

RUST  
PREVENTION  
& CONTROL  
JAPAN

ISSN 0520-6340 Bōsei kanri

# 防錆管理

Vol. 49, No. 10, 2005

BOKAAP 49 (10) 371~412 (2005)

<http://www1.sphere.ne.jp/jacc>

- ・ 屋外貯蔵タンクの損傷事例
- ・ 埋設パイプラインの直流迷走電流腐食とその防止策  
- 直流電気鉄道の対地漏れ抵抗の低い特定区間  
近傍を対象として -
- ・ コーヒーブレイク  
潮風・鉄さび・波止場の灯
- ・ 光触媒技術講座 X  
光触媒による金属材料のカソード防食
- ・ 光触媒技術講座 XI  
酸化チタン複合エネルギー貯蔵型光触媒による  
金属の光カソード防食
- ・ 設備配管の腐食と防食 IV  
配管を延命する配管更生技術
- ・ 質問箱  
ブリキ缶を美術品として保存したいが
- ・ 防錆防食文献リスト



社団法人 日本防錆技術協会

JAPAN ASSOCIATION OF CORROSION CONTROL

# 配管を延命する配管更生技術

熊野活行 岩屋信一

日本システム企画 株式会社

## 配管を延命する配管更生技術

熊野 活行\* 岩屋 信一\*  
Katsuyuki KUMANO Shinichi IWAYA

給水・給湯・空調配管内に発生する赤さび問題に対し、水分子の水素の核のNMR(核磁気共鳴)現象を利用して、配管内の赤さびを不動態のマグネタイトに還元させる事により配管内の腐食を防止する配管内腐食防食技術をNMR工法と定義する。NMR工法により効果が現れた実施例を紹介し、さらに、設置条件による効果の違いにつき検討を行う。

キーワード：赤さび( $FeO(OH)$ )、不動態、マグネタイト( $Fe_3O_4$ )、黒体放射、電磁波(マイクロ波)、常磁性共鳴、鉄イオン値、マグネタイト量、閉塞改善、水和電子(hydrated electron)

### 1. はじめに(NMR工法の定義)

給水管・空調冷温水管に外部より設置された“NMR工法装置”を通過する水は“NMR工法装置”からの黒体放射と自由電子レーザー方式の組合せにより発生した特定波長の電磁波(マイクロ波)による水分子中の水素の電子と核の共鳴現象によって水分子の凝集体を約6時間細分化させ、この小さな凝集体の水が圧送ポンプ等のエネルギーにより配管中を移動する事により水分子同士がぶつかり合い、雷雲中の現象と同様、水中に電子の剝離を起こし、この水和電子により赤さびを黒さびに還元する事により、水中の鉄イオン値を減少させる。又その体積収縮で赤さび閉塞を縮小し赤さび腐食劣化を抑制し配管を延命させる。

通常鉄を材質として使用している配管では、配管の鉄部(Fe)は水中の酸素( $O_2$ )と水( $H_2O$ )で酸化されて赤さび( $FeO(OH)$ )となり、体積が膨張し閉塞を起こす。この赤さびに水和電子を供給する事により赤さびに含まれている水分子を分離し、固く、小さいマグネタイトへと還元させ、これにより配管内の赤さび腐食劣化を防止し配管を延命させる。

#### 1.1 黒体放射の基礎理論

19世紀末、ドイツの物理学者プランクは、図1\*1のように、振動体のエネルギー順位は連続的に分布するのではなく、等間隔に配列していると考えた。これが黒体放射理論の前提である。

\*1 図1は参考文献(7)ファイマン物理学Ⅴ『量子力学』から引用した。

$$\begin{aligned} \frac{N_4}{N_3} & E_4 = 4h\omega & P_4 & = \alpha \exp(-4h\omega/kT) \\ \frac{N_3}{N_2} & E_3 = 3h\omega & P_3 & = \alpha \exp(-3h\omega/kT) \\ \frac{N_2}{N_1} & E_2 = 2h\omega & P_2 & = \alpha \exp(-2h\omega/kT) \\ \frac{N_1}{N_0} & E_1 = h\omega & P_1 & = \alpha \exp(-h\omega/kT) \\ \frac{N_0}{N_0} & E_0 = 0 & P_0 & = \alpha \end{aligned}$$

図1 調和振動体のエネルギー準位は等間隔に配列している  $E_n = n\hbar\omega$

ここで、

$$\begin{cases} h : \text{プランク定数} = 6.62606876 \times 10^{-34} (J \cdot s) \\ \hbar : h/2\pi \end{cases}$$

である。

従って、振動体は一度に  $\hbar\omega$  のエネルギーしか取り取れない。

この前提で黒体放射におけるエネルギー分布  $I(\omega)$  を計算すれば、以下の式が得られる。

$$I(\omega) = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^2 (e^{\hbar\omega/kT} - 1)} \quad (1)$$

ここで、

$$\begin{cases} k : \text{ボルツマン定数} = 1.3806503 \times 10^{-23} (J/K) \\ c : \text{光速度} = 2.99792458 \times 10^8 (m/s) \end{cases}$$

である。

この式によれば、周波数  $\omega$  が大きくなっても、分子の  $\omega^3$  よりも分母の  $e^{\hbar\omega/kT}$  の項の方が急激に増大するので、 $I(\omega)$  は収束する。従って分布は図2\*2の通りになる。

\* 日本システム企画株式会社 (〒151-0073 東京都渋谷区笹塚2-21-12)  
JAPAN SYSTEM PLANNING CO., LTD. (2-21-12, Sasazuka, Shibuya-ku, Tokyo, 151-0073, JAPAN)

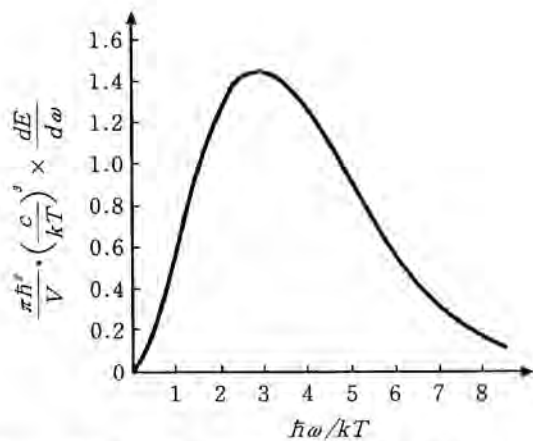


図2 熱平衡の空洞における放射の振動数スペクトル  
"黒体"のスペクトル

この式(1)及び図2がプランクの黒体放射の振動数スペクトルの法則である。

### 1.2 電磁波の基礎理論

(時間に依存するマクスウェル方程式)

19世紀、イギリスの物理学者マクスウェルは、電磁波現象を、電場と磁場が同位相で振動しながら光速で進行する現象であると定義し、時間に依存するマクスウェル方程式をあらわした。

$$\begin{cases} \nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \cdot B = 0 \\ c^2 \nabla \times B = \frac{j}{\epsilon_0} + \frac{\partial E}{\partial t} \end{cases}$$

ここで、

$$\begin{cases} E : \text{電場 (V/m)} \\ \rho : \text{電荷密度 (C/m}^3\text{)} \\ \epsilon_0 : \text{誘導率 } \frac{10^7}{4\pi c^2} \text{ (F/m)} \\ B : \text{磁束密度 (N}\cdot\text{m/A)} \\ j : \text{電流密度 (A/m}^2\text{)} \end{cases}$$

である。

このマクスウェル方程式に従い、空間内を電場  $E$  及び磁場  $B$  が伝わっていく現象が、電磁波の原理であり、図3<sup>\*3</sup>のように示される。

### 1.3 核磁気共鳴と常磁性共鳴との違い

一般的なNMRは、主に有機体の構造解析に用いられる。試料に対して人工的に高磁場(一般的に2テスラ=2

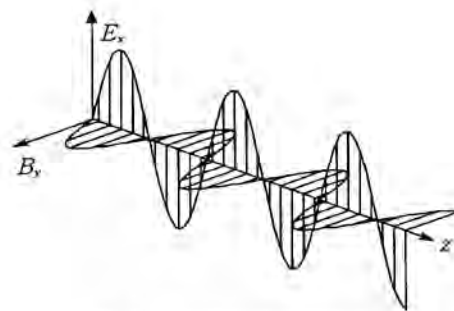


図3 z方向に進む電磁波

万ガウス以上)をかけ、ラジオ波を照射し、核スピンを起こさせる。照射が終わった後に試料から戻ってくるスピンのエコーを測定・解析し、そのデータを基に試料の構造解析を行う。

電子スピンは、試料に対して高磁場をかけるのが普通であるが、磁場をかけず、地球磁場において測定を行う場合もある。照射する電磁波はマイクロ波の領域であり、波長・振動数で見た場合、一般的なNMRの $10^3$ 倍のエネルギーを用いることになる。

原子核と電子の相互作用によりエネルギーの吸収・放出が行われる、「水素原子の超微細構造」という現象も存在する。原子状態にある水素は、磁場をかけない状態で、原子核と電子の相互作用による基底エネルギー状態に微細な差が生じ、水素原子が基底エネルギーの低い方から高い方に励起される際に特定波長のマイクロ波を吸収し、高い方から低い方に移行する際に同じマイクロ波を放出するという現象である。天文学の分野では天体観測に広く用いられている。これは核スピンと電子スピンの相互作用による現象であり、磁場をかけずに発生する共鳴現象である。

NMR工法装置による核磁気共鳴現象は、マイクロ波領域の電磁波を水分子に含まれる水素原子に作用させて常磁性共鳴を行うという点で、水素原子の超微細構造に類似した現象と考えられる。

### 1.4 自然放射により単一波長を放出するメカニズム (自然放射及びレーザーの基礎理論)

マイクロ波を発生させる方法として、先に述べた黒体放射は、木片の炭化(800℃以上)、粘土の加工(1200℃以上)などで古くからよく知られている方法である。そのような方法により、加工後、黒体放射によって電磁波を発生させる。

しかし、従来の方式は、図2の分布に見られる通り、幅広い波長で電磁波を発生させている。幅広い波長の場合、位相間の相互作用により、電磁波が減衰する。

それに対し、NMR工法装置が使用するものは、一般的にレーザーと呼ばれる方式に近く、単一波長である。

#### 1.4.1 自然放射のレーザー

自然放射のレーザーは、少ないエネルギーで電磁波を

\*2 図2は参考文献(5)ファイマン物理学II『光・熱・波動』から引用した。

\*3 図3は参考文献(12)田中秀数『電磁気学』より引用した。

発生させるが、さまざまな波長が入り混ざっている\*1。

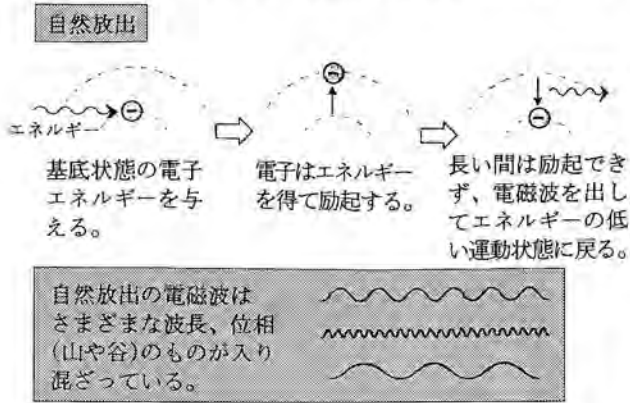


図4 自然放出のレーザー

1.4.2 誘導放出のレーザー

誘導放出のレーザーは単一波長を発生させるが、強力な光源を必要とするため、外部エネルギーが不可欠である。

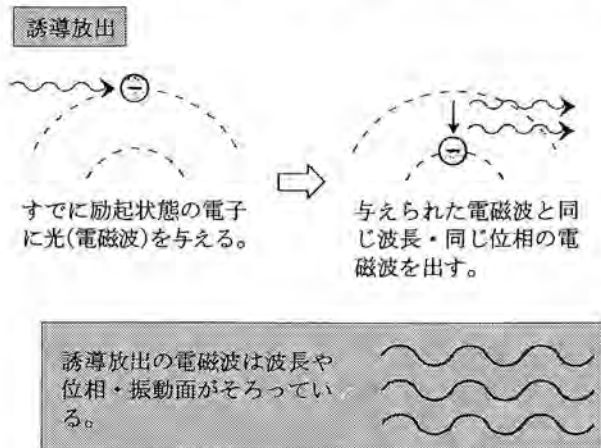


図5 誘導放出のレーザー

1.4.3 自由電子レーザー

黒体放射で単一波長を生じさせるレーザーとして、自由電子レーザーが存在する。NMR工法装置はそのアイデアを発端としている。

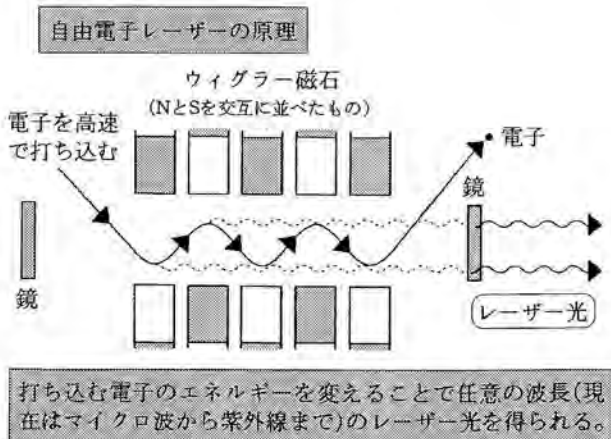


図6 自由電子レーザー

1.5 NMR工法装置の定義

23種類の金属を混合粉体焼結させた黒体放射物質と、そこから発生した電磁波を特定の波長に収束させる為の自由電子レーザー効果をもつ多穴の多層磁性体を組み合わせた、特定電磁波(マイクロ波)をレーザー的に発生する物質を内在したNMR工法装置を鋼管外側から設置する。

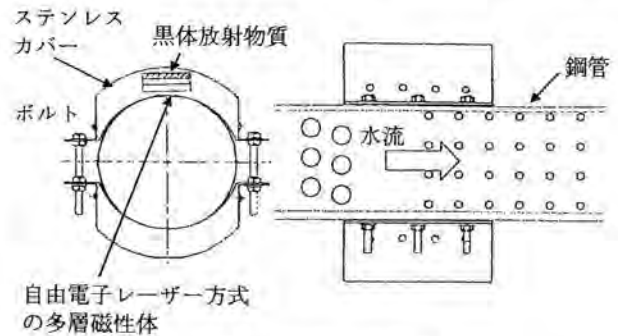


図7 NMR工法装置

鋼管内部を通過する水分子中の水素核と電子に特定波長の電磁波(マイクロ波)により共鳴現象を起こさせ、その共鳴現象により多数の水分子が凝集している状態から凝集が小さな状態の励起状態に変え、その状態の水を圧送ポンプ等のエネルギーで動かすと、励起状態の水の凝集体が雷雲中で動くと電子剝離放電(雷)が発生するのと同様、鋼管中を流れる励起状態の水より電子剝離を発生させ、そこから生じた水和電子で鋼管中に発生している赤さび(FeO(OH))をマグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)に変化させ鋼管内の赤さび腐食劣化を防止し鋼管を延命させる。

2. 結果

- 2.1 一過性の水が流れる給水管内赤さびのマグネタイトへの変化結果実施例
- 2.1.1 北海道工業試験場建物内の給水管よりの採水中の全鉄イオン値測定結果

本試験場所建物の高架水槽二次側亜鉛めっき鋼管給水管(内径100mm)にNMR工法装置を取り付け、夜間10時間以上の配管内滞留水を採水した。その水質検査試験結果を表1に示す。装置取付け前の1階トイレ手洗蛇口より採水の水質検査3回分の平均値は鉄イオン値0.789mg/

表1 鉄イオン値の減少

検査項目	鉄イオン値 (mg/L)
設置前(3回分平均)	0.789
設置2ヶ月後	0.423
設置4ヶ月後	0.262

\*1 図4～図6は参考文献(10)『図解雑学電磁波』より引用した。

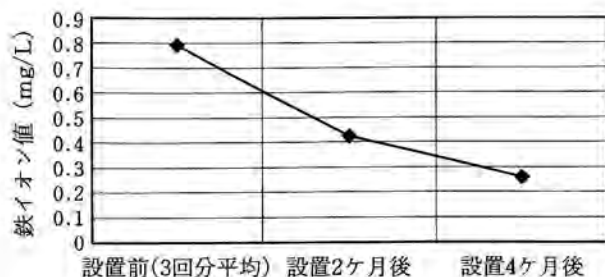


図8 鉄イオン値減少のグラフ

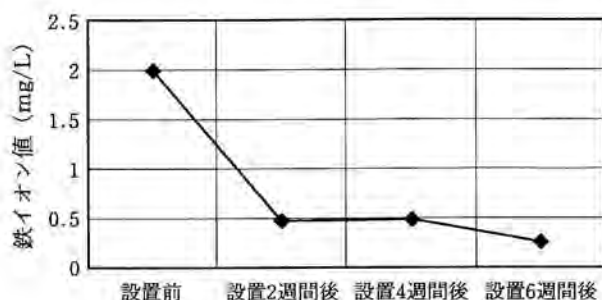


図9 鉄イオン値減少のグラフ

表2 鉄イオン値の減少

検査項目	鉄イオン値 (mg/L)
設置前	2.00
設置2週間後	0.48
設置4週間後	0.49
設置6週間後	0.27

Lと給水管内に赤さび(FeO(OH))が発生しており、その水中への溶出が確認された。しかし装置設置2ヶ月後の採水の鉄イオン値は0.423mg/L、更に設置4ヶ月後の採水の水質検査結果では鉄イオン値は0.262mg/Lと配管内の赤さび(FeO(OH))の溶出量は期間の経過と共に低下した。

#### 2.1.2 日本赤十字医療センター病院建物内の給水管よりの採水中の全鉄イオン値測定結果

本試験場所の建物の高架水槽二次側垂鉛めっき鋼管給水管(内径200mm)にNMR工法装置を取付け、夜間10時間以上の配管内滞留水を採水した。その採水の水質検査試験結果を表2に示す。装置取付け前の外来乳幼児室洗面蛇口より採水の水質検査結果では鉄イオン値2.00mg/Lと給水管内に赤さび(FeO(OH))が発生しており、その水中への流出が大変多い事が確認された。しかし設置2週間後の採水の鉄イオン値は0.48mg/L、設置4週間後の採水の鉄イオン値は0.49mg/L、更に装置設置6週間後の採水の水質検査結果では鉄イオン値は0.27mg/Lと配管内の赤さび(FeO(OH))の溶出量は期間の経過と共に急速に低下した。

表3 黒さび量の増加

検査項目	黒さび量 (%)
設置前	2.2
設置3ヶ月後	14.4
設置6ヶ月後	53.4
設置12ヶ月後	72.9
黒さび増加量	70.7

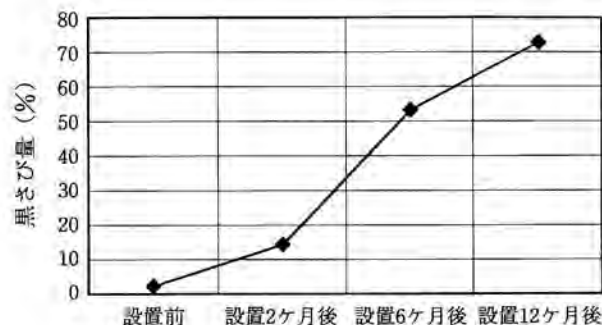


図10 黒さび量増加のグラフ

#### 2.2 同じ水が循環している空調冷温水管内の赤さびのマグネタイトへの変化結果実施例

##### 2.2.1 空調冷温水管より採取したさび中のマグネタイト量測定結果

本試験場所の建物の空調冷温水管の全ての冷温水が通過する冷温水発生機の二次側垂鉛めっき鋼管(内径200mm)にNMR工法装置を取付け、その枝管配管内さび中のマグネタイト質量分析結果を表3に示す。装置取付け前の冷温水枝管(内径80mm)内に発生している赤さびの水との接触面より採取したさび中のマグネタイト含有量は2.2%であった。しかし装置設置3ヶ月後でさび中のマグネタイト含有量は14.4%となり、設置6ヶ月後ではさび中のマグネタイト含有量は53.4%、そして設置12ヶ月後ではさび中のマグネタイト含有量が設置前に比べ、絶対量で70.7%増加し、72.9%まで急速に増加している事が確認できた。

### 3. 設置条件による効果の違い

#### 3.1 配管径による効果の違い

設置部適用配管内径が40mmから200mmまでNMR工法が使用可能である事を、NMR工法による配管内赤さびのマグネタイト化による赤さび腐食抑制試験で確認及び実証した。

試験結果全53例を、管径ごとに分類すると表4の通りになる。

##### 3.1.1 配管径と水中の鉄イオン値の減少結果の関係(試験結果全29例)

配管径と水中の鉄イオン値の減少結果の関係は表5、図11の通りであった。

表4 試験結果全53例

管内径	件数
40mmかそれ以下	4
50~100mm	36
125~150mm	11
200mm	2
合計	53

表5 試験結果全29例

番号	物件名	配管径 (mm)	設置前 (mg/L)	設置後 (mg/L)
1	三鷹サニーマンション	65	0.1	0.05
2	ロシアサンクベトロ市	100	4.71	1.8
3	日本赤十字社医療センター	200	2.0	0.27
4	日本大学工学部	80	1.2	0.01以下
5	北海道工業試験場	100	0.789	0.262
6	フジカラーサービス(株) 調布工場	200	0.5	0.05未満
7	遺愛女子中学・高等学校	65	1.25	0.16
8	芝柏大厦	25	3.9	0.2
9	白鳥製菓株式会社	40	5.0	0.2
10	早稲田大学田無寮	80	0.4	0.15
11	新都市病院	100	0.37	0.05
12	函館市立鍛神小学校	80	3.2	0.13
13	六本木スリースターズマンション	80	0.93	0.17
14	中央大学市ヶ谷キャンパス	125	0.95	0.12
15	MT-16駅前本町	80	1.30	0.08
16	三井精機工業(株) 川島工場	125	0.52	0.14
17	SHILLA HOTEL	50	0.78	0.27
18	日本中央競馬会 美駒寮	80	0.50	0.03
19	モンテローザ上井草	65	1.5	0.18
20	青森総合警備保障(株) 柿崎ビル	50	0.71	0.09
21	JR広島鉄道病院	125	4.99	0.18
22	美和レジデンス	80	0.61	0.14
23	秋田県営松崎住宅	100	6.7	0.05
24	第2かねいちビル	40	1.9	0.06
25	美穂トレーニングセンター競馬会館	80	0.44	0.06
26	海上自衛隊佐世保改修補給所2号ドック	50	1.19	0.05
27	ホテルオークラ札幌	150	0.77	0.09
28	浜松赤十字病院	150	0.36	0.05未満
29	明海大学 西棟	100	0.37	0.08

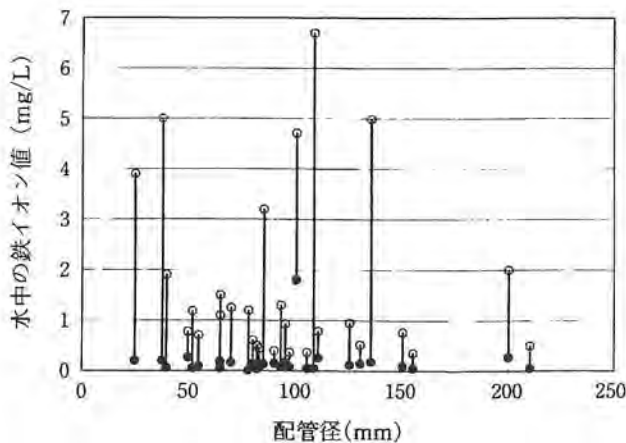


図11 配管径と鉄イオン値の減少結果の関係

表6 試験結果全7例

番号	物件名	配管径 (mm)	設置前 (%)	設置後 (%)
1	三鷹サニーマンション	65	6.2	58.2
2	若葉台管理センター	200	2.2	72.9
3	理研ビタミン	125	1.2	76.8
4	唐津赤十字病院	65	3.3	74.3
5	日本赤十字ビル	125	36.6	80.0
6	中小企業大学校直方校	100	3.9	22.4
7	博多ステーションビル	80	22.1	39.2

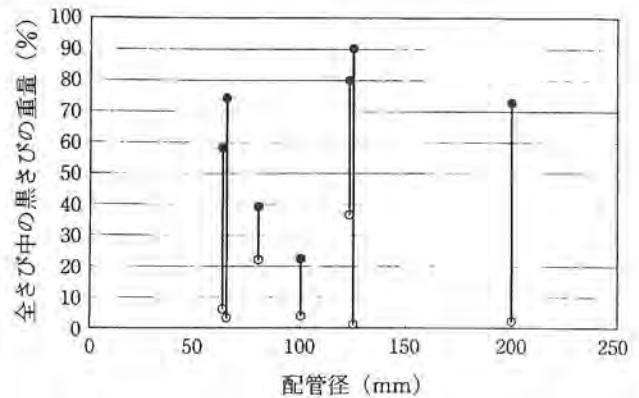


図12 配管径と黒さび量の増加結果の関係

試験結果29件の配管径と水中の鉄イオン値(mg/L)の関係を表示した。○が設置前の水中鉄イオン値、●が設置後の水中鉄イオン値である。

### 3.1.2 配管径と管内の赤さびの黒さび化による黒さび量の増加結果の関係(試験結果全7例)

配管径と管内の赤さびのマグネタイト化による黒さび量の増加結果の関係は表6、図12の通りであった。

試験結果7件の配管径と黒さびの重量比の関係を表示した。○が設置前の黒さび量重量%、●が設置後の黒さび量重量%である。

### 3.1.3 配管径と継手部赤さび閉塞の減少結果の関係(試験結果全18例)

赤さび( $FeO(OH)$ )が黒さび(マグネタイト・ $Fe_3O_4$ )に還元されると体積が十分の一以下になる現象を利用して、赤さび閉塞の減少で赤さびの黒さび化を観察した。

配管径と継手部赤さび閉塞の減少結果の関係は表7、図13の通りであった。

試験結果18件の配管系と閉塞の減少の関係を表示した。横軸を配管径(mm)、縦軸を継手部赤さび閉塞の減少率(%)として各結果をプロットした。

### 3.2 有効距離による効果の違い

設置部から有効距離が150メートル以内であれば、NMR工法が使用可能であることを、NMR工法による配管内赤さびのマグネタイト化による赤さび腐食抑制試験で確認及び実証した。

表7 試験結果全18例

番号	物件名	配管径 (mm)	改善率 (%)
1	エメラルドマンション清水	50	36.2
2	車返西住宅3街区	150	44.3
3	シェーネルポネン	40	69.6
4	読売ランドシティハウス	65	32.3
5	チサンマンション紀の川	100	33.1
6	ハイツ高野台	100	31.7
7	カルムきよしヶ丘	100	13.4
8	グリーンメゾン鶴牧3住宅	75	13.4
9	一光ハイツ七宝マンション	100	14.1
10	シャトル樹庵	50	13.5
11	西武拝島ハイツ	100	11.8
12	新海マンション	50	11.1
13	白金フラット	50	11.3
14	ライオンズマンション小机第2	50	10.3
15	ドルミ鶴間	100	10.3
16	コーシン菊名第2マンション	65	10.2
17	アルビハイツ南品川	150	10.1
18	メトロエステート西巢鴨	125	10.6

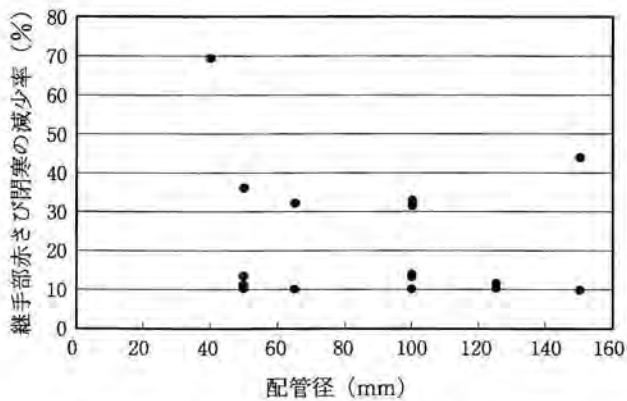


図13 配管径と赤さび閉寒の減少結果の関係

表8 距離ごとの分類

設置部からの距離	件数
10メートル以下	2
11~20メートル	17
21~30メートル	14
31~40メートル	3
41~50メートル	11
50メートル以内合計	計47
51~100メートル	4
150メートル	2
合計	計53

試験結果全53例を、距離ごとに分類すると表8の通りになる。

表9 試験結果全29例

番号	物件名	配管径 (mm)	設置前 (mg/L)	設置後 (mg/L)
1	三鷹サニーマンション	20	0.1	0.05
2	ロシアサンクベトロ市	14	4.71	1.8
3	日本赤十字社医療センター	55	2.0	0.27
4	日本大学工学部	50	1.2	0.01以下
5	北海道工業試験場	30	0.789	0.262
6	フジカラーサービス㈱ 調布工場	50	0.5	0.05未満
7	遺愛女子中学・高等学校	100	1.25	0.16
8	芝柏大厦	50	3.9	0.2
9	白鳥製薬株式会社	30	5.0	0.2
10	早稲田大学田無寮	35	0.4	0.15
11	新都市病院	30	0.37	0.05
12	函館市立鍛神小学校	100	3.2	0.13
13	六本木スリースターズマンション	20	0.93	0.17
14	中央大学市ヶ谷キャンパス	50	0.95	0.12
15	MT-16駅前本町	20	1.30	0.08
16	三井精機工業㈱ 川島工場	50	0.52	0.14
17	SHILLA HOTEL	30	0.78	0.27
18	日本中央競馬会 美駒寮	20	0.50	0.03
19	モンテローザ上井草	20	1.5	0.18
20	青森総合警備保障㈱ 柿崎ビル	20	0.71	0.09
21	JR広島鉄道病院	30	4.99	0.18
22	美和レジデンス	10	0.61	0.14
23	秋田県営松崎住宅	30	6.7	0.05
24	第2かねいちビル	15	1.9	0.06
25	美穂トレーニングセンター競馬会館	20	0.44	0.06
26	海上自衛隊佐世保改修補給所2号ドック	100	1.19	0.05
27	ホテルオークラ札幌	30	0.77	0.09
28	浜松赤十字病院	30	0.36	0.05未満
29	明海大学 西棟	20	0.37	0.08

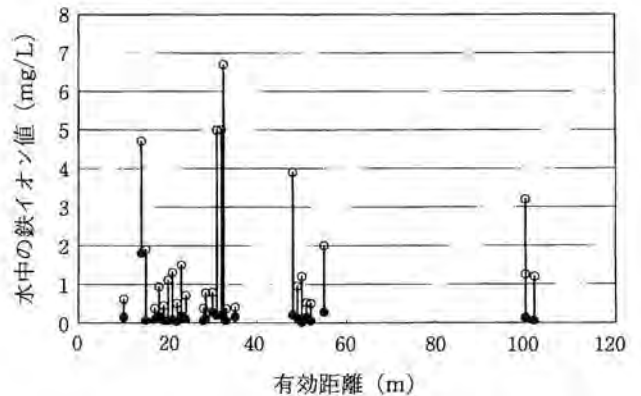


図14 有効距離と鉄イオン値の減少結果の関係

### 3.2.1 有効距離と水中の鉄イオン値の減少結果の関係(試験結果全29例)

有効距離と水中の鉄イオン値の減少結果の関係は表9、図14の通りであった。

試験結果29件の有効距離と水中の鉄イオン値の減少の関係を表示した。○が設置前の水中鉄イオン値、●が設置後の水中鉄イオン値である。



表10 試験結果全7例

番号	物件名	配管径 (mm)	設置前 (%)	設置後 (%)
1	三鷹サニーマンション	20	6.2	58.2
2	若葉台管理センター	150	2.2	72.9
3	理研ビタミン	50	1.2	76.8
4	唐津赤十字病院	40	3.3	74.3
5	日本赤十字ビル	50	36.6	80.0
6	中小企業大学校直方校	30	3.9	22.4
7	博多ステーションビル	50	22.1	39.2

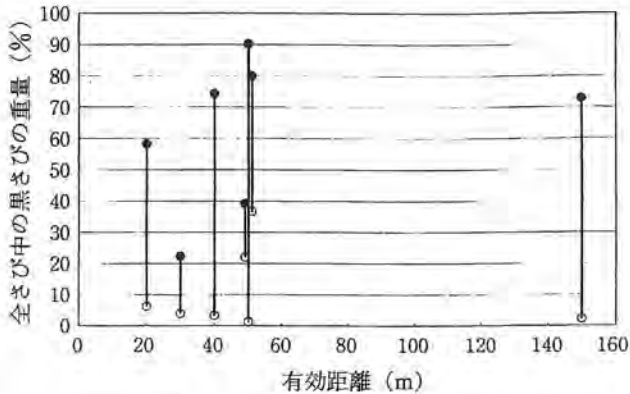


図15 有効距離と黒さび量の増加結果の関係

3.2.2 有効距離と管内の赤さびの黒さび化による黒さび量の増加結果の関係(試験結果全7例)

有効距離と管内の赤さびの黒さび化による黒さび量の増加結果の関係は表10、図15の通りであった。

試験結果7件の有効距離と黒さび量の増加の関係を表示した。○が設置前の黒さび量重量%、●が設置後の黒さび量重量%である。

3.2.3 有効距離と継手部赤さび閉塞の減少結果(試験結果全18例)

有効距離と継手部赤さび閉塞の減少結果は表11、図16の通りであった。

試験結果18件の有効距離と赤さびの閉塞の減少の関係を表示した。横軸を有効距離(m)、縦軸を継手部赤さび閉塞の減少率(%)として各結果をプロットした。

4. 考察

給水管及び空調冷水管に多用されている亜鉛めっき鋼管は古くなると亜鉛めっき層が剥がれ、鋼が水とその中に溶けている溶存酸素により酸化され、赤さび(FeO(OH))を形成する事はよく知られている。この赤さびFeO(OH)は水に溶けたり、容易に分散するので、長時間滞留している水の水中の鉄イオン値が増加し、赤色を呈する為、昔から赤水問題として存在しているが、根本的な解決方法が今日まで見出せなかった。本NMR工法は、その赤さびFeO(OH)を水に不溶性のマグネタイト

表11 試験結果全18例

番号	物件名	配管径 (mm)	改善率 (%)
1	エメラルドマンション清水	20	36.2
2	車返西住宅3街区	150	44.3
3	シェーネルポーン	20	69.6
4	読売ランドシティハウス	20	32.3
5	チサンマンション紀の川	30	33.1
6	ハイツ高野台	40	31.7
7	カルムきよしヶ丘	20	13.4
8	グリーンメゾン鶴牧3住宅	50	13.4
9	一光ハイツ七宝マンション	30	14.1
10	シャトル樹庵	30	13.5
11	西武拝島ハイツ	20	11.8
12	新海マンション	30	11.1
13	白金フラット	20	11.3
14	ライオンズマンション小机第2	30	10.3
15	ドルミ鶴間	10	10.3
16	コーシン菊名第2マンション	20	10.2
17	アルビハイツ南品川	50	10.1
18	メトロエステート西巣鴨	50	10.6

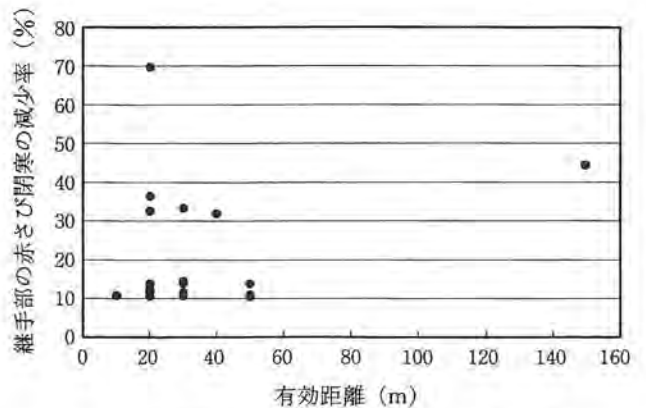
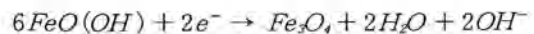


図16 有効距離と赤さび閉塞の減少結果の関係

(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)に変化させ、赤水問題を解決することを示した。赤さび(FeO(OH))のマグネタイト(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)への還元反応の式は以下の式が考えられる。



5. 結論

水中の鉄イオン値の減少効果試験を実施した29件全てでNMR工法装置を設置する事により亜鉛めっき鋼管製の給水管中の赤さび(FeO(OH))の水中への溶出及び分散を徐々に減少させていき、最終的に配管内に赤さびが発生していない状態と同じレベルまで鉄イオン値を低下させた事は、(FeO(OH))の構造を変化させ、水に不溶性で分散し難い結晶に変化させた事を示してい

る。この性質の鉄の化合物はマグネタイト( $Fe_3O_4$ )しか考えられず、この還元反応が起きた事を証明していると同時に、連続的に鉄イオン値が減少し続けた事から、新規の赤さび( $FeO(OH)$ )の発生も防いでいる事を証明した。

同じ水が循環している空調冷温水管でNMR工法装置を設置する事により配管内の赤さび( $FeO(OH)$ )のマグネタイト( $Fe_3O_4$ )への還元反応は起こり、この事は黒さび量(マグネタイト)の増加を試験した7件全てで配管中の赤さび中のマグネタイト含有量が増加した事から立証された。

今回の試験結果全53件のデータより、200mm以下における配管径と水中鉄イオン値の減少結果、管内の赤さびの黒さび化による黒さび量の増加結果の関係、及び継手部赤さび閉塞の減少結果の関係について検証した。多少結果にばらつきが見られたが、53件すべての結果で配管内の赤さびを不導態のマグネタイトに還元し、配管内の腐食防食を達成した事を示した。また、有効距離150メートル以下における有効距離と水中の鉄イオン値の減少結果、管内の赤さびの黒さび化による黒さび量の増加結果の関係、および継手部赤さび閉塞の減少結果の関係についても同様で、配管内の赤さびを不導態のマグネタイトに還元し、配管内の腐食防食を達成した事を示した。このことよりNMR工法は、還元のための水と電子を発生させるために一定量以上の流量があるという条件を満たせば、効果が期待できるということを立証した。

## 6. 謝辞

本論文を纏めるに当たり、北海道大学名誉教授勇田敏夫先生、北海道工業試験場平山和雄先生、そして日本赤十字社医療センター、並びに財団法人若葉台管理センターの関係者の御協力、御指導に感謝を致します。

### 参考文献

- 1) An electrochemical study of phase transformations in rust layers  
M. Startman, et al., *Corrosion Sci.*, 23, 969 (1983)
- 2) Formation of magnetite in the presence of ferric oxyhydroxides  
T. Ishikawa, et al., *Corrosion Sci.*, 46, 1239 (1983)
- 3) 真柄泰基『建築物内給排水管理に係る新技術開発指針作成及びその評価体系の設定に関する研究報告書』(1988)
- 4) H.H. ユーリック著、岡本剛監修、松田精吾・松島 巖共訳『腐食反応とその抑制』(1999)
- 5) ファインマン物理学II『光・熱・波動』(岩波書店 1968)
- 6) ファインマン物理学III『電磁気学』(岩波書店 1969)
- 7) ファインマン物理学V『量子力学』(岩波書店 1979)
- 8) A. シェウロー・J. ゴードン著、谷川安孝・中村誠太郎編・監訳『レーザーとメーザー』(講談社 1973)
- 9) 高嶋廣夫『やさしい赤外線工学』(工業調査会 1988)
- 10) 『図解雑学電磁波』(ナツメ社 2001)
- 11) 『図解雑学素粒子』(ナツメ社 2001)
- 12) 田中秀数『電磁気学』(培風館 2000)
- 13) 第13回アジア太平洋国際防さび(学会)国際会議発表論文 (2003)
- 14) 理科年表(国立天文台編)

受理日：平成17年3月1日