塩化ビニールテープ起因応力腐食割れ 事象の原因分析およびテープの変成挙動調査†

重 本 直 也* 芝 山 宗 昭**
野 口 新 二* 高 木 敏 光***

Cause Analysis of SCC Incident and Observation of PVC Tape Transformation on Heated Steels

by

Naoya SHIGEMOTO*, Motoaki SHIBAYAMA**,
Shinji NOGUCHI* and Toshimitsu TAKAGI***

In October 2000, the 24 years old Ikata-1 PWR-type nuclear power plant suffered cracking in pipes, where poly vinyl chloride (PVC) tape had been placed and had become baked over time. The existence of residual stress over 100MPa in the pipes, a bit of chlorine and a feather like-pattern on the crack faces suggested the event was one of stress corrosion cracking.

Engineers of Shikoku Electric Power Co. groups examined experimentally the production of chloride from PVC tape on a steel, and elucidated the temperature depending production peaks is induced by the properties of FeCl_3 , the principal ingredient of the chloride. Semi-quantitative expression of the production of soluble chlorine was proposed.

In next report, authors will elucidate the stress corrosion cracking in steels with baked PVC tape and the cracking potential in pipes with the fluid of various temperatures and various duration.

Key words : Stress corrosion cracking, Poly vinyl chloride, Ferric chloride, Stainless steel, Atomic power plant, Pipe

1 緒 言

平成 12 年 10 月、四国電力(株)伊方発電所第 1 号機は運転開始後 24 万時間を経過し、第 19 回の定期点検サイクルの末期にあった。配管の気密試験で不良が検知され、保温材を除去して点検したところ、充填ライン待機系配管にき裂が認められた。当該部には建設時溶接継手識別のために貼り付けた塩化ビニールテープが残留し、黒化していた。オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) の化学組成や金属組織は正常で、配管に大きな拘束荷重もかかっておらず、き裂を発生したものである。当該部分を切り出し、分離させて破面を顕微鏡で観察したところ、塩化物応力腐食割れに特有な模様が認められた。

塩化ビニールが 180℃以上の高温で分解し始め、280℃以上では短時間に分解し尽くすこと¹⁾分解によって HCl ガスを発生すること、塵焼却炉やビニール成形金型などを腐食させることは知られていたが、塩化物応力割れ(以下、SCC と言う)を生じた事例は皆無に近かった²⁾

このため、(A) テープ貼付け配管上での水溶性塩化物の生成挙動の解明、(B) 当該塩化物による SCC 挙動の解明、(C) 各配管における今後 40 年間 (運転開始後 60

年間) の SCC の危険性評価などを試みた。なお、本研究遂行には多くのデータと引用を必要とし、大部となったため、その 1「塩化ビニールテープ起因応力腐食割れ事象の原因分析およびテープの変成挙動調査」および、その 2「塩化ビニールテープ起因応力腐食割れ試験および割れ寿命解析の試み」に分割して報告する。

2 ひび割れ配管の調査結果

2・1 PWR プラントにおける事象発生配管の位置付け

PWR 型原子力プラント 1 次系を構成する主要な容器/配管にひび割れした (き裂を生じた) 配管を追加して描くと Fig. 1 のようになる。プラントは建設後の試運転を経て、9 000 ~ 10 000 時間の運転サイクルと 1 700 ~ 2 000 時間の点検サイクルを交互に繰返す。原子炉と蒸気発生器を巡る 1 次冷却材管 (RCS) や化学体積制御系 (CVCS) 充填ラインなどは運転サイクル内で熱通水され、予熱除去系 (RHR) のラインは点検サイクル当初に熱通水される。以上は常用部分 (in the active) である。故障時に対応するための部分 (待機系 (in the reserve)) では、原則として、試運転期間においてのみ通水される。

まず、250℃高温水を試運転期間に 1 回だけ 2 時間通

† 本報を「塩化ビニールテープによる PWR プラントステンレス配管の応力腐食割れと対策 (第 1 報)」(Investigation into PVC-Tape-Induced Stress Corrosion Cracking in PWR Piping System, I) とする。

原稿受理 平成 15 年 2 月 7 日 Received Feb. 7, 2003

* ㈱四国総合研究所 〒761-0101 高松市屋島西町, Shikoku Res. Inst. Inc., Yashimanishi-machi, Takamatsu, 761-0101

** 正 会 員 ㈱四国総合研究所 〒761-0101 高松市屋島西町, Shikoku Res. Inst. Inc., Yashimanishi-machi, Takamatsu, 761-0101

*** 四国電力(株)原子力部 〒760-8573 高松市丸の内, Shikoku Electric Power Co. Ltd., Marunouchi, Takamatsu, 760-8573

Fig. 1. Reactor coolant system of PWR plant.

水された配管（充填ライン待機系（250℃、2h 累積）と記す）の1箇所に通き裂が発見された。このため、緒言に述べた塩化ビニルの分解（炭化）挙動¹⁾および水溶性塩化物生成挙動に関する予備実験データに基づいて、下記の点検計画、

- 100℃以下での通水、あるいは250℃以上での長期通水では配管上に塩化物がほとんど生成・残留しないと思われたため、該当する系統に対して部分点検を行う、
- 100℃～250℃で長期通水、あるいは250℃以上で300h以下短期通水される配管上には塩化物が生成・残留すると思われたため、該当する系統に対して全範囲点検を行う、

が立案され、3週間で実行された。

全範囲点検対象となった7系統の配管群にはテープ付着痕が263箇所あった。前記の充填ライン待機系（250℃、2h 累積）で新たに未貫通き裂7個、および腐食痕3個が発見された。また、余熱除去ライン（176℃、30h／サイクル）で1個の腐食痕が見出された。充填ライン常用系（250℃、8000h／サイクル）、加圧器補助スプレイライン（110℃、5h／サイクル）、抽出ラインの再生熱交～非再生冷却（150℃、8000h／サイクル）、余剰抽出ライン（290℃、0.05h／サイクル）、ホウ酸注入ライン（180℃、30h／サイクル）では割れが見出されなかった。部分点検対象になった6系統の配管群は1次冷却材管高温側（320℃、8000h／サイクル）、1次冷却材管低温側（280℃、8000h／サイクル）、充填ラインの再生熱交換器手前（60℃、8000h／サイクル）、封水注入戻りライン（80℃、8000h／サイクル）、抽出ラインのループ～再生熱交（290℃、8000h／サイクル）、抽出ラインの非再生冷却～化学体積制御タンク（60℃、8000h／サイクル）などであるが、テープ付着痕跡が59箇所あったものの、割れはなかった。

以上、き裂を生じた配管は250℃×2hあるいは176℃×600h（累積）の流体履歴を持つものであり、プラント

としては中間的な温度で短期間（経過時間の1%相当）加熱され、その他の長期間は常温に保たれ、配管表面が結露しやすい管であった。

2・2 マクロ観察結果

保温材を取り外した直後の外観の一例をFig. 2に示す。工事用の幅広の塩化ビニルテープが黒変して残留している。

最初に発見された貫通き裂を生じた配管の表面を清拭後、液体浸透試験（PT）を行うと、19mm長さのき裂が見えた。清拭直後の外観およびPT後のスケッチをFig. 3に示す。繰返し曲げを与えてき裂部分を露出させ、実体顕微鏡で観察すると、Fig. 4のように、表面部分が広く

Fig. 2. A wreck of PVC tape on a joint of pipes along charging line in the reserve.

Fig. 3. Outer view of a leaked pipe.

Fig. 4. Optical micrograph of the exposed crack.

厚い暗褐色の錆に覆われ、内部は狭く、薄い錆に覆われていた。外表面に発生し、内表面に向かって進展したき裂であることが分る。データは省略するが、き裂の5/8が管軸からの傾き 20° 以下であり、周方向応力の主導が示唆された。

2・3 ミクロ観察結果

露出させた破面を走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察すると、すべてのき裂において Fig. 5 のような羽毛状破面が認められた。軽元素に対しても高感度な Electron Probe Micro Analyzer (日本電子製 JEOL : JXA8200) を用いて破面上の元素分布を観察した。Fig. 6 の例示では、き裂部分にかなりの濃度 (対象物内の元素濃度を面分析モードで表示させる機能、を用いると数%のオーダー) の Cl が認められるが、海塩粒子に特有の Na および Mg はなかった。すべてのき裂に対して最深部近傍で計測された見かけの Cl 濃度を計測し、き裂深さに対してプロットすると、Fig. 7 のようであった。見かけの Cl 濃度とき裂深さの間に正の相関が認められる。

2・4 その他の材料特性

き裂部分は溶接の熱影響部から離れているためか、Electro-chemical Potentio-kinetic Reactivation Method (EPR 法) で測定された値は小さく、鋭敏化していないと判定された。³⁾硬さも正常な範囲であった。

Fig. 5. Feather pattern observed in the crack. (by SEM)

Fig. 6. Distribution of elements on crack surface. (by EPMA)

Fig. 7. Relationship between crack depth and superficial concentration of chlorine on crack tip.

各々の配管からき裂に隣接する箇所に 45° 間隔でひずみゲージ (軸/周2枚組) 8組を貼り、リング状に切出し、8分割して拘束を外し、ひずみの変化量を計測した。この値の正負を反転して弾性率を乗じ、残留応力を求めた。

Fig. 8 中に黒丸で示す周方向応力は大部分の管で正であり、白丸で示す軸方向応力を上回っている。前述したように管軸に並行なき裂が多かったことの原因と考えられる。11本の管における周方向応力の最大値の平均値は60MPa、標準偏差は29MPaであった。

藤野らは拘束開放操作を要しないX線回折法によって4社が製作した昭和50年代製のSUS304鋼管の残留応力を調べている。⁴⁾この場合にも、周方向残留応力は軸方向残留応力を上回る傾向が認められた。値はメーカ依存があったため、伊方発電所内に鋼管を納入したメーカの製品5本における周方向応力の最大値に注目した。平均値は128MPa、標準偏差は46MPaであった。

環状切り出し8分割する今回採用の方法では管の内外表面の拘束が外れず、残留応力を過小評価する傾向にあるため、X線回折法で得られた藤野らのデータを真の値

Fig. 8. Residual stresses in removed 11 pipes.

とみなすことにした。この結果、配管は30%以上の確率で150MPa以上の残留応力を持つものと判断された。^(注)

3 塩化ビニールテープの変成挙動に関する調査試験

3・1 試験方法

大谷は塩化ビニールを毎分5℃で昇温し、180℃以上の温度域で重量減少やHClガス放出速度が顕著になると報告している。¹⁾今回のSCCは1年以上の長期間を費やす現象であるから、3000時間にわたって加熱し、変化を観察、計測することとした。温度は101, 134, 155, 177, 199, 209, 263, 318℃の9条件を用意した。

化学反応は、(a)塩化ビニールの分解および(b)銅との反応に分類される。(a)に関わる実験の観察項目は(i)縮みや変色などの形態、(ii)重量、(iii)全塩素量などであり、(b)に関わる観測項目は(iv)水溶性塩素(塩化物イオン)および(v)ミクロ形態である。

重量変化および全塩素残存率計測は石英板上に貼ったテープに対して行った。全塩素量はサンプルを石英ガラス製チューブに挿入し、アルゴンガスを流しながら900℃に加熱して、ガスクロマトグラフで塩素ガスの総量を計測することによって、未加熱のサンプルから得られる塩素量は56500mgCl/m²であるから、その他のサンプルの計測値をこの値で除して全塩素残存率を計算した。

水溶性塩化物の計測は別途用意したテープ貼付け石英ガラス板サンプルあるいはテープ貼り付けSUS304鋼板サンプルを所定の温度、所定の時間加熱した後90℃の湯中に浸し、スクレパーでテープ残骸を削ぎ落とし、湯中の塩化物イオン濃度をイオンクロマトグラフで計測した。

3・2 形態観察および重量・全塩素量の計測結果

形態変化は、褐色化、黒化(縮み)、黒焦げ(膨れ、き裂)、白化(剥がれ)である。SUS304鋼板上のテープは、101℃で1000時間後に淡い褐色となった。133℃では1000時間後に縮んだ。155℃では100時間で黒化した。209℃では焦げて剥がれる傾向が現れ、318℃では白化した。155℃, 209℃, 318℃の例をFig. 9に示す。

重量変化の計測結果をFig. 10に示す。155℃～263℃

Fig. 9. Typical appearances of baked PVC tapes on steel plates.

Fig. 10. Decrease of mass of PVC tape on glass plates baked at various temperature.

では遅速は有るものの、60%の重量減に向かっていることが分る。残留する40%相当の物質は、炭酸カルシウム粉(数%)および炭素と思われる。一方、318℃では重量減が更に進んでいるが、これはFig. 9の318℃×3000hの欄で、炭素が燃焼して炭酸カルシウムの白色が出てきたことに対応している。

全塩素残存率はFig. 11に示すように、100h経過後に、101℃で90%、155℃では45%、209℃以上では2%以下であった。

3・3 水溶性塩化物の計測結果

(1) 石英ガラス板の場合

Fig. 12に示すように、318℃×1h加熱サンプルを例外として塩化物イオン濃度は高々、40mgCl/m²であった。これは初期全塩素量の約0.05%程度に過ぎない。加熱分解によりHClガスを発生するものの、石英ガラスなどの不活性物質の近傍では水溶性塩化物を生成しないことが分る。

(2) SUS304鋼板の場合

Fig. 13に示すように、SUS304鋼板上に存在する塩化物の濃度は318℃では0.5～10h間で1000mgCl/m²の

Fig. 11. Ratio of residual chlorine on the baked glass plate with PVC tape.

(注) N(0, 1²)の標準正規分布において、0からzの間の値を持つ確率を示すいわゆる標準正規分布表がある。平均値が128、標準偏差が46の集団において150はz=0.48に相当し、表から0.18が読み取られる。以上により、標本の32%が150MPa以上の残留応力を持つと見積られる。

Fig. 12. Formation and decay of chloride ion on the baked glass plate with PVC tape.

Fig. 13. Formation and decay of chloride ion on the baked steel plate with PVC tape.

オーダーのピークに達し、3 000 時間後 50mgCl/m² 以下に減少している。1300mg/m² のオーダーのピークを保つ時間は温度により異なり、263℃では 1～20h、209℃では 10～100h、180℃では 500～1000h であった。130℃以下ではほとんど生成しないようである。

加熱温度が高いほど、早期かつ短期間に増減し、ピーク値もより一層大きい。この挙動については次章で考察する。

3・4 微視的観察および物質同定

318℃で 1 時間加熱した塩化ビニール貼り付け鋼板の切断、研磨し、縦断面を SEM で観察すると Fig. 14 の上段のようであった。0.1mm 厚さに縮んだテープの残骸が鋼の表面に付着している。EPMA 観察結果（下段）によると、テープ内および鋼の表層 0.05mm 深さの部分で塩素濃度の高い。

鋼の表面を削ぎ落として得られた粉末を X 線回折にかけたところ、Fig. 15 のプロフィールが得られ、C₁₂FeCl₃、FeCl₂・4H₂O の存在が示唆された。

4 考 察

4・1 塩化物生成・残留メカニズム

Ihara らは、酸素および水蒸気を含む大気と共存する高温の HCl ガスは、以下のように反応して塩化第二鉄 (FeCl₃) を生じる事を指摘している。⁵⁾

Microstructure by SEM

Cl distribution by EPMA

Fig. 14. Microscopic observation of a cross section of baked steel plate with PVC tape.

Fig. 15. X-ray diffraction patterns of the residuals on baked steel plate with PVC tape.

また、FeCl₃ の沸点は 315℃と報告されている。⁶⁾

以上を総括すると、塩化ビニールテープが貼り付けられた SUS304 鋼管が、高温に加熱されると、

(1) 高温で塩化ビニールは分解して HCl ガスを発生し、

(2) SUS304 鋼と反応して FeCl₃ 生成し、増量する。高温では HCl の発生速度が高く、鋼表面近傍の HCl 分圧が高まり、反応は右向きに進む。ガス発生持続時間は短いものの、FeCl₃ の生成収率は高い。

(3) 塩化ビニールが分解してしまうと HCl の分圧はゼロとなり、FeCl₃ の収率はゼロ、FeCl₃ は増加しない。

(4) 高温では FeCl₃ が昇華し、減少に転じる。と推論される。すなわち、「高温で加熱されると水溶性塩化物が早期に高い値を示し、早期に減少する現象は、HCl の分圧および FeCl₃ 蒸気圧の温度依存性による」と言える。

4・2 塩化物生成・残留挙動の半定量的カーブの作成

原子力プラント内の配管は種々の温度で種々の時間通水されるので、鋼上のテープが任意の温度で任意の時間高温に保持された場合の塩化物濃度を推定する必要がある。このため、今回のデータおよび文献から生成挙動の特徴を抽出し、組み合わせて塩化物生成の半定量的な取扱を試みる。

前掲の Fig. 13 中の 155, 177, 199, 209℃のデータを滑らかに結ぶと図中の曲線を得る。高温ほど、より早期に、より高い値に達して、より急速に減少する全体的な傾向が読み取られる。さらに詳細に見ると、塩化物濃度が 500mgCl/m² に達するまでの期間において、濃度と時間の対数値との間にほぼ直線関係が認められる。また、500mgCl/m² に達する時間を t^* で表し、 $(1/t^*)$ の対数値を加熱温度（絶対温度） T の逆数値に対してプロットすると Fig. 16 のような直線関係、すなわち、アーレニウス型の熱活性化関係、 $A \exp [-Q/(T+273)]$ が成立しているように見える。田中らは、229～362℃の範囲で塩化ビニルが熱分解して HCl ガスを発生する速度の温度依存はアーレニウス型の熱活性化過程で表現できること⁷⁾すなわち Fig. 16 上の直線関係を支持する知見を報告している。これを参考にして、155℃～209℃の温度範囲で示唆された片対数上の直線関係を 100℃から 300℃までの範囲に外挿した。

図中の直線を用い、130, 150, 160, 170, ……240, 250, 260, 280, 300℃における $(1/t^*)$ の値を求めた。この値の逆数が各温度において 500mgCl/m² に達する時間である。片対数グラフ上で $(t^*(h), 500 (mgCl/m^2))$ の点を通り、前掲の Fig. 13 中の 177℃, 199℃, 209℃の曲線の前半の直線部分と等しい傾きの直線を引いた。さらに、低温度ではより低い濃度で頭打ちになる傾向（図中に表れた曲線の傾向）を定性的に取り込んで 種々の加熱温度の下で塩化物の生成曲線を描いた。これを Fig. 17 に示す。

Fig. 16. Relationship between the time for achieving 500 mgCl/m² and heating temperature.

Fig. 17. Estimated chloride ion formation curves at every temperatures.

4・3 当該配管における残存 Cl 量と SCC 事例との関係

Fig. 17 の 250℃の曲線上で $t = 2h$ の値は 1070mgCl/m² である。伊方 1 号機の充填ライン待機系（通水は 250℃ × 2h 累積）には試運転中に FeCl₃ が約 1070mgCl/m² 生成し、20 年間に亘って付着していたことが推定される。また、180℃の曲線上で $t = 300h$ および 600h の値はそれぞれ 530mgCl/m² および 630mgCl/m² である。余熱除去ライン（176℃, 30h / サイクル）には運転開始後 10 年目に FeCl₃ が 530mgCl/m² 生成し、その後の 10 年間に微増していたことが推定される。

同様な方法で塩化物濃度を追うと、充填ライン常用系（250℃, 8000h / サイクル）は 4 運転サイクル後、1 次冷却材管高温側（320℃, 8000h / サイクル）では 1 運転サイクル後、1 次冷却材管低温側（280℃, 8000h / サイクル）では 2 運転サイクル後塩化物濃度は 200mgCl/m² 以下になることが分る。

ここで長期間に亘る実際の場面でステンレス鋼に生じる SCC と塩化物付着量との関係を概略把握するために、多方面から入手した情報を整理したところ、以下のようであった。

- (A1) 粗雑に洗浄した鋼板上には 30mgCl/m² 程度の塩分が計測されることが多い。⁴⁾ 屋内に短時間放置した機器がこれに相当するであろう。
- (A2) 室内相当の清浄な環境で建造され、室内に設置されたステンレス鋼製の機器の外表面からの SCC 事例はない。
- (B1) 海岸地帯に暴露された板には 300mg/m² 相当以上の海塩粒子が付着することが多い。⁸⁾
- (B2) SUS304 鋼板に溶接相当の熱履歴を与え降伏点相当の曲げ負荷を与え、海岸に 5 年放置すると半数が割れた。⁹⁾ 同様に U 曲げ加工・溶接で造られたボイラ過熱器管が海岸での 1 年保管後に割れた。建設時に海風に曝され、建造後結露状態で使われた BWR 発電所制御棒駆動水圧配管が 2 年後に割れた。

(A1) および (A2) より、降伏点相当の残留応力をもつ SUS304 鋼材が常温で 10 年オーダーの長期間使われる場合に、海塩粒子付着が $30\text{mgCl}/\text{m}^2$ 以下では外面 SCC を生じない、と言える。逆に、(B1) および (B2) より、降伏点相当の残留応力をもつ SUS304 鋼材が常温で 10 年オーダーの長期間使われる場合に海塩粒子付着が $300\text{mgCl}/\text{m}^2$ 以上の場合に高い確率で SCC を生じると言える。

充填ライン待機系および余熱除去系配管は常温大気に 10 年以上曝され、Cl 量は 1030 、あるいは $530\text{mgCl}/\text{m}^2$ であったことから、今回の SCC の発生は従来知見と矛盾しないと言える。

4・4 その他の諸配管における SCC 発生時期予測の困難さ

庄司らは NaCl 、 MgCl_2 、 CaCl_2 、 ZnCl_2 、人工海水など種々の塩化物を用いた SCC 試験により、SCC の発生時期は塩化物の種類に依存し、海塩粒子の場合を基準にして $1/3$ 倍から 3 倍の差異のあることを報告している。¹⁰⁾

通水条件を考慮すると、PWR1 次系内の諸配管における塩化物濃度はき裂を生じた 2 種類の配管に比して低い傾向にあるものの、「平成 12 年 10 月時 (24 年経過時) に SCC が生じなかったのですさらに 40 年経過しても生じない。」あるいは「24 年間で生じなかったが、さらに 40 年経過すれば生じる。」などと SCC 発生時期を予測することは、現段階では不可能である。

5 結 言

(1) 運転開始後 24 万時間を経過した PWR 型原子力プラント伊方 1 号に発生した配管表面からのき裂は、現状では、充填ライン待機系および余熱除去ラインなど、 $250^\circ\text{C} \times 2\text{h}$ あるいは $176^\circ\text{C} \times 600\text{h}$ (累積) の流体履歴を持つものであり、プラントとしては中間的な温度で短期間 (経過時間の 1% 相当) 加熱され、その他の長期間は常温に保たれ、配管表面が結露しやすい管であった。割れ発生部分 11 箇所 の材質や付着物を詳細に調査したところ、

- 150MPa 程度の残留応力があり、その値は周方向で大きく、割れは軸に沿う。
- 割れ内部に Cl が検出された。また、濃度と割れ深さに正の相関がある。
- 破面上に塩化物割れに特有の羽毛状パターンがある、など、塩化物応力腐食割れが発生したと判断するに足る情報が得られた。

(2) ステンレス鋼板に塩化ビニールテープを貼付け、加熱し、水溶性の塩化物の量を測定したところ、 300°C

では $0.5 \sim 10\text{h}$ 間で塩素換算で $1000\text{mg}/\text{m}^2$ のオーダーのピークに達し、 3000 時間後 $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下に減少した。 $1000\text{mg}/\text{m}^2$ オーダーのピークを保つ時間は温度により異なり、 260°C では $1 \sim 20\text{h}$ 、 210°C では $10 \sim 100\text{h}$ 、 180°C では $500 \sim 1000\text{h}$ であった。 130°C 以下ではほとんど生成しなかった。

(3) X 線回折は水溶性塩化物の主成分が塩化第二鉄 (FeCl_3) であることを示唆した。井原らが提案した塩化第二鉄生成メカニズムが今回のケースでも発現したと考えられる。この物質の沸点は 315°C であり、塩化物濃度がピーク値を取った後に減少する理由が理解できた。

(4) 塩化ビニールの分解 (HCl 発生) が熱活性過程形式に従う傾向のあること、塩化物生成に及ぼす HCl 分圧や生成された塩化物の蒸発反応の温度依存性を定性的に取り込んで、任意温度下の塩化物残留濃度曲線を推定した。

(5) 充填配管待機系には試運転以降約 $1100\text{mgCl}/\text{m}^2$ の塩化物が、余熱除去系配管には最近の 10 年間に数百 mgCl/m^2 の塩化物が付着したと推定された。この Cl 量は一般に SCC を生じる危険性が大きいと考えられるレベルであった。

(6) 上記以外の配管に残存する塩化物濃度は低い傾向にあるものの、 FeCl_3 を主成分とする塩化物の付着濃度と SCC 発生時間との関係を示すデータはないので、配管全般の SCC 発生時期を予測することは、現段階では不可能である。

次報ではこの問題を解決した経過を報告する。

参 考 文 献

- 1) 大谷杉郎, 化学工業雑誌, **61**, 447 (1958).
- 2) L. Langguth, Korrosion, **19**, 270 (1988).
- 3) P. Novac, R. Stefec and F. Franz, Corrosion, **31**, 344 (1975).
- 4) 藤野宗昭, 白石誠司, 第 19 回四国電力社内研究発表会予稿集, 53 (1982).
- 5) Y. Ihara, H. Ohgame and K. Sakiyama, Corrosion Science, **21**, 805 (1981).
- 6) (社) 腐食防食協会編, “腐食防食ハンドブック (平成 12 年度版)”, p.257 (2000) 丸善(株).
- 7) 田中義樹, 日下部哲朗, 辻 敏郎, 柴田俊晴, 上牧 修, 伊藤博徳, 日本化学会誌, **10**, 684 (1998).
- 8) (社) 腐食防食協会, 腐食センタニュース, No.009 (1995).
- 9) K. L. Money and W. W. Kirk, Materials Performance, **17** (7), 28 (1978).
- 10) 庄司三郎, 大中紀之, 防食技術, **38**, 92 (1989).