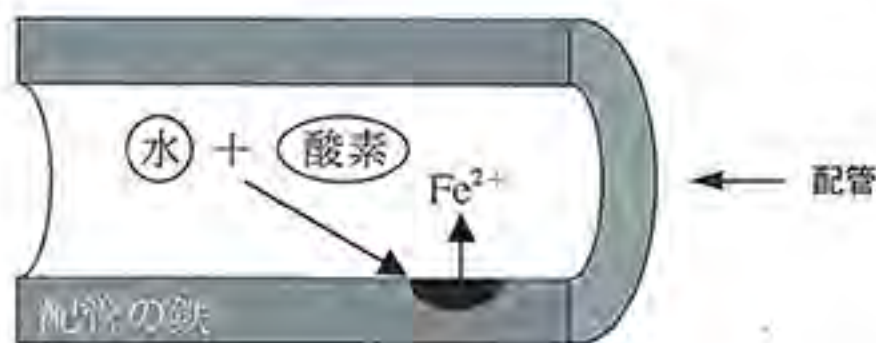


図1 (1)(2)式における腐食のイメージ図

配管の鉄は、水と酸素と反応して2価の鉄イオンとなって溶出する。この鉄イオンはさらなる反応を経て赤錆となる。また鉄イオンが溶出した箇所は配管の肉厚が薄くなる。

(1)式は、配管の鉄が電子(e^-)を放出し2価のイオン(Fe^{2+})となって水中に溶出することを表し(すなわち、配管の肉厚が減少している!!)、(2)式は放出された電子を水分子と水中の酸素が受け取って、水酸化物イオン(OH^-)になることを表している。(1)式の水に溶出した2価の鉄イオンは、更なる反応を経て最終的に赤錆($FeO(OH)$)となる。

式で表現すると非常にわかりにくいですが、要は「配管内における赤錆の発生は、配管の鉄が、水と、水中の酸素と反応して生成される」ということであり、(1)式と(2)式はその過程のはじめの部分を電気化学反応式で表現したものである(図1参照)。

ところが、アッデンブルックス病院の例のように、赤錆腐食が極端に早く進行する場合や、ステンレスの腐食事例など、常識的な電気化学の枠組みでは説明が困難な腐食現象も多数存在する。そのような腐食の原因の1つとして、近年、微生物による腐食が着目されるようになった。

微生物腐食とは、金属の腐食反応が微生物により大きく影響されたり誘起させたりする現象である。腐食に関係する微生物として、硫酸塩還

元細菌、硫黄酸化菌、メタン生成菌、鉄細菌、鉄酸化細菌などがよく知られている。微生物が金属の腐食反応に影響を与えるとは、例えば、微生物が関与することにより、通常の腐食の反応である(1)式と(2)式の反応が非常に促進されるような現象を考えることができる。

微生物腐食の主な特徴として、通常の腐食現象との差異は次の点が指摘されている。

- ①腐食速度が、異常に早い。
 - ②腐食箇所は溶接部に多い。
 - ③腐食により開いた穴は、開口部が狭く奥が広がっているインク壺状である。
 - ④腐食生成物に、硫化鉄など硫黄が多く含まれている。
- ①の特徴は、アッデンブルックス

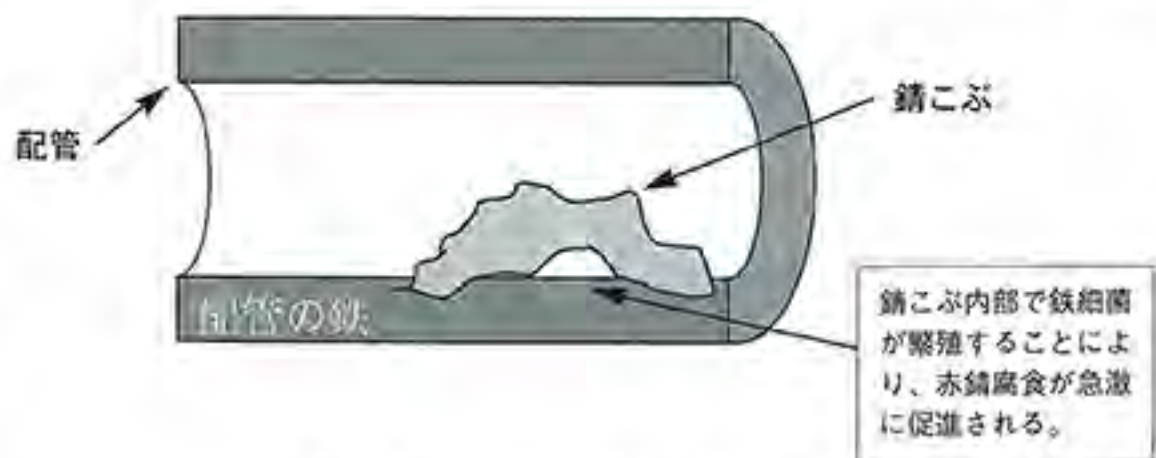


図2 仮説1の鉄細菌による腐食のイメージ

病院の事例にあてはまる。そこで次に、腐食に関係する微生物である鉄細菌と硫酸塩還元細菌を取り上げ、それらの微生物腐食のメカニズムについて簡単に解説する。

Ⅲ. 微生物による腐食の過程

●微生物はどのように腐食を促進するのか

ここで取りあげる硫酸塩還元細菌と鉄細菌は、ともにpHが7の近傍の中性域で生息可能な細菌である。したがって、水道水においても滞留などにより残留塩素が消費された場合には繁殖する可能性がある。これらの微生物により、どのように配管内の腐食が促されるのであろうか。鉄細菌と硫酸塩還元細菌それぞれの特徴と、腐食が促される過程の仮説を述べてみたい。

【鉄細菌】

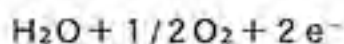
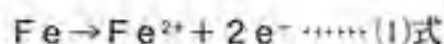
pHが6~8の領域で、酸素のある箇所で生息する細菌(好気性細菌)である。働きとして2価の鉄イオン Fe^{2+} を3価の鉄イオン Fe^{3+} に酸化する。鉄やマンガンなどを多く含んだ淡水などで繁殖しやすい。

仮説1：鉄細菌による腐食の促進メカニズム(図2)

鉄細菌による配管内の腐食進行過

程の例として、次のような仮説を考
えることができる。

ステップ1：まず通常の腐食の反応
である



が進行し、配管内にさびこぶがで
きる

ステップ2：残留塩素の消費された
水がさびこぶ内部に溜まり、他の細
菌とともに酸素の存在する場所で鉄
細菌が繁殖する。

ステップ3：鉄細菌により、 Fe^{2+} が
 Fe^{3+} に酸化される。

ステップ4： Fe^{2+} が消費されるため、
(1)式の反応が促進され、急激に配管
の腐食速度が上昇する。

【硫酸塩還元細菌】

硫酸塩還元細菌はpHが5～8の
領域で、酸素の無い場所で生息する
細菌(嫌気性細菌)である。働きとし
て SO_4^{2-} を S^{2-} に還元する。二酸化炭
素を利用できず、有機物を栄養源と
する。

仮説2：硫酸塩還元細菌による腐食
メカニズム(図3)

硫酸塩還元細菌による腐食過程と
して、例えば次のようなモデルを考
えることができる。

ステップ1：水の滞留箇所などで残

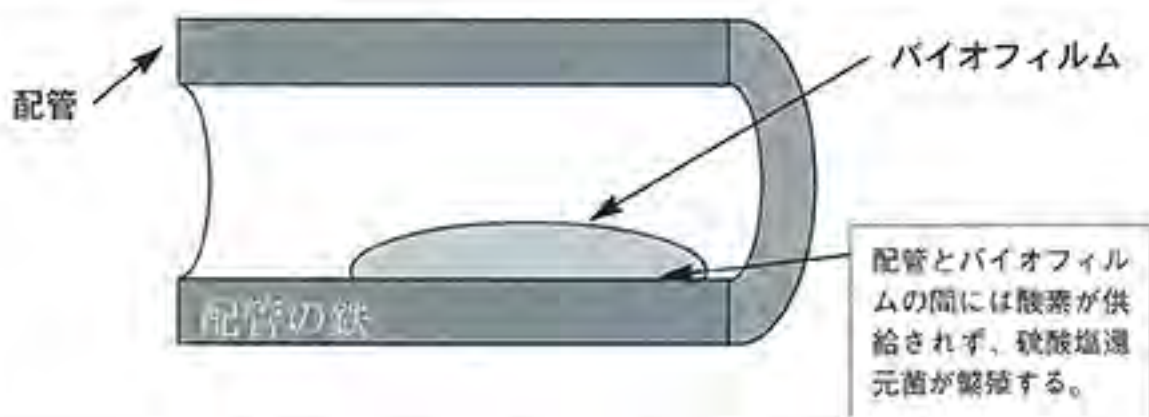


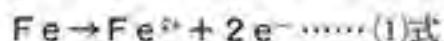
図3 仮説2の硫酸塩還元細菌による腐食のイメージ

留塩素が消費され、そこにバイオフ
ィルムと呼ばれる細菌の集落が形成
される。

ステップ2：バイオフィルムは塩素
に対して抵抗性をもつので、一旦バ
イオフィルムが形成されるとそのま
ま存続する(例えば0.1mg/l程度の塩
素では、バイオフィルムは解消でき
ない)。

ステップ3：バイオフィルムの内側
は酸素が供給されず酸素不足の状態
になり、硫酸塩還元細菌が繁殖する。

ステップ4：硫酸塩還元細菌が
 SO_4^{2-} を S^{2-} へ還元すると同時に、こ
の還元反応と連動して(1)式の反応



が促進され、鉄の溶出が急激に促さ
れる。^{*)}

また、このモデル以外にも、さび
こぶ内部の酸素のない場所に硫酸塩
還元細菌が繁殖して、腐食を促進さ
せる場合も考えられる。

注意すべきは、腐食の原因として
硫酸塩還元細菌が支配的な場合、従
来の赤錆劣化対策の1つである脱気
工法では腐食は解決できない点であ
る。脱気工法は水中の溶存酸素を減
少させることにより配管内の赤錆腐
食の進行を遅らせる方法である。し
かし、硫酸塩還元細菌は酸素のない
場所で生息するため、脱気はかえっ
て硫酸塩還元細菌の繁殖を助けてし
まう。

また、腐食対策としてポリリン酸
などの防錆剤を使用する対策も、微
生物の栄養源となる可能性があるた
め有力ではない、という説もある。

上記は簡単な仮説であり、実際には
微生物腐食の実態は複雑かつ不明
な点も多い。また、一般に、腐食が
起こった結果であるさびこぶなどを
観察するだけでは、腐食の原因とし
て微生物が関与しているかどうかは

※) オランダのクーアとブルートにより提出された、硫酸塩還元細菌が腐食を促進させるという仮説を、参考文献(2)のpp.12-13より紹介すると次のようになる。

I $8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 8\text{OH}^- + 8\text{H}^+$ (水の解離)

II $4\text{Fe} \rightarrow 4\text{Fe}^{2+} + 8\text{e}^-$ (アノード) (アノード反応：鉄の溶解)

III $8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \rightarrow 8\text{H}$ (カソード) (カソード反応：水素の生成)

IV $\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H} \rightarrow \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$ (カソード復極：硫酸塩還元細菌による水素の消費によりIIIの促進)

V $\text{Fe}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{FeS}$ (アノード)

VI $3\text{Fe}^{2+} + 6\text{OH}^- \rightarrow 3\text{Fe}(\text{OH})_2$ (アノード)

クーアらの考えは、硫酸塩還元細菌が、この反応を起こすことにより、IIの反応、すなわち鉄の溶解反応を促進させるとしている。ただし、参考文献(2)では、「この説に対する是非はいまだ問題になっている」と述べられており、またこの説に対する疑問点も述べられている。

即座に判明しない。

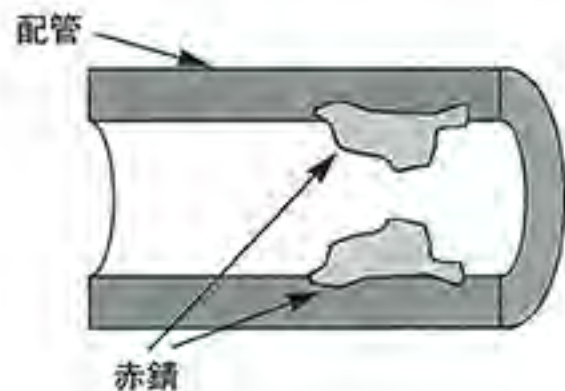
何らかの分析・調査により腐食の原因が微生物腐食であると判断された場合、当然その対策が必要となってくる。一般的な微生物腐食の対策としては、水質の改善、バイオフィルムの除去、塩素などの殺菌剤(バイオサイド)の使用、などである。

しかしながら、上述の仮説1のように、実際には微生物腐食と通常の腐食が同時におこっている場合も多いと考えられる。また、仮に微生物による腐食がなくとも、配管は経年とともに赤錆劣化が進行し、赤錆閉塞や漏水などの症状が頻発してくる。建物の築年数が20年になる頃には、配管更新工事やライニング工事などの抜本的な赤錆劣化対策が必要となってくる。

したがって、配管内赤錆劣化対策として最適な方法は、

- ◎経年により深刻となる赤錆劣化を防止し、建物の寿命まで配管を延命できる
- ◎微生物腐食が起きていると考えられる場合には、その腐食も防止できる

という2点を解決できる方法である。



NMRパイプテクター
設置後

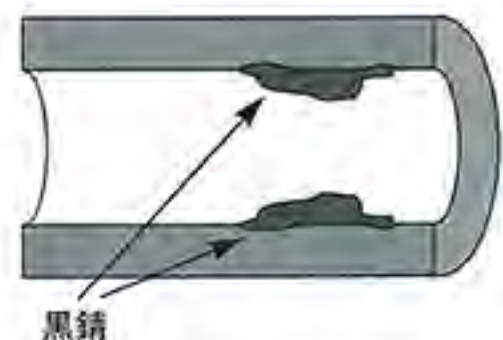


図4 NMR工法による配管内赤錆の黒錆化

NMRパイプテクターは配管内の赤錆を黒錆に還元することで、配管を延命する。黒錆は赤錆と比較して体積が10分の1以下なので赤錆閉塞を縮小改善できる。

そこで、微生物腐食と通常の配管の腐食を両方解決できる、当社のNMR工法を紹介したい。

IV. NMR工法とは

●通常の腐食と微生物腐食を同時に防止できる新技術

NMR工法とは、給水、給湯管、空調冷温水管、冷却水配管など、水を使用する配管内の新規の赤錆の発生を防止して配管の肉厚を現状のまま維持し、配管を建物寿命まで延命することのできる、新しい方法である。具体的には、NMRパイプテクター(商品名)を高架水槽や熱源装置の出口側の配管に設置することで、末端の配管まで新規の赤錆発生を防止し、既存の赤錆を防錆皮膜の黒錆に還元して配管を延命する(写真2)。

また、NMR工法には、水の浸透性や溶解力を向上させる、活水効果も起こすことができる。NMR工法の活水効果を裏付けるデータとして、第三者機関で行った、一般細菌減少試験と炊飯比較試験のデータがある。特に、一般細菌減少試験は、NMR工法で水の浸透性が向上することにより一般細菌が減少する明確なデータがでており、したがって、微生物腐食の対策としてもNMR工

法は極めて有力である。

NMR工法は、日本赤十字社の広尾医療センターをはじめ、国内外のマンション、病院、ホテル、工場、学校など、約2000棟の建物に導入されており、これらの導入した建物において、配管内の赤錆防止・延命効果を数値データにより実証している(実験室でのデータではない!!)。

そこで、次にNMR工法の原理と活水データについて説明する。

〈NMR工法の配管内赤錆防止の原理〉

NMR工法は、新規の赤錆発生を防止し、配管内の既存の赤錆を黒錆に還元することで、配管を建物寿命まで延命する工法である。黒錆は、鉄の錆を防ぐ防錆皮膜として、蒸気機関車の表面や南部鉄瓶などに古くから先人の知恵で使われてきた物質である。新規の赤錆発生を防ぐとい



写真2
赤錆防止・配管更生装置
NMRパイプテクター概観

表1 NMR工法の赤錆防止・配管延命効果

①赤錆防止効果	→ 配管の肉厚を維持し配管を建物寿命まで延命
②赤錆の黒錆化効果	→ ・赤錆の溶出を止め赤水解消 ・黒錆化による体積収縮で赤錆閉塞改善

うことは、配管の鉄がこれ以上溶出しないということなので、配管の肉厚を現状のまま維持でき、配管寿命を建物寿命まで延命することができる。また、赤錆は水に溶出するので、配管内に赤錆ができるとそれが溶けて赤水を発生させるが、黒錆は水に溶けないので、赤錆を黒錆化することにより赤水を解消することができる。更に、黒錆は赤錆と比較して体積が10分の1以下なので、赤錆による配管内の閉塞も改善することができる(表1)。

NMR工法は、次のようにして配管内の赤錆を黒錆に還元する。

一般に、配管内の水は、水分子が大きな凝集体を形成して流れている(図5)。これは水分子のH₂OのH-O-Hの結合角度が104.5度と偏っているために、水素がプラス、酸素がマイナスに帯電して、酸素のマイナスと水素のプラスが引き合うためである(図6)。

一方、原子番号が奇数の原子、例えば原子番号が1の水素は、原子核がN極とS極に分極している(図7)。原子核が磁気を持っているという意味で、これを核磁気と呼ぶ。この分極している原子核にある特定波長の電磁波を与えると、原子核の磁極が共鳴現象を起こす。

NMRパイプテクターは、水素の原子核に共鳴現象を起こす、特定波長の電磁波を発生する仕組みを持っている。したがって、配管の外側か

らNMRパイプテクターを設置することにより、水分子の水素の原子核に共鳴現象を起こすことができる。水素の原子核に共鳴現象を起こすと、6時間以上共鳴が持続し、その間、水分子の大きな凝集体が小さな凝集体へと変化する(図8)。この小さくなった水分子の凝集体が、ポンプの圧送エネルギーや高架水槽からの落下のエネルギーで配管内を流れる(運動する)ことにより、水中で水和電子を発生する。この電子が新規の赤錆発生を防止し、また既存の赤錆に供給されることで黒錆へ還元する



図5 水分子の凝集モデル

配管内では水分子H₂Oが大きな凝集体を形成して流れている。



図6 水分子モデル

水分子のH₂Oは、水素のHがプラス、酸素のOがマイナスに帯電している。

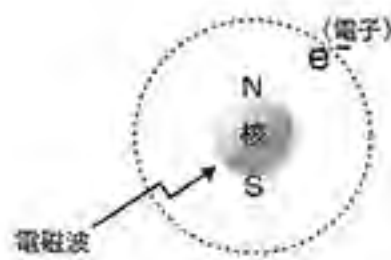


図7 水素の原子核モデル

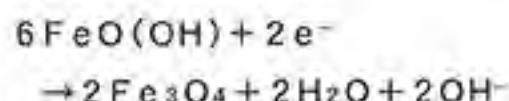
NMRパイプテクターから、ある特定波長の電磁波をあて、水素の原子核に共鳴現象を起こす。



図8 細分化された水分子の凝集モデル

水素の原子核に共鳴現象を起こすことにより、図5の大きな凝集体を小さな凝集体へ細分化する。

のである。赤錆に電子が供給されて黒錆に還元される反応を式で表現すると次のようになる。



ただし、FeO(OH)は赤錆、e⁻は電子、Fe₃O₄は黒錆を表す。

なお、このNMRの技術は、病院の断層写真撮影用に使用されているMRIと同様の安全な技術であることを付言しておく。

V. NMR工法による活水効果

● NMR工法による活水データ

NMR工法は、水素の原子核に対して共鳴現象を起こすことにより、水分子の凝集体を細分化する。水分子の凝集体を細分化することで、水の浸透性を向上させる活水効果を生

み出すことができる。

NMR工法による水の浸透性向上の活水効果の間接的な証明として、第三者機関による一般細菌の減少試験と炊飯比較試験の結果がある。

〈一般細菌の減少試験〉

菌数 $9.4 \times 10^6/ml$ の一般細菌培養液を作り、NMR装置を設置したパイプに通過させた後、菌数を測定した。

その結果、通過直後の測定では菌数が $5.8 \times 10^3/ml$ となり、通過前の約2000分の1にまで減少した。

さらに、NMR装置を通過した後に36℃の孵卵器で6時間保存して菌数を再度測定したところ、菌数が更に減少して $1.0 \times 10^3/ml$ となった。NMR装置通過前と比較すると、菌数は約1万分の1にまで減少したことになる(図9)。

一方、同様の方法で、NMR装置を装着していないパイプに一般細菌培養液を通過させ、通過直後と孵卵器で6時間保存させた後の菌数を測定したところ、どちらも菌数に変化はまったくなかった。

以上の結果は、NMR工法により水分子の凝集体が小さくなったことにより水の浸透圧が上昇し、単細胞の一般細菌内に過度の水が浸透して菌数が大幅に減少したと考えられる。

〈炊飯比較試験〉

水道水とNMR装置の通過水の両方で、同一条件のもと米300gを炊飯した。お米は古米と新米の両方を使用した。

炊飯の結果、古米と新米の両方において、NMR装置通過水で炊いたごはんの方が含水量が多く、またごはんのコシ(硬度で測定)とねばり(粘度で測定)のある、ふっくらして、

コシ、ねばりのある炊き上がりとなった(グラフ1~3)。

以上より、水道水より、NMR装置

を通過した水の方が、お米に対する水の浸透性が向上したことが確認された。

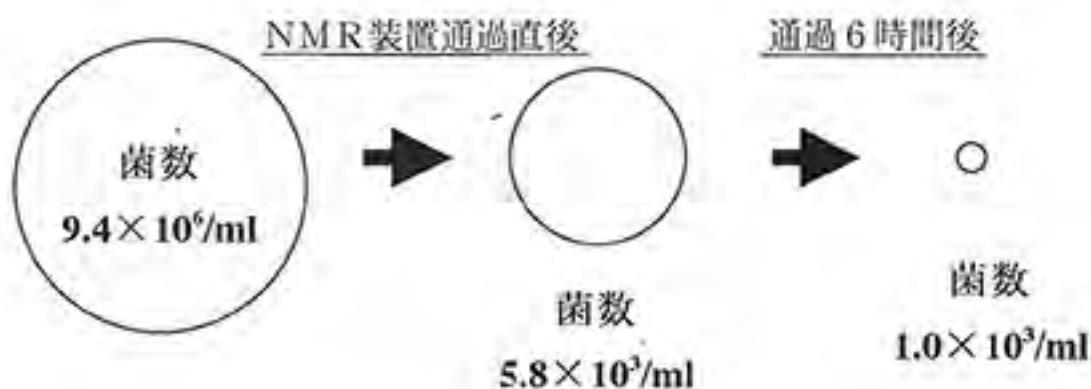
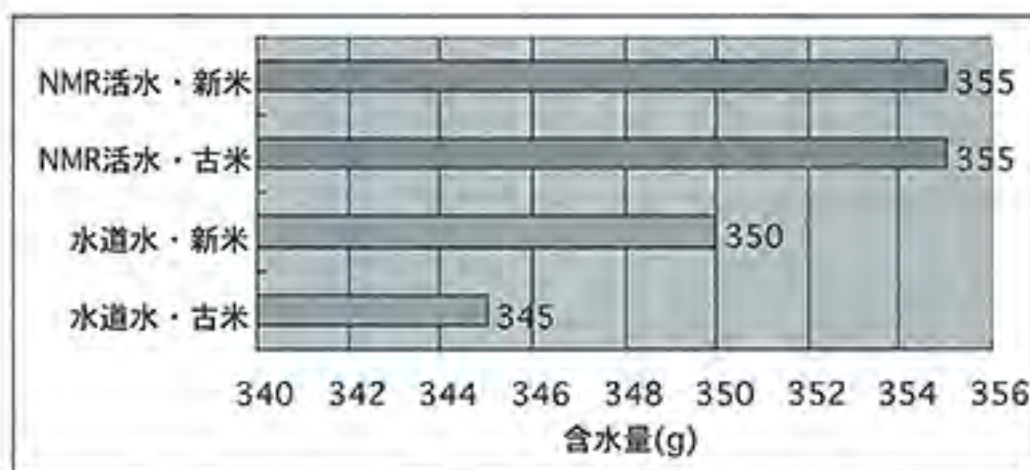
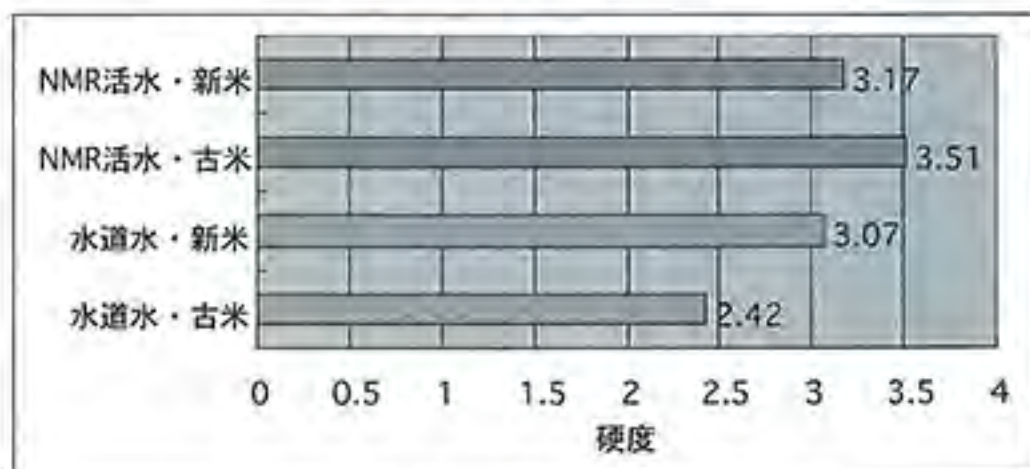


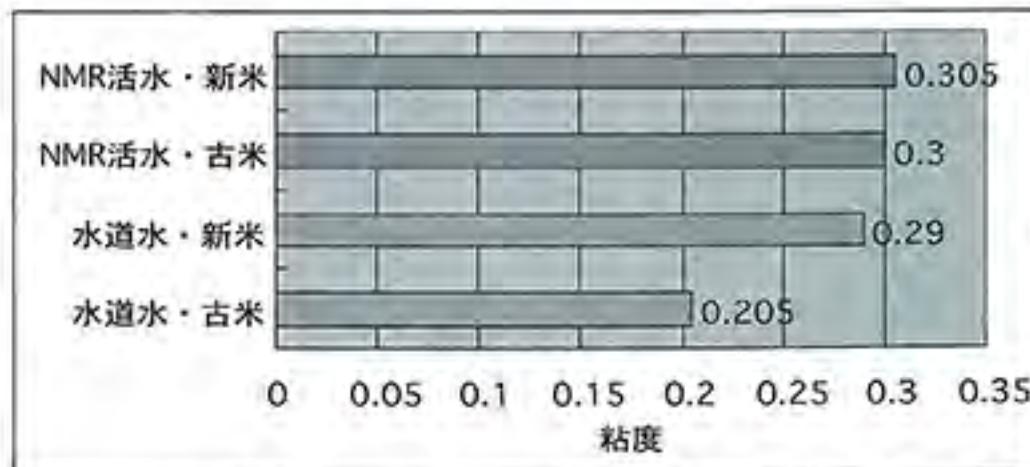
図9 NMR工法による一般細菌の減少結果



グラフ1 炊き上がり直後の含水量(米300gに対する含水量)



グラフ2 炊き上がり直後の硬度(ごはんのコシ)



グラフ3 炊き上がり直後の粘度(ごはんのねばり)

一般細菌の減少試験と炊飯比較試験により、NMR工法により水の浸透性が向上することがわかる。特に、一般細菌の減少試験の結果は、微生物腐食の原因である微生物を減少させることが可能であることを示しており、微生物腐食の対策として非常に有効である。

そこで、アデンブルックス病院にNMR工法を導入したことにより、赤錆劣化を防止した結果をご覧ください。

VI. NMR工法の防食効果のデータ①

● NMR工法による

アデンブルックス病院の 赤錆解消・配管延命効果

さて、一番初めに紹介したように、

アデンブルックス病院では配管更新後3年で深刻な赤水や漏水が発生しており、8時間以上使用を停止した夜間滞留水の最初の水を採水した水の鉄イオン値は1.07mg/lと、イギリスの水道法水質基準値0.2mg/lを大幅に上回る値であった。そこで、NMRパイプテクターを貯湯槽の出口側の配管と、3階系統の給水管の2箇所を設置したところ、鉄イオン値が大幅に改善した(写真3)。同一箇所から同条件で水を採水し水質検査を行ったところ、設置11日後には鉄イオン値が0.188mg/lと水道法の水質基準値以下まで減少した。さらに、設置66日後の検査でも鉄イオン値が0.11mg/lとなり、完全に赤水が解消された(グラフ4)。鉄イオン値の減少は、赤錆が黒錆化されたこと

によるものである。また、新規の赤錆発生が防止されたため、頻繁に起こっていた漏水もNMRパイプテクター設置後はまったくなくなった。

VII. NMR工法の防食効果のデータ②

● 日本の工場の冷却水管に おけるNMR工法の 微生物腐食解決事例

今回は日本で起きた微生物腐食の事例を、NMR工法により解決した事例を紹介する。

ここで紹介するのは大阪の某鋼線索製造所(写真4)の事例である。この工場の冷却水管には亜鉛めっき鋼管が使用されていたが、築8年にも関わらずバクテリアの影響で冷却水管内の赤錆劣化が過度に進行し、漏水が多発していた。そのため、工場側は配管工事を行った設備業者に対し無償で配管更新を行うよう要求していた。そこで赤錆防止・配管延命対策として、配管更新の約10分の1の費用でできるNMR工法が、クレーン処理のために設備業者により採用された。

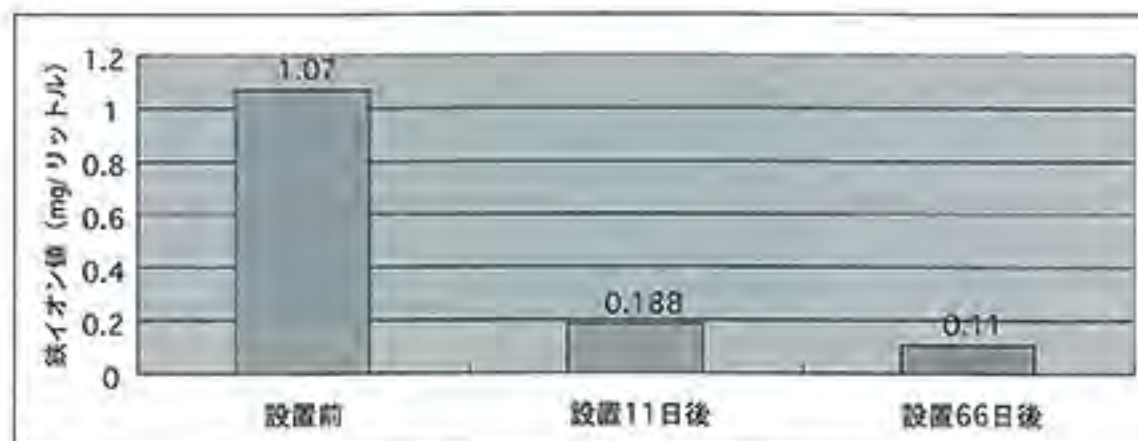
この事例における効果を、NMRパイプテクター設置後に新規の漏水が皆無になった事と、配管を抜管して錆を採取し全錆中の黒錆量の割合が1.9%から66.9%へ大幅に増加した事で実証した。

設置前に、配管を抜管して黒錆量の割合を測定したところ、採取した全錆中における黒錆量は、わずか1.9%であった。NMRパイプテクター設置6ヶ月後と14ヶ月後に、配管の次の部分を抜管して黒錆質量分析を再度行ったところ、設置6ヶ月後



アデンブルックス病院
NMRパイプテクター
設置箇所写真
貯湯槽二次側配管

写真3 アデンブルックス病院 NMRパイプテクター設置箇所



グラフ4 アデンブルックス病院の赤錆解消の結果

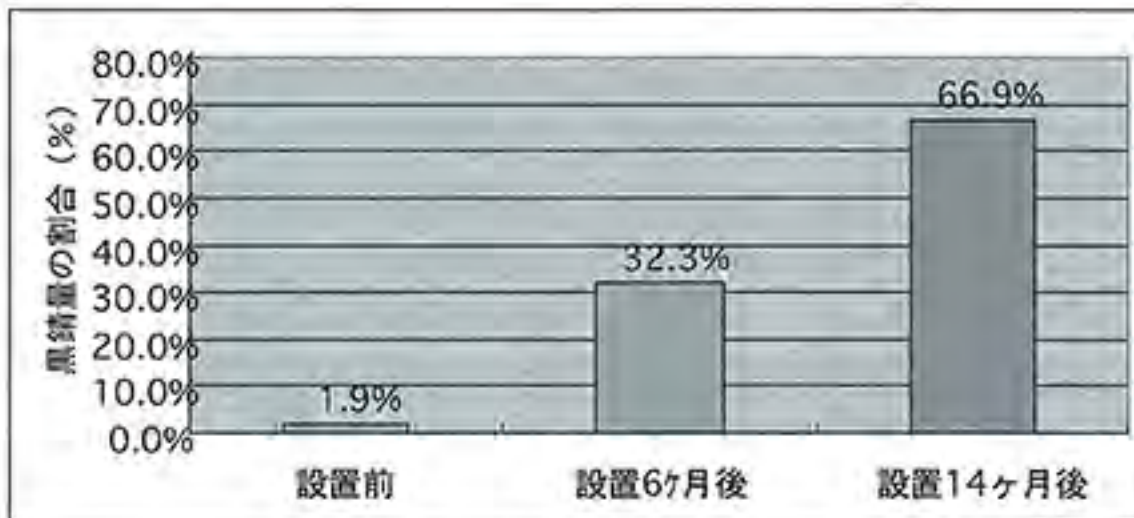


某鋼線索製鉄所 概要
【問題】冷却水管の漏水多発

建物概要：築8年
 冷却水配管 管材：亜鉛めっき鋼管
 所在地：大阪府

左の写真におけるNMRパイプテクター設置箇所は、加圧ポンプ二次側合流後冷却水配管

写真4 某鋼線索製鉄所 NMRパイプテクター設置箇所



グラフ5 某鋼線索製造所の黒錆質量分析の結果

では黒錆量の割合が32.3%と大幅に増加し、さらに設置14ヶ月後では66.9%にまで達した(グラフ5)。これにより配管内赤錆の黒錆化が確実に進んでいることが実証された。また、NMRパイプテクター設置前において頻繁に発生していた漏水も、設置後は全く無くなり、NMRパイプテクターによる赤錆防止効果も発揮された。

Ⅷ. おわりに

● NMR工法で社会貢献を

NMR工法は、通常の配管の赤錆腐食だけでなく、微生物腐食も防止

・解決できる新技術である。

従来からある磁気やセラミックなどの水処理装置は、赤錆腐食を防止し配管を延命できるという明確なデータがなく、旧厚生省の委託研究や、腐食の学会である(社)腐食防食協会の研究でその効果は否定されている。

また、配管更新工事や配管更生工事も、費用が高額な点や断水工事が必要な点などの問題点があった。

それに対して、NMR工法による赤錆劣化・配管延命対策は次のような特徴がある。

①腐食の専門学会である、アジア・太平洋防錆国際会議や(社)日本防錆

技術協会で、NMR工法の防錆技術の論文が受理されている。

- ②鉄などすべての管材に設置可能で、配管内径が最大2mまで対応できる。
- ③NMR装置は配管外部に設置するので断水工事が不要。
- ④ランニングコスト・メンテナンス費用が不要。
- ⑤装置と水が接触しないので、水道水の安全性をそのまま保持できる。
- ⑥費用は配管更新工事と比較して約10分の1。
- ⑦数値データにより赤錆防止効果を確認できる。

建物の設備である給水管や空調冷温水管などの延命は、建物の長寿命化に大きく寄与する。近年の建物の長寿命化の流れの中で、NMR工法は社会に対し貢献できる技術であると確信している。

【参考文献】

- 1) H.H.Uhlig, R.W.Revie 共著, 岡本剛監修, 松田精吾, 松島巖共訳「腐食反応とその制御(第3版)」, 産業図書(1989)
- 2) 腐食防食協会編「エンジニアのための微生物腐食入門」, 丸善(2004)
- 3) 藤井哲雄「金属の腐食事例と対策」, 工業調査会(2002)
- 4) 野知啓子「水まわりと微生物(1) 飲用系設備と微生物」, 空気調和・衛生工学 Vol.78 no.3 pp.191-196(2004)