

チタンのすきま腐食発生臨界条件と  
自然浸漬電位の評価

1996年11月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to:Technology  
Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development  
Corporation)

## チタンのすきま腐食発生臨界条件と自然浸漬電位の評価

濱田 啓志, 谷口 直樹, 石川 博久

## 要旨

高耐食性金属であるチタンをオーバーパックとして使用する場合、不動態化する全面腐食の環境では腐食速度が非常に小さいため長期寿命が期待できる。そこで、チタンで問題となるのは孔食やすきま腐食などの局部腐食である。この高耐食性金属であるチタンの特徴を生かすためには、局部腐食の起こらない条件で使用する事が望ましいので、局部腐食発生臨界条件を把握することが課題となる。局部腐食のうち、すきま腐食は最も緩い条件で生じると考えられているので、すきま腐食発生臨界条件を決定することにより、チタンの処分環境下での可使用条件を明確にすることができる。

チタンのすきま腐食発生臨界条件の決定方法としては、辻川らが提唱した再不動態化法が有力な方法として考えられている<sup>1)</sup>。この方法で得られた再不動態化電位( $E_{R, CREV}$ )を対象となる金属の当該環境での自然浸漬電位( $E_{sp}$ )と比較することにより、すきま腐食発生の可能性を評価することができる。

本報においてはまず、各種チタン材料を用い、pH、温度、雰囲気パラメータとした $E_{sp}$ の測定及び陰イオン濃度、pHをパラメータとした $E_{R, CREV}$ の測定を行った。その結果、 $E_{sp}$ はpHの低下とともに、また、窒素ガス吹き込み条件よりも大気中での試験の方が貴になる傾向がみられたが、温度による影響は把握できなかった。ベントナイト中においても大気開放静置条件において $E_{sp}$ の測定を行ったところ、水溶液中での $E_{sp}$ に比べてやや卑な値が得られた。 $E_{R, CREV}$ は、溶液中の陰イオン濃度依存性については、NaCl濃度の低下とともに貴になることが確認されたが、 $HCO_3^-$ 濃度や $SO_4^{2-}$ 濃度及びpHについては本報での測定範囲内では依存性は認められなかった。さらに、NaCl溶液で測定した $E_{sp}$ と $E_{R, CREV}$ を比較したところ、かなり低いNaCl濃度においてもすきま腐食発生の可能性のあったことがわかった。

次に、温度と沖合い溶液中のNaCl濃度との条件についても再不動態化法を適用し、温度とNaCl濃度との間でのチタンのすきま腐食領域を把握した。

各実験の測定結果と比較する目的で、 $E_{sp}$ や $E_{R, CREV}$ に関する他の文献の調査も行ったが、本報の結果とほぼ整合性のとれることがわかった。

## 目次

|  |    |
|--|----|
| 1. はじめに .....  | 1  |
| 2. チタンのEsp の測定及び他文献の調査 .....                             | 2  |
| 2.1 チタンのEsp の測定 .....                                    | 2  |
| 2.1.1 測定項目 .....   | 2  |
| 2.1.2 試験条件 .....   | 2  |
| 2.1.3 測定方法 .....   | 3  |
| 2.1.4 測定結果 .....   | 3  |
| 2.1.4.1 Esp の経時変化 .....                                  | 3  |
| 2.1.4.2 Esp の温度及びpH依存性 .....                             | 3  |
| 2.1.4.3 Esp の雰囲気に対する依存性 .....                            | 4  |
| 2.1.4.4 材質間での比較 .....                                    | 4  |
| 2.1.4.5 NaCl単独マトリックスでの試験結果 .....                         | 4  |
| 2.1.4.6 研磨後の処理方法を変えての測定 .....                            | 4  |
| 2.1.4.7 圧縮ベントナイト中でのEsp の測定結果 .....                       | 5  |
| 2.2 チタンのEsp に関する文献調査 .....                               | 5  |
| 3. チタンの $E_{R, CREV}$ の測定, Espとの比較及び他文献との比較 .....        | 6  |
| 3.1 チタンの $E_{R, CREV}$ の測定 .....                         | 6  |
| 3.1.1 測定項目 .....   | 6  |
| 3.1.2 試験条件 .....   | 6  |
| 3.1.3 試験方法 .....   | 6  |
| 3.1.3.1 試験溶液 .....                                       | 6  |
| 3.1.3.2 試験装置 .....                                       | 6  |
| 3.1.3.3 すきま腐食の発生 .....                                   | 7  |
| 3.1.3.4 $E_{R, CREV}$ の測定方法 .....                        | 7  |
| 3.1.3.5 別セルへ溶液を移す方法 .....                                | 7  |
| 3.1.4 試験結果 .....   | 8  |
| 3.2 測定した $E_{R, CREV}$ の他文献との比較 .....                    | 8  |
| 3.2.1 比較した項目 .....                                       | 8  |
| 3.2.2 比較の結果 .....  | 8  |
| 3.2.2.1 $E_{R, CREV}$ に及ぼすNaCl濃度の影響 .....                | 8  |
| 3.2.2.2 $E_{R, CREV}$ に及ぼす $HCO_3^-$ 濃度の影響 .....         | 8  |
| 3.2.2.3 $E_{R, CREV}$ に及ぼす $SO_4^{2-}$ 濃度の影響 .....       | 9  |
| 3.2.2.4 $E_{R, CREV}$ に及ぼすpHの影響 .....                    | 9  |
| 3.3 $E_{R, CREV}$ とEsp の比較 .....                         | 9  |
| 4. チタンの $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ の測定及び他文献との比較 ..... | 10 |
| 4.1 チタンの $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ の測定 .....         | 10 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.1 測定項目 .....                                      | 10  |
| 4.1.2 試験条件 .....                                      | 10  |
| 4.1.3 測定方法 .....                                      | 10  |
| 4.1.3.1 試験溶液 .....                                    | 10  |
| 4.1.3.2 試験装置及びすきま腐食の発生 .....                          | 10  |
| 4.1.3.3 $T_{R, CREV}$ の測定 .....                       | 11  |
| 4.1.3.4 $C_{R, CREV}$ の測定 .....                       | 11  |
| 4.1.4 試験結果 .....                                      | 11  |
| 4.1.4.1 $T_{R, CREV}$ の測定結果 .....                     | 11  |
| 4.1.4.2 $C_{R, CREV}$ の測定結果 .....                     | 11  |
| 4.1.4.3 温度及び塩化ナトリウム溶液濃度に関するすきま腐食マップの作成 .....          | 11  |
| 4.2 チタンの $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ の他文献との比較 ..... | 11  |
| 5. まとめ .....  | 13  |
| 5.1 Esp に関するまとめ .....                                 | 13  |
| 5.2 $E_{R, CREV}$ に関するまとめ .....                       | 13  |
| 5.3 $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ に関するまとめ .....       | 14  |
| 6. 今後の課題 .....  | 15  |
| 7. 引用文献 .....   | 16  |
| 表 .....   | 17  |
| 図 .....   | 47  |
| Appendix-1 Esp 測定結果 (生データ) .....                      | 82  |
| Appendix-2 $E_{R, CREV}$ 測定結果 (生データ) .....            | 174 |

## 表一覧

|        |  |
|--------|--|
| 表 1    | Esp 測定に用いた供試材の化学組成   |
| 表 2-1  | Esp 試験条件表-1(G1 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)                            |
| 表 2-2  | Esp 試験条件表-2(G1 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)                               |
| 表 2-3  | Esp 試験条件表-3(G1 Ti, 静置条件)                                     |
| 表 3-1  | Esp 試験条件表-4(G2 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)                            |
| 表 3-2  | Esp 試験条件表-5(G2 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)                               |
| 表 3-3  | Esp 試験条件表-6(G2 Ti, 静置条件)                                     |
| 表 3-4  | Esp 試験条件表-7(G2 Ti, NaCl 溶液を用いた測定)                            |
| 表 3-5  | Esp 試験条件表-8(G2 Ti, 研磨後の処理を変えた測定)                             |
| 表 3-6  | Esp 試験条件表-9(G2 Ti, 圧縮ベントナイト中での測定)                            |
| 表 4-1  | Esp 試験条件表-10(G12 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)                          |
| 表 4-2  | Esp 試験条件表-11(G12 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)                             |
| 表 4-3  | Esp 試験条件表-12(G12 Ti, 静置条件)                                   |
| 表 5-1  | Esp 試験結果表-1(G1 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)                            |
| 表 5-2  | Esp 試験結果表-2(G1 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)                               |
| 表 5-3  | Esp 試験結果表-3(G1 Ti, 静置条件)                                     |
| 表 6-1  | Esp 試験結果表-4(G2 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)                            |
| 表 6-2  | Esp 試験結果表-5(G2 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)                               |
| 表 6-3  | Esp 試験結果表-6(G2 Ti, 静置条件)                                     |
| 表 6-4  | Esp 試験結果表-7(G2 Ti, NaCl 溶液を用いた測定)                            |
| 表 6-5  | Esp 試験結果表-8(G2 Ti, 研磨後の処理を変えた測定)                             |
| 表 6-6  | Esp 試験結果表-9(G2 Ti, 圧縮ベントナイト中での測定)                            |
| 表 7-1  | Esp 試験結果表-10(G12 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)                          |
| 表 7-2  | Esp 試験結果表-11(G12 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)                             |
| 表 7-3  | Esp 試験結果表-12(G12 Ti, 静置条件)                                   |
| 表 8    | G2 Ti, 研磨後の放置時間の違いによるEsp の変化                                 |
| 表 9    | 試験条件別回帰直線表   |
| 表 10-1 | チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その1)                               |
| 表 10-2 | チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その2)                               |
| 表 10-3 | チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その3)                               |
| 表 10-4 | チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その4)                               |
| 表 10-5 | チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その5)                               |
| 表 11   | $E_{R, CREV}$ , $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ 測定に用いた供試材の化学組成 |
| 表 12   | $E_{R, CREV}$ 試験条件表-1(G2 Ti, NaCl濃度の影響-1)                    |
| 表 13   | $E_{R, CREV}$ 試験条件表-2(純Ti, NaCl濃度の影響-2)                      |
| 表 14   | $E_{R, CREV}$ 試験条件表-3(G2 Ti, $HCO_3^-$ 濃度の影響)                |
| 表 15   | $E_{R, CREV}$ 試験条件表-4(G2 Ti, $SO_4^{2-}$ 濃度の影響)              |
| 表 16   | $E_{R, CREV}$ 試験条件表-5(G2 Ti, pHの影響)                          |

|      |  |
|------|--|
| 表 17 | E <sub>R, CREV</sub> 試験結果表-1(G2 Ti, NaCl濃度の影響-1)                         |
| 表 18 | E <sub>R, CREV</sub> 試験結果表-2(純Ti, NaCl濃度の影響-2)                           |
| 表 19 | E <sub>R, CREV</sub> 試験結果表-3(G2 Ti, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度の影響) |
| 表 20 | E <sub>R, CREV</sub> 試験結果表-4(G2 Ti, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度の影響) |
| 表 21 | E <sub>R, CREV</sub> 試験結果表-5(G2 Ti, pHの影響)                               |
| 表 22 | E <sub>R, CREV</sub> に及ぼすNaCl濃度の影響に対する試験条件表                              |
| 表 23 | E <sub>R, CREV</sub> に及ぼすHCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度の影響に対する試験条件表    |
| 表 24 | E <sub>R, CREV</sub> に及ぼすSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度の影響に対する試験条件表    |
| 表 25 | E <sub>R, CREV</sub> に及ぼすpHの影響に対する試験条件表                                  |
| 表 26 | T <sub>R, CREV</sub> の測定結果(G2 Ti)  |
| 表 27 | C <sub>R, CREV</sub> の測定結果(G2 Ti)  |
| 表 28 | 調査した文献とその試験条件  |

## 図一覧

- 図 1      Bsp 測定用試験片
- 図 2-1    Bsp 測定装置-1 (水溶液中)
- 図 2-2    Bsp 測定装置-2 (圧縮ベントナイト中)
- 図 3-1    20% 酸素ガス吹き込み条件におけるBsp の温度及びpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 3-2    20% 酸素ガス吹き込み条件における25℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 3-3    20% 酸素ガス吹き込み条件における50℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 3-4    20% 酸素ガス吹き込み条件における90℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 4-1    窒素ガス吹き込み条件におけるBsp の温度及びpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 4-2    窒素ガス吹き込み条件における25℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 4-3    窒素ガス吹き込み条件における90℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 5-1    静置条件におけるBsp の温度及びpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 5-2    静置条件における25℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 5-3    静置条件における50℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 5-4    静置条件における90℃でのBsp のpH依存性( ASTM G1 Ti)
- 図 6-1    20% 酸素ガス吹き込み条件におけるBsp の温度及びpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 6-2    20% 酸素ガス吹き込み条件における25℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 6-3    20% 酸素ガス吹き込み条件における50℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 6-4    20% 酸素ガス吹き込み条件における90℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 7-1    窒素ガス吹き込み条件におけるBsp の温度及びpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 7-2    窒素ガス吹き込み条件における25℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 7-3    窒素ガス吹き込み条件における50℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 7-4    窒素ガス吹き込み条件における90℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 8-1    静置条件におけるBsp の温度及びpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 8-2    静置条件における25℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 8-3    静置条件における50℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 8-4    静置条件における90℃でのBsp のpH依存性( ASTM G2 Ti)
- 図 9      20% 酸素ガス吹き込み条件, 窒素ガス吹き込み条件及び静置条件におけるBsp の温度及びpH依存性( ASTM G12 Ti)
- 図 10     G1 Ti, G2 Ti 及びG12 Tiの全条件の重ね合わせ
- 図 11     G1 Ti, G2 Ti 及びG12 Tiの20% 酸素ガス吹き込み条件及び静置条件の重ね合わせ
- 図 12     G1 Ti, G2 Ti 及びG12 Tiの窒素ガス吹き込み条件の重ね合わせ
- 図 13     NaCl溶液を用いた測定におけるpH-Bsp図
- 図 14     研磨後の放置時間に対するBsp の変化
- 図 15-1   チタンのBsp に関する文献調査と本研究との比較 (その1)
- 図 15-2   チタンのBsp に関する文献調査と本研究との比較 (その2)
- 図 15-3   チタンのBsp に関する文献調査と本研究との比較 (その3)
- 図 15-4   チタンのBsp に関する文献調査と本研究との比較 (その4)



- 図 16  $E_{R, CREV}$ ,  $T_{R, CREV}$ ,  $C_{R, CREV}$  試験用試験片
- 図 17  $E_{R, CREV}$ ,  $T_{R, CREV}$ ,  $C_{R, CREV}$  測定装置
- 図 18  $E_{R, CREV}$  測定のための電位, 電流操作
- 図 19  $E_{R, CREV}$  に及ぼす NaCl 濃度の影響 (純 Ti)
- 図 20  $E_{R, CREV}$  に及ぼす NaCl 濃度の影響 (ASTM G2 Ti)
- 図 21  $E_{R, CREV}$  に及ぼす  $HCO_3^-$  濃度の影響 (ASTM G2 Ti)
- 図 22  $E_{R, CREV}$  に及ぼす  $SO_4^{2-}$  濃度の影響 (ASTM G2 Ti)
- 図 23  $E_{R, CREV}$  に及ぼす pH の影響 (ASTM G2 Ti)
- 図 24  $E_{R, CREV}$  に及ぼす NaCl 濃度の影響 (ASTM G1 Ti, 他機関1 取得データ)
- 図 25  $E_{R, CREV}$  に及ぼす NaCl 濃度の影響 (ASTM G12 Ti, 他機関1 取得データ)
- 図 26  $E_{R, CREV}$  に及ぼす NaCl 濃度の影響 (JIS 1 種 Ti, 他機関2 取得データ)
- 図 27  $E_{R, CREV}$  に及ぼす NaCl 濃度の影響 (ASTM G12 Ti, 他機関2 取得データ)
- 図 28  $E_{R, CREV}$  に及ぼす NaCl 濃度の影響 (全機関の比較)
- 図 29  $E_{R, CREV}$  に及ぼす  $HCO_3^-$  濃度の影響 (ASTM G1 Ti, 他機関1 取得データ)
- 図 30  $E_{R, CREV}$  に及ぼす  $HCO_3^-$  濃度の影響 (他機関1 との比較)
- 図 31  $E_{R, CREV}$  に及ぼす  $SO_4^{2-}$  濃度の影響 (ASTM G1 Ti, 他機関1 取得データ)
- 図 32  $E_{R, CREV}$  に及ぼす  $SO_4^{2-}$  濃度の影響 (他機関1 との比較)
- 図 33  $E_{R, CREV}$  に及ぼす pH の影響 (JIS 2 種 Ti, PNC 取得データ)
- 図 34  $E_{R, CREV}$  に及ぼす pH の影響 (ASTM G1 Ti, 他機関1 取得データ)
- 図 35  $E_{R, CREV}$  に及ぼす pH の影響 (他機関1 との比較)
- 図 36  $E_{R, CREV}$  と  $E_{sp}$  の比較
- 図 37  $E_{R, CREV}$  と  $E_{sp}$  の比較 (NaCl 単独マトリックス溶液)
- 図 38 ASTM G2 Ti での  $T_{R, CREV}$  の測定 (NaCl 25%)
- 図 39 ASTM G2 Ti での  $T_{R, CREV}$  の測定 (NaCl 10%)
- 図 40 ASTM G2 Ti での  $T_{R, CREV}$  の測定 (NaCl 1%)
- 図 41 ASTM G2 Ti での  $T_{R, CREV}$  の測定 (NaCl 0.5%)
- 図 42 ASTM G2 Ti での  $C_{R, CREV}$  の測定 (温度 100°C)
- 図 43 ASTM G2 Ti の温度, NaCl 濃度に関するすきま腐食マップ
- 図 44 温度, NaCl 濃度に関するすきま腐食発生有無の境界 (他の文献との比較)

## 1. はじめに

高耐食性金属であるチタンをオーバーパックとして使用する場合、不動態化する全面腐食の環境では腐食速度が非常に小さいため長期寿命が期待できる。そこで、チタンで問題となるのは孔食やすきま腐食などの局部腐食である。この高耐食性金属であるチタンの特徴を生かすためには、局部腐食の起こらない条件で使うことが望ましいので、局部腐食発生臨界条件を把握することが課題となる。局部腐食のうち、すきま腐食は最も緩い条件で生じると考えられているので、すきま腐食発生臨界条件を決定することにより、チタンの処分環境下での可使用条件を明確にすることができる。

チタンのすきま腐食発生臨界条件の決定方法としては、辻川らが提唱した再不動態化法が有力な方法として考えられている<sup>1)</sup>。この方法で得られた $E_{R, CREV}$ を対象となる金属の当該環境での $E_{sp}$ と比較することにより、すきま腐食発生の可能性を評価することができる。したがって、すきま腐食の発生条件を再不動態化法の概念に基づき評価するためには、 $E_{R, CREV}$ の値と評価対象となる金属と環境の組合せで決定される $E_{sp}$ の値の両者を測定する必要がある。そこで、本報ではpH、温度、雰囲気パラメータとした $E_{sp}$ の測定及び陰イオン濃度、pHをパラメータとした $E_{R, CREV}$ の測定を行い、両者の比較を行った。また、ベントナイト中における $E_{sp}$ の測定も行った。温度と沖合い溶液中のNaCl濃度との条件についての再不動態化法の適用(すきま腐食再不動態化温度( $T_{R, CREV}$ )及びすきま腐食再不動態化NaCl濃度( $C_{R, CREV}$ )の測定)及び他文献の調査なども合わせて行った。

## 2. チタンのEsp の測定及び他文献の調査

### 2.1 チタンのEsp の測定

#### 2.1.1 測定項目

- (1)pH, 温度, 雰囲気パラメータとしたチタンのEsp の測定
- (2)NaCl単独溶液でのEsp の測定
- (3)研磨後の処理方法を変えた時のEsp の測定
- (4)圧縮ベントナイト中でのEsp の測定

#### 2.1.2 試験条件

##### (1)試験片の材質・形状

試験に供したチタンは、ASTM G1 Ti, ASTM G2 Ti 及びASTM G12 Ti (以下、それぞれG1 Ti, G2 Ti, G12 Tiと略記する)である。それぞれの化学組成を表1に示す。また、試験片の形状を図1に示す。なお、試験片の柄の部分はエポキシ樹脂系接着剤(アラルダイト)により被覆した。

##### (2)試験片の前処理

機械加工により図1に示した試験片を作製した。SiC耐水研磨紙を用いG1 Ti, G2 Ti については#800まで、G12 Ti については#1200まで脱イオン水で湿式研磨を施した後、アセトンで脱脂して試験に供した。

##### (3)試験溶液

pHは2～13の範囲に調整した。pHが8～12付近の溶液はNaHCO<sub>3</sub>及びNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を用い、全炭酸濃度が6000ppmになるように両者の混合比を変えて調整した。低pH及び高pHの調整には試験当初HClやNaOHを用いていたが、試験期間が長いため一定のpH値を保つことができず、特に低pH側では試験開始前と試験終了後のpH値が大きく異なり評価ができなかったものもあった。そこで、pH2, 6及び8付近の溶液を調整するためには、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>とKClやNaOHと混合させた緩衝溶液を用いた<sup>2)</sup>。pHの測定は20%酸素ガス吹き込み条件あるいは窒素ガス吹き込み条件の場合は吹き込み開始2時間後に所定の温度になっていることを確認してから、また静置条件の場合は所定の温度に達したことを確認した後行った。

##### (4)試験温度

室温, 50℃及び90℃の3条件で行った。

##### (5)試験雰囲気

20%酸素ガス吹き込み条件, 窒素ガス吹き込み条件及び大気開放の静置条件で試験を行った。

##### (6)試験期間

時間の許す限り長期間にわたり測定を行ったが、Espが定常的な値を示すまで測定を実施できない条件もあった。短いもので4日間, 長いもので82日間測定を行った。

### 2.1.3 測定方法

#### (1)試験装置

試験装置図を図2に示す。水溶液中での試験(図2-1)では試験片を電解セル内の試験溶液に浸漬させた。圧縮ベントナイト中での試験では図2-2に示すように圧縮ベントナイト中に試験片を埋め込んだ。試験片及び飽和カロメル電極(SCE)をエレクトロメーターに接続し、一定時間ごとに電位をモニターした。

#### (2)Esp の測定

各条件において、所定の温度に調整した後、20%酸素ガスあるいは窒素ガスを2時間以上吹き込んだ。その後、溶液のpHの測定及び試験溶液の採取を行い、チタン試験片を浸漬させた。試験開始直後はほぼ1分ごとに、1時間経過時から72時間(一部は48時間)経過時までは約1時間ごとにEspをモニターした。その後は約1日ごとにモニターし、4~82日間測定を行い、試験終了時にも溶液のpHの測定を行った。NaHCO<sub>3</sub>溶液及びNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液でpHを調整したものについては、試験前後の各濃度を測定した。

測定した試験条件を表2~4に示す。なお、この表に示した試験番号は、表5~7の試験番号及びAppendix-1(Esp測定の生データを収録)に示した試験番号に一致する。

### 2.1.4 測定結果

表5~7中には、試験番号、試験温度、pH調整溶液及びその濃度変化(NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を用いた場合のみ)、試験開始前後pHの変化、最終的に得られたEspの値及び測定日数を示した。表6-4には上記の他に試験雰囲気を加えた。試験を行うに際し、試験溶液濃度およびpHの変化をできるだけ少なくするため、電解セルに還流管を取り付け、内部溶液に変動がないように試験装置を組み立てた。しかし、いくつかの条件では溶液の減少が生じたため若干蒸留水を加えた。pHはNaHCO<sub>3</sub>及びNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を用いたものについては変動が大きく、最大1.7の変化があったが、その他の溶液については殆どのものが±0.5以内の変化にとどまった。

#### 2.1.4.1 Esp の経時変化

Espの経時変化をAppendix-1に示す。このAppendixには、各試験ごとに「開始~終了」までの全データと「開始~数時間」までの部分データの2種類を試験番号順に並べた。

全体的な傾向として、温度、試験溶液のpH及び雰囲気条件(20%酸素ガス吹き込み条件、窒素ガス吹き込み条件、静置条件)に関わらず、浸漬から100時間程度までは時間とともに他の時間帯よりも上昇速度は大きかったが、以降は時間とともにゆるやかに上昇する傾向がみられた。

#### 2.1.4.2 Esp の温度及びpH依存性

G1 TiでのpH-Esp図を図3~5に示す。これらの図に示すように、G1 Tiでは今回測定したpH範囲ではあまり明確なpH依存性は確認できなかった。図6~8にG2 Tiでの結果をG1 Tiの場合とほぼ同様にプロットした結果を示す(試験番号G2-18ではかなり貴な電位

が測定されたが、この試験片は初期電位も相当高く試験当初の研磨が不十分だったことが考えられる。そこで、この試験番号でのデータは除外した。以下の2.1.4.3での評価でも同様の扱いである。) 。20%酸素ガス吹き込み条件及び静置条件ではpHの上昇とともにE<sub>sp</sub>が低下した。窒素ガス吹き込み条件ではばらつきはあるもののpHの上昇とともにE<sub>sp</sub>が低下する傾向が確認された。図9にG12 Tiでの結果を示す。G12 Tiについてはデータ数も少ないことから、どのパラメータについても依存性は確認できなかった。図10には3材料の全ての条件での結果を重ね合わせた図を示す。図11は3材料の20%酸素ガス吹き込み条件下及び静置条件下での結果を、図12は3材料の窒素ガス吹き込み条件下での結果をそれぞれ回帰直線とともに示した。

全体としては、最終的に得られたE<sub>sp</sub>はpHの低下に対し貴化する傾向が確認された。G2 Tiのみでの回帰計算及び3材料全てを用いての計算の両者を行った結果を表9に示す。G1 Ti, G12 TiのE<sub>sp</sub>測定範囲はpHが8～12付近で、そのpH依存性がみられなかったこともあるが、両者の差はあまりなく、20%酸素ガス吹き込み条件と静置条件を合わせて3材料で回帰をとるとpHが1低下するごとにE<sub>sp</sub>はおおよそ18mV程度貴化した。また、窒素ガス吹き込み条件下のみではおおよそ13mV程度貴化した。また、今回の測定においては、温度による影響は把握できなかった。

#### 2.1.4.3 E<sub>sp</sub>の雰囲気に対する依存性

20%酸素ガス吹き込み条件と静置条件を合わせた図11より、今回の実験のpH範囲においては最終的に得られたE<sub>sp</sub>は-214mV<E<sub>sp</sub><+170mVの範囲に、窒素ガス吹き込み条件では図12よりかなり卑な電位を示し、今回の実験のpH範囲においては最終的に得られたE<sub>sp</sub>は-604mV<E<sub>sp</sub><-139mV(vs. SCE)の範囲に入った。

#### 2.1.4.4 材質間での比較

次に、材質間でのE<sub>sp</sub>の比較を行った。

図10の全条件を重ね合わせた図より、3材料の間ではE<sub>sp</sub>の値には、大きな違いはみられなかった。

#### 2.1.4.5 NaCl単独マトリックスでの試験結果

同様の試験手順で試験温度は25℃、溶液組成をNaCl 1%及び25%に調整し、窒素ガス吹き込み条件、20%酸素ガス吹き込み条件及び静置条件で9日間各溶液に浸漬させ、E<sub>sp</sub>をモニタリングした。試験結果を表6-4に示す。また、この表をpHとE<sub>sp</sub>で整理したものを図13に示す。測定したE<sub>sp</sub>は、窒素ガス吹き込み条件では-562mV、-363mV(vs. SCE)とかなり卑な電位を示した。20%酸素ガス吹き込み条件及び静置条件ではほぼ同様の傾向を示し、-149mV<E<sub>sp</sub><-47mV(vs. SCE)の範囲に入った。

#### 2.1.4.6 研磨後の処理方法を変えての測定

研磨後の試験片の処理状態がE<sub>sp</sub>にどのような影響を及ぼすのかを調査するために、研磨後の処理方法(試験片試験放置時間)を変えてE<sub>sp</sub>の測定を行った。研磨直後以外の試験片については、浸漬直後1時間程度は電位の低下が認められ(Appendix-1参照)、形成さ

れた酸化皮膜が不安定になっていったと考えられる。その後は、全ての試験で $E_{sp}$  はゆるやかな上昇傾向を示し、酸化皮膜が安定していったものと考えられる。4日間測定を行い得られた結果を表 8及び図 14 に示す。研磨直後のデータは試験番号G2-50 の結果を用いた。同じ1日放置でも、蒸留水中放置の試料の方が大気放置1日よりも貴な電位を示したのは、浸漬初期の電位が蒸留水放置では+50mV(vs. SCE), 大気放置1日では-400mV(vs. SCE)と酸化皮膜の形成状態が異なっていたことが考えられる。大気放置90日でかなりの酸化皮膜が形成され干渉色を発している試料でも初期電位が-80mV(vs. SCE)であることを考えると蒸留水中に放置した試験片に対しては、再度試験を実施する必要があると思われる。

最終的に得られた $E_{sp}$  は、酸化皮膜が成長した大気放置90日の試験片でかなり貴な電位が測定された。また、大気放置1日の試料と研磨直後の試料では約200mVの差がみられたことから、研磨直後の大気放置時間によりかなり結果が異なることがわかった。

#### 2.1.4.7 圧縮ベントナイト中での $E_{sp}$ の測定結果

G2 Ti を用いて、圧縮ベントナイト中で、試験温度25°C、圧縮ベントナイト乾燥密度1.8 g/cm<sup>2</sup>、浸潤溶液をNaCl 1%とし、大気中静置条件においておよそ40日間溶液中に浸漬させて $E_{sp}$  をモニタリングした。試験結果を表6-6 に示す。 $E_{sp}$  の経時変化をみると(Appendix -1参照)、一旦、-180mV(vs. SCE)にまで上昇した後、再び $E_{sp}$  は低下する傾向がみられた。40日後には-260mV(vs. SCE)となり、水溶液中の大気中静置条件下よりも低い $E_{sp}$  値を示した。

#### 2.2 チタンの $E_{sp}$ に関する文献調査

日本の様々な機関が発表したチタンの $E_{sp}$  に関する文献を調査した。調査した文献とその概略を本研究の結果も加えて表 10 にまとめた。また、図 15 には、測定された $E_{sp}$  のとりうる範囲を図示した。

溶液条件は文献ごとにかかなり異なっているものの、脱気条件と空気吹き込み条件のおのおの条件において、文献間では $E_{sp}$  に大きな差は認められなかった。また、本研究と比較しても、その傾向に大きな差は認められなかった。

福田ら<sup>4), 5)</sup>、磯尾ら<sup>6)</sup>及び中山ら<sup>9)</sup>は、pHが1低下するにつれ、自然浸漬電位は59mV貴化すると述べているが、福塚ら<sup>7)</sup>、渡辺ら<sup>11)</sup>及び本研究ではそのような傾向はみられなかった。

その他では、磯尾ら<sup>6)</sup>は自然浸漬電位に及ぼす $\gamma$ 線の影響をH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の添加により模擬している。pHは不明であるが、浸漬後短時間で定常な電位(+205mV vs. SCE)に達したと報告している。

### 3. チタンの $E_{R, CREV}$ の測定, $E_{sp}$ との比較及び他文献との比較

#### 3.1 チタンの $E_{R, CREV}$ の測定

##### 3.1.1 測定項目

- (1) $E_{R, CREV}$ に及ぼすNaCl濃度の影響
- (2) $E_{R, CREV}$ に及ぼす $HCO_3^-$ 濃度の影響
- (3) $E_{R, CREV}$ に及ぼす $SO_4^{2-}$ 濃度の影響
- (4) $E_{R, CREV}$ に及ぼすpHの影響

##### 3.1.2 試験条件

###### (1)試験片の材質とすきま形成材

試験に供したチタンは、工業用純チタン（神戸製鋼製KS40S 及びASTM G2 Ti）である。それぞれの化学組成を表 11 に示す。また、試験片の形状を図 16 に示す。すきま形成材としてポリサルフォン(PSF)を用いチタン/PSFすきまを形成した。締めつけトルク<sup>4)</sup>は 0.4kgf・m とした。

###### (2)試験片の前処理

エメリー紙の#800で蒸留水を用いて湿式研磨し、大気酸化させないように直ちに蒸留水中に保存した。使用直前にも再度エメリー紙の#800で蒸留水を用い研磨を施し試験に供した。

##### 3.1.3 試験方法

###### 3.1.3.1 試験溶液

###### (1) $E_{R, CREV}$ に及ぼすNaCl濃度の影響試験

測定は、NaCl濃度が0.1%, 0.5%, 1%, 10%, 25% の水溶液で行った（表 12, 13参照）。以下の試験の場合も同様であるが、試験温度は90℃(G2 Ti) または100℃(純Ti)，溶存酸素の影響を除くため窒素ガス吹き込み条件下で測定を行った。pHの測定は昇温後行い、測定終了後にも同様の温度で測定を行った。

###### (2) $E_{R, CREV}$ に及ぼす $HCO_3^-$ 濃度の影響試験

溶液中のNaCl濃度が0.5%,  $HCO_3^-$ 濃度がそれぞれ1000ppm, 3000ppm, 6000ppm, 12000ppmの水溶液で行った（表 14 参照）。

###### (3) $E_{R, CREV}$ に及ぼす $SO_4^{2-}$ 濃度の影響試験

溶液中のNaCl濃度が0.5%,  $SO_4^{2-}$ 濃度がそれぞれ500ppm, 3000ppm, 5000ppm, 10000ppmの水溶液で行った（表 15 参照）。

###### (4) $E_{R, CREV}$ に及ぼすpHの影響試験

溶液中のNaCl濃度が0.1%, pHが3 ~12の範囲で行った（表 16 参照）。pH調整にはHCl及びNaOHを用いた。

###### 3.1.3.2 試験装置

試験装置図を図 17 に示す。試験片を電解セル内の試験溶液に浸漬させ、試験片, Pt製対極及び飽和カロメル電極(SCE)をポテンシオスタットに接続した。ポテンシオスタット

に接続したマイクロコンピュータにより、電位/電流操作を自動的に行った。

### 3.1.3.3 すきま腐食の発生

すきま腐食再不動態化法により $B_{R, CREV}$ を測定するためには、あらかじめ強制的にすきま腐食を発生させなければならない。そこで、まず100℃、25%NaCl水溶液に試験片を浸漬し、その表面が濡れた状態ですきま形成材をチタン製ボルト/ナットで締めつけすきまを形成した。次に、その試験片を浸漬させ、ポテンシオスタットを用い試験片電位を-200mV (vs. SCE)の定電位に保持しすきま腐食を発生させた。そして、すきま腐食発生後は少なくとも12時間以上保持しすきま腐食を成長させた。

### 3.1.3.4 $B_{R, CREV}$ の測定方法

3.1.3.3の方法ですきま腐食を発生させた試験片を図18に示す操作で試験片電位を降下させ、試片電流が不動態保持電流密度レベル(数 $\mu A$ )になりアノード方向への経時増加を示さなくなった最も貴な電位を $B_{R, CREV}$ とした。以下にその手順を示す。

- (1)上記の3.1.3.3の手順に従いすきま腐食を成長させた後、試験片を所定の濃度のNaCl溶液を満たした別のセルに移す(3.1.3.5参照)。電位を-200mV(vs. SCE)に設定し、一定時間保持しすきま腐食の成長が継続していることを確認する。
- (2)(1)で得られた試験片を自然浸漬状態にしてから30mV/minの割合で試験片電位を上昇させる。このとき、ある一定の電流に到達すれば定電流保持(保持時間:2時間)を行う。この時の電流値は(1)ですきま腐食の成長が継続しているときに得られた電流値を設定する。
- (3)(2)の状態から、すきま腐食が成長を停止する不安がない電位領域までは1mV/min程度の速さで電位を下げる。それ以降は、5 $\mu A$ の電流増加が見られると直ちに電位を5mV降下させる。
- (4)(3)の過程で電流が5 $\mu A$ 以下となりアノード方向への経時増加を示さなくなった最も貴な電位を $B_{R, CREV}$ とする。

### 3.1.3.5 別セルへ溶液を移す方法

NaCl溶液の濃度が10%以下の場合、すきま腐食を発生させることができなかった。そこで、全ての試験を行う場合はまず25%NaCl溶液中ですきま腐食を発生させ、別セルの設定濃度の溶液に移しかえた。移しかえる際に、急激に濃度を低下させるとすきま腐食の成長が停止するおそれがあるため、それぞれの濃度に対し以下のような方法で行った。

#### (1)NaCl濃度25%

そのまま $B_{R, CREV}$ 試験へ

#### (2)NaCl濃度10%

25%溶液→10%溶液に移し24時間保持した後、 $B_{R, CREV}$ 試験へ

#### (3)NaCl濃度1%

25%溶液→10%(24時間保持)→1%とし、24時間保持した後、 $B_{R, CREV}$ 試験へ

#### (4)NaCl濃度0.5%

25%溶液→10%(24時間保持)→1%(24時間保持)→0.5%とし、24時間保持した後、



E<sub>R, CREV</sub>試験へ

(5)NaCl0.1%

25% 溶液→10%(24時間保持) →1%(24 時間保持) →0.5%(24 時間保持) →0.1%とし、24 時間保持した後、E<sub>R, CREV</sub>試験へ

### 3.1.4 試験結果

E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすNaCl濃度の影響、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の影響及びpHの影響について得られた結果を表 17 ~21に示す(Appendix-2 に生データを収録している。)。また、この表をもとに横軸を各種陰イオン濃度及びpH、縦軸をE<sub>R, CREV</sub>としてプロットしたものを図 19 ~23に示す。これより、E<sub>R, CREV</sub>はHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の影響については、今回測定したパラメータの範囲内では明確な濃度依存性を示さなかった。また、pHについても今回測定した範囲内ではE<sub>R, CREV</sub>に対し、影響はみられなかった。しかし、E<sub>R, CREV</sub>はNaCl濃度依存性を示し、その濃度が低くなるにつれE<sub>R, CREV</sub>は貴化することがわかった。

## 3.2 測定したE<sub>R, CREV</sub>の他文献との比較

### 3.2.1 比較した項目

- (1)E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすNaCl濃度の影響
- (2)E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響
- (3)E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の影響
- (4)E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすpHの影響

### 3.2.2 比較の結果

#### 3.2.2.1 E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすNaCl濃度の影響

E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすNaCl濃度の影響について本研究で測定した結果は図 19, 20に示した通りである。図 24, 25は他機関1でのデータ<sup>12)</sup>、図 26, 27は以前に委託研究で実施した結果(他機関2)でのデータ<sup>13), 15)</sup>である。それぞれの測定条件は表 22 にまとめた。全機関のデータを重ね合わせたものを図 28 に示す。他機関のG12 Tiでの結果はかなり貴なE<sub>R, CREV</sub>が得られているのがわかる。その他の材質については、すきま形成材が異なってもE<sub>R, CREV</sub>に大差はなかった。

#### 3.2.2.2 E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響

E<sub>R, CREV</sub>に及ぼすHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響について、本研究で測定した結果は図 21 に示した通りである。以前に委託研究で実施した結果<sup>14)</sup>(他機関1)を図 29 に示す。測定条件は表 23 にまとめた。本研究のデータを重ね合わせたものを図 30 に示す。3.3.2.1 のNaCl濃度依存性でNaCl濃度が0.5%でのE<sub>R, CREV</sub>は、PNCと他機関1では大差はなかったが、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度依存性の試験においては、NaCl濃度0.5%、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度0ppmの条件においては他機関1ではかなり貴なE<sub>R, CREV</sub>が測定されている。他機関1での測定データは実測データから判断すると、すきま腐食の成長程度が不十分であること(成長条件はPNCと同じで50μAで120分であるが実測データからは定電流保持の状況がみうけられない)及び測定

終了時の電流値もかなり高く、正確な測定ができていないのではないかと考えられる。結果が貴になったのは、すきま腐食の成長が不十分であるためにかなり貴な電位で再不動態化したことが大きな原因であるように思われる。しかし、他機関1においてもPNCでの結果と同じく $\text{HCO}_3^-$ 濃度依存性はみられなかった。

### 3.2.2.3 $E_{R, CREV}$ に及ぼす $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の影響

$E_{R, CREV}$ に及ぼす $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の影響について、本研究で測定した結果は図 22 に示した通りである。以前に委託研究で実施した結果<sup>14)</sup> (他機関1)を図 31 に示す。それぞれの測定条件は表 24 にまとめた。本研究のデータを重ね合わせたものを図 32 に示す。

3.3.2.2 の $\text{HCO}_3^-$ 濃度依存性の場合と同様に、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度依存性の試験においても、NaCl濃度0.5%、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度0ppmの条件においては他機関1ではかなり貴な $E_{R, CREV}$ が測定されている。その原因は3.3.2.2の場合と同様であった。しかし、他機関1においてもPNCでの結果と同じく、 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度依存性はみられなかった。

### 3.2.2.4 $E_{R, CREV}$ に及ぼすpHの影響

$E_{R, CREV}$ に及ぼすpHの影響について、本研究で測定した結果は図 23 に示した通りである。また、社内資料<sup>15)</sup>のデータを図 33、他機関1でのデータ<sup>12)</sup>を図 34 に示す。それぞれの測定条件は表 25 にまとめた。また、本研究のデータと重ね合わせたものを図 35 に示す。いずれの場合においても測定範囲内においてpHによる依存性はみられなかった。

## 3.3 $E_{R, CREV}$ と $E_{sp}$ の比較

ベントナイト中の水のpHが弱アルカリ性であることを考慮して、pH9での $E_{sp}$ の値を3.1で得られた回帰直線から求め $E_{R, CREV}$ と比較した。図11の回帰直線より20%酸素ガス吹き込み条件及び静置条件では $E_{sp}$ は-97mV、図12の回帰直線より窒素ガス吹き込み条件下では $E_{sp}$ は-316mVと求められる。図 36 に $E_{sp}$ と $E_{R, CREV}$ の比較を示す。20%酸素ガス吹き込み条件及び静置条件での $E_{sp}$ と $E_{R, CREV}$ を比較すると純チタンではどの条件でも $E_{sp}$ の方が貴であり、すきま腐食の発生する可能性がある。G12 TiではNaCl濃度がおよそ0.2%以上ですきま腐食が発生する可能性がある。窒素ガス吹き込み条件での $E_{sp}$ と $E_{R, CREV}$ を比較すると純チタンはNaCl濃度がおよそ0.03%以上で、G12 TiではNaCl濃度がおよそ3%以上ですきま腐食が発生する可能性がある。また、NaCl単独マトリックスでの $E_{sp}$ 測定結果と比較したものを図 37 に示す。試験点数が少ないことや温度条件が異なるなど比較条件としては不十分だが、今回の測定によりTi/PSFすきまにおいて、すきま腐食の発生の可能性のあることがわかった。

#### 4. チタンの $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ の測定及び他文献との比較

##### 4.1 チタンの $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ の測定

###### 4.1.1 測定項目

(1) $T_{R, CREV}$ の測定

(2) $C_{R, CREV}$ の測定

(3)温度及びNaCl濃度に関するすきま腐食マップの作成

###### 4.1.2 試験条件

(1)試験片の材質とすきま形成材

試験に供したのはASTM G2 Tiである。化学組成は表 11 に、また、試験片の形状も図 16 に示した通りである。すきま形成材としては、ポリサルフォンを用いチタン/ポリサルフォン(PSF) すきまを形成した。締めつけトルク<sup>4)</sup>は0.4kgf・m とした。

(2)試験片の前処理

エメリー紙の#800で蒸留水を用いて湿式研磨し、大気酸化させないように直ちに蒸留水中に保存した。使用直前にも再度エメリー紙の#800で蒸留水を用い研磨を施し試験に供した。

###### 4.1.3 測定方法

###### 4.1.3.1 試験溶液

すきま腐食を発生させるための溶液として、温度100℃、NaCl濃度25% の水溶液を用いた。なお、溶存酸素の影響を取り除くため、この溶液に窒素ガスを吹き込んだ。

###### 4.1.3.2 試験装置及びすきま腐食の発生

試験装置図は図 17 に示した通りで、試験片を電解セル内の試験溶液に浸漬させ、試験片、Pt製対極及び飽和カロメル電極(SCE)をポテンシostatに接続した。そして、試験片電位を-200mV(vs. SCE)の定電位に保持しすきま腐食を発生させた。この-200mV(vs. SCE)は脱気溶液中のチタンの $E_{sp}$ として報告<sup>7), 8)</sup>されている範囲(本研究を含む)に含まれており、辻川らもこの電位を採用している<sup>1)</sup>。すきま腐食発生後は少なくとも24時間以上保持しすきま腐食を成長させた。

###### 4.1.3.3 $T_{R, CREV}$ の測定方法

以下の手順に従い、測定を行った。

(1)4.1.3.2 の方法に従い、すきま腐食を発生させる。

(2)NaCl濃度が25% 以外の試験では、別セルに入れた所定の濃度のNaCl溶液中(10%, 1%, 0.5%)に試験片を移し、各溶液において-200mV(vs. SCE)の電位で24時間保持する。

(3)電位を-200mV(vs. SCE)に保持したまま、24時間ごとに試験溶液の温度を10℃ずつ低下させる。

(4)(3)の過程で、再不動態化する温度を各NaCl溶液の $T_{R, CREV}$ とする。

#### 4.1.3.4 $C_{R, CREV}$ の測定方法

以下の手順に従い、測定を行った。

- (1)4.1.3.2の方法に従い、すきま腐食を発生させる。
- (2)24時間ごとに、別セルに準備した所定濃度の溶液(10%, 1%, 0.5%)に交換する。
- (3)(2)の過程で再不動態化する時のNaCl溶液の濃度を100℃における $C_{R, CREV}$ とする。

#### 4.1.4 試験結果

##### 4.1.4.1 $T_{R, CREV}$ の測定結果

$T_{R, CREV}$ の測定を行った結果を表26に示す。また、各濃度ごとに経過時間(h)に対し試片電流( $\mu A$ )をプロットした図を図38~41に示す。その結果、NaCl濃度が低くなるに従い、 $T_{R, CREV}$ は高くなる傾向がみられた。

##### 4.1.4.2 $C_{R, CREV}$ の測定結果

$C_{R, CREV}$ の測定を行った結果を表27に示す。また、経過時間(h)に対し試片電流( $\mu A$ )をプロットした図42に示す。温度が100℃の時の $C_{R, CREV}$ は0.1%であった。

##### 4.1.4.3 温度及びNaCl濃度に関するすきま腐食マップの作成

$T_{R, CREV}$ 、 $C_{R, CREV}$ 測定結果をもとに、温度及びNaCl濃度に関するすきま腐食マップを作成した。図43にマップを示す。図中の●印は $T_{R, CREV}$ 及び $C_{R, CREV}$ の測定により得た点で、実線はこれらの点をなめらかに結んだものである。この実線は、温度及びNaCl濃度に関するすきま腐食の臨界条件を示しており、実線より上はすきま腐食領域、実線より下は不動態領域となる。

#### 4.2 チタンの $T_{R, CREV}$ 、 $C_{R, CREV}$ の他文献との比較

これまでに報告されている再不動態化法による試験及びすきま腐食発生試験を調査し、試験結果との比較を行った。調査した文献とその試験条件を表28にまとめた。また、図44には、他の文献で得られた温度、NaCl濃度に関するすきま腐食発生有無の境界を本研究で得られた結果と合わせて示した。この図では、再不動態化法においては $T_{R, CREV}$ 値を発生試験においてはすきま腐食発生下限界温度をプロットした。

このうち、辻川らの研究<sup>1)</sup>は、本研究と同様に再不動態化法を用い、脱気条件でTi/Tiすきまを形成させて試験を実施している(材質はJIS 2種Ti)。本研究を辻川らの結果と比較すると、高濃度NaCl溶液側では顕著な差はみられないものの、低濃度NaCl溶液側では本研究の方が、すきま腐食領域が広いことが分かった。すなわち、Ti/TiすきまよりもTi/PSFすきまの方がより低濃度側の方ですきま腐食に対し厳しいすきまであることがわかった。

また、すきま腐食発生試験としては、山内ら<sup>16)</sup>の試験及び下郡ら<sup>17)</sup>の試験を取り上げた。山内らはJIS 2種Tiを用い脱気条件でTi/Tiすきまを形成させた。そして、4~6% NaCl溶液で4~6週間浸漬させ、すきま腐食発生の有無を調べている。測定したNaCl溶液の濃度範囲が狭いため、図44からはその傾向がよく分からないが、本研究及び辻川らの研究の値とよく一致している。一方、下郡らは、純Ti(規格は不明)を用い、非脱気条件

でTi/Ti すきまを形成させた。そして、0.01～16.5% 塩化ナトリウム溶液で120 時間浸漬させ、すきま腐食発生の有無を調べている。この試験では、試験期間が短いことなどから、各NaCl濃度に対し、すきま腐食発生下限界温度はやや高い値が得られている。

## 5. まとめ

### 5.1 Espに関するまとめ

- (1)pHが2 ~13の範囲においてEsp は、20%酸素ガス吹き込み条件及び静置条件では-214mV <Esp<+170mV(VS. SCE) の範囲に、窒素ガス吹き込み条件では-604mV<Esp<-139mV(vs. SCE) の範囲に入ることがわかった。
- (2)pHが低下するにつれ、Esp は貴になることが確認された。
- (3)室温、50℃、90℃で試験を実施したが、温度による影響は把握できなかった。
- (4)G1 Ti, G2 Ti 及びG12 Tiにおいては、材質間のEsp の差は認められなかった。
- (5)研磨後の処理方法を変えてEsp を測定した結果、研磨後の放置時間が長いほどEsp は貴になることがわかった。
- (6)大気中静置条件下の圧縮ベントナイト中でEsp を測定したところ、水溶液中でのEsp に比べて、やや低い値を示した。
- (7)既存の文献におけるチタンのEsp 測定例の調査を行った結果、本研究で得られたEsp の値は文献の値と大差はなかった。

### 5.2 E<sub>R, CREV</sub>に関するまとめ

- (1)90℃(G2 Ti) 及び100℃(純Ti) でNaCl濃度を25% ~0.1%に変化させE<sub>R, CREV</sub>測定したところ、E<sub>R, CREV</sub>はNaCl濃度依存性を示し、その濃度が低くなるにつれE<sub>R, CREV</sub>は貴化することがわかった。
- (2)G2 Ti を用い、90℃、NaCl濃度が0.5%で、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度を12000ppmまでの範囲及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度を10000ppmまでの範囲で変化させE<sub>R, CREV</sub>を測定したところ、各イオン濃度に対する依存性を示さないことがわかった。
- (3)G2 Ti を用い、90℃、NaCl濃度が0.1%で、pH が3 ~12の範囲内でE<sub>R, CREV</sub>を測定したところ、このpH範囲においてはE<sub>R, CREV</sub>はpH依存性を示さないことがわかった。
- (4)本研究で測定したE<sub>R, CREV</sub>を他文献での結果と比較したところ、NaCl濃度依存性に関しては、他機関のG12 Tiでの結果はかなり貴なE<sub>R, CREV</sub>が得られているのがわかる。その他の材質については、すきま形成材が異なってもE<sub>R, CREV</sub>に大差はなかった。
- (5)HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度依存性及びSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度依存性に関しては、他機関1のデータにおいてすきま腐食の成長が不十分であったことが考えられるため、本研究で得られたデータよりもE<sub>R, CREV</sub>はやや貴であった。しかし、他機関1及びPNCのデータにおいて、各イオン濃度が上昇しても測定したイオン濃度範囲においてはE<sub>R, CREV</sub>に対し大きな影響は与えなかった。
- (6)pH依存性に関しては、PNC 及び他機関のいずれの場合においても測定範囲内においてpHによる依存性はみられなかった。
- (7)20% 酸素ガス吹き込み条件及び静置条件でのEsp と E<sub>R, CREV</sub>を比較すると純チタンではどの条件でもEspの方が貴であり、すきま腐食の発生する可能性がある。G12 TiではNaCl濃度がおよそ0.2%以上ですきま腐食が発生する可能性がある。窒素ガス吹き込み条件でのEsp と E<sub>R, CREV</sub>を比較すると純チタンはNaCl濃度がおよそ0.03%以上で、G12 TiではNaCl濃度がおよそ3%以上ですきま腐食が発生する可能性がある。また、NaCl 単独マトリックスでのEsp 測定値と比較した結果、Ti/PSFすきまにおいて、すきま腐食発生の可能

性のあることがわかった。

### 5.3 $T_{R, CREV}$ , $C_{R, CREV}$ に関するまとめ

- (1)  $T_{R, CREV}$ の測定により, NaCl濃度が低くなるに従い,  $T_{R, CREV}$ は高くなることがわかった。
- (2)  $C_{R, CREV}$ の測定により, 温度が100℃の時の $C_{R, CREV}$ は0.1%であった。
- (3)  $T_{R, CREV}$ ,  $C_{R, CREV}$ の測定結果をもとに, 温度, NaCl濃度に関するすきま腐食マップを作成し, Ti/PSF すきまにおけるすきま腐食領域を把握した。
- (4) 既存の文献において報告されている再不動態化法による試験及びすきま腐食発生試験との比較調査の結果, 本研究で実施したTi/PSFすきまを用いて得られたすきま腐食領域はTi/Ti すきまでのすきま腐食領域よりもやや広いことがわかった。

## 6. 今後の課題

- (1) 今回の測定においては温度による $E_{sp}$ の影響は小さかったが、さらに詳細な試験により温度による影響を把握する必要がある。試験としては、
  - ①  $E_{R, CREV}$ と比較するためのデータを増やすことも考慮に入れ、NaClのみの溶液マトリックス条件で温度を変えてより厳密に今回と同様の測定を行うこと、
  - ② ①と同様の条件で、アノード分極曲線を測定し温度によるアノード電流密度の違いを把握すること、などを行う必要がある。
- (2)  $E_{R, CREV}$ と $E_{sp}$ との比較の結果、かなり低いNaCl濃度においてもすきま腐食の発生が示唆された。そこで、
  - ① PSFはかなり厳しいすきまであることから、実際の処分環境で考えられるチタン/ベントナイトすきまについてもそのすきま腐食特性を把握する必要があること、同時にベントナイト中での $E_{sp}$ も把握すること、
  - ②  $E_{sp}$ のモデル化によってより長期にわたる電位を把握すること、
  - ③ Ti-0.3Mo-0.8Ni (ASTM G12 Ti), Ti-0.15Pd (ASTM G7 Ti), Ti-5Taなどの耐すきま腐食性チタンのようなより安全側の材料でも $E_{R, CREV}$ の把握を行い、材料ごとに可使用条件を詳細に把握していくこと、などを検討していく必要があると考えられる。
- (3) その他には、ベントナイト中でのチタンの電気化学的挙動はよく知られていないので、その挙動を把握することや水素脆化に関する課題の把握が必要である。



7. 引用文献

- 1) 峯崎 史章, 辻川 茂男 : 鉄と鋼, 72, 292(1986).
- 2) D. D. ペレン, B. デンプシー : 緩衝液の選択と応用, 132, 講談社サイエンティフィック社 (1981).
- 3) S. Motoda, Y. Suzuki, T. Shinohara and S. Tsujikawa : Corrosion Science, vol. 31, 515 (1990).
- 4) 福田 敬則, 明石 正恒 : 第37回腐食防食討論会, 429(1990).
- 5) Takanori Fukuda and Masatsune Akashi : Focus' 91, 210(1991).
- 6) 磯尾 裕幸, 三代川 耕二, 中山 元, 福田 敬則, 明石 正恒 : 腐食防食' 93 講演集, 腐食防食協会, 67(1993).
- 7) 福塚 敏夫, 下郡 一利, 佐藤 広士, 上窪 文生 : 神戸製鋼技報, Vol. 32, No. 1 (1982).
- 8) 小玉 俊明 : 防食技術, 32, 470(1983).
- 9) Guen Nakayama, Hisao Wakamatsu and Masatsune Akashi : Mat. Res. Soc. Symp., Vol. 294, 323(1993).
- 10) 佐藤 広士, 上窪 文生, 下郡 一利, 福塚 敏夫 : 防食技術, 32, 69(1983).
- 11) 渡辺 孝, 内藤 浩光, 鈴木 堅市, 中村 泰 : 鉄と鋼, 72, 136(1986).
- 12) Takanori Fukuda and Masatsune Akashi : Focus' 91, 210(1991).
- 13) 貴堂 高德, 辻川 茂男 : 鉄と鋼, 75, 96(1989).
- 14) 委託研究成果報告書 : チタンのすきま腐食に関する研究, PNC ZJ1150 92-003.
- 15) 石黒 勝彦, 野高 昌之 : オーバーパック材としてのチタン及びチタン合金の耐食性, PNC N8410 87-72.
- 16) 山内重徳, 永田公二, 佐藤史郎 : 防食技術, 29, 558(1980).
- 17) 下郡一利, 佐藤広士, 泊里治夫 : 日本金属学会誌, 42, 567(1978).

表 1 Esp 測定に用いた供試材の化学組成

単位：wt%

|             | H      | O     | N      | C     | Fe    | Mo   | Ni   | Ti   |
|-------------|--------|-------|--------|-------|-------|------|------|------|
| ASTM G1 Ti  | 0.0012 | 0.061 | 0.003  | 0.004 | 0.055 | —    | —    | Bal. |
| ASTM G2 Ti  | 0.0014 | 0.072 | 0.003  | 0.006 | 0.046 | —    | —    | Bal. |
| ASTM G12 Ti | 0.0011 | 0.126 | 0.0049 | 0.012 | 0.078 | 0.30 | 0.86 | Bal. |

表 2-1 Esp 試験条件表-1(G1 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液  | 試験開始前pH |
|-------|-------|---|---------|
| G1-1  | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5130ppm)                                  | 9.20    |
| G1-2  | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5480ppm)                                  | 9.07    |
| G1-3  | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5410ppm)                                  | 8.87    |
| G1-4  | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> (4800ppm)                                  | 9.07    |
| G1-5  | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6130ppm)                     | 11.40   |
| G1-6  | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6100ppm)                     | 12.05   |
| G1-7  | 50 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6220ppm)                     | 11.03   |
| G1-8  | 50 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6220ppm)                     | 11.63   |
| G1-9  | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6300ppm)                     | 10.50   |
| G1-10 | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6150ppm)                     | 10.66   |
| G1-11 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6050ppm) | 10.04   |
| G1-12 | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6190ppm) | 9.80    |
| G1-13 | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6050ppm) | 9.79    |
| G1-14 | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6180ppm) | 9.53    |

※( ) 内は, 試験開始前の分析濃度

表 2-2 Esp 試験条件表-2(G1 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液  | 試験開始前pH |
|-------|-------|---|---------|
| G1-15 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5210ppm)                                  | 9.36    |
| G1-16 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5230ppm)                                  | 9.34    |
| G1-17 | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> (4940ppm)                                  | 9.02    |
| G1-18 | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> (4080ppm)                                  | 9.52    |
| G1-19 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6210ppm)                     | 11.60   |
| G1-20 | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6240ppm)                     | 10.25   |
| G1-21 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6020ppm) | 10.08   |

※( ) 内は, 試験開始前の分析濃度

表 2-3 Esp 試験条件表-3(G1 Ti, 静置条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液  | 試験開始前pH |
|-------|-------|---|---------|
| G1-22 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5740ppm)                                  | 8.30    |
| G1-23 | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5850ppm)                                  | 8.30    |
| G1-24 | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5340ppm)                                  | 8.76    |
| G1-25 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6230ppm)                     | 11.61   |
| G1-26 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6160ppm)                     | 12.00   |
| G1-27 | 50 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6130ppm)                     | 10.98   |
| G1-28 | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6100ppm)                     | 10.30   |
| G1-29 | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6230ppm)                     | 10.60   |
| G1-30 | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6050ppm) | 9.83    |

※( ) 内は, 試験開始前の分析濃度

表 3-1 Esp 試験条件表-4 (G2 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液                                    | 試験開始前pH |
|-------|-------|---|---------|
| G2-1  | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5230ppm)              | 8.67    |
| G2-2  | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6140ppm) | 10.85   |
| G2-3  | 25 °C | NaOH                                      | 13.01   |
| G2-4  | 25 °C | HCl                                       | 3.77    |
| G2-5  | 25 °C | KCl+HCl                                   | 1.45    |
| G2-6  | 25 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.58    |
| G2-7  | 25 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 7.65    |
| G2-8  | 50 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6230ppm) | 10.91   |
| G2-9  | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5360ppm)              | 8.33    |
| G2-10 | 50 °C | KCl+HCl                                   | 1.83    |
| G2-11 | 50 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.86    |
| G2-12 | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> (4880ppm)              | 9.08    |
| G2-13 | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6200ppm) | 10.06   |
| G2-14 | 90 °C | KCl+HCl                                   | 1.30    |
| G2-15 | 90 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.49    |

※pH調整溶液としてNaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を用いた場合の( )内は,  
試験開始前の分析濃度

表 3-2 Esp 試験条件表-5(G2 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液                                    | 試験開始前pH |
|-------|-------|---|---------|
| G2-16 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6160ppm) | 11.06   |
| G2-17 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5680ppm)              | 8.99    |
| G2-18 | 25 °C | KCl+HCl                                   | 2.22    |
| G2-19 | 25 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 6.02    |
| G2-20 | 25 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 7.87    |
| G2-21 | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5740ppm)              | 8.89    |
| G2-22 | 50 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6030ppm) | 11.25   |
| G2-23 | 50 °C | KCl+HCl                                   | 1.43    |
| G2-24 | 50 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.54    |
| G2-25 | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6120ppm) | 9.97    |
| G2-26 | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> (4640ppm)              | 9.50    |
| G2-27 | 90 °C | KCl+HCl                                   | 1.35    |
| G2-28 | 90 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.54    |

※pH調整溶液としてNaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を用いた場合の( )内は,  
試験開始前の分析濃度

表 3-3 Esp 試験条件表-6(G2 Ti, 静置条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液                                    | 試験開始前pH |
|-------|-------|---|---------|
| G2-29 | 25 °C | HCl                                       | 2.84    |
| G2-30 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5120ppm)              | 8.53    |
| G2-31 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6270ppm) | 12.01   |
| G2-32 | 25 °C | NaOH                                      | 13.01   |
| G2-33 | 25 °C | HCl                                       | 3.77    |
| G2-34 | 25 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 8.22    |
| G2-35 | 25 °C | KCl+HCl                                   | 1.63    |
| G2-36 | 25 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.83    |
| G2-37 | 50 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5410ppm)              | 9.07    |
| G2-38 | 50 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6040ppm) | 11.35   |
| G2-39 | 50 °C | KCl+HCl                                   | 1.47    |
| G2-40 | 50 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.58    |
| G2-41 | 90 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6050ppm) | 10.41   |
| G2-42 | 90 °C | NaHCO <sub>3</sub> (5670ppm)              | 8.21    |
| G2-43 | 90 °C | KCl+HCl                                   | 1.62    |
| G2-44 | 90 °C | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH     | 5.58    |

※pH調整溶液としてNaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>を用いた場合の( )内は、  
試験開始前の分析濃度

表 3-4 Esp 試験条件表-7(G2 Ti, NaCl 溶液を用いた測定)

| 試験番号  | 雰囲気   | 試験温度  | pH調整溶液       | 試験開始前pH |
|-------|-------|-------|--------------|---------|
| G2-45 | 静置    | 25 °C | なし(NaCl 25%) | 5.85    |
| G2-46 | 20%酸素 | 25 °C | なし(NaCl 25%) | 5.68    |
| G2-47 | 窒素    | 25 °C | なし(NaCl 25%) | 5.61    |
| G2-48 | 静置    | 25 °C | なし(NaCl 1%)  | 7.36    |
| G2-49 | 20%酸素 | 25 °C | なし(NaCl 1%)  | 7.17    |
| G2-50 | 窒素    | 25 °C | なし(NaCl 1%)  | 7.03    |

表 3-5 Esp 試験条件表-8(G2 Ti, 研磨後の処理を変えた測定)

| 試験番号            | 雰囲気 | 試験温度  | pH 調整溶液     | 試験開始前pH |
|-----------------|-----|-------|-------------|---------|
| G2-51(大気放置1日)   | 窒素  | 25 °C | なし(NaCl 1%) | 5.85    |
| G2-52(蒸留水中放置1日) | 窒素  | 25 °C | なし(NaCl 1%) | 5.68    |
| G2-53(大気放置90日)  | 窒素  | 25 °C | なし(NaCl 1%) | 5.61    |

表 3-6 Esp 試験条件表-9(G2 Ti, 圧縮ベントナイト中での測定)

| 試験番号  | 試験温度 | pH 調整溶液 (浸潤溶液) | 試験開始前pH     |
|-------|------|----------------|-------------|
| G2-54 | 25°C | なし(NaCl 1%)    | 5.85 (浸潤溶液) |



表 4-1 Esp 試験条件表-10 (G12 Ti, 20% 酸素ガス吹き込み条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液                              | 試験開始前pH |
|-------|-------|-------------------------------------|---------|
| G12-1 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> ( )              | 8.61    |
| G12-2 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( ) | 11.95   |

※試験開始前の分析濃度は未測定。

表 4-2 Esp 試験条件表-11 (G12 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液                              | 試験開始前pH |
|-------|-------|-------------------------------------|---------|
| G12-3 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> ( )              | 9.45    |
| G12-4 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( ) | 11.38   |
| G12-5 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( ) | 10.94   |

※試験開始前の分析濃度は未測定。

表 4-3 Esp 試験条件表-12 (G12 Ti, 静置条件)

| 試験番号  | 試験温度  | pH調整溶液                              | 試験開始前pH |
|-------|-------|-------------------------------------|---------|
| G12-6 | 25 °C | NaHCO <sub>3</sub> ( )              | 8.32    |
| G12-7 | 25 °C | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( ) | 12.09   |

※試験開始前の分析濃度は未測定。

表 5-1 Esp 試験結果表-1 (G1 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液 (ppm)<br>(開始前→終了後)  | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp 測定日数<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|--|-------------------|-------------------------------|------|
| G1-1     | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5130→4020)                                     | 9.20→ 9.78        | -122                          | 34日  |
| G1-2     | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5480→4140)                                     | 9.07→ 9.78        | -163                          | 30日  |
| G1-3     | 50°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5410→4380)                                     | 8.87→ 9.04        | -67                           | 24日  |
| G1-4     | 90°C     | NaHCO <sub>3</sub> (4800→1390)                                     | 9.07→ 9.45        | -139                          | 31日  |
| G1-5     | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6130→7530)                        | 11.40→10.05       | -90                           | 34日  |
| G1-6     | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6100→8300)                        | 12.05→10.30       | -113                          | 28日  |
| G1-7     | 50°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6220→7340)                        | 11.03→10.20       | -63                           | 29日  |
| G1-8     | 50°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6220→9440)                        | 11.63→10.90       | -56                           | 30日  |
| G1-9     | 90°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6300→4180)                        | 10.50→ 9.60       | -86                           | 31日  |
| G1-10    | 90°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6150→6990)                        | 10.66→ 9.29       | -41                           | 30日  |
| G1-11    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(6050→5670) | 10.04→10.01       | -150                          | 28日  |
| G1-12    | 50°C     | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(6190→5560) | 9.80→ 9.60        | -100                          | 28日  |
| G1-13    | 50°C     | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(6050→5850) | 9.79→10.02        | -90                           | 24日  |
| G1-14    | 90°C     | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(6180→3790) | 9.53→ 9.59        | -118                          | 28日  |

※溶液濃度の単位はppm

表 5-2 Esp 試験結果表-2 (G1 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液 (ppm)<br>(開始前→終了後)  | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp 測定日数<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|--|-------------------|-------------------------------|------|
| G1-15    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5210→3040)                                     | 9.36→10.75        | -157                          | 35日  |
| G1-16    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5230→4850)                                     | 9.34→9.57         | -263                          | 23日  |
| G1-17    | 90°C     | NaHCO <sub>3</sub> (4940→383)                                      | 9.02→9.85         | -500                          | 31日  |
| G1-18    | 90°C     | NaHCO <sub>3</sub> (4080→961)                                      | 9.52→10.14        | -323                          | 28日  |
| G1-19    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6210→5280)                        | 11.60→11.42       | -222                          | 29日  |
| G1-20    | 90°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6240→4340)                        | 10.25→9.98        | -246                          | 29日  |
| G1-21    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(6020→4740) | 10.08→9.79        | -397                          | 23日  |

※溶液濃度の単位はppm

表 5-3 Esp 試験結果表-3 (G1 Ti, 静置条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液 (ppm)<br>(開始前→終了後)  | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp 測定日数<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|--|-------------------|-------------------------------|------|
| G1-22    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5740→5670)                                     | 8.30→8.89         | -133                          | 23日  |
| G1-23    | 50°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5850→5900)                                     | 8.30→9.30         | -92                           | 30日  |
| G1-24    | 90°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5340→3650)                                     | 8.76→9.25         | -201                          | 27日  |
| G1-25    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6230→6280)                        | 11.61→11.27       | -172                          | 29日  |
| G1-26    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6160→6290)                        | 12.00→11.71       | -178                          | 30日  |
| G1-27    | 50°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6130→6240)                        | 10.98→10.35       | -140                          | 24日  |
| G1-28    | 90°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6100→6730)                        | 10.30→9.50        | -163                          | 27日  |
| G1-29    | 90°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6230→6510)                        | 10.60→9.32        | -58                           | 30日  |
| G1-30    | 50°C     | NaHCO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub><br>(6050→5830) | 9.83→10.02        | -70                           | 23日  |

※溶液濃度の単位はppm

表 6-1 Esp 試験結果表-4(G2 Ti, 20%酸素ガス吹き込み条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液(ppm)<br>(開始前→終了後)                    | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp 測定日数<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|---|-------------------|-------------------------------|------|
| G2-1     | 25℃      | NaHCO <sub>3</sub> (5230→3060)              | 8.67→ 9.91        | -108                          | 21日  |
| G2-2     | 25℃      | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6140→8780) | 10.85→10.37       | -154                          | 21日  |
| G2-3     | 25℃      | NaOH  | 13.01→12.41       | -90                           | 24日  |
| G2-4     | 25℃      | HCl   | 3.77 → 3.85       | +9                            | 32日  |
| G2-5     | 25℃      | KCl+HCl                                     | 1.45→ 1.64        | +40                           | 27日  |
| G2-6     | 25℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.58→ 5.71        | -5                            | 27日  |
| G2-7     | 25℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 7.65→ 7.81        | -92                           | 27日  |
| G2-8     | 50℃      | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6230→7300) | 10.91→ 9.77       | -146                          | 21日  |
| G2-9     | 50℃      | NaHCO <sub>3</sub> (5360→3850)              | 8.33→ 9.84        | -17                           | 27日  |
| G2-10    | 50℃      | KCl+HCl                                     | 1.83→ 1.43        | -48                           | 23日  |
| G2-11    | 50℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.86→ 5.51        | -30                           | 23日  |
| G2-12    | 90℃      | NaHCO <sub>3</sub> (4880→2380)              | 9.08→10.10        | -63                           | 21日  |
| G2-13    | 90℃      | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6200→5520) | 10.06→10.22       | -114                          | 21日  |
| G2-14    | 90℃      | KCl+HCl                                     | 1.30→ 2.04        | +28                           | 22日  |
| G2-15    | 90℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.49→ 5.73        | +13                           | 22日  |

※溶液濃度の単位はppm

表 6-2 Esp 試験結果表-5 (G2 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液(ppm)<br>(開始前→終了後)                    | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|---|-------------------|--------------------------|------|
| G2-16    | 25℃      | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6160→6720) | 11.06→11.86       | -220                     | 22日  |
| G2-17    | 25℃      | NaHCO <sub>3</sub> (5680→3760)              | 8.99→10.54        | -357                     | 27日  |
| G2-18    | 25℃      | KCl+HCl                                     | 2.22→ 1.57        | +203                     | 23日  |
| G2-19    | 25℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 6.01→ 5.62        | -139                     | 23日  |
| G2-20    | 25℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 7.87→ 7.85        | -491                     | 21日  |
| G2-21    | 50℃      | NaHCO <sub>3</sub> (5470→2400)              | 8.89→10.59        | -377                     | 27日  |
| G2-22    | 50℃      | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6030→9730) | 11.25→11.58       | -422                     | 23日  |
| G2-23    | 50℃      | KCl+HCl                                     | 1.43→ 1.43        | -257                     | 16日  |
| G2-24    | 50℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.54→ 5.51        | -239                     | 27日  |
| G2-25    | 90℃      | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6120→3520) | 9.97→10.75        | -604                     | 21日  |
| G2-26    | 90℃      | NaHCO <sub>3</sub> (4640→5880)              | 9.50→10.23        | -148                     | 27日  |
| G2-27    | 90℃      | KCl+HCl                                     | 1.35→ 1.92        | -227                     | 19日  |
| G2-28    | 90℃      | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.54→ 5.79        | -223                     | 22日  |

※溶液濃度の単位はppm

表 6-3 Esp 試験結果表-6 (G2 Ti, 静置条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液(ppm)<br>(開始前→終了後)                    | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|---|-------------------|--------------------------|------|
| G2-29    | 25°C     | HCl   | 2.84→2.75         | +91                      | 27日  |
| G2-30    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5120→5130)              | 8.53→9.33         | -124                     | 27日  |
| G2-31    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6270→6170) | 12.01→11.45       | -166                     | 27日  |
| G2-32    | 25°C     | NaOH  | 13.01→12.67       | -205                     | 38日  |
| G2-33    | 25°C     | HCl   | 3.77→3.99         | +39                      | 36日  |
| G2-34    | 25°C     | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 8.22→7.70         | -44                      | 23日  |
| G2-35    | 25°C     | KCl+HCl                                     | 1.63→2.23         | -86                      | 22日  |
| G2-36    | 25°C     | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.83→6.02         | -31                      | 22日  |
| G2-37    | 50°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5410→5880)              | 9.07→9.92         | -109                     | 27日  |
| G2-38    | 50°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6040→7890) | 11.35→10.55       | -121                     | 36日  |
| G2-39    | 50°C     | KCl+HCl                                     | 1.47→1.49         | -3                       | 27日  |
| G2-40    | 50°C     | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.58→5.59         | +18                      | 27日  |
| G2-41    | 90°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (6050→7030) | 10.41→9.68        | -116                     | 36日  |
| G2-42    | 90°C     | NaHCO <sub>3</sub> (5670→3710)              | 8.21→9.77         | -214                     | 35日  |
| G2-43    | 90°C     | KCl+HCl                                     | 1.62→1.64         | +170                     | 23日  |
| G2-44    | 90°C     | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH       | 5.58→5.46         | -46                      | 19日  |

※溶液濃度の単位はppm

表 6-4 Esp 試験結果表-7 (G2 Ti, NaCl 溶液を用いた測定)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | 雰囲気   | pH調整溶液<br>(開始前→終了後) | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|-------|---------------------|-------------------|--------------------------|------|
| G2-45    | 25°C     | 静置    | なし(NaCl 25%)        | 5.85 →            | -149                     | 9日   |
| G2-46    | 25°C     | 20%酸素 | なし(NaCl 25%)        | 5.68→             | -88                      | 9日   |
| G2-47    | 25°C     | 窒素    | なし(NaCl 25%)        | 5.61→             | -363                     | 9日   |
| G2-48    | 25°C     | 静置    | なし(NaCl 1%)         | 7.36→             | -49                      | 9日   |
| G2-49    | 25°C     | 20%酸素 | なし(NaCl 1%)         | 7.17→             | -47                      | 9日   |
| G2-50    | 25°C     | 窒素    | なし(NaCl 1%)         | 7.03→             | -562                     | 9日   |

※試験終了後pHは未測定

表 6-5 Esp 試験結果表-8(G2 Ti, 研磨後の処理を変えた測定)

| 試験<br>番号     | 試験<br>温度 | pH調整溶液<br>(開始前→終了後) | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|--------------|----------|---------------------|-------------------|--------------------------|------|
| G2-51(大気1日)  | 25℃      | なし(NaCl 1%)         | 7.96→             | -350                     | 4日   |
| G2-52(蒸留水1日) | 25℃      | なし(NaCl 1%)         | 7.58→             | -97                      | 4日   |
| G2-53(大気90日) | 25℃      | なし(NaCl 1%)         | 7.57→             | -49                      | 4日   |

※試験終了後pHは未測定, 試験雰囲気は全て窒素吹き込み条件

表 6-6 Esp 試験結果表-9(G2 Ti, 圧縮ベントナイト中での測定)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液<br>(浸潤溶液) | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|------------------|-------------------|--------------------------|------|
| G2-54    | 25℃      | なし(NaCl 1%)      | 5.85→6.72         | -263                     | 40日  |

※試験終了後pHは未測定

表 7-1 Esp 試験結果表-10 (G12 Ti, 20% 酸素ガス吹き込み条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液(ppm)<br>(開始前→終了後)              | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------|------|
| G12-1    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> ( → )              | 8.61→9.68         | -152                     | 82日  |
| G12-2    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( → ) | 11.95→9.85        | -193                     | 57日  |

※試験前後の溶液濃度は未測定。

表 7-2 Esp 試験結果表-11 (G12 Ti, 窒素ガス吹き込み条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液(ppm)<br>(開始前→終了後)              | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------|------|
| G12-3    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> ( → )              | 9.45→10.76        | -359                     | 27日  |
| G12-4    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( → ) | 11.38→11.47       | -334                     | 57日  |
| G12-5    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( → ) | 10.94→11.42       | -372                     | 45日  |

※試験前後の溶液濃度は未測定。

表 7-3 Esp 試験結果表-12 (G12 Ti, 静置条件)

| 試験<br>番号 | 試験<br>温度 | pH調整溶液(ppm)<br>(開始前→終了後)              | pH変化<br>(開始前→終了後) | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|----------|----------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------|------|
| G12-6    | 25°C     | NaHCO <sub>3</sub> ( → )              | 8.32→9.45         | -178                     | 49日  |
| G12-7    | 25°C     | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ( → ) | 12.09→11.29       | -207                     | 49日  |

※試験前後の溶液濃度は未測定。



表 8 G2 Ti, 研磨後の放置時間の違いによるEsp の変化

| 研磨後放置時間     | 試験温度 | 雰囲気 | 試験終了後Esp<br>(mV vs. SCE) | 測定日数 |
|-------------|------|-----|--------------------------|------|
| 大気0日 (研磨直後) | 25℃  | 窒素  | -562                     | 4日   |
| 大気1日        | 25℃  | 窒素  | -350                     | 4日   |
| 蒸留水1日       | 25℃  | 窒素  | -97                      | 4日   |
| 大気90日       | 25℃  | 窒素  | -49                      | 4日   |

表 9 試験条件別回帰直線表

単位 : mV

| 条件    |           | A       | B       |
|-------|-----------|---------|---------|
| G2 Ti | 20%酸素+ 静置 | 73.997  | -18.552 |
| G2 Ti | 窒素**      | -184.06 | -15.964 |
| 全材料   | 20%酸素+ 静置 | 65.895  | -18.140 |
| 全材料   | 窒素**      | -201.15 | -12.598 |

※回帰直線の式 :  $Y=A+BX$ 

\*\*試験番号G2-18 を除外して計算

表 10-1 チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その1)

| 調査文献                  | 材料                       | 温度           | 試験環境                         | pH  | 溶液条件  | 研磨条件                | 試験日数   | 最終的なEsp                  | 備考   |
|-----------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|---|---|---------------------|--------|--------------------------|--|
| 元田ら <sup>3)</sup>     | 純チタン<br>(JIS1種)          | 10~26°C      | 大気平衡                         | 不明  | 自然海水  | 湿式SiC(#800)<br>+7μt | 35日    | 350mV(vs. SCE)           | <ul style="list-style-type: none"> <li>ステンレス鋼と比較すると浸漬初期から自然浸漬電位は緩やかに上昇するが、不安定な状態が10日間程度続く。</li> <li>材料間(チタンとステンレス)のEspの差は小さい。</li> <li>ステンレス鋼の自然海水中での定常的到達Espに到達するのに要する日数は、最高でも28日程度である。</li> </ul>  |
| 福田ら <sup>4), 5)</sup> | 純チタン<br>(ASTM grade-1)   | 25, 50, 90°C | 溶存酸素飽和<br>(空気吹き込み)           | 6~12<br>Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ,<br>K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> で調整   | 1mmol/l<br>[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]                                       | 不明                  | 1~3 カ月 | -220~+200mV<br>(vs. SCE) | <ul style="list-style-type: none"> <li>浸漬開始後、Espは時間の経過と共に貴化する傾向を示し、特に高pHほど電位の上昇度が大きく、一定時間経過後これらの値はほぼ一定となった。</li> <li>Espは明確なpH依存性を有しており、その依存度は理論値の59mV/decade とほぼ一致した。</li> <li>材質間の影響は小さい。</li> <li>温度依存性は小さい。</li> </ul>   |
|                       | チタン合金<br>(ASTM grade-12) | 25, 50, 90°C | 溶存酸素飽和<br>(空気吹き込み)           | 7~11.5<br>Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ,<br>K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> で調整 | 1mmol/l<br>[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]                                       | 不明                  | 1~3 カ月 | -360~-20mV<br>(vs. SCE)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>材質間の影響は小さい。</li> <li>温度依存性は小さい。</li> </ul>  |
| 磯尾ら <sup>6)</sup>     | チタン合金<br>(材質不明)          | 25, 50, 90°C | 溶存酸素飽和<br>(空気吹き込み)           | 5~12<br>NaHCO <sub>3</sub> ,<br>Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> で調整               | 1mmol/l<br>[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]                                       | 湿式研磨                | 1~3 カ月 | -250~+200mV<br>(vs. SCE) | <ul style="list-style-type: none"> <li>各温度とも浸漬直後の-200mV(vs. SCE)の電位より上昇し始め、室温では200mV(vs. SCE)程度、50°Cでは220mV(vs. SCE)程度、90°Cでは300mV(vs. SCE)程度で上昇は緩やかになり、その後はほぼ一定の速度で電位は上昇した。</li> <li>Espは明確なpH依存性を有しており、その依存度は理論値の59mV/decade とほぼ一致した。</li> <li>材質間の影響は小さい。</li> <li>温度依存性は小さい。</li> </ul>                |
|                       | チタン合金<br>(材質不明)          | 不明           | 溶存酸素8ppm<br>(窒素ガスと酸素ガスを用い調整) | 不明  | 1mmol/l<br>[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]<br>にH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> を添加 | 湿式研磨                | 115日   | +205mV(vs. SCE)          | <ul style="list-style-type: none"> <li>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の供給のない溶液環境では自然浸漬電位が安定するまでに10<sup>7</sup>秒(115日)程度必要としているが、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を供給した溶液環境では、各試料とも浸漬直後より短時間のうちに電位が上昇し、10<sup>3</sup>秒(16分)程度で205mV(vs. SCE)に達し、その後はほぼ一定の電位を示した。→H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>が金属酸化皮膜形成を加速している。</li> </ul> |

表 10-2 チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その2)

| 調査文献              | 材料                       | 温度                 | 試験環境                                  | pH    | 溶液条件  | 研磨条件 | 試験日数   | 最終的なEsp                  | 備考  |
|-------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------|---|------|--------|--------------------------|---|
| 福塚ら <sup>7)</sup> | 純チタン<br>(材質不明)           | 25°C               | 大気平衡                                  | 8     | 自然海水  | 不明   | 不明     | -70~+10mV<br>(vs. SCE)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>左記と同様の条件で、Pt, SUS304, Pb, Naval Brass, Al Bronze, 90/10 Cu-Ni, 70/30 Cu-Ni, Ni, 9Ni Steel, 3Cr-Mo Steel, Mild Steel, Sn, Al, Znの自然浸漬電位の測定がなされている。</li> <li>脱気6%NaCl溶液中での自然浸漬電位の序列は、この文献においては、上記に羅列した最初の方が貴な電位を示し、後ほど卑な電位を示す。</li> </ul>  |
|                   | 純チタン<br>(材質不明)           | 100°C              | 脱気                                    | 8     | 6% NaCl                                     | 不明   | 不明     | -290~-210mV<br>(vs. SCE) |   |
| 小玉ら <sup>8)</sup> | 純チタン<br>(材質不明)           | 150, 200 °C        | 脱気                                    | 不明    | 3%NaCl<br>及び<br>5.5%NaCl                    | 不明   | 不明     | -400~-180mV<br>(vs. SCE) | <ul style="list-style-type: none"> <li>150 °C以上の高温水中での自然浸漬電位の溶存酸素濃度依存性をプロットした試みを示している。</li> <li>横軸に溶存酸素濃度、縦軸に自然浸漬電位をとってプロットすると、温度や塩化物等とは無関係に自然浸漬電位が一つの直線として結ぶことができる。</li> </ul>   |
|                   | 純チタン<br>(材質不明)           | 150, 200,<br>250°C | 溶存酸素<br>濃度<br>10 ~10 <sup>4</sup> ppm | 不明    | 3%NaCl<br>及び<br>5.5%NaCl                    | 不明   | 不明     | +100~+550mV<br>(vs. SCE) |   |
| 中山ら <sup>9)</sup> | 純チタン<br>(ASTM grade-1)   | 20, 50,<br>90°C    | 溶存酸素<br>飽和<br>( 空気吹き<br>込み)           | 6 ~12 | 1mmol/l<br>[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] | 不明   | 1~3 カ月 | -250~+200mV<br>(vs. SCE) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Espは明確なpH依存性を有しており、その依存は理論値の59mV/decade とほぼ一致した。</li> <li>材質間の影響は小さい。</li> <li>温度依存性は小さい。</li> <li>中性自然水環境(pH=7)でのEsp は+0.08mV(vs. SCE)である。ベントナイトと接触した地下水では、pHは10以上となることからEsp は-0.1mV(vs. SCE)よりも低い。このことをE<sub>RE, CREV</sub>と比較し可使用限界NaCl濃度について触れている。</li> <li>(例) <ul style="list-style-type: none"> <li>ASTM grade-1 Ti : 可使用限界NaCl濃度0.04% (90°C), 0.04% 以上ではすま腐食の可能性有り</li> <li>ASTM grade-12 Ti : 可使用限界NaCl濃度0.2% (90°C), 0.2%以上ではすま腐食の可能性有り</li> </ul> </li> </ul> |
|                   | チタン合金<br>(ASTM grade-12) | 20, 50,<br>90°C    | 溶存酸素<br>飽和<br>( 空気吹き<br>込み)           | 6 ~12 | 1mmol/l<br>[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] | 不明   | 1~3 カ月 | -250~+200mV<br>(vs. SCE) |   |

表 10-3 チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その3)

| 調査文献               | 材料              | 温度   | 試験環境               | pH      | 溶液条件                     | 研磨条件            | 試験日数 | 最終的なEsp       | 備考  |
|--------------------|-----------------|------|--------------------|---------|--------------------------|-----------------|------|---------------|---|
| 佐藤ら <sup>10)</sup> | 純チタン<br>(JIS2種) | 70°C | 脱気                 | 0.2 ~10 | 6% NaCl                  | 湿式SiC<br>(#400) | 不明   | -200~-800mV   | <ul style="list-style-type: none"> <li>チタンのEsp と表面不動態皮膜の厚さを測定している。</li> <li>Esp はpHが1 以上では、-200mVの不動態域の電位を示したが、pH が1 以下では急にEsp は低下し活性態に移った。このことからチタンの脱不動態化pHはおよそ1 であると推定される。</li> <li>pH 以下では、不動態皮膜の厚さは5nm 以下となった。</li> </ul> |
| 渡辺ら <sup>11)</sup> | 純チタン<br>(JIS2種) | 20°C | 溶存酸素飽和<br>(空気吹き込み) | 0~6     | NaCl-HCl<br>溶液<br>(濃度不明) | 湿式SiC<br>(#400) | 不明   | -600 ~ +200mV | <ul style="list-style-type: none"> <li>NaCl-HCl系溶液中で、チタンのEsp を測定している。</li> <li>脱不動態化pHはおよそ1 であり、チタンの腐食速度がpH 以下での腐食速度増大を説明している。</li> </ul>   |
|                    | 純チタン<br>(JIS2種) | 20°C | 脱気                 | 0~6     | NaCl-HCl<br>溶液<br>(濃度不明) | 湿式SiC<br>(#400) | 不明   | -700 ~ 0mV    |   |

表 10-4 テタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その4)

| 調査文献 | 材料                       | 温度              | 試験環境                        | pH   | 溶液条件  | 研磨条件                     | 試験日数   | 最終的なEsp                   | 備考  |
|------|--------------------------|-----------------|-----------------------------|------|---|--------------------------|--------|---------------------------|---|
| 本研究  | 純チタン<br>(ASTM grade-1)   | 25, 50,<br>90°C | 大気平衡                        | 8~12 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub> | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 23~35日 | -200 ~ -50mV<br>(vs. SCE) | <ul style="list-style-type: none"> <li>炭酸- 炭酸水素ナトリウムを用い、pHが8 ~12の範囲で測定を行った。</li> <li>材質間の影響は小さい。</li> </ul> |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-1)   | 25, 50,<br>90°C | 溶存酸素<br>飽和<br>( 空気吹き<br>込み) | 8~12 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub> | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 23~35日 | -175 ~ -50mV<br>(vs. SCE) | <ul style="list-style-type: none"> <li>この範囲内ではpH依存性はみられなかった。</li> </ul>                                     |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-1)   | 25, 50,<br>90°C | 脱気                          | 8~12 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub> | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 23~35日 | -500~-160mV<br>(vs. SCE)  |   |
|      | チタン合金<br>(ASTM grade-12) | 25°C            | 大気平衡                        | 8~12 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub> | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 27~82日 | -225~-175mV<br>(vs. SCE)  |   |
|      | チタン合金<br>(ASTM grade-12) | 25°C            | 溶存酸素<br>飽和<br>( 空気吹き<br>込み) | 8~12 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub> | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 27~82日 | -210~-155mV<br>(vs. SCE)  |   |
|      | チタン合金<br>(ASTM grade-12) | 25°C            | 脱気                          | 8~12 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub> | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 27~82日 | -380~-345mV<br>(vs. SCE)  |   |

表 10-5 チタンのEsp に関する文献調査と本研究との比較 (その5)

| 調査文献 | 材料                     | 温度              | 試験環境                        | pH      | 溶液条件  | 研磨条件                     | 試験日数   | 最終的なEsp                    | 備考   |
|------|------------------------|-----------------|-----------------------------|---------|---|--------------------------|--------|----------------------------|--|
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25, 50,<br>90°C | 大気平衡                        | 2~13    | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub><br>KCl+HCl<br>KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 16~38日 | -210~+180mV<br>(vs. SCE)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>温度による影響は小さい。</li> <li>大気平衡条件及び溶存酸素飽和条件では、最終的に得られたEsp はそれぞれpHに対し、定まった傾向がみられた。</li> </ul> |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25, 50,<br>90°C | 溶存酸素<br>飽和<br>( 空気吹き<br>込み) | 2~13    | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub><br>KCl+HCl<br>KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 16~38日 | -150~-50mV<br>(vs. SCE)    |  |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25, 50,<br>90°C | 脱気                          | 2~13    | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ・NaHCO <sub>3</sub><br>KCl+HCl<br>KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> +NaOH | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 16~38日 | -600 ~~-140mV<br>(vs. SCE) | →測定値に+200mVがあったが、他の条件を加えた全ての測定値の中で最も高く、窒素雰囲気中の結果としては異常値の可能性が大きいので、Table 15のグラフでは除外した。  |
| 本研究  | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25°C            | 大気平衡                        | 5.6~7.4 | NaCl 1%, 25%  | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 9日     | -149 ~~-49mV<br>(vs. SCE)  | →NaCl単独マトリックスでの試験  |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25°C            | 溶存酸素<br>飽和<br>( 空気吹<br>込み)  | 5.6~7.4 | NaCl 1%, 25%  | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 9日     | -88 ~~-47mV<br>(vs. SCE)   | →NaCl単独マトリックスでの試験  |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25°C            | 脱気                          | 5.6~7.4 | NaCl 1%, 25%  | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 9日     | -562mV~-363mV<br>(vs. SCE) | →NaCl単独マトリックスでの試験<br><ul style="list-style-type: none"> <li>再不動電位電位との比較の結果、すきま腐食の可能性が示唆された(本文参照)。</li> </ul>                   |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25°C            | 脱気                          | 不明      | NaCl 1%   | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 4日     | -350mV<br>(vs. SCE)        | →研磨後、大気放置1日  |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25°C            | 脱気                          | 不明      | NaCl 1%   | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 4日     | -97mV<br>(vs. SCE)         | →研磨後、蒸留水中放置1日  |
|      | 純チタン<br>(ASTM grade-2) | 25°C            | 脱気                          | 不明      | NaCl 1%   | 湿式SiC<br>(#800)+<br>アセトン | 4日     | -49mV<br>(vs. SCE)         | →研磨後、大気放置90日<br><ul style="list-style-type: none"> <li>研磨後の放置時間によりEsp は大きく違うことが確認された。</li> </ul>                               |

表 11  $E_{R, CREV}$ ,  $T_{R, CREV}$ ,  $C_{R, CREV}$  測定に用いた供試材の化学組成  
 単位：wt%

|                      | H      | O     | N      | C     | Fe    | Ti   |
|----------------------|--------|-------|--------|-------|-------|------|
| 純Ti (神戸製鋼<br>製KS40S) | 0.0020 | 0.034 | 0.0025 | —     | 0.039 | Bal. |
| ASTM G2 Ti           | 0.0014 | 0.072 | 0.003  | 0.006 | 0.046 | Bal. |

表 12 E<sub>R, CREV</sub> 試験条件表-1  
(G2 Ti, NaCl濃度の影響-1)

| 試験番号                | NaCl濃度 (Cl <sup>-</sup> 濃度) |
|---------------------|-----------------------------|
| Cl <sup>-</sup> -1  | 0.1% (607ppm)               |
| Cl <sup>-</sup> -2  | 0.1% (607ppm)               |
| Cl <sup>-</sup> -3  | 0.1% (607ppm)               |
| Cl <sup>-</sup> -4  | 0.1% (607ppm)               |
| Cl <sup>-</sup> -5  | 0.5% (3049ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -6  | 0.5% (3049ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -7  | 0.5% (3049ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -8  | 0.5% (3049ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -9  | 1% (6130ppm)                |
| Cl <sup>-</sup> -10 | 1% (6130ppm)                |
| Cl <sup>-</sup> -11 | 1% (6130ppm)                |
| Cl <sup>-</sup> -12 | 1% (6130ppm)                |
| Cl <sup>-</sup> -13 | 10% (67426ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -14 | 10% (67426ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -15 | 10% (67426ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -16 | 25% (202279ppm)             |
| Cl <sup>-</sup> -17 | 25% (202279ppm)             |
| Cl <sup>-</sup> -18 | 25% (202279ppm)             |
| Cl <sup>-</sup> -19 | 25% (202279ppm)             |
| Cl <sup>-</sup> -20 | 25% (202279ppm)             |



表 13 E<sub>R, CREV</sub> 試験条件表-2  
(純Ti, NaCl濃度の影響-2)

| 試験番号                | NaCl濃度 (Cl <sup>-</sup> 濃度) |
|---------------------|-----------------------------|
| Cl <sup>-</sup> -21 | 0.1% (607ppm)               |
| Cl <sup>-</sup> -22 | 0.1% (607ppm)               |
| Cl <sup>-</sup> -23 | 0.5% (3049ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -24 | 0.5% (3049ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -25 | 0.5% (3049ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -26 | 1% (6130ppm)                |
| Cl <sup>-</sup> -27 | 1% (6130ppm)                |
| Cl <sup>-</sup> -28 | 1% (6130ppm)                |
| Cl <sup>-</sup> -29 | 10% (67426ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -30 | 10% (67426ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -31 | 10% (67426ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -32 | 10% (67426ppm)              |
| Cl <sup>-</sup> -33 | 25% (202279ppm)             |
| Cl <sup>-</sup> -34 | 25% (202279ppm)             |
| Cl <sup>-</sup> -35 | 25% (202279ppm)             |
| Cl <sup>-</sup> -36 | 25% (202279ppm)             |

表 14 E<sub>R, CREV</sub> 試験条件表-3  
(G2 Ti, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響)

| 試験番号                             | NaCl濃度 | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度 |
|----------------------------------|--------|----------------------------------|
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -1 | 0.5%   | 1000ppm                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -2 | 0.5%   | 1000ppm                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -3 | 0.5%   | 3000ppm                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -4 | 0.5%   | 3000ppm                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -5 | 0.5%   | 6000ppm                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -6 | 0.5%   | 6000ppm                          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -7 | 0.5%   | 12000ppm                         |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -8 | 0.5%   | 12000ppm                         |

表 15  $E_{R, CREV}$ 試験条件表-4  
(G2 Ti,  $SO_4^{2-}$ 濃度の影響)

| 試験番号           | NaCl濃度 | $SO_4^{2-}$ 濃度 |
|----------------|--------|----------------|
| $SO_4^{2-}$ -1 | 0.5%   | 500ppm         |
| $SO_4^{2-}$ -2 | 0.5%   | 500ppm         |
| $SO_4^{2-}$ -3 | 0.5%   | 3000ppm        |
| $SO_4^{2-}$ -4 | 0.5%   | 3000ppm        |
| $SO_4^{2-}$ -5 | 0.5%   | 5000ppm        |
| $SO_4^{2-}$ -6 | 0.5%   | 5000ppm        |
| $SO_4^{2-}$ -7 | 0.5%   | 10000ppm       |
| $SO_4^{2-}$ -8 | 0.5%   | 10000ppm       |

表 16  $E_{R, CREV}$ 試験条件表-5  
(G2 Ti, pHの影響)

| 試験番号 | NaCl濃度 | 試験前pH |
|------|--------|-------|
| pH-1 | 0.1%   | 3.04  |
| pH-2 | 0.1%   | 4.08  |
| pH-3 | 0.1%   | 4.60  |
| pH-4 | 0.1%   | 10.47 |
| pH-5 | 0.1%   | 11.14 |
| pH-6 | 0.1%   | 12.00 |

表 17 E<sub>R, GREV</sub> 試験結果表-1 (G2 Ti, NaCl濃度の影響-1)

| 試験番号                | NaCl濃度 (Cl <sup>-</sup> 濃度) | 試験前pH→試験後pH | E <sub>R, GREV</sub> (vs. SCE) |
|---------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| Cl <sup>-</sup> -1  | 0.1% (607ppm)               | 5.80→ 5.92  | -291mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -2  | 0.1% (607ppm)               | 5.90→ 5.95  | -330mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -3  | 0.1% (607ppm)               | 5.77→ 5.81  | -282mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -4  | 0.1% (607ppm)               | 5.87→ 5.91  | -414mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -5  | 0.5% (3049ppm)              | — → — *)    | -429mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -6  | 0.5% (3049ppm)              | — → — *)    | -403mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -7  | 0.5% (3049ppm)              | — → — *)    | -451mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -8  | 0.5% (3049ppm)              | — → — *)    | -386mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -9  | 1% (6130ppm)                | — → — *)    | -405mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -10 | 1% (6130ppm)                | — → — *)    | -458mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -11 | 1% (6130ppm)                | — → — *)    | -429mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -12 | 1% (6130ppm)                | — → — *)    | -380mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -13 | 10% (67426ppm)              | — → — *)    | -441mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -14 | 10% (67426ppm)              | — → — *)    | -462mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -15 | 10% (67426ppm)              | — → — *)    | -456mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -16 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -434mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -17 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -429mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -18 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -351mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -19 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -451mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -20 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -443mV                         |

\*) pH 未測定

表 18 E<sub>R, CREV</sub> 試験結果表-2 (純 Ti, NaCl濃度の影響-2)

| 試験番号                | NaCl濃度 (Cl <sup>-</sup> 濃度) | 試験前pH→試験後pH | E <sub>R, CREV</sub> (vs. SCE) |
|---------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|
| Cl <sup>-</sup> -21 | 0.1% (607ppm)               | — → — *)    | -330mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -22 | 0.1% (607ppm)               | — → — *)    | -350mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -23 | 0.5% (3049ppm)              | — → — *)    | -415mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -24 | 0.5% (3049ppm)              | — → — *)    | -425mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -25 | 0.5% (3049ppm)              | — → — *)    | -311mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -26 | 1% (6130ppm)                | — → — *)    | -395mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -27 | 1% (6130ppm)                | — → — *)    | -383mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -28 | 1% (6130ppm)                | — → — *)    | -370mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -29 | 10% (67426ppm)              | — → — *)    | -427mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -30 | 10% (67426ppm)              | — → — *)    | -424mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -31 | 10% (67426ppm)              | — → — *)    | -395mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -32 | 10% (67426ppm)              | — → — *)    | -430mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -33 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -370mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -34 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -446mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -35 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -435mV                         |
| Cl <sup>-</sup> -36 | 25% (202279ppm)             | — → — *)    | -436mV                         |

\*) pH 未測定

表 19  $E_{R, CREV}$  試験結果表-3 (G2 Ti,  $HCO_3^-$  濃度の影響)

| 試験番号         | NaCl濃度 | $HCO_3^-$ 濃度 | 試験前pH→試験後pH | $E_{R, CREV}$ (vs. SCE) |
|--------------|--------|--------------|-------------|-------------------------|
| $HCO_3^-$ -1 | 0.5%   | 1000ppm      | 8.29 → 8.40 | -399mV                  |
| $HCO_3^-$ -2 | 0.5%   | 1000ppm      | 8.28 → 8.45 | -415mV                  |
| $HCO_3^-$ -3 | 0.5%   | 3000ppm      | 8.26 → 8.27 | -464mV                  |
| $HCO_3^-$ -4 | 0.5%   | 3000ppm      | 8.22 → 8.22 | -392mV                  |
| $HCO_3^-$ -5 | 0.5%   | 6000ppm      | 8.20 → 8.28 | -408mV                  |
| $HCO_3^-$ -6 | 0.5%   | 6000ppm      | 8.21 → 8.29 | -421mV                  |
| $HCO_3^-$ -7 | 0.5%   | 12000ppm     | 8.14 → 8.18 | -472mV                  |
| $HCO_3^-$ -8 | 0.5%   | 12000ppm     | 8.17 → 8.10 | -421mV                  |

表 20  $E_{R, CREV}$  試験結果表-4 (G2 Ti,  $SO_4^{2-}$  濃度の影響)

| 試験番号           | NaCl濃度 | $SO_4^{2-}$ 濃度 | 試験前pH→試験後pH | $E_{R, CREV}$ (vs. SCE) |
|----------------|--------|----------------|-------------|-------------------------|
| $SO_4^{2-}$ -1 | 0.5%   | 500ppm         | 7.03 → 7.24 | -415mV                  |
| $SO_4^{2-}$ -2 | 0.5%   | 500ppm         | 6.98 → 6.90 | -420mV                  |
| $SO_4^{2-}$ -3 | 0.5%   | 3000ppm        | 6.98 → 6.95 | -458mV                  |
| $SO_4^{2-}$ -4 | 0.5%   | 3000ppm        | 6.95 → 6.90 | -470mV                  |
| $SO_4^{2-}$ -5 | 0.5%   | 5000ppm        | 7.49 → 7.46 | -407mV                  |
| $SO_4^{2-}$ -6 | 0.5%   | 5000ppm        | 6.98 → 7.36 | -382mV                  |
| $SO_4^{2-}$ -7 | 0.5%   | 10000ppm       | 7.75 → 8.25 | -290mV                  |
| $SO_4^{2-}$ -8 | 0.5%   | 10000ppm       | 7.81 → 7.93 | -450mV                  |

表 21  $E_{R, CREV}$  試験結果表-5 (G2 Ti, pHの影響)

| 試験番号 | NaCl濃度 | 試験前pH→試験後pH   | $E_{R, CREV}$ (vs. SCE) |
|------|--------|---------------|-------------------------|
| pH-1 | 0.1%   | 3.04 → 3.02   | -294mV                  |
| pH-2 | 0.1%   | 4.08 → 4.50   | -303mV                  |
| pH-3 | 0.1%   | 4.60 → 5.50   | -300mV                  |
| pH-4 | 0.1%   | 10.47 → 9.25  | -317mV                  |
| pH-5 | 0.1%   | 11.14 → 11.14 | -391mV                  |
| pH-6 | 0.1%   | 12.00 → 11.93 | -296mV                  |

表 22 E<sub>R, CREV</sub> に及ぼすNaCl濃度の影響に対する試験条件表

| 測定機関                 | 材質           | すきま形状  | 試験温度 | NaCl濃度    |
|----------------------|--------------|--------|------|-----------|
| PNC                  | 純Ti (神戸製鋼製)  | Ti/PSF | 100℃ | 0.1~25%   |
| PNC                  | ASTM G2 Ti   | Ti/PSF | 90℃  | 0.1~25%   |
| 他機関1 <sup>1,2)</sup> | ASTM G1 Ti   | Ti/PSF | 90℃  | 0.005~20% |
| 他機関1 <sup>1,2)</sup> | ASTM G12 Ti  | Ti/PSF | 90℃  | 0.1~20%   |
| 他機関2 <sup>1,3)</sup> | JIS1種 Ti     | Ti/Ti  | 100℃ | 1~25%     |
| 他機関2 <sup>1,3)</sup> | ASTM G122 Ti | Ti/Ti  | 100℃ | 10~20%    |

表 23 E<sub>R, CREV</sub> に及ぼすHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響に対する試験条件表

| 測定機関                 | 材質         | すきま形状  | 試験温度 | NaCl濃度 | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 濃度 |
|----------------------|------------|--------|------|--------|----------------------------------|
| PNC                  | ASTM G2 Ti | Ti/PSF | 90℃  | 0.5%   | 0 ~12000ppm                      |
| 他機関1 <sup>1,4)</sup> | ASTM G1 Ti | Ti/PSF | 90℃  | 0.5%   | 0 ~200ppm                        |

表 24 E<sub>R, CREV</sub> に及ぼすSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の影響に対する試験条件表

| 測定機関                 | 材質         | すきま形状  | 試験温度 | NaCl濃度 | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 濃度 |
|----------------------|------------|--------|------|--------|----------------------------------|
| PNC                  | ASTM G2 Ti | Ti/PSF | 90℃  | 0.5%   | 0 ~10000ppm                      |
| 他機関1 <sup>1,4)</sup> | ASTM G1 Ti | Ti/PSF | 90℃  | 0.5%   | 0 ~3000ppm                       |

表 25 E<sub>R, CREV</sub> に及ぼすpHの影響に対する試験条件表

| 測定機関                 | 材質         | すきま形状  | 試験温度 | NaCl濃度  | pH    |
|----------------------|------------|--------|------|---------|-------|
| PNC                  | ASTM G2 Ti | Ti/PSF | 90℃  | 0.5%    | 3 ~12 |
| PNC <sup>1,5)</sup>  | JIS 2種 Ti  | Ti/Ti  | 100℃ | 25%     | 5 ~12 |
| 他機関1 <sup>1,2)</sup> | ASTM G1 Ti | Ti/PSF | 90℃  | 1%, 20% | 1 ~11 |

表 26  $T_{R, CREV}$ の測定結果(G2 Ti)

| 塩化ナトリウム濃度 | $T_{R, CREV}$ |
|-----------|---------------|
| 25%       | 40°C          |
| 10%       | 50°C          |
| 1%        | 60°C          |
| 0.5%      | 70°C          |

表 27  $C_{R, CREV}$ の測定結果(G2 Ti)

| 温度    | $C_{R, CREV}$ |
|-------|---------------|
| 100°C | 0.1%          |

表 28 調査した文献とその試験条件

| 文献                 | 試験方法   | 材質         | すきま条件  | 雰囲気   |
|--------------------|--------|------------|--------|-------|
| 本研究                | 再不動態化法 | ASTM G2 Ti | Ti/PSF | 脱気条件  |
| 辻川ら <sup>1)</sup>  | 再不動態化法 | JIS 2種 Ti  | Ti/Ti  | 脱気条件  |
| 山内ら <sup>16)</sup> | 発生法    | JIS 2種 Ti  | Ti/Ti  | 脱気条件  |
| 下郡ら <sup>17)</sup> | 発生法    | 不明 (純Ti)   | Ti/Ti  | 非脱気条件 |

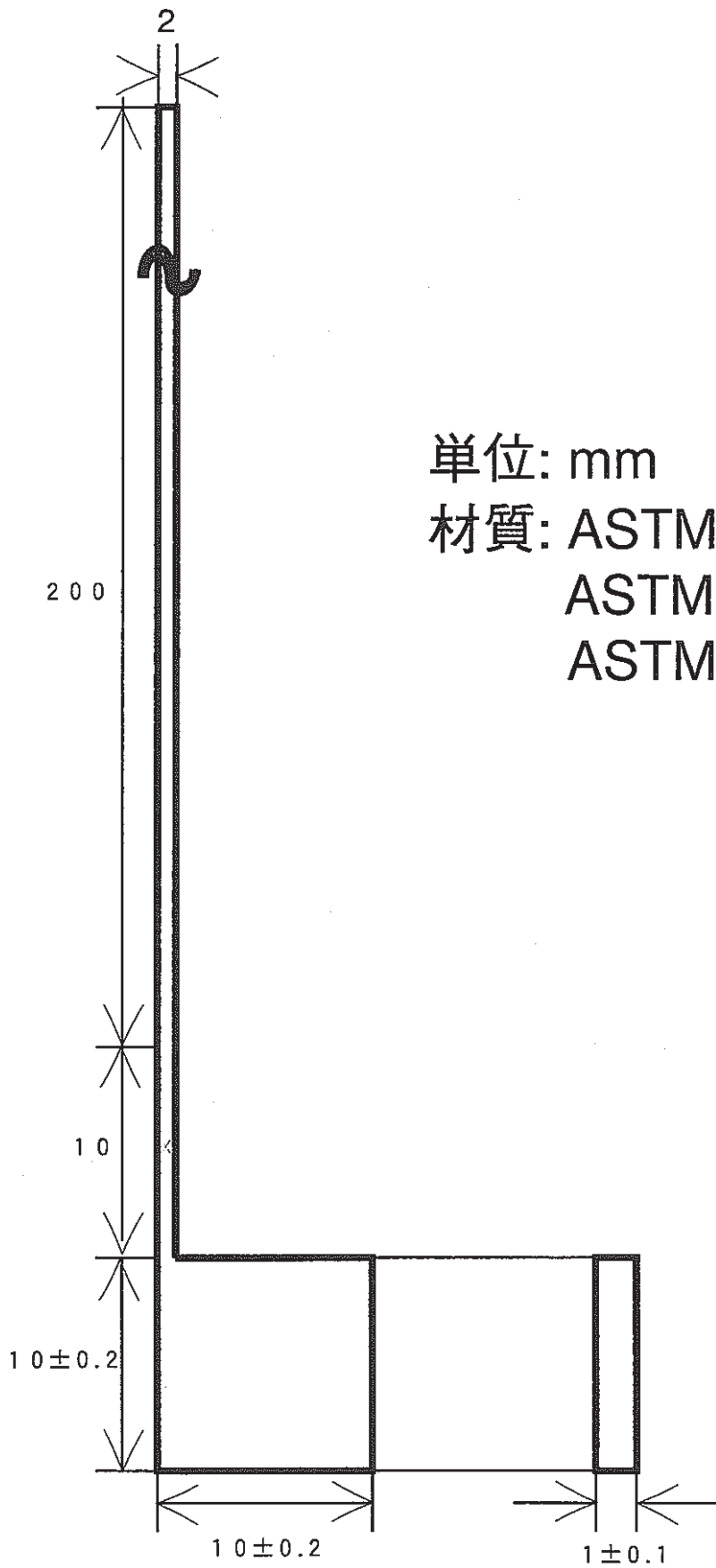


図1 Esp測定用試験片



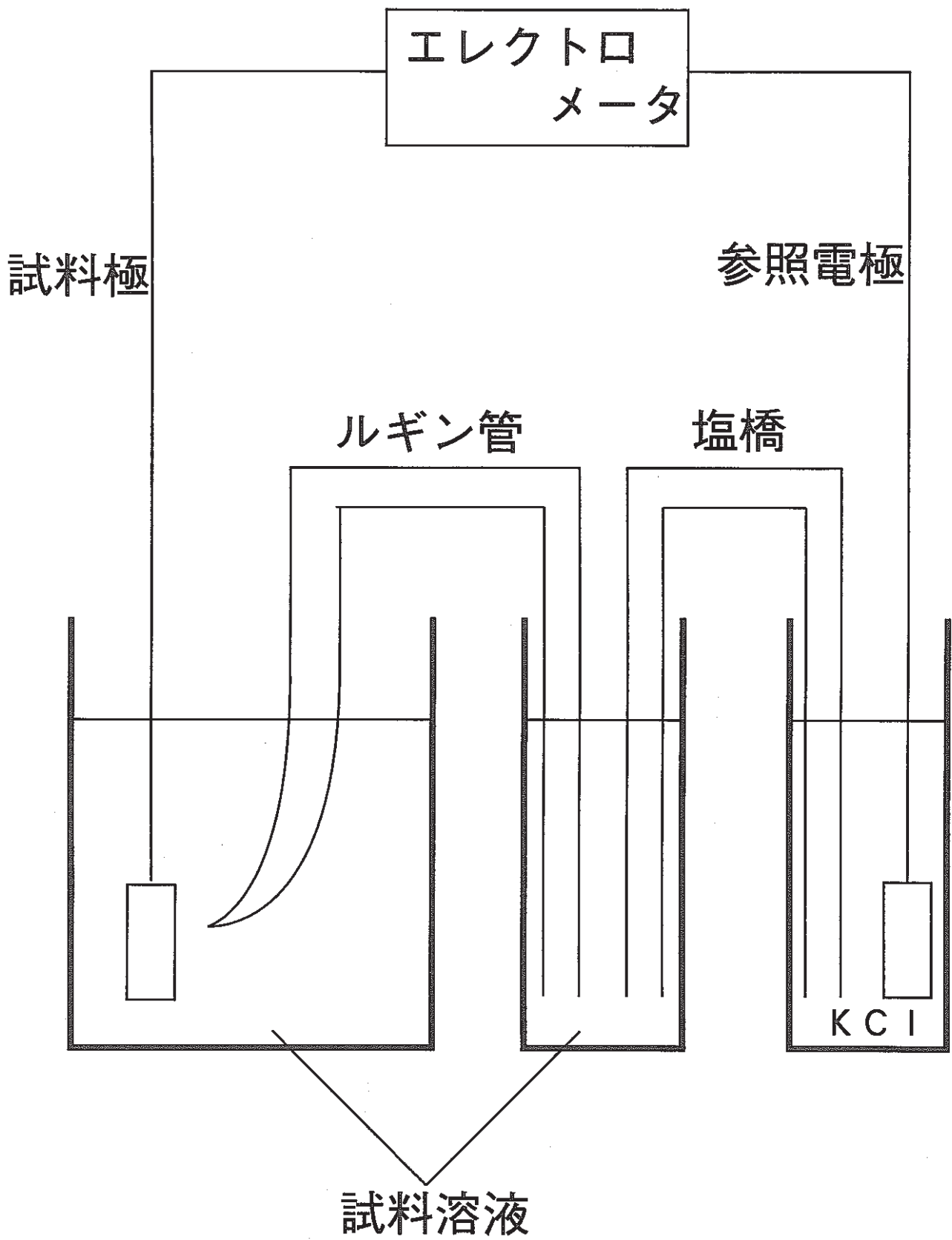


図2-1 Esp測定装置-1(水溶液中)

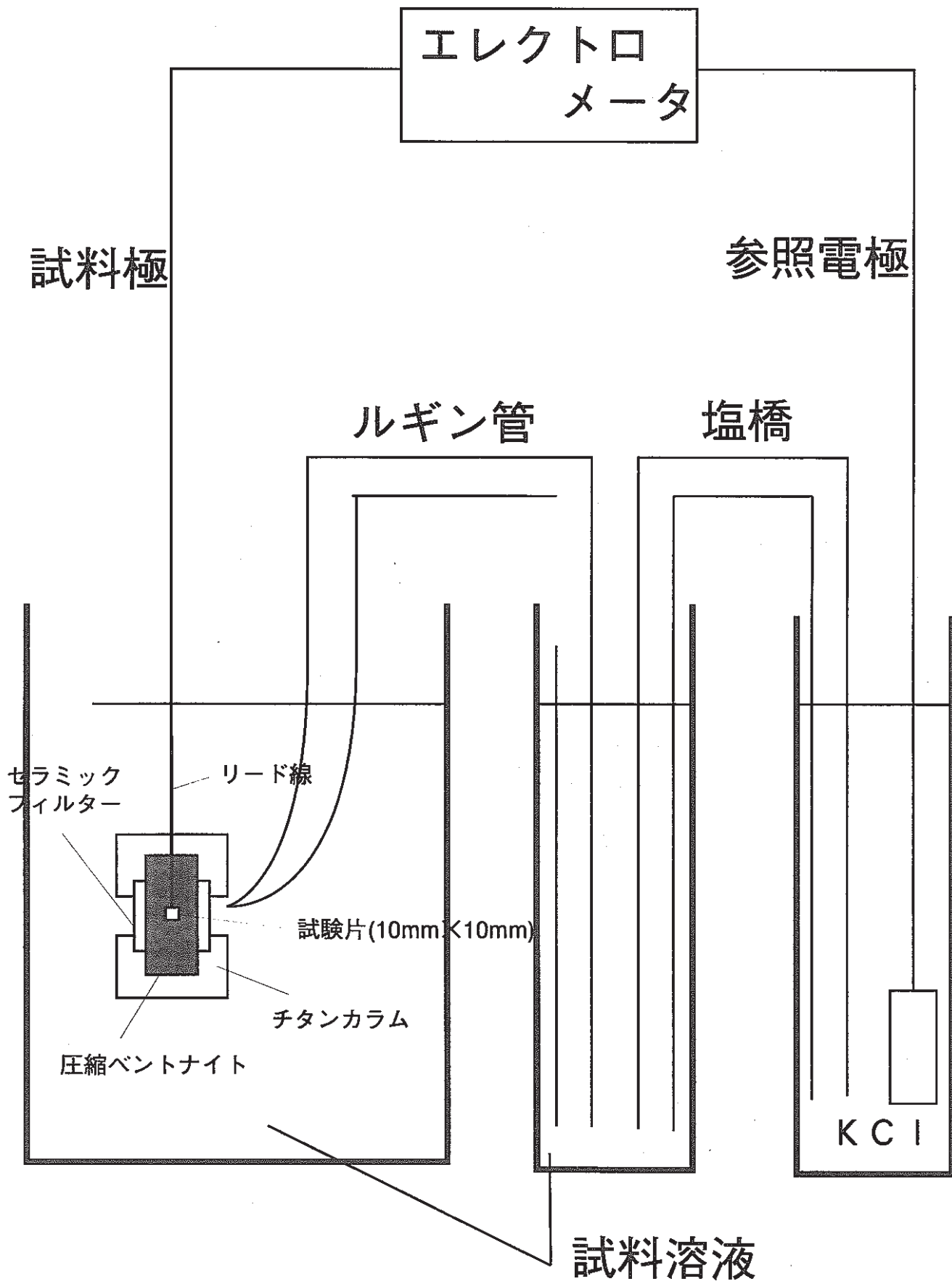


図2-2 Esp測定装置-2(圧縮ベントナイト中)

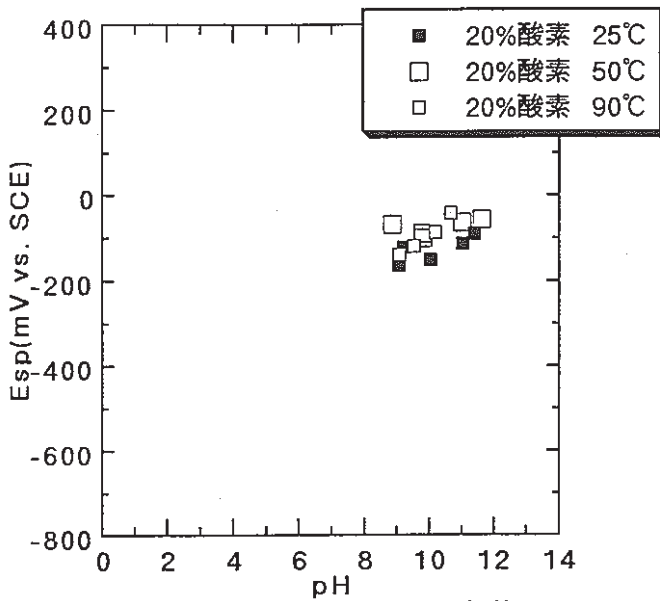


図3-1 20%酸素ガス吹き込み条件における Espの温度及びpH依存性 (ASTM G1 Ti)

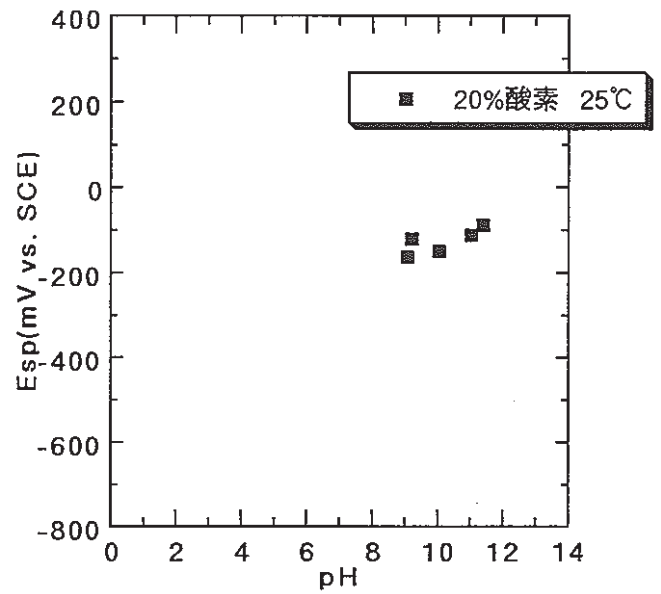


図3-2 20%酸素ガス吹き込み条件における 25°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

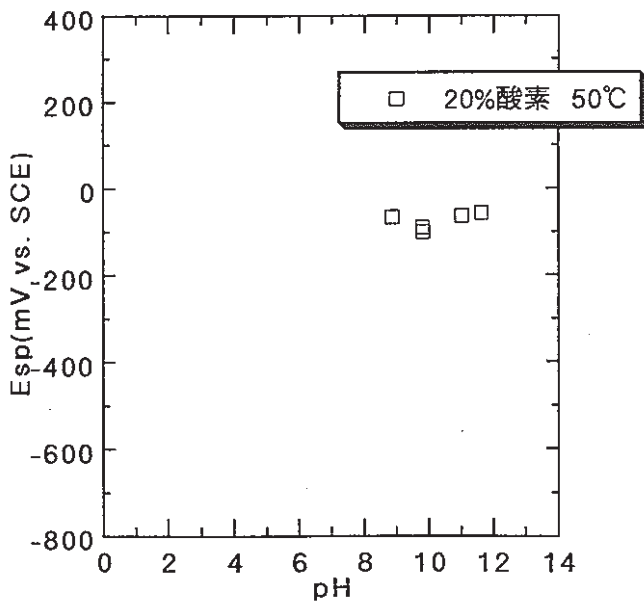


図3-3 20%酸素ガス吹き込み条件における 50°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

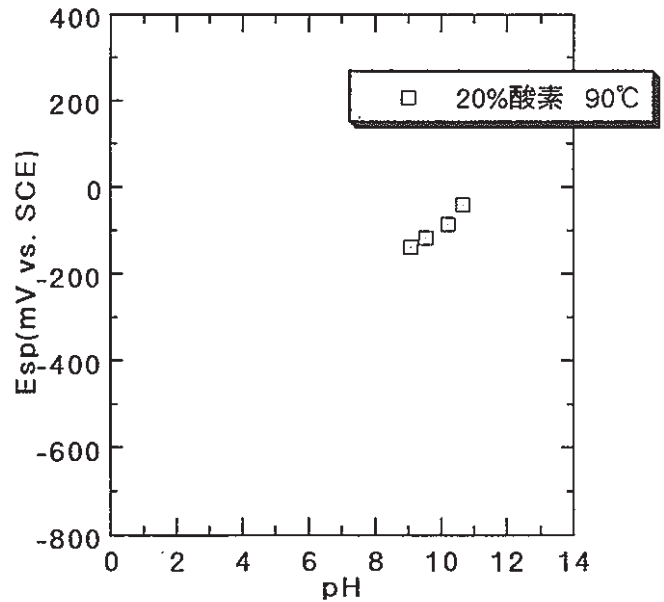


図3-4 20%酸素ガス吹き込み条件における 90°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

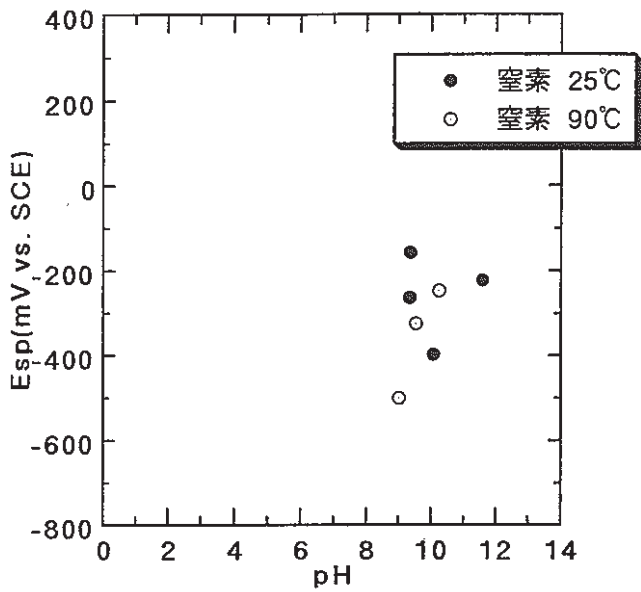


図4-1 窒素ガス吹き込み条件における Espの温度及びpH依存性 (ASTM G1 Ti)

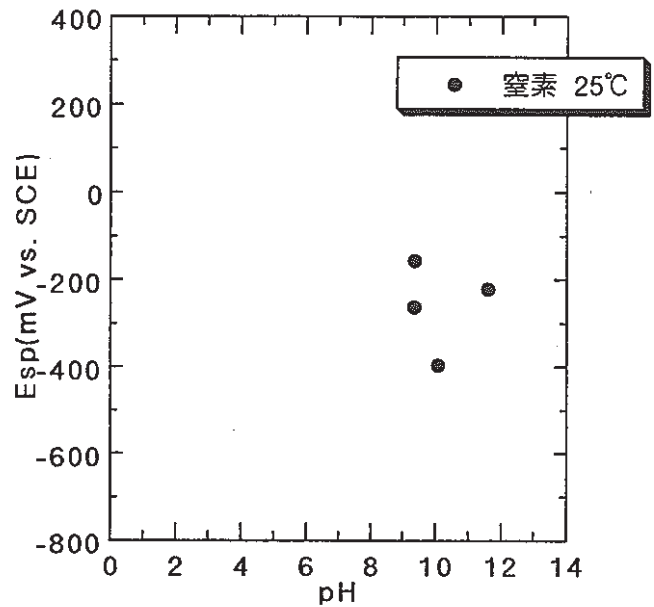


図4-2 窒素ガス吹き込み条件における 25°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

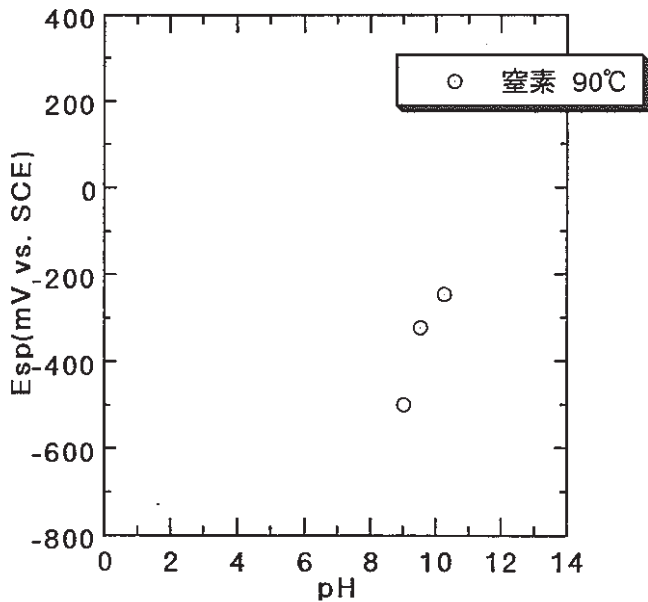


図4-3 窒素ガス吹き込み条件における 90°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

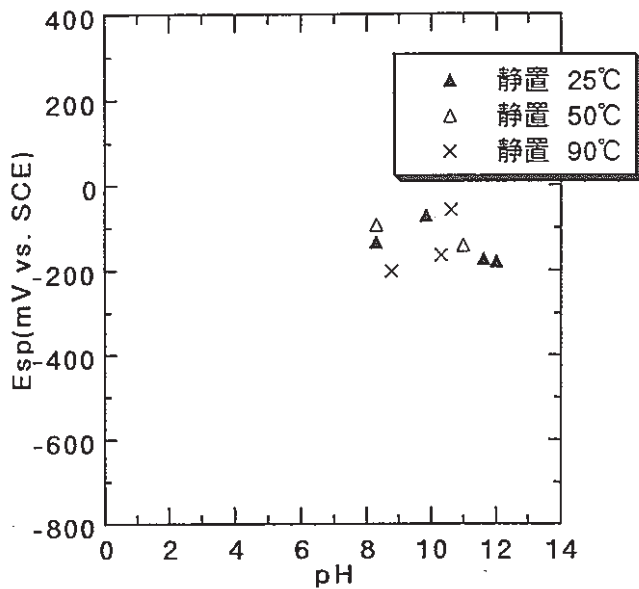


図5-1 静置条件におけるEspの温度及びpH依存性 (ASTM G1 Ti)

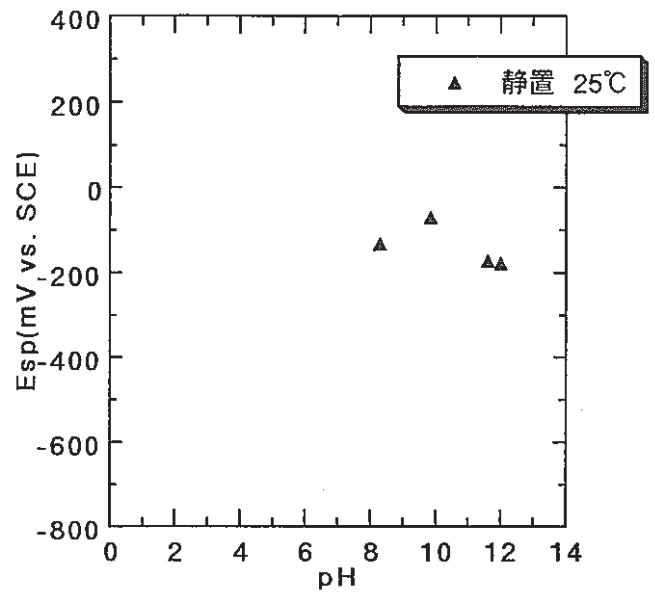


図5-2 静置条件における25°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

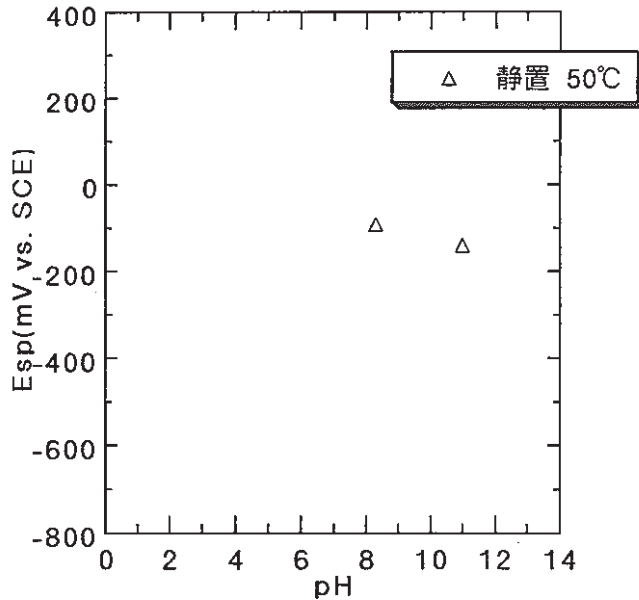


図5-3 静置条件における50°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

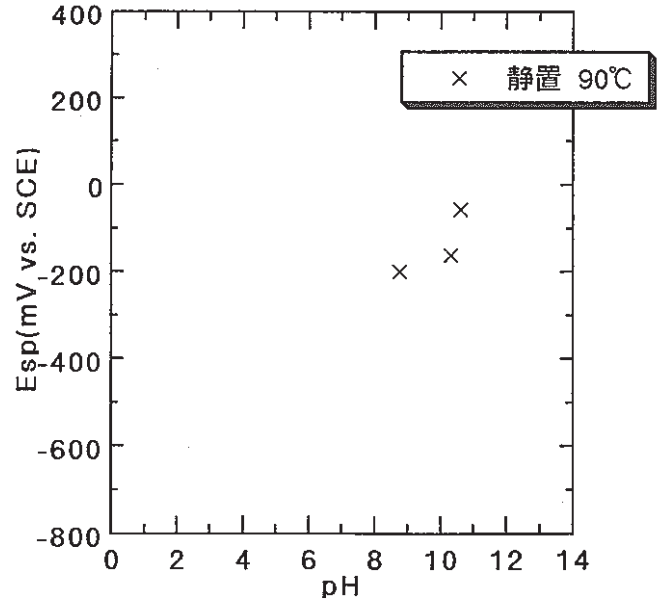


図5-4 静置条件における90°CでのEspのpH依存性 (ASTM G1 Ti)

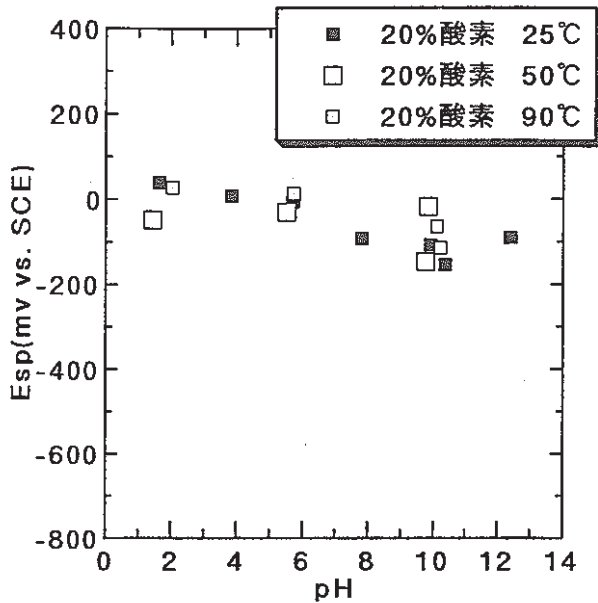


図6-1 20%酸素ガス吹き込み条件におけるEspの温度及びpH依存性 (ASTM G2 Ti)

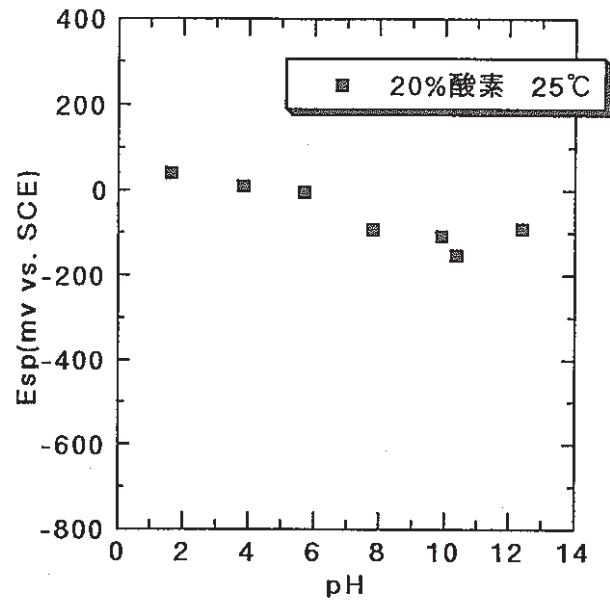


図6-2 20%酸素ガス吹き込み条件における25°CでのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

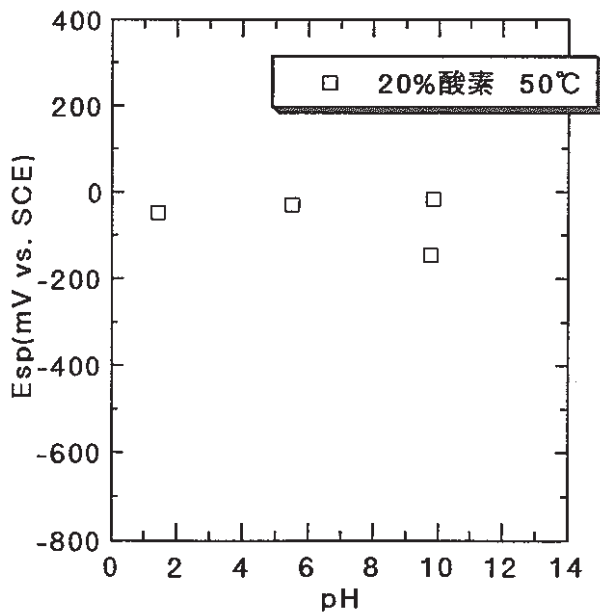


図6-3 20%酸素ガス吹き込み条件における50°CでのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

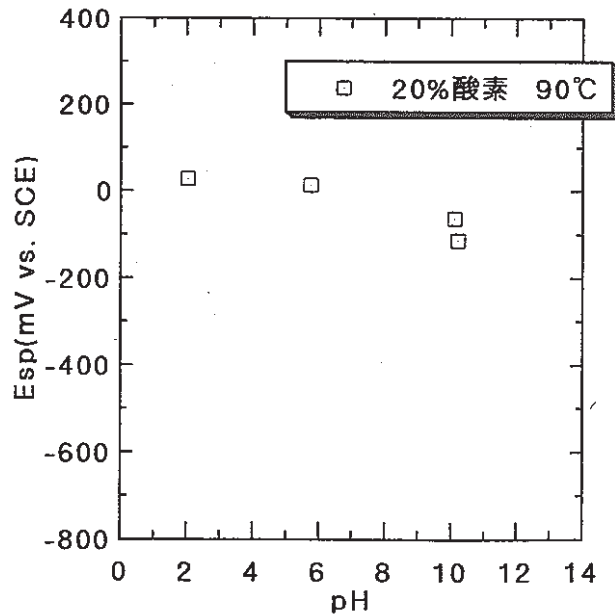


図6-4 20%酸素ガス吹き込み条件における90°CでのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

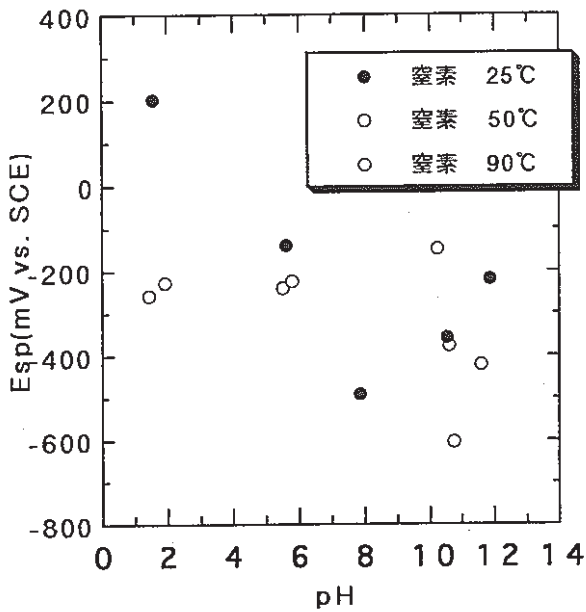


図 7-1 窒素ガス吹き込み条件における Espの温度及びpH依存性 (ASTM G2 Ti)

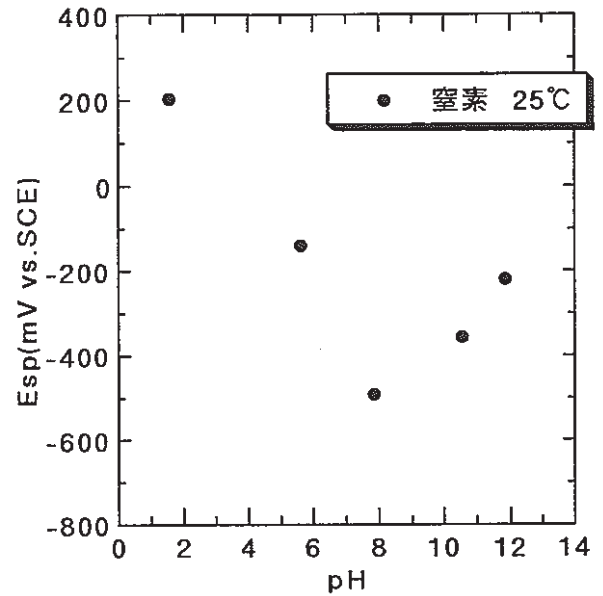


図7-2 窒素ガス吹き込み条件における 25°CでのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

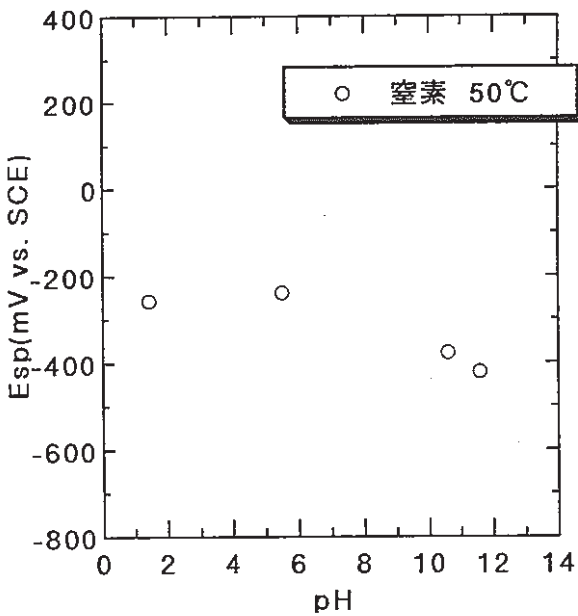


図7-3 窒素ガス吹き込み条件における 50°CでのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

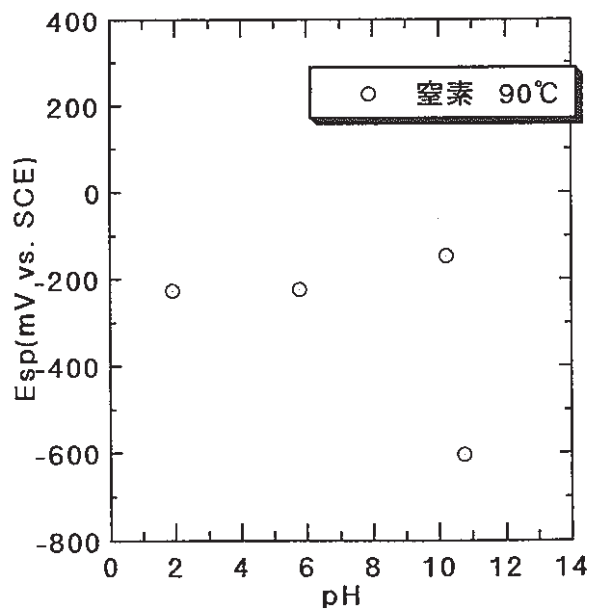


図7-4 窒素ガス吹き込み条件における 90°CでのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

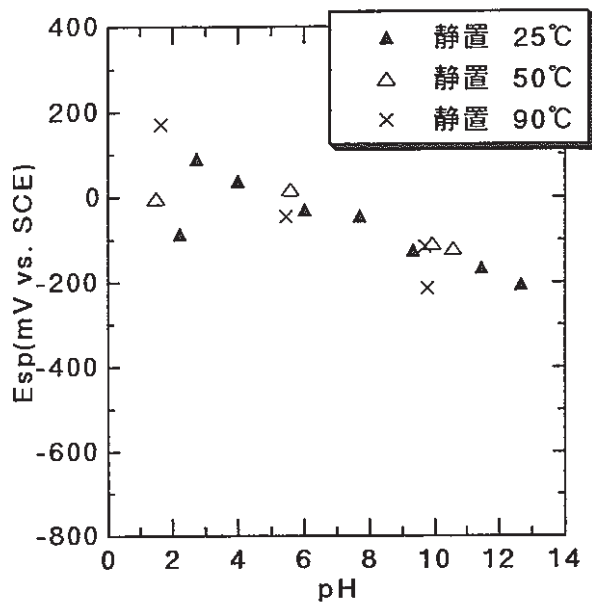


図8-1 静置条件におけるEspの温度及びpH依存性 (ASTM G2 Ti)

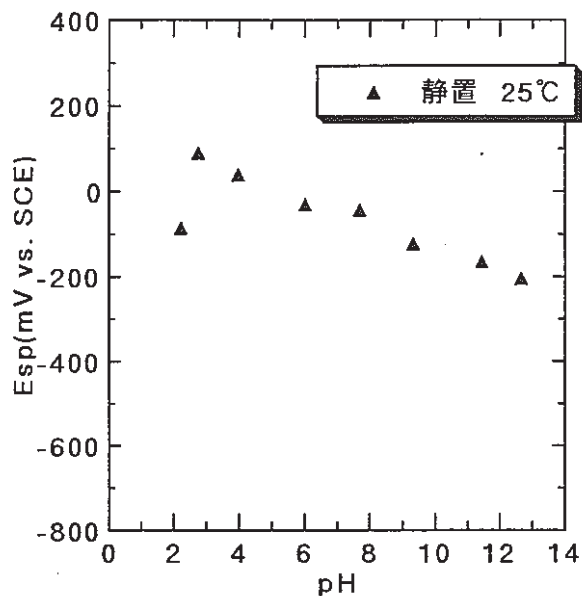


図8-2 静置条件における25℃でのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

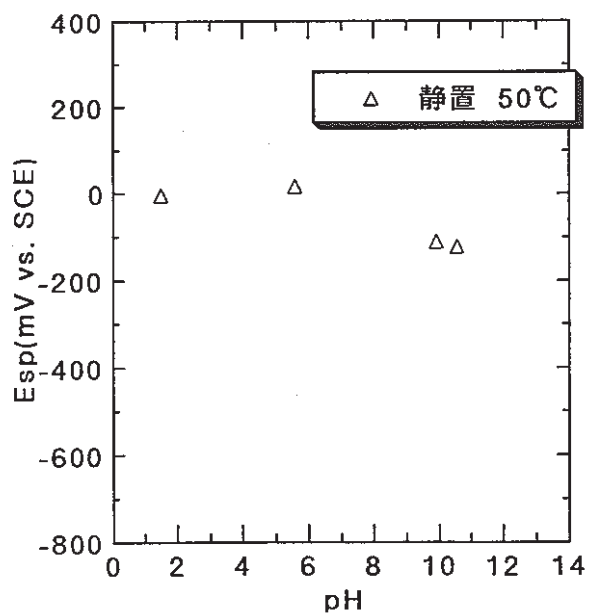


図8-3 静置条件における50℃でのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)

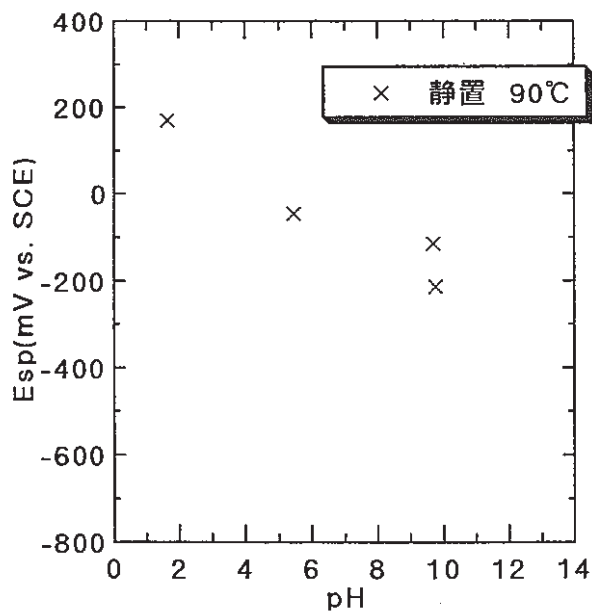


図8-4 静置条件における90℃でのEspのpH依存性 (ASTM G2 Ti)



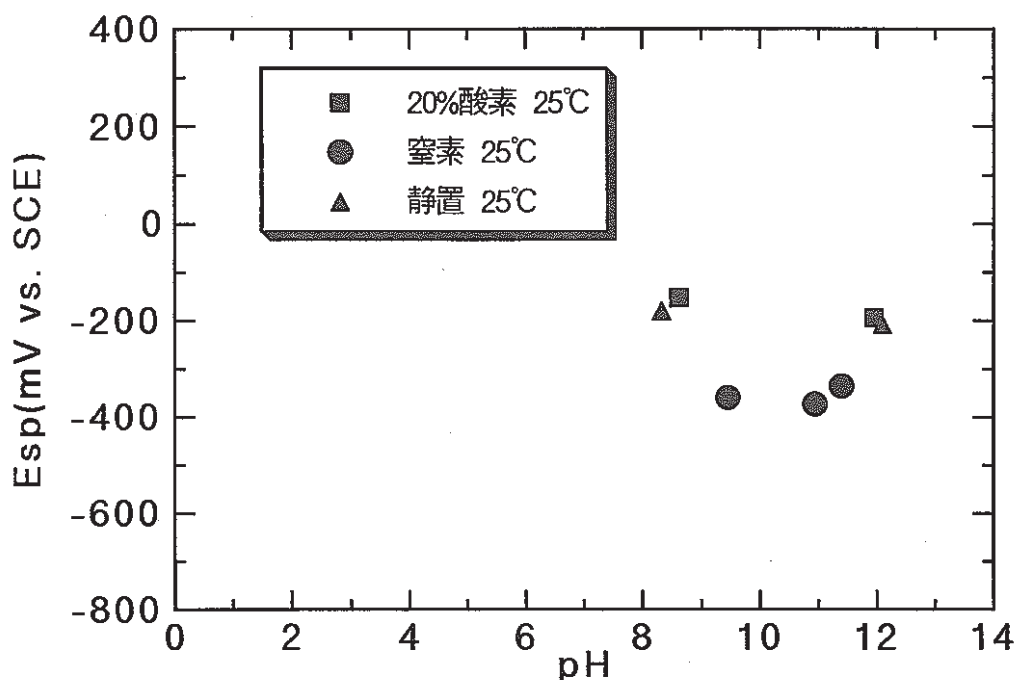


図9 20%酸素ガス吹き込み条件,窒素ガス吹き込み条件及び静置条件におけるEspの温度及びpH依存性 (ASTM G12 Ti)

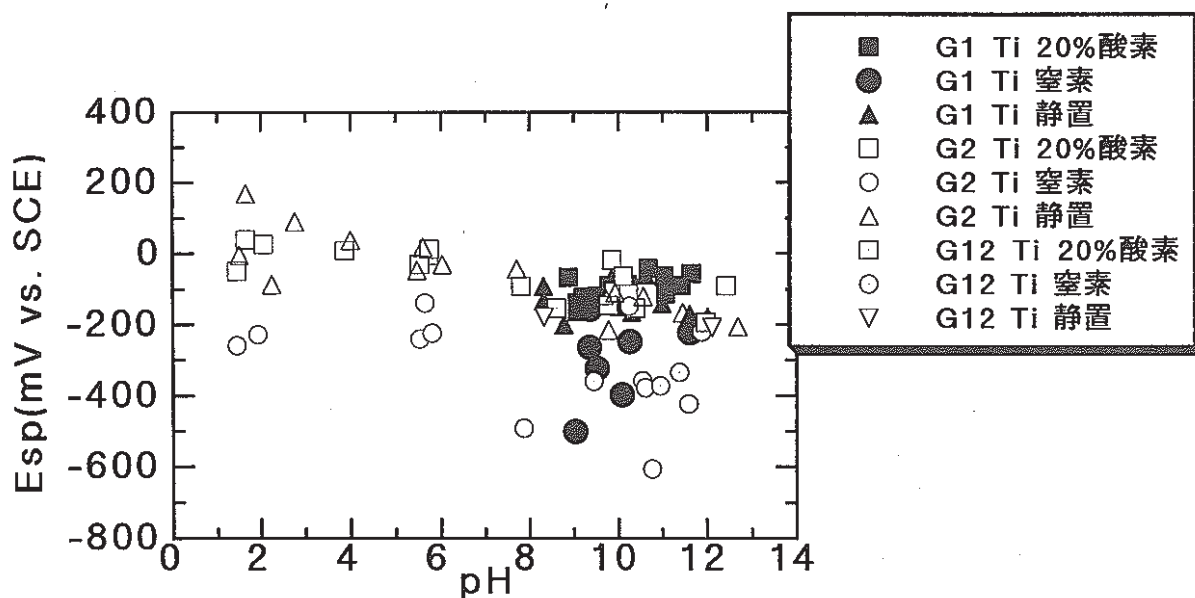


図10 G1 Ti,G2 Ti及びG12 Tiの全条件の重ね合わせ

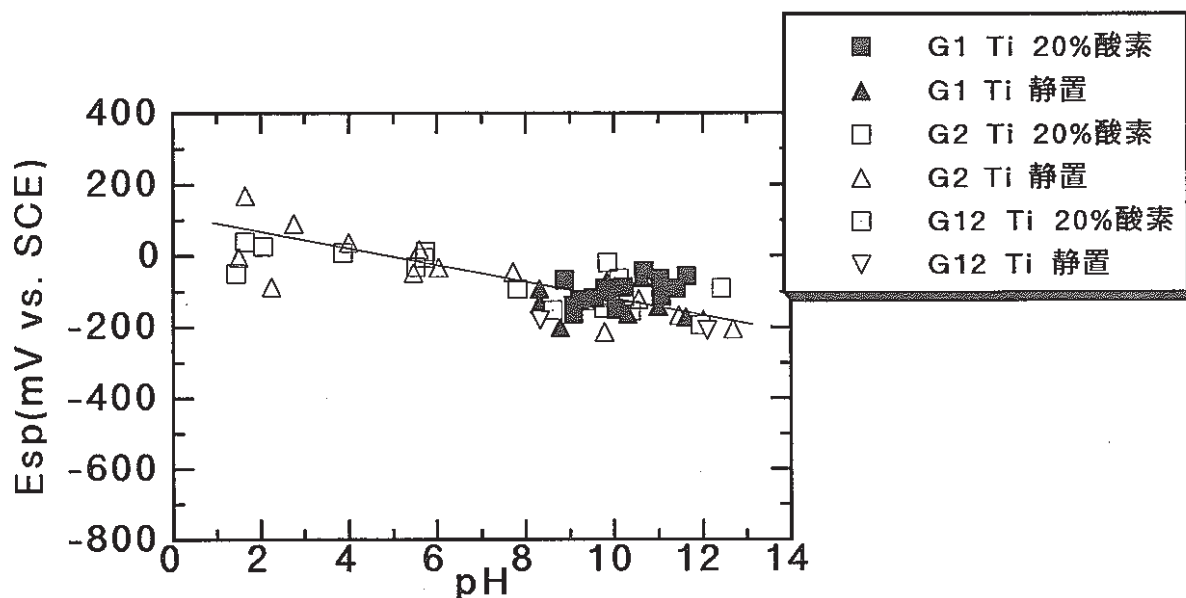


図11 G1 Ti,G2 Ti及びG12 Tiの20%酸素ガス吹き込み条件及び静置条件の重ね合わせ

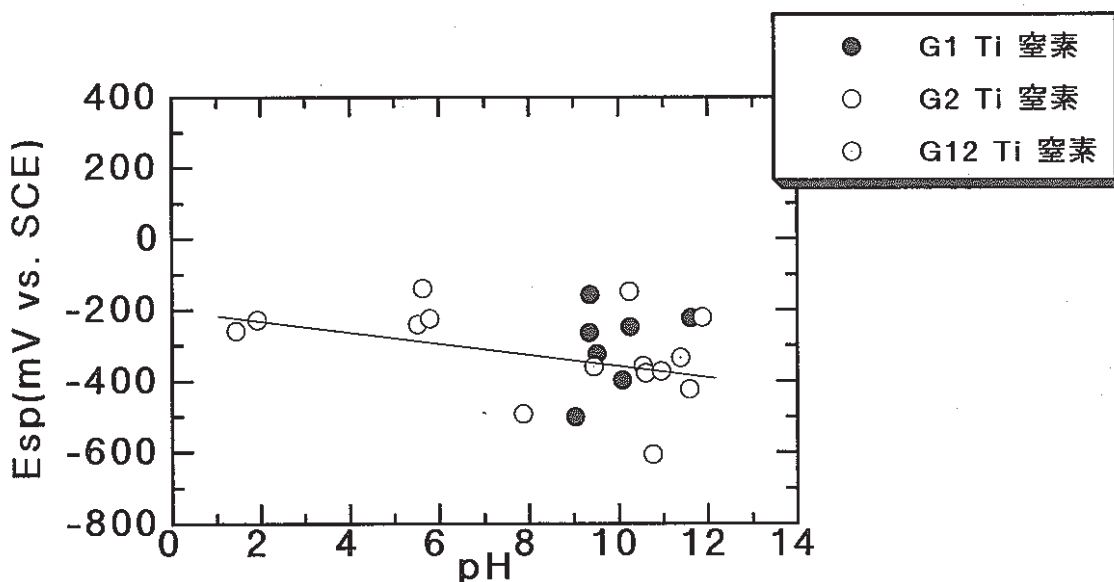


図12 G1 Ti,G2 Ti及びG12 Tiの窒素ガス吹き込み条件の重ね合わせ

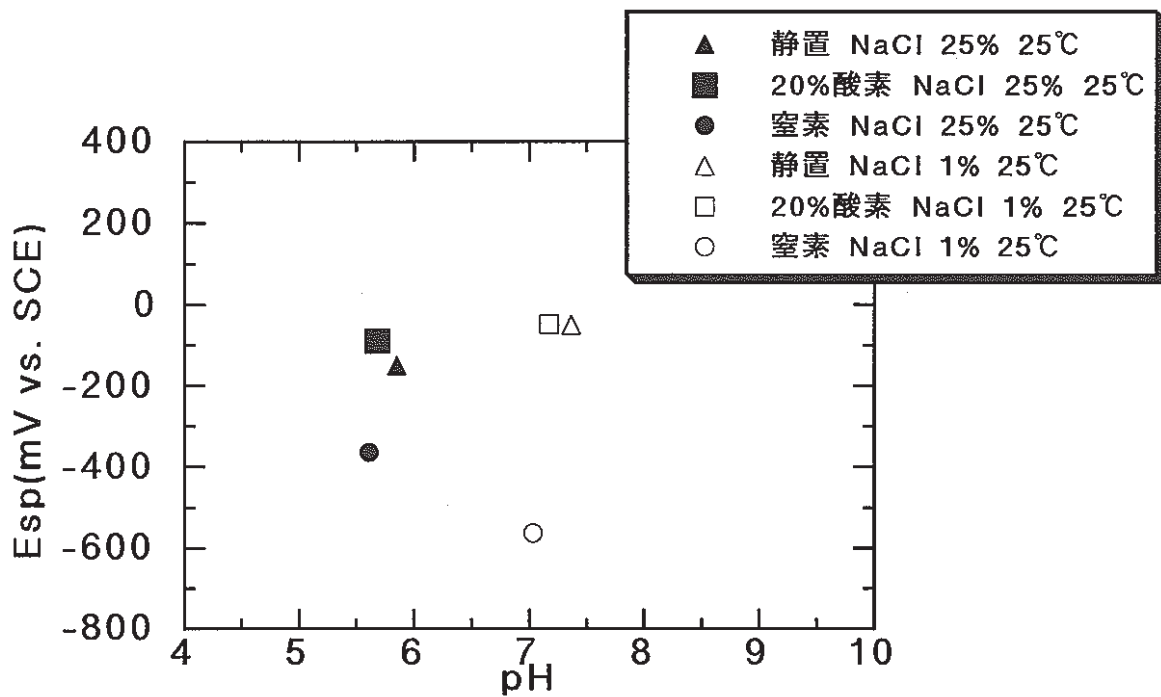


図13 NaCl溶液を用いた測定におけるpH-Esp図

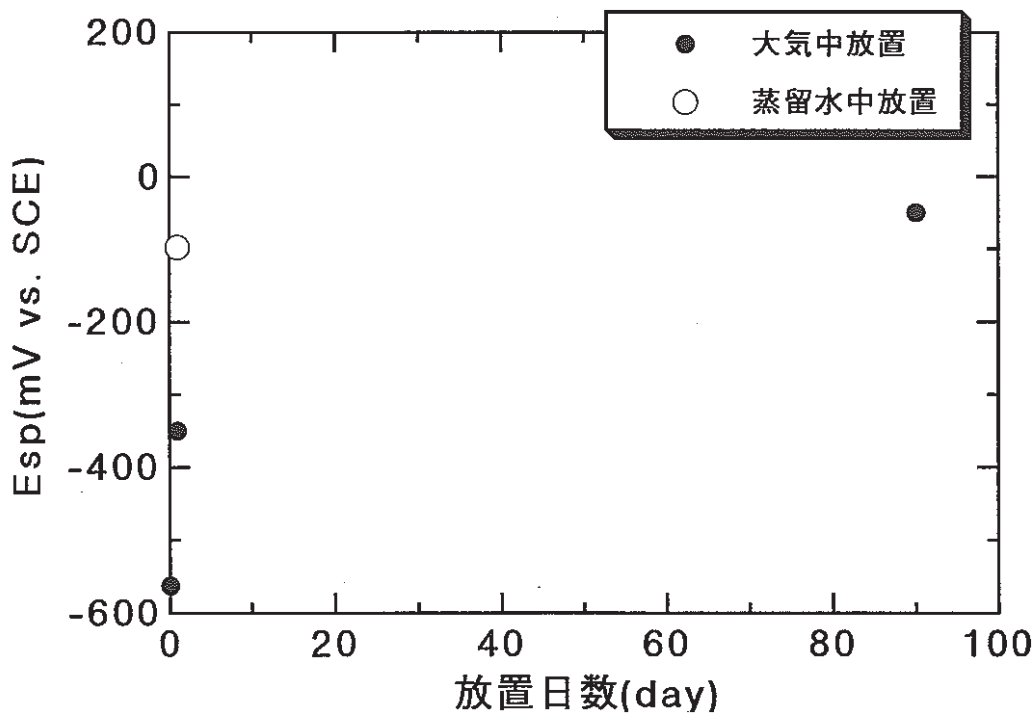


図14 研磨後の放置時間に対するEspの変化

| 調査文献                 | 試験条件  | 測定されたEsp(mVvs.SCE) |      |      |      |      |                 |      |   |     |     |   |  |
|----------------------|---|--------------------|------|------|------|------|-----------------|------|---|-----|-----|---|--|
|                      |   | -700               | -600 | -500 | -400 | -300 | -200            | -100 | 0 | 100 | 200 | 300   |  |
| 元田ら <sup>3)</sup>    | JIS1種Ti<br>大気平衡<br>自然海水<br>温度=<br>10~25℃  |                    |      |      |      |      |                 |      |   |     |     | pH=不明<br>(+350mV)                                     |  |
| 福田ら <sup>4),5)</sup> | ASTMG.1<br>空気吹込み<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃                     |                    |      |      |      |      | pH=12(-220mV)   |      |   |     |     | pH=6(+200mV)  |  |
|                      | ASTMG.12<br>空気吹込み<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃                    |                    |      |      |      |      | pH=11.5(-360mV) |      |   |     |     | pH=7(-20mV)   |  |
| 磯尾ら <sup>6)</sup>    | チタン合金<br>空気吹込み<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃                       |                    |      |      |      |      | pH=12(-250mV)   |      |   |     |     | pH=5(+200mV)  |  |
|                      | チタン合金<br>DO=8ppm<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub><br>温度=不明 |                    |      |      |      |      |                 |      |   |     |     | pH=不明<br>(+205mV)                                     |  |
| 福塚ら <sup>7)</sup>    | 純チタン<br>大気平衡<br>自然海水<br>温度=25℃  |                    |      |      |      |      |                 |      |   |     |     | pH=8(-70mV~+10mV)                                     |  |
|                      | 純チタン<br>脱気<br>6%NaCl<br>温度=100℃   |                    |      |      |      |      |                 |      |   |     |     | pH=8(-290mV~-210mV)                                   |  |
| 小玉ら <sup>8)</sup>    | 純チタン<br>脱気<br>3%,5.5%NaCl<br>温度=<br>150,200℃  |                    |      |      |      |      |                 |      |   |     |     | pH=不明 (-400mV~-180mV)                                 |  |
|                      | 純チタン<br>DO10~10 <sup>4</sup> ppm<br>3%,5.5%NaCl<br>温度=150,200,<br>250℃                    |                    |      |      |      |      |                 |      |   |     |     | pH=不明 (+100mV,DO=10ppm~+550mV,DO=10 <sup>4</sup> ppm) |  |

図 15-1 チタンのEspに関する文献調査と本研究との比較 (その1)

| 調査文献               | 試験条件  | 測定されたEsp(mVvs.SCE)      |      |                 |      |      |               |      |   |     |     |     |              |
|--------------------|---|-------------------------|------|-----------------|------|------|---------------|------|---|-----|-----|-----|--------------|
|                    |   | -700                    | -600 | -500            | -400 | -300 | -200          | -100 | 0 | 100 | 200 | 300 |              |
| 中山ら <sup>9)</sup>  | ASTMG.1<br>空気吹込み<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度 =<br>25,50,90℃  |                         |      |                 |      |      | pH=12(-250mV) |      |   |     |     |     | pH=6(+200mV) |
|                    | ASTMG.12<br>空気吹込み<br>HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度 =<br>25,50,90℃ |                         |      |                 |      |      | pH=12(-250mV) |      |   |     |     |     | pH=6(+200mV) |
| 佐藤ら <sup>10)</sup> | JIS2種Ti<br>脱気<br>6% NaCl<br>温度 = 70℃                                    | pH=1以下、活性態(-800mV)      |      | pH=2~10(-200mV) |      |      |               |      |   |     |     |     |              |
| 渡辺ら <sup>11)</sup> | JIS2種Ti<br>空気吹込み<br>NaCl-HCl<br>温度 = 20℃                                | pH=1以下、活性態(-700~-100mV) |      |                 |      |      | pH=6(100mV)   |      |   |     |     |     |              |
|                    | JIS2種Ti<br>脱気<br>NaCl-HCl<br>温度 = 20℃                                   | pH=1以下、活性態(-600~-100mV) |      |                 |      |      | pH=6(0mV)     |      |   |     |     |     |              |

図 15-2 チタンのEspに関する文献調査と本研究との比較 (その2)

| 調査文献 | 試験条件  | 測定されたEsp(mVvs.SCE) |      |               |      |      |               |               |              |              |     |     |
|------|---|--------------------|------|---------------|------|------|---------------|---------------|--------------|--------------|-----|-----|
|      |   | -700               | -600 | -500          | -400 | -300 | -200          | -100          | 0            | 100          | 200 | 300 |
| 本研究  | ASTMG.1<br>大気平衡<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃   |                    |      |               |      |      | pH=12(-200mV) |               | pH=8(-50mV)  |              |     |     |
|      | ASTMG.1<br>空気吹込み<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃  |                    |      |               |      |      | pH=12(-175mV) |               | pH=8(-50mV)  |              |     |     |
|      | ASTMG.1<br>脱気<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃     |                    |      | pH=12(-500mV) |      |      |               |               | pH=8(-160mV) |              |     |     |
|      | ASTMG.12<br>大気平衡<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃  |                    |      |               |      |      | pH=12(-225mV) |               | pH=8(-175mV) |              |     |     |
|      | ASTMG.12<br>空気吹込み<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃ |                    |      |               |      |      | pH=12(-210mV) |               | pH=8(-155mV) |              |     |     |
|      | ASTMG.12<br>脱気<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>温度=<br>25,50,90℃    |                    |      |               |      |      |               | pH=12(-380mV) |              | pH=8(-345mV) |     |     |

図 15-3 チタンのEspに関する文献調査と本研究との比較(その3)

| 調査文献 | 試験条件   | 測定されたEsp(mVvs.SCE) |      |      |      |      |               |      |   |     |                           |                |
|------|--|--------------------|------|------|------|------|---------------|------|---|-----|---------------------------|----------------|
|      |  | -700               | -600 | -500 | -400 | -300 | -200          | -100 | 0 | 100 | 200                       | 300            |
| 本研究  | ASTMG.2<br>大気平衡<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>緩衝溶液<br>温度=<br>25,50,90℃  |                    |      |      |      |      | pH=13(-210mV) |      |   |     | pH=2(+180mV)              |                |
|      | ASTMG.2<br>空気吹込み<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>緩衝溶液<br>温度=<br>25,50,90℃ |                    |      |      |      |      | pH=13(-150mV) |      |   |     | pH=2(-50mV)               |                |
|      | ASTMG.2<br>脱気<br>CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>緩衝溶液<br>温度=<br>25,50,90℃    |                    |      |      |      |      | pH=13(-600mV) |      |   |     | pH=2(-140mV)              |                |
|      | ASTMG.2<br>大気平衡<br>1%,25%NaCl<br>温度=25℃  |                    |      |      |      |      |               |      |   |     | pH=7.4(-149mV)            | pH=5.6(-49mV)  |
|      | ASTMG.2<br>空気吹込み<br>1%,25%NaCl<br>温度=25℃   |                    |      |      |      |      |               |      |   |     | pH=7.4(-88mV)             | pH=5.6(-47mV)  |
|      | ASTMG.2<br>脱気<br>1%,25%NaCl<br>温度=25℃  |                    |      |      |      |      |               |      |   |     | pH=7.4(-562mV)            | pH=5.6(-363mV) |
|      | ASTMG.2<br>脱気<br>1%NaCl<br>温度=25℃  |                    |      |      |      |      |               |      |   |     | pH不明 (-350mV,研磨後、大気放置1日)  |                |
|      | ASTMG.2<br>脱気<br>1%NaCl<br>温度=25℃  |                    |      |      |      |      |               |      |   |     | pH不明 (-97mV,研磨後、蒸留水中放置1日) |                |
|      | ASTMG.2<br>脱気<br>1%NaCl<br>温度=25℃  |                    |      |      |      |      |               |      |   |     | pH不明 (-49mV,研磨後、大気放置90日)  |                |

図 15-4 チタンのEspに関する文献調査と本研究との比較 (その4)

単位: mm

材質: ASTM G1 Ti

ASTM G2 Ti

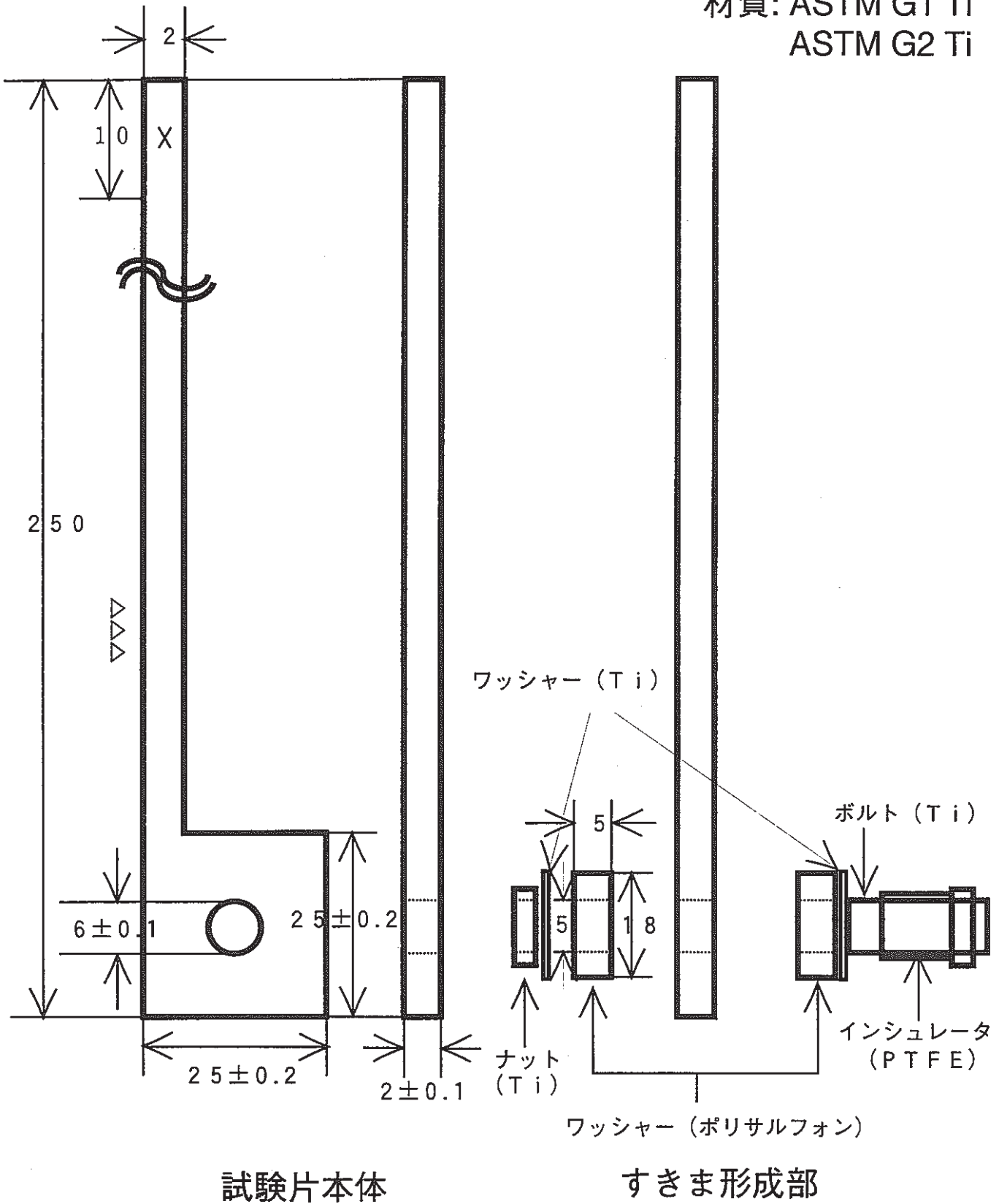


図16 ER,CREV,TR,CREV,CR,CREV試験用試験片



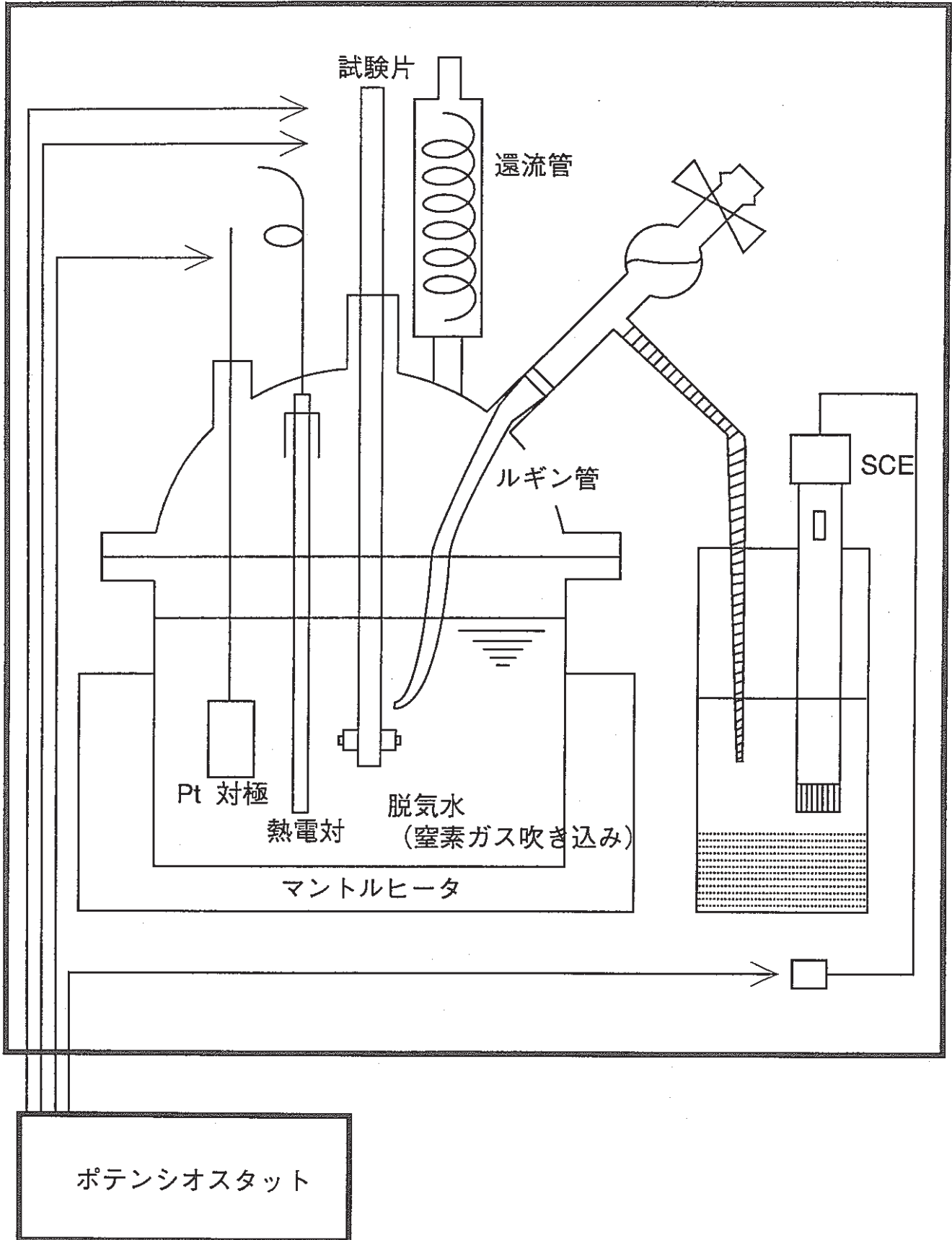


図17  $E_{R,CREV}$ ,  $T_{R,CREV}$ ,  $C_{R,CREV}$ 測定装置

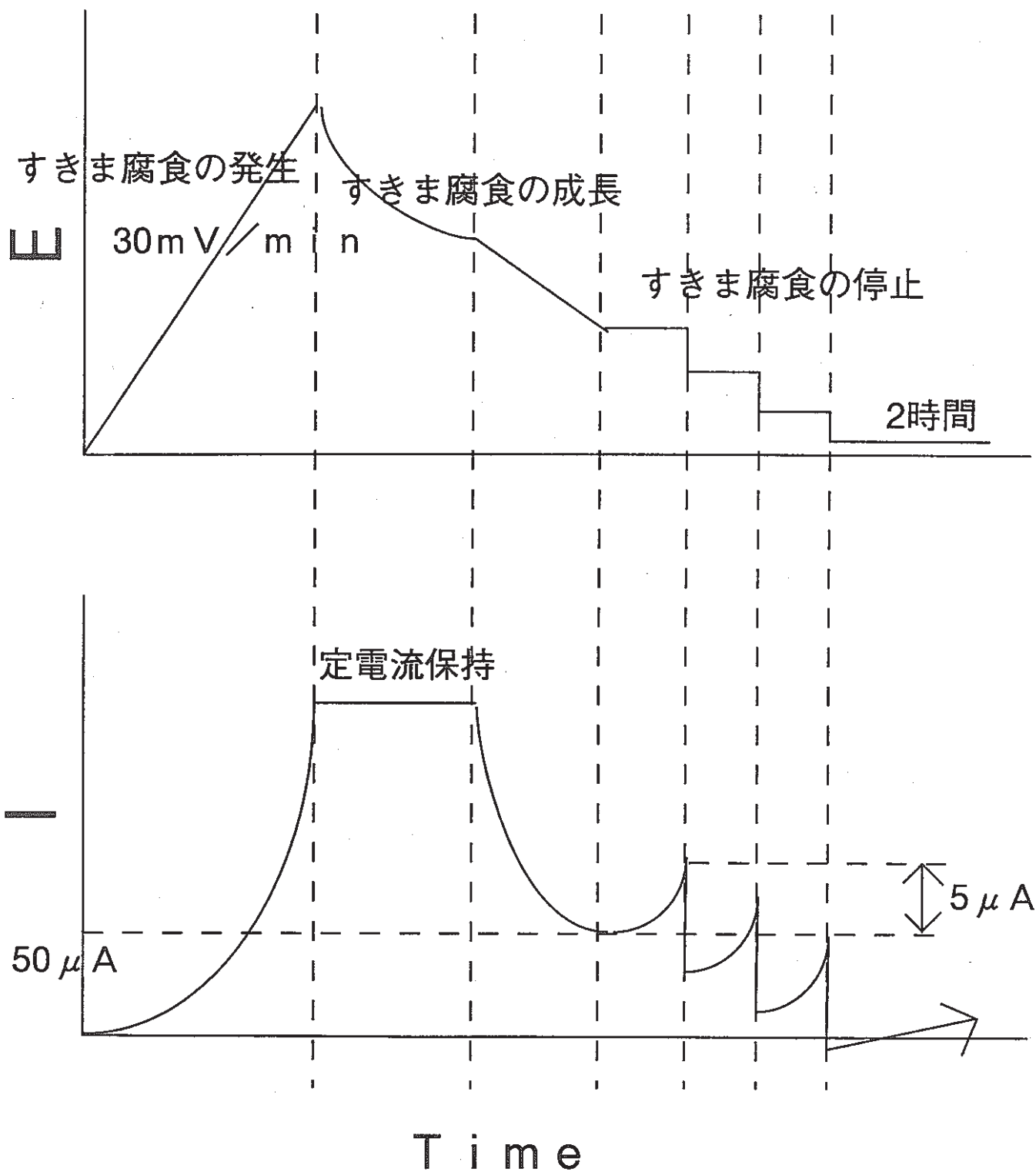


図18  $E_{R,CREV}$ 測定のための電位、電流操作

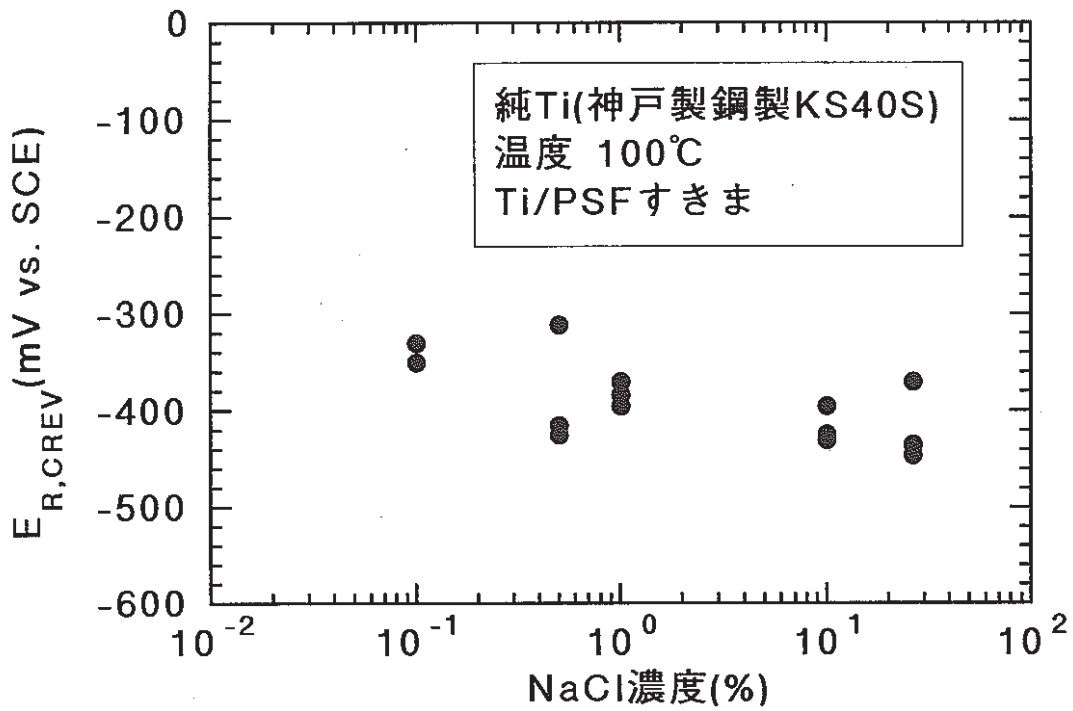


図19  $E_{R,CREV}$  に及ぼすNaCl濃度の影響  
(純Ti)

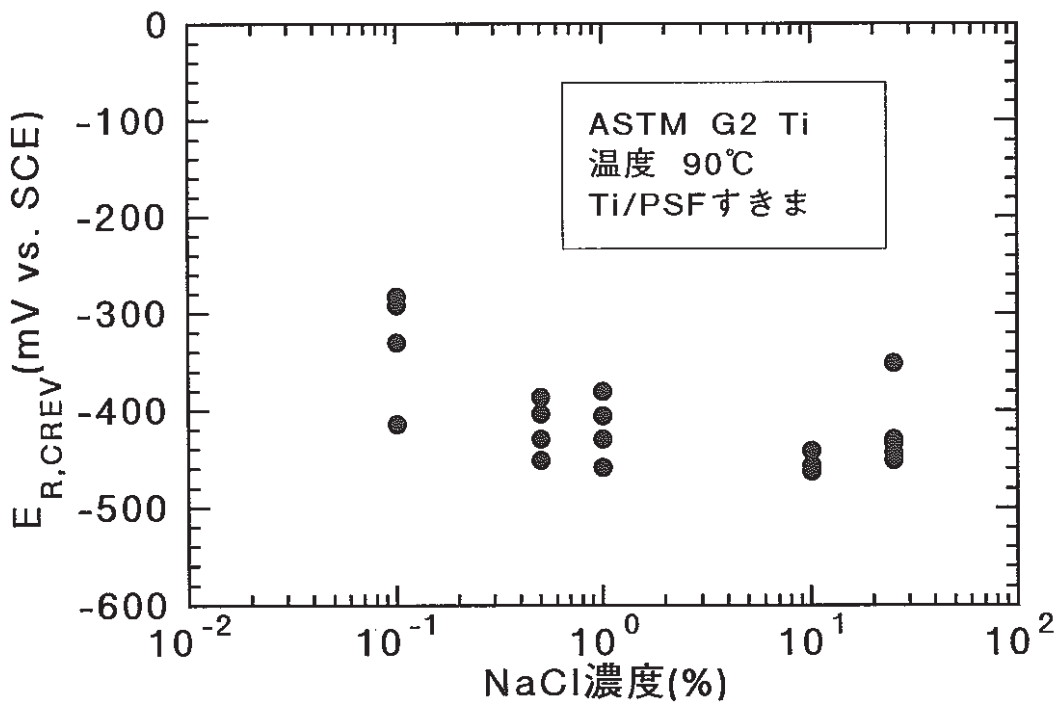


図20  $E_{R,CREV}$  に及ぼすNaCl濃度の影響  
(ASTM G2 Ti)

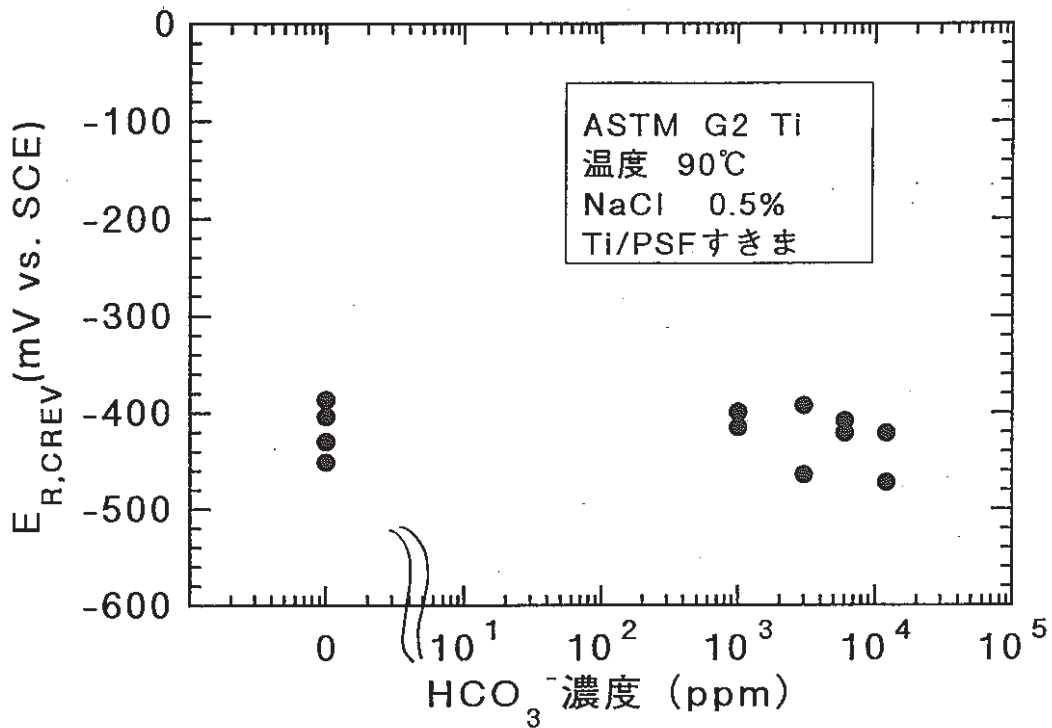


図21 E<sub>R,CREV</sub> に及ぼすHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響  
 (ASTM G2 Ti)

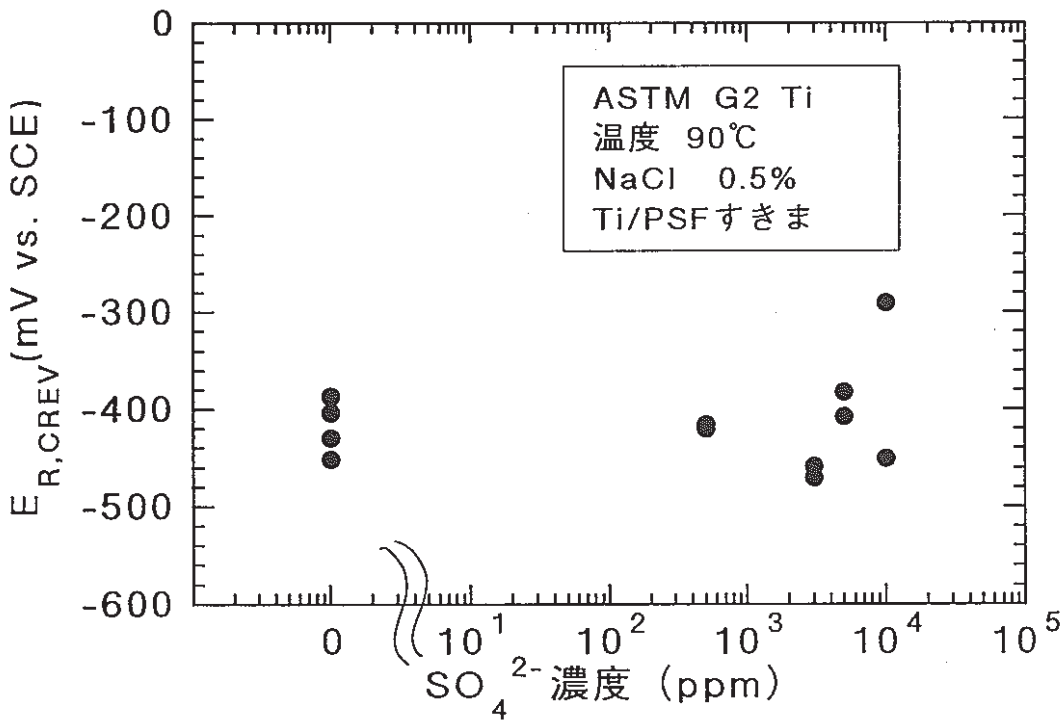


図22 E<sub>R,CREV</sub> に及ぼすSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の影響  
 (ASTM G2 Ti)

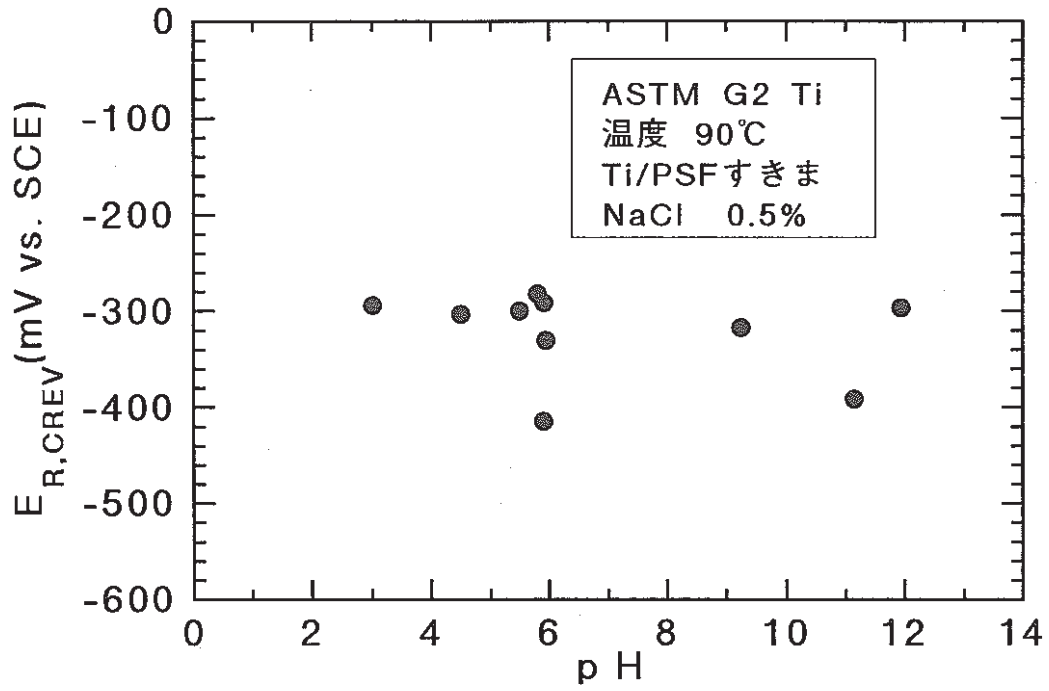


図23  $E_{R,CREV}$  に及ぼす pH の影響  
(ASTM G2 Ti)

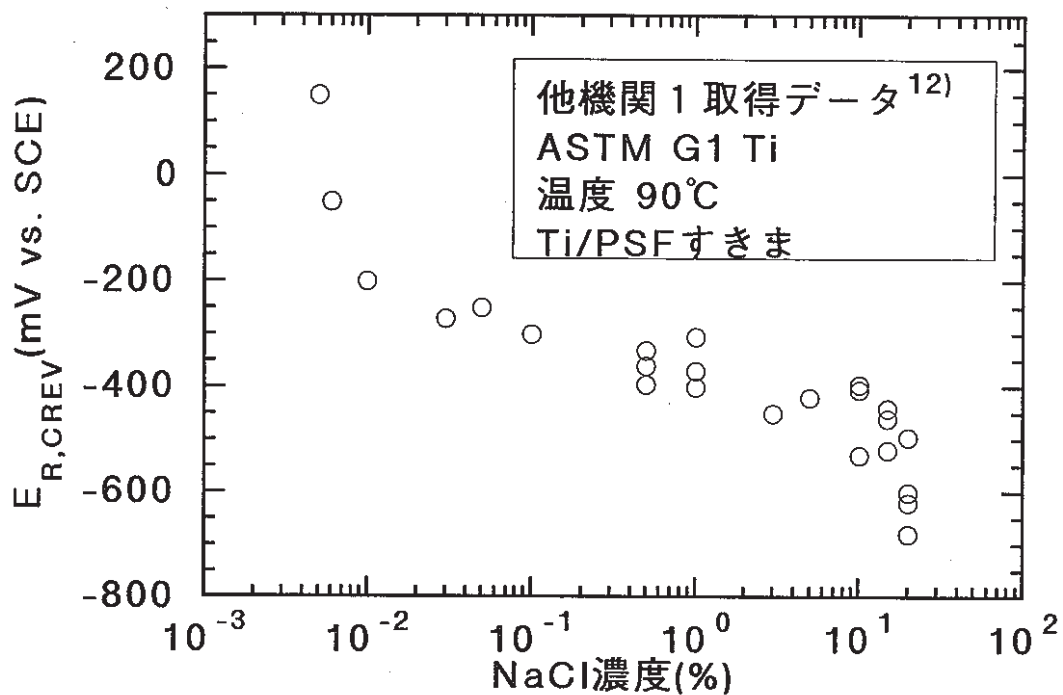


図24  $E_{R,CREV}$  に及ぼすNaCl濃度の影響  
 (ASTM G1 Ti,他機関1取得データ)

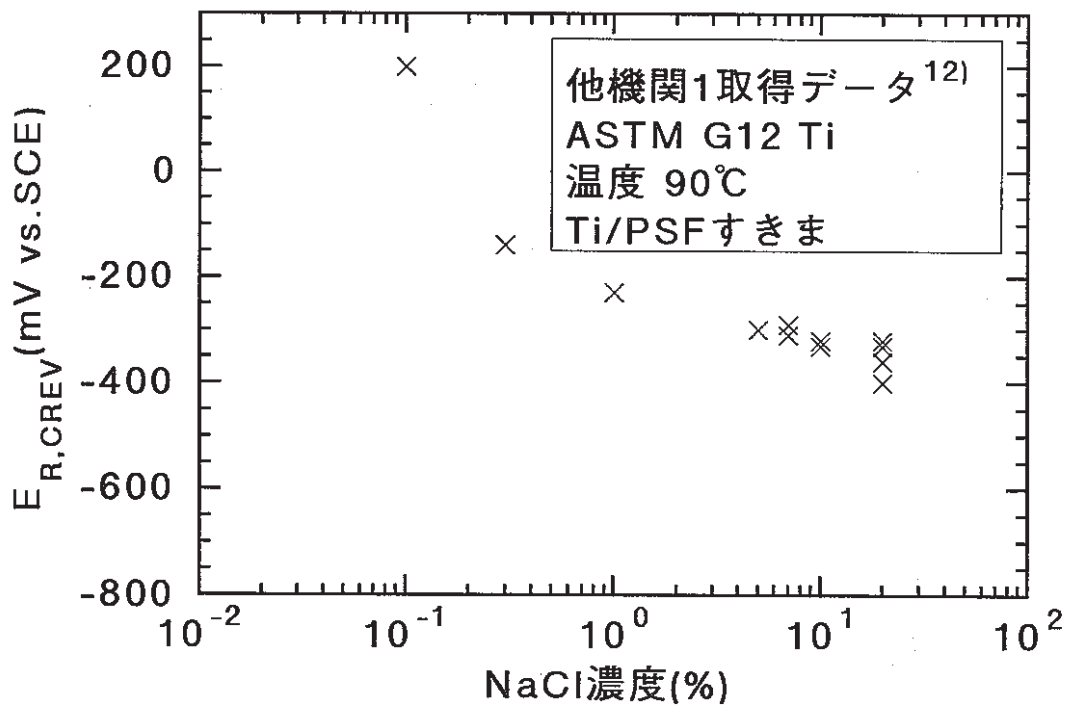


図25  $E_{R,CREV}$  に及ぼすNaCl濃度の影響  
 (ASTM G12 Ti,他機関1取得データ)

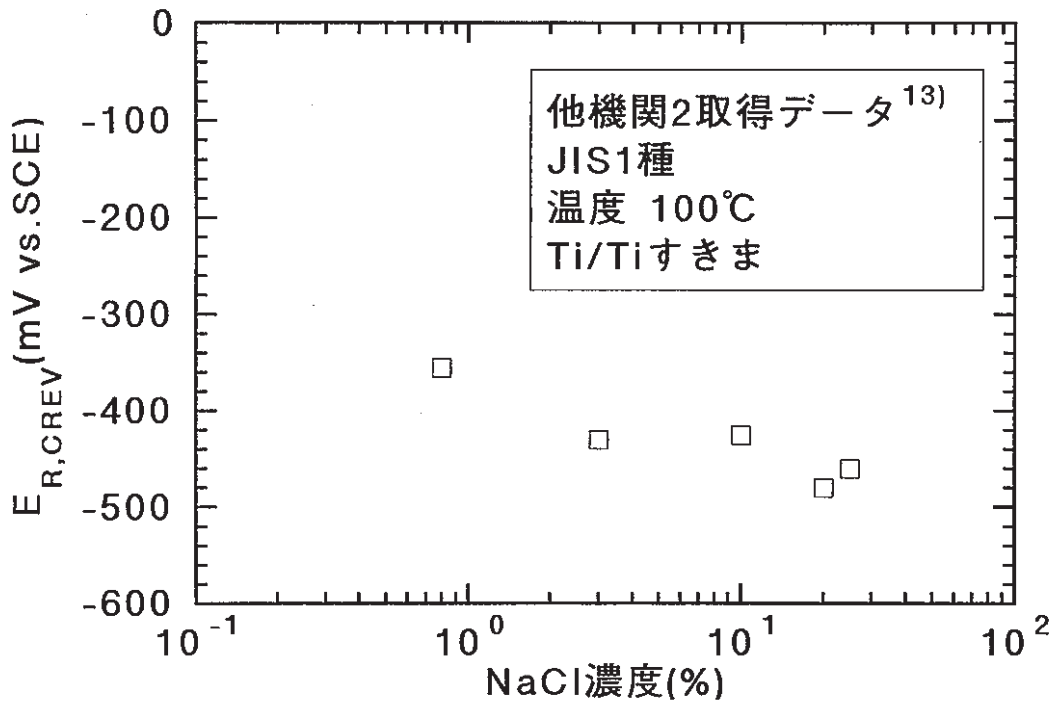


図26 E<sub>R,CREV</sub> に及ぼすNaCl濃度の影響  
(JIS1種 Ti、他機関2取得データ)

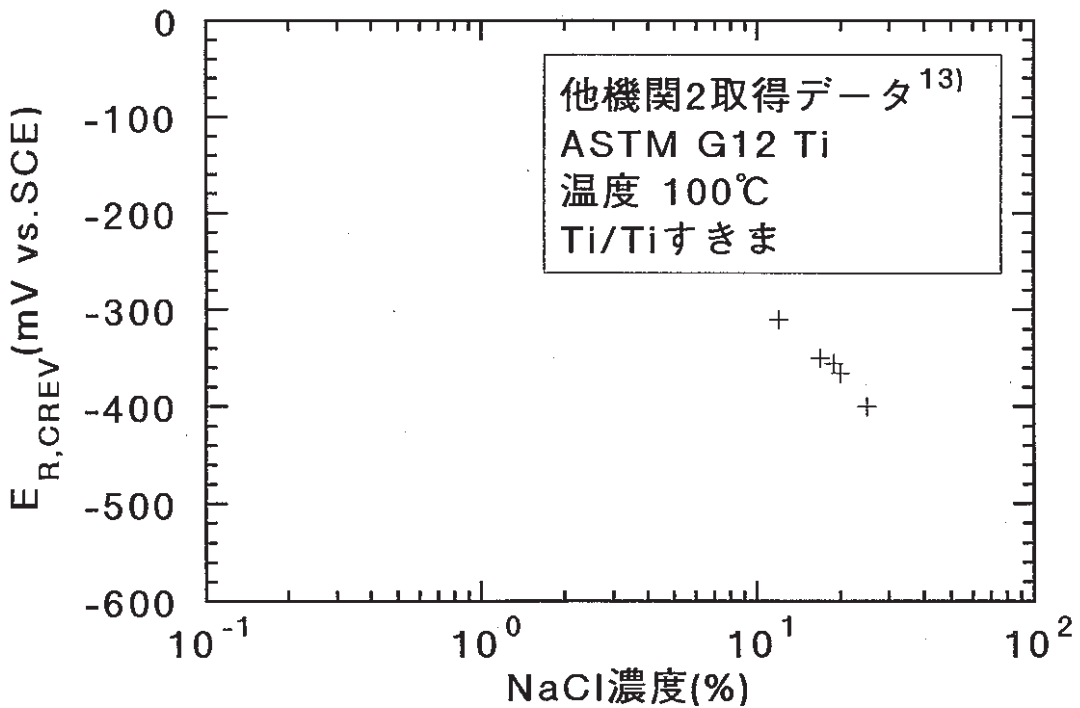


図27 E<sub>R,CREV</sub> に及ぼすNaCl濃度の影響  
(ASTM G12 Ti、他機関2取得データ)

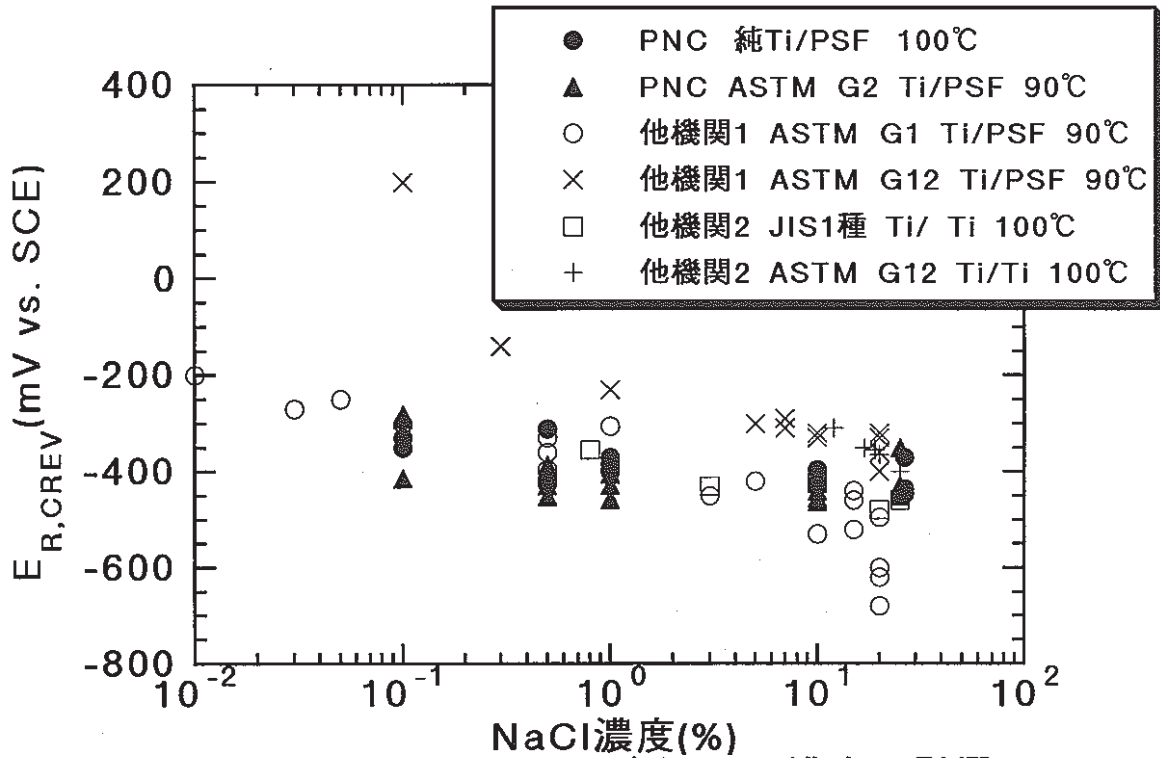


図28  $E_{R,CREV}$  に及ぼすNaCl濃度の影響  
(全機関の比較)



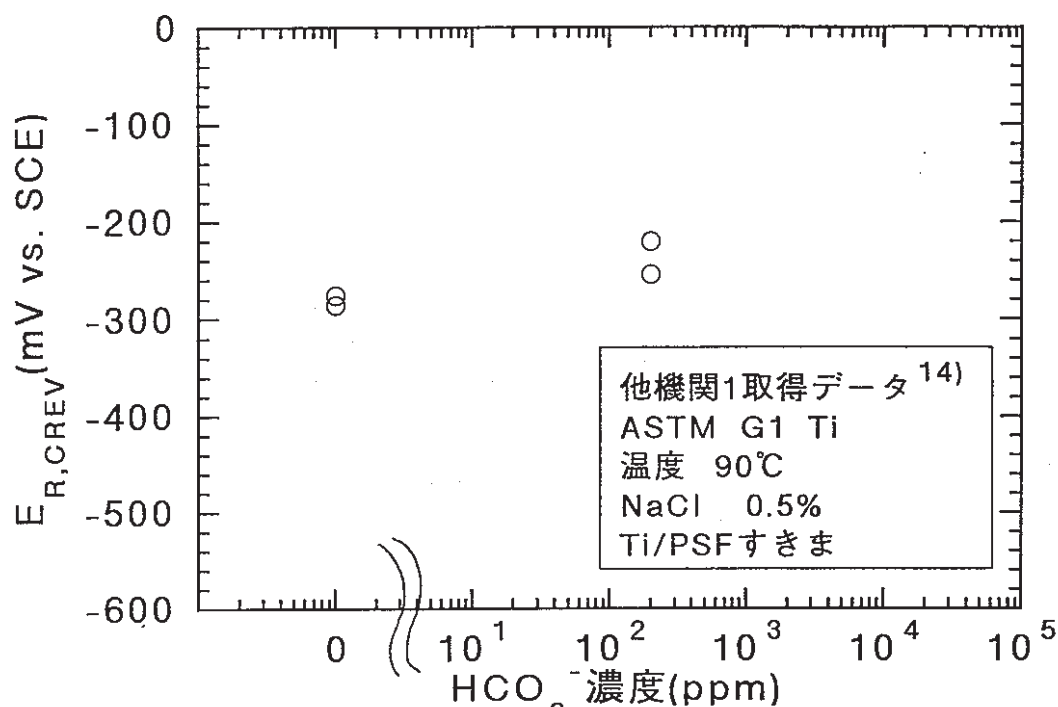


図29 E<sub>R,CREV</sub> に及ぼすHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響 (ASTM G1 Ti,他機関1取得データ)

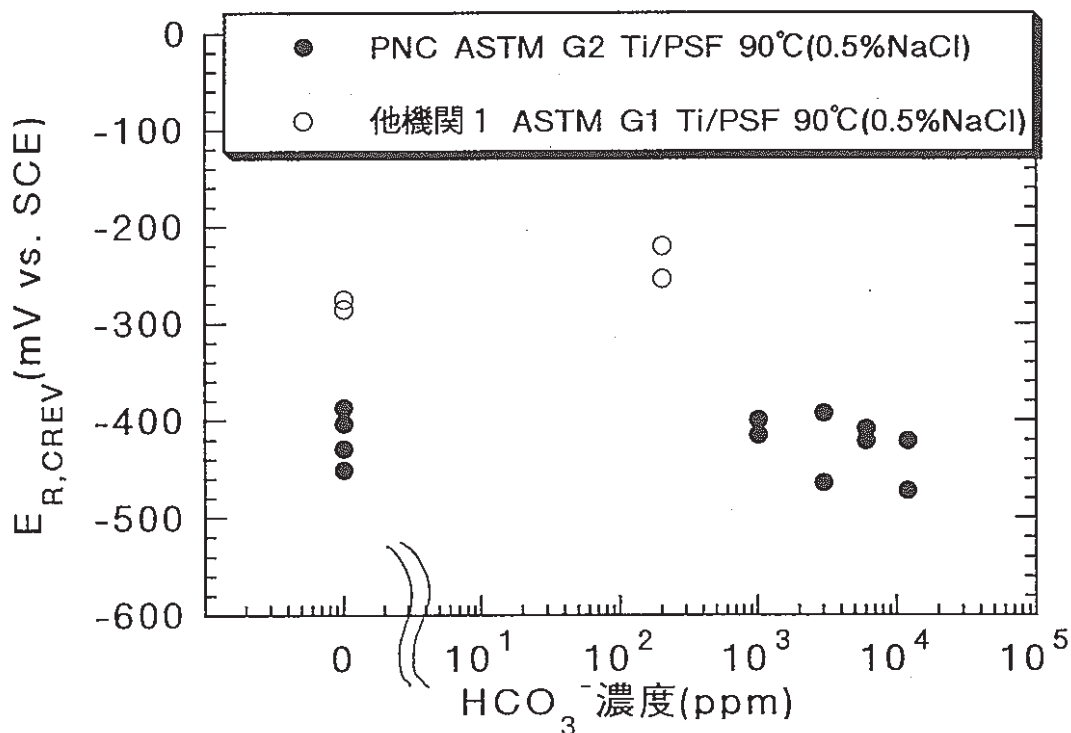


図30 E<sub>R,CREV</sub> に及ぼすHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の影響 (他機関1との比較)

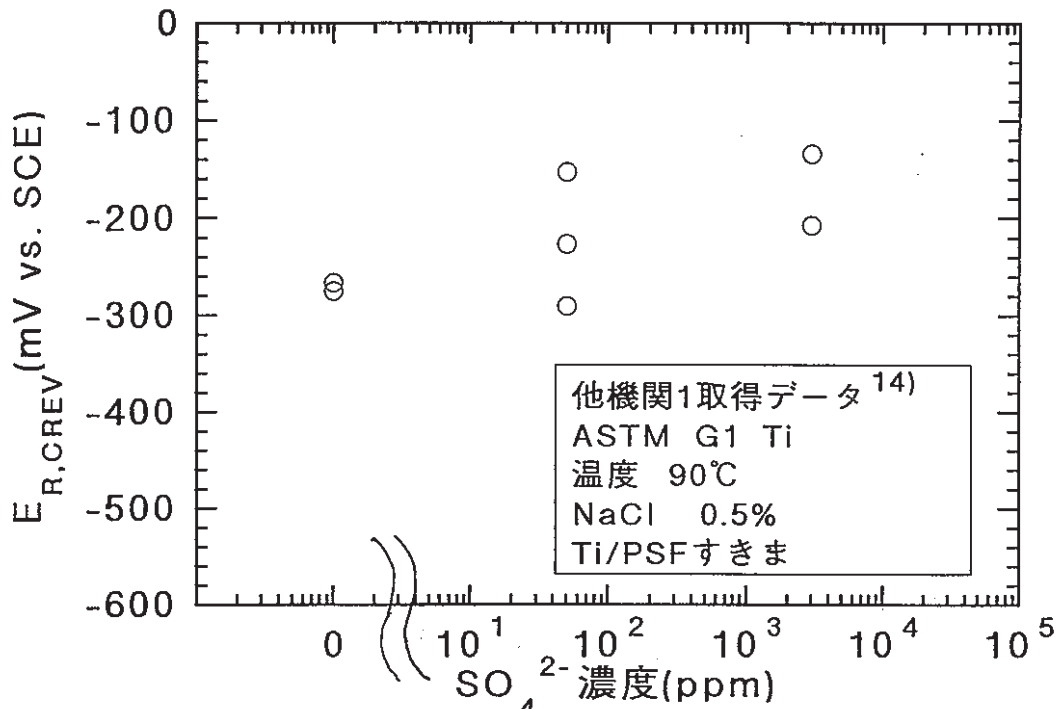


図31  $E_{R,CREV}$  に及ぼす  $SO_4^{2-}$  濃度の影響  
(ASTM G1 Ti, 他機関1取得データ)

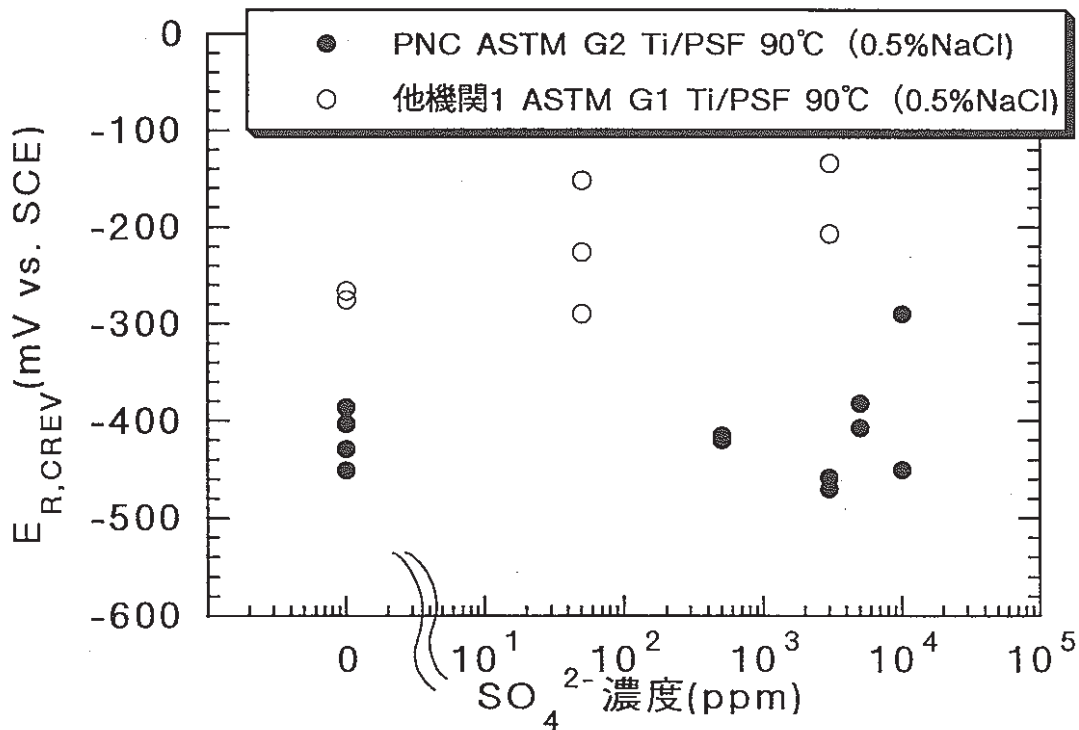


図32  $E_{R,CREV}$  に及ぼす  $SO_4^{2-}$  濃度の影響  
(他機関1との比較)

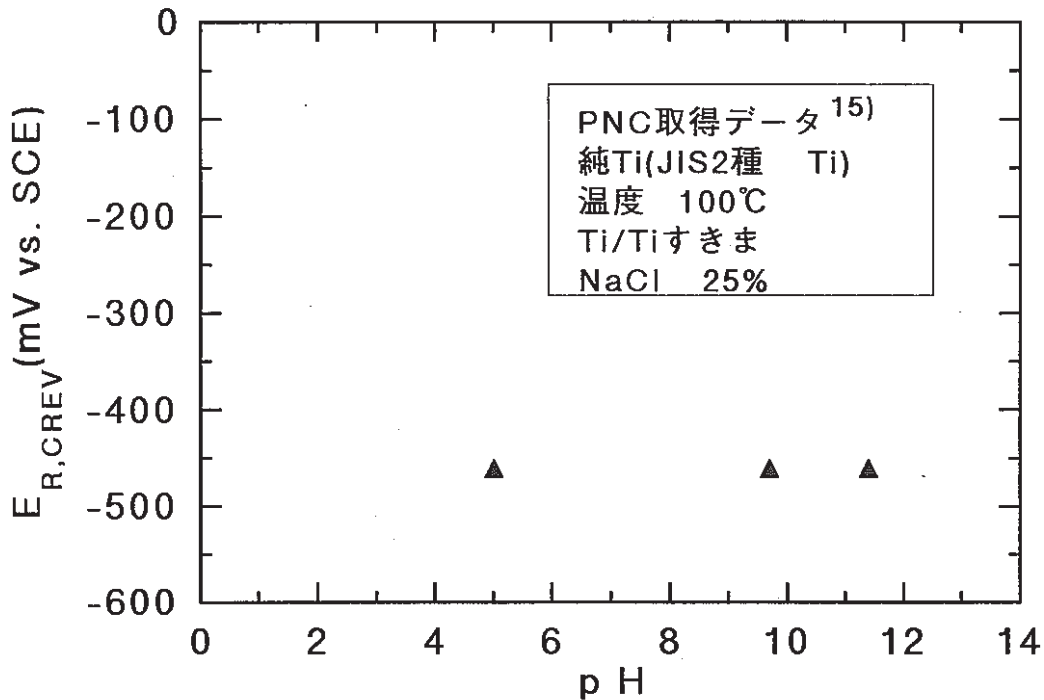


図33  $E_{R,CREV}$  に及ぼすpHの影響  
(JIS2種 Ti, PNC取得データ)

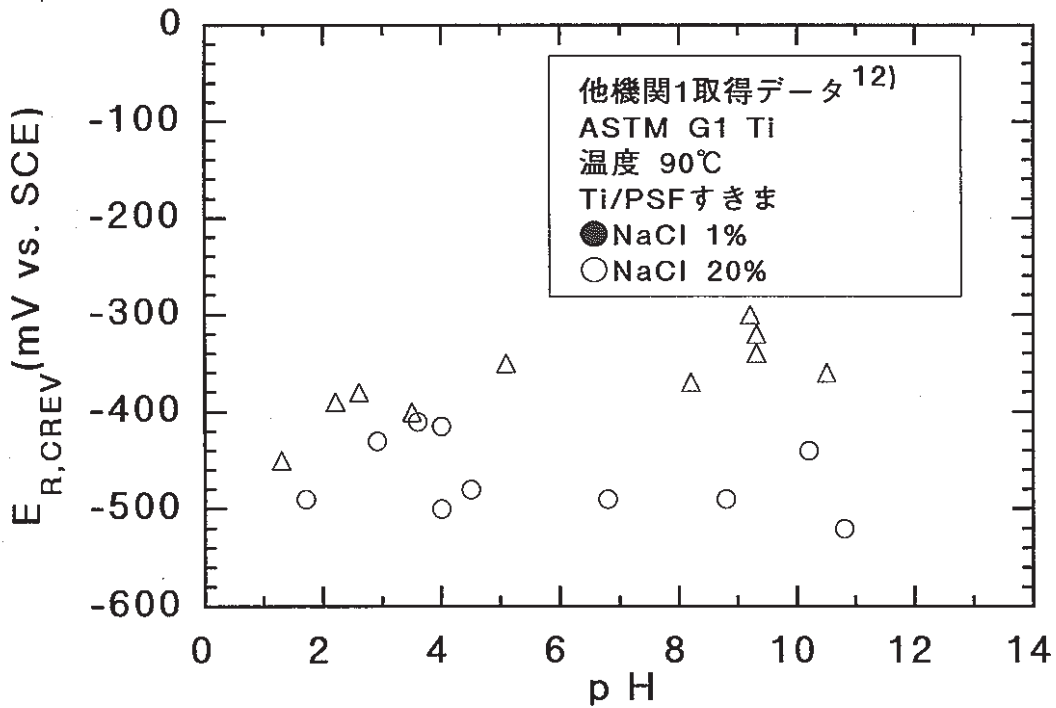


図34  $E_{R,CREV}$  に及ぼすpHの影響  
(ASTM G1 Ti, 他機関1取得データ)

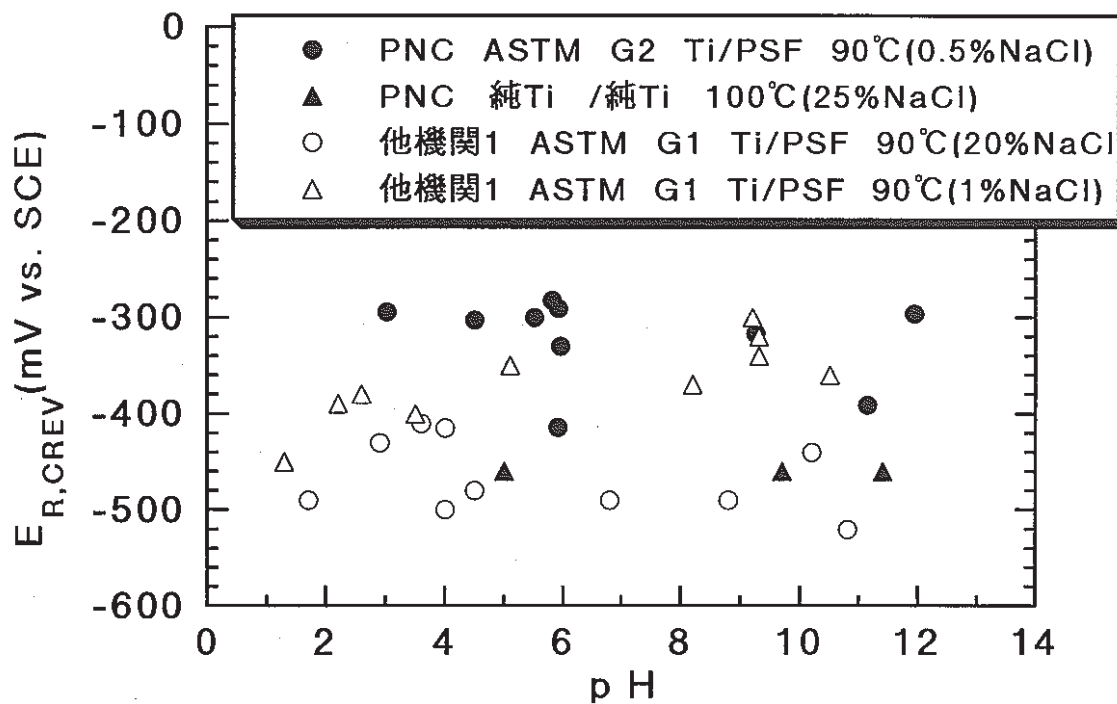


図35  $E_{R,CREV}$  に及ぼす pH の影響  
(他機関1 との比較)

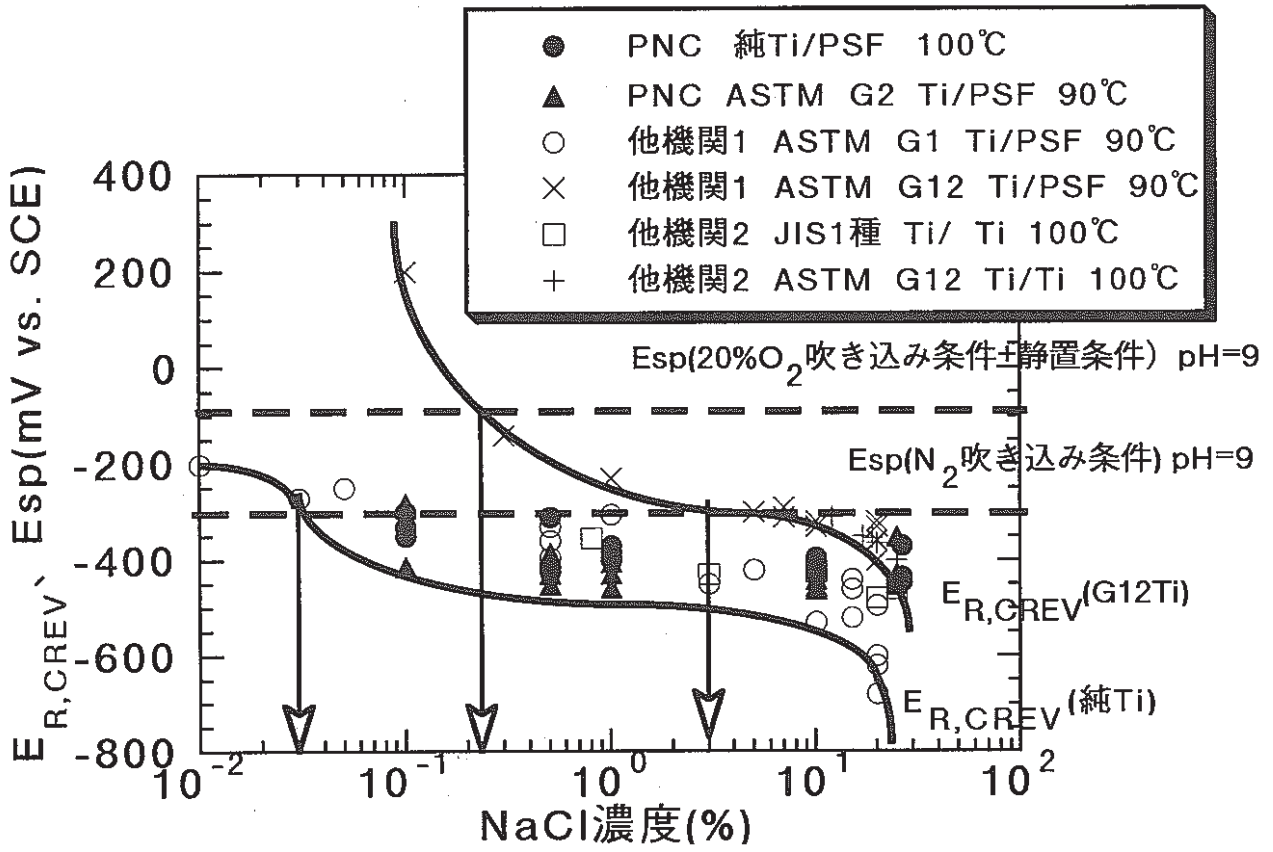


図36  $E_{R,CREV}$  と  $E_{sp}$  の比較

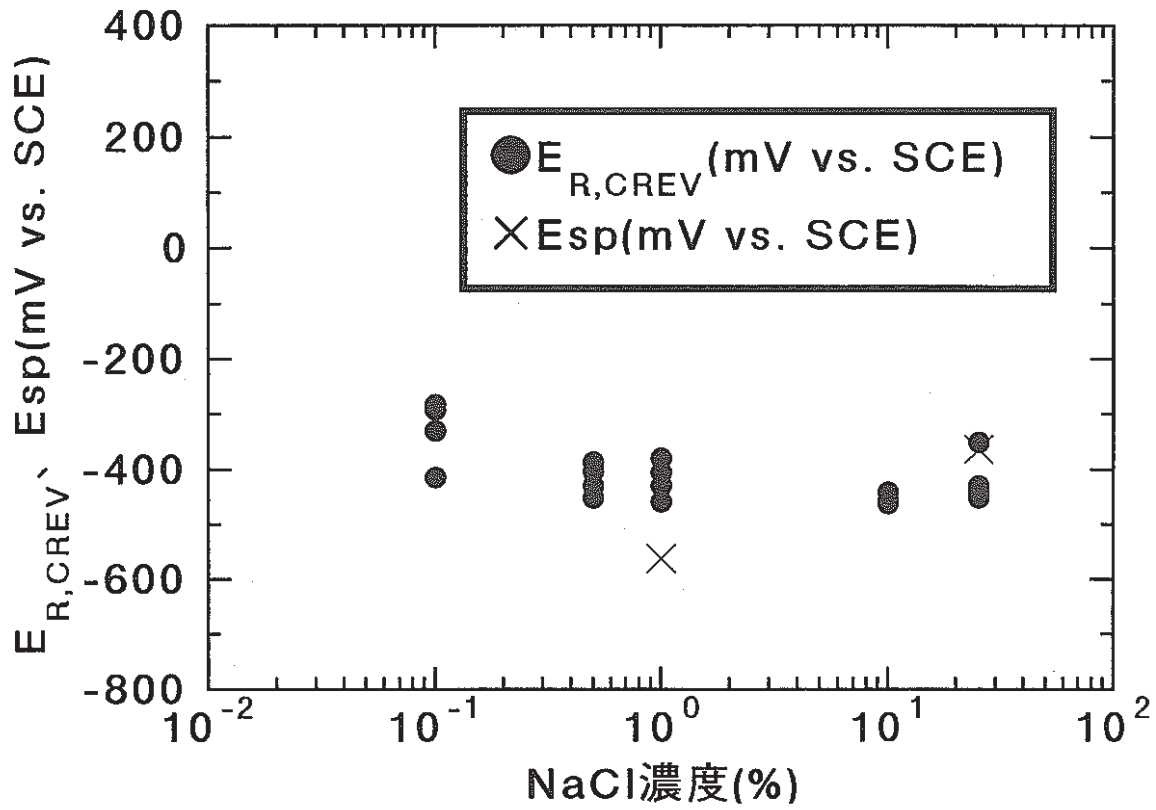


図 37 E<sub>R,CREV</sub> と Esp の比較  
(NaCl マトリックス溶液)

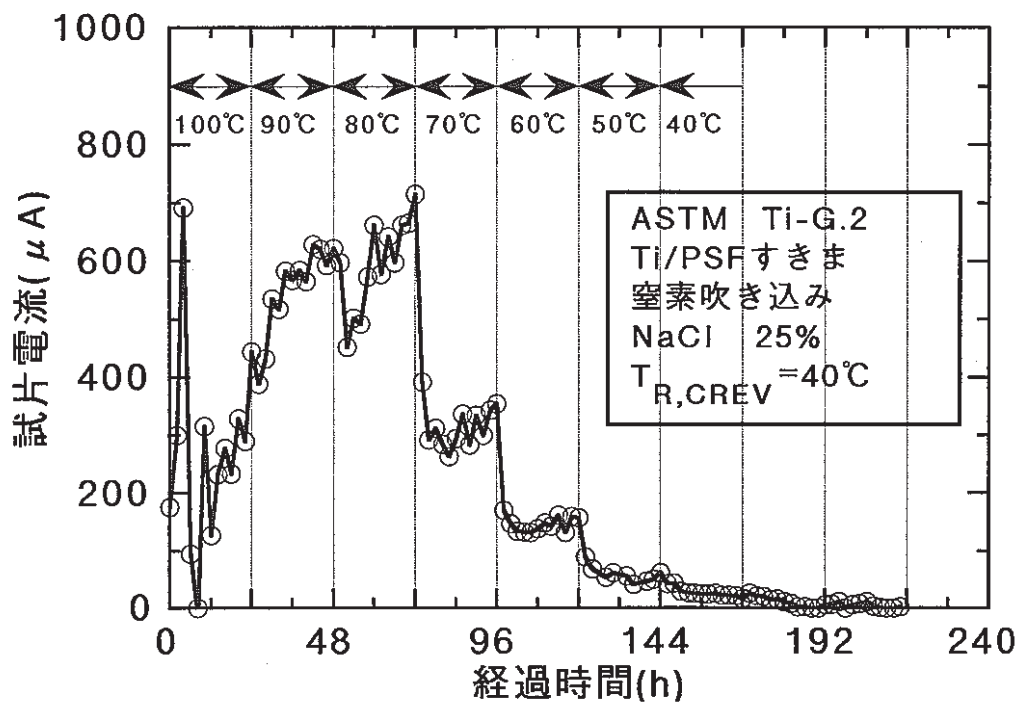


図 38 ASTM G2 Tiでの $T_{R,CREV}$ の測定  
(NaCl 25%)

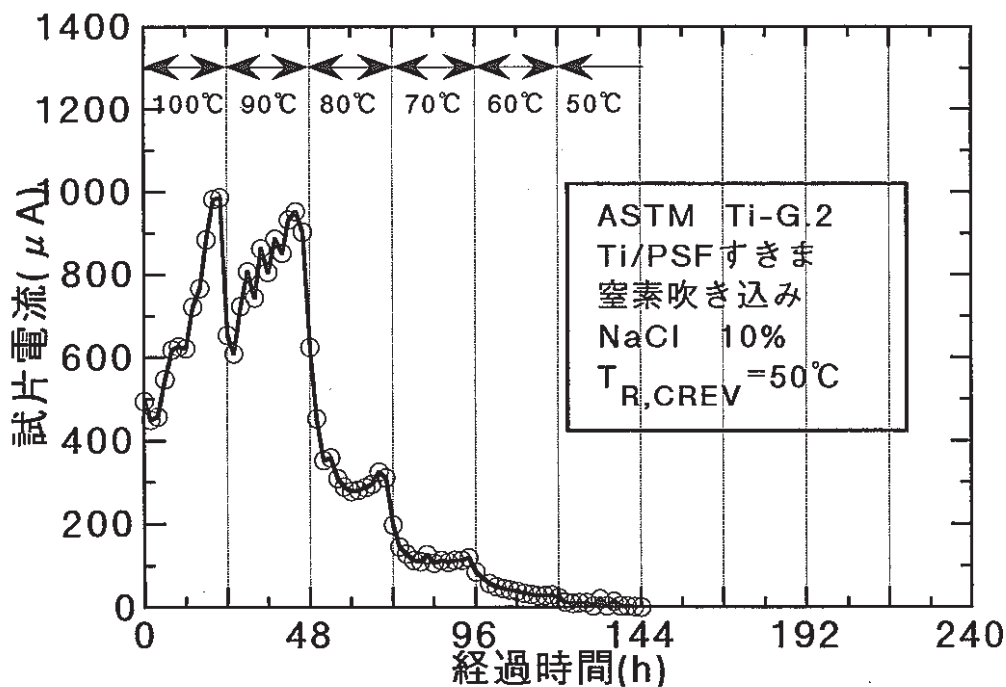


図 39 ASTM G2 Tiでの $T_{R,CREV}$ の測定  
(NaCl 10%)

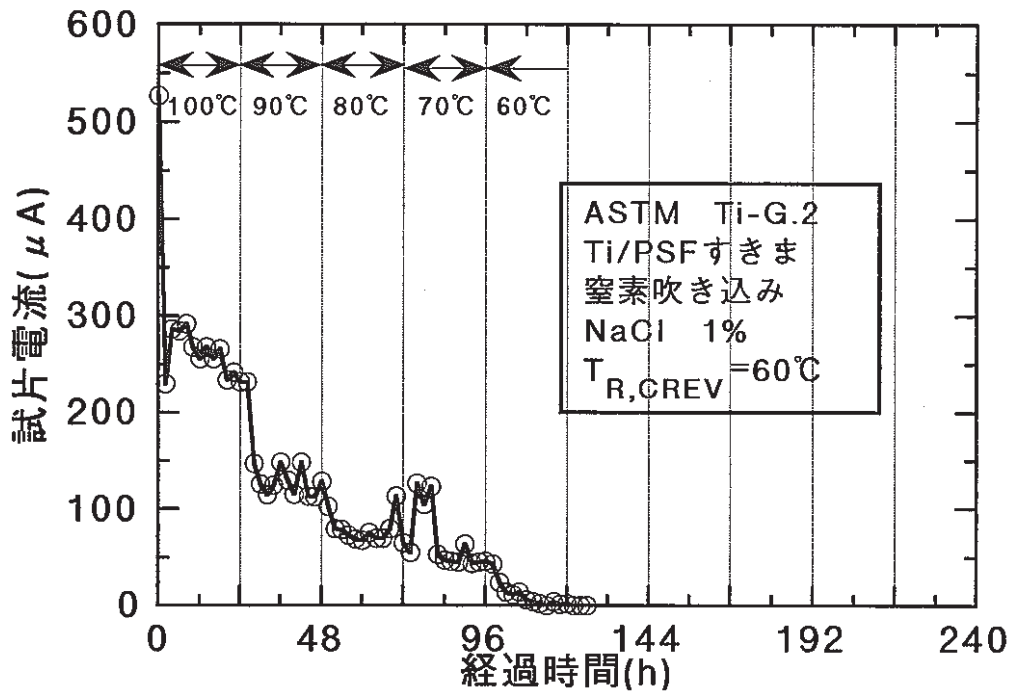


図 40 ASTM G2 Tiでの $T_{R,CREV}$ の測定  
(NaCl 1%)

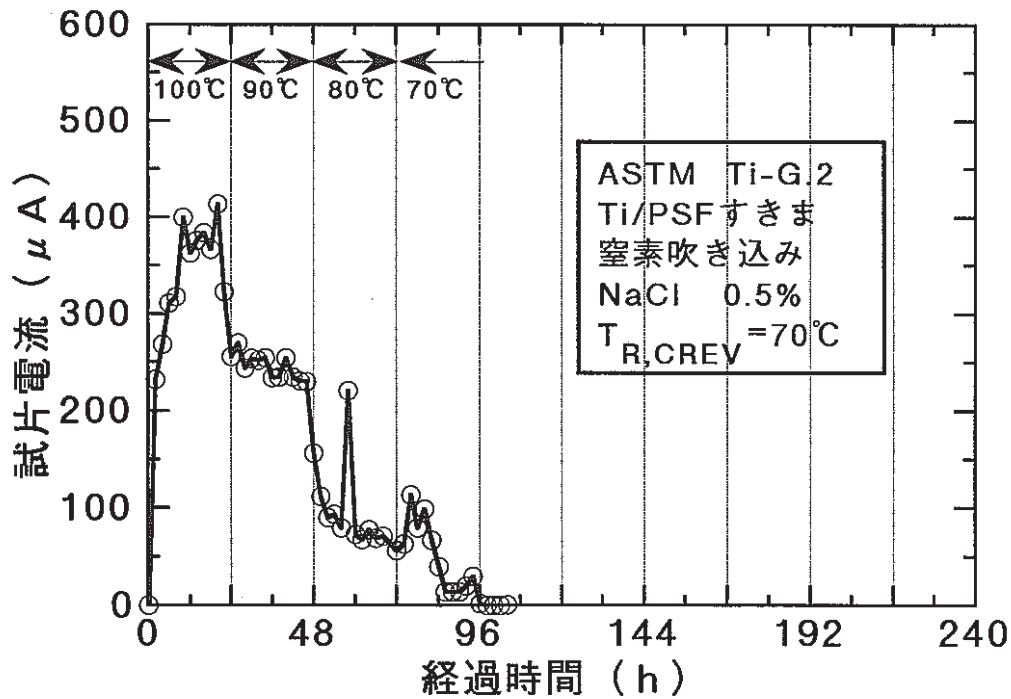


図 41 ASTM G2 Tiでの $T_{R,CREV}$ の測定  
(NaCl 0.5%)



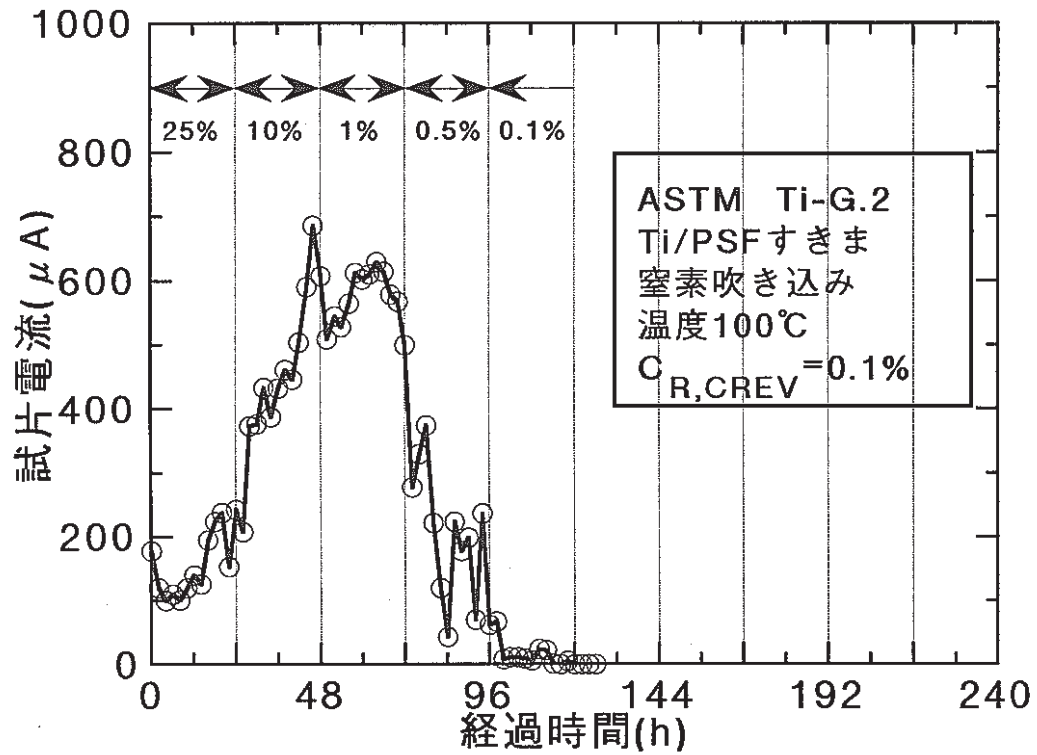


図 42 ASTM G2 Tiでの $C_{R,CREV}$ の測定  
(温度100℃)

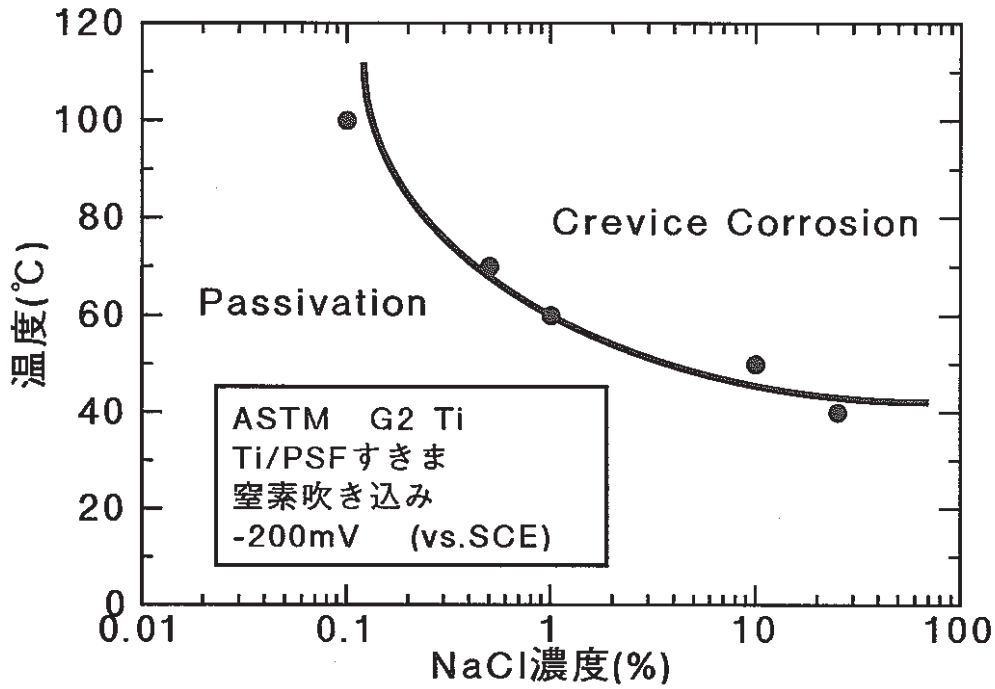


図 43 ASTM G2 Tiの温度、NaCl濃度に関するすきま腐食マップ

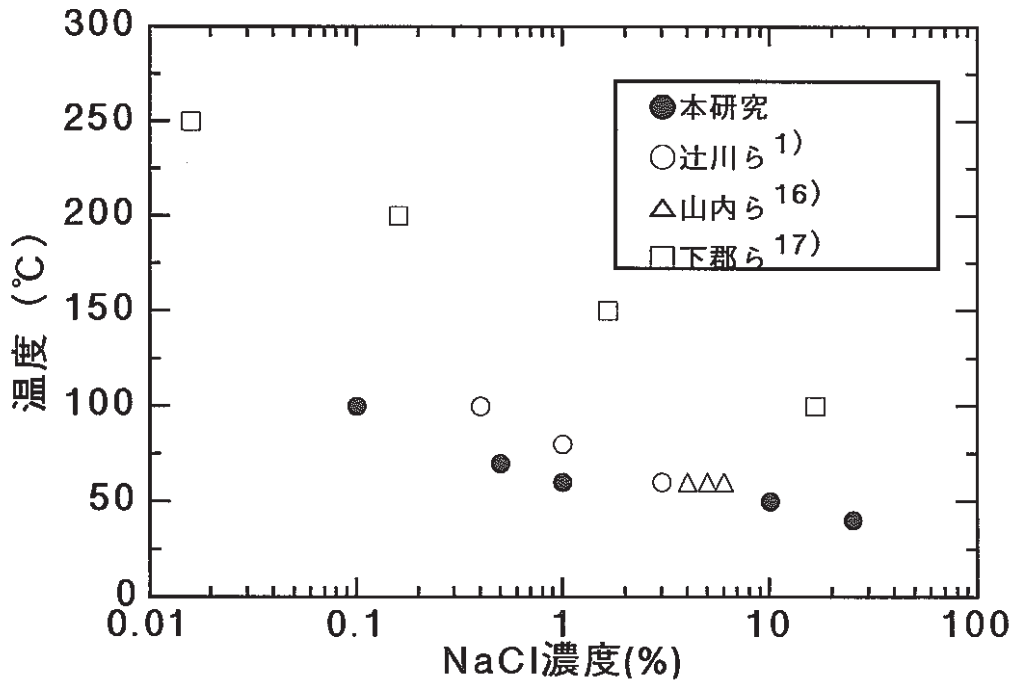
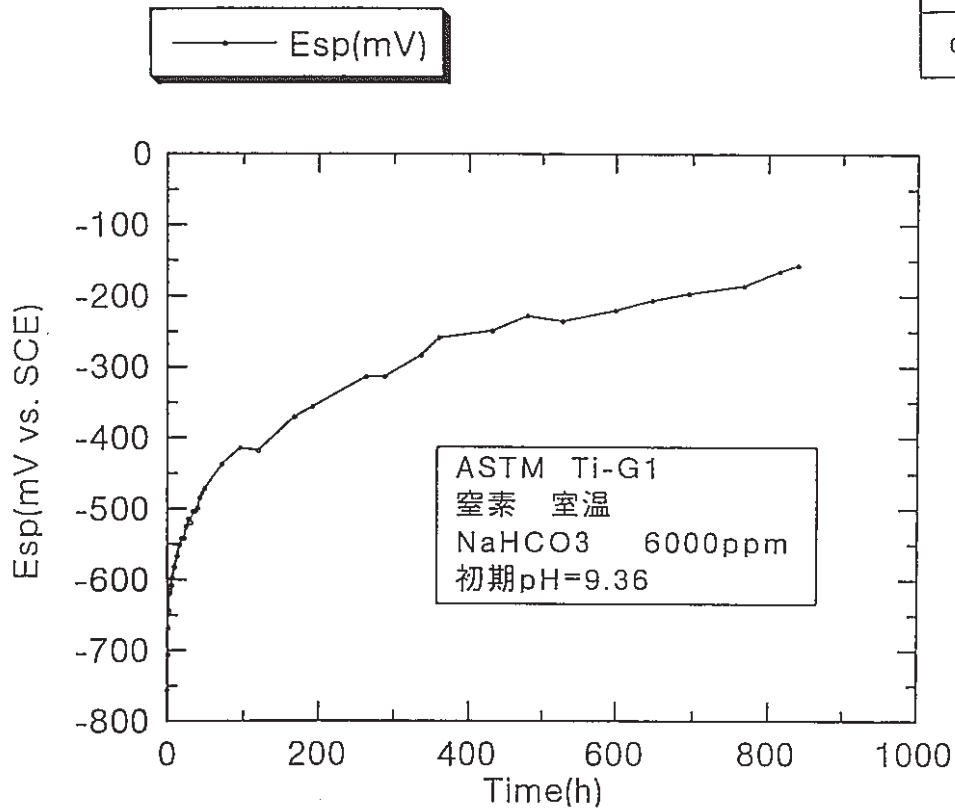


図 44 温度、NaCl濃度に関するすきま腐食発生有無の境界 (他の文献との比較)

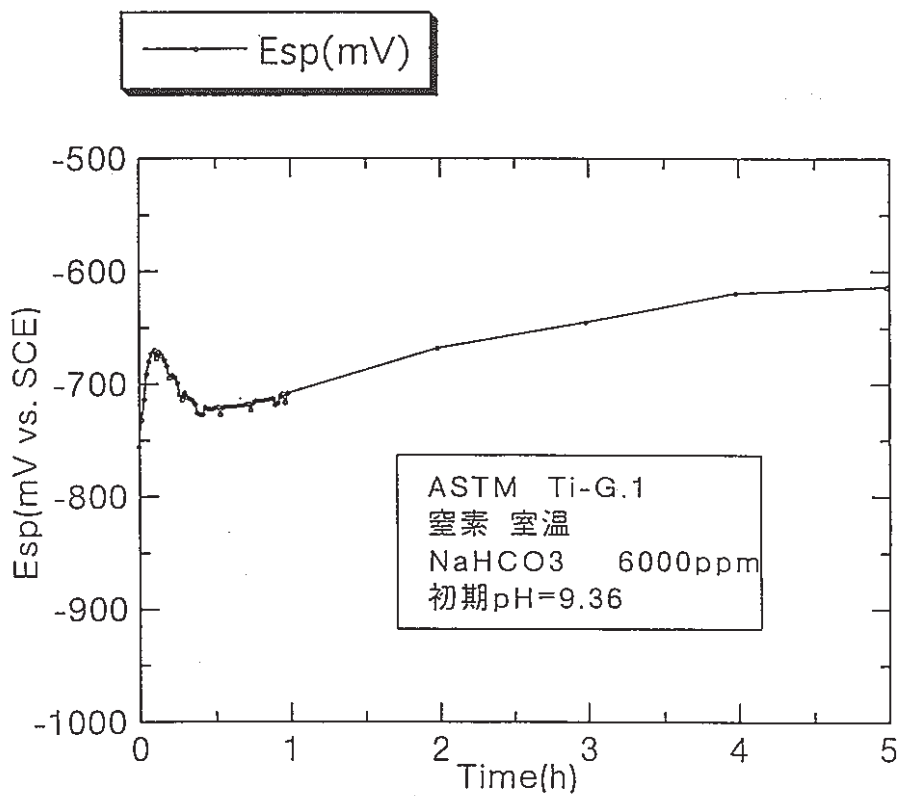
## Appendix-1

### Esp 測定結果( 生データ )

|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-1 | 全データ  |

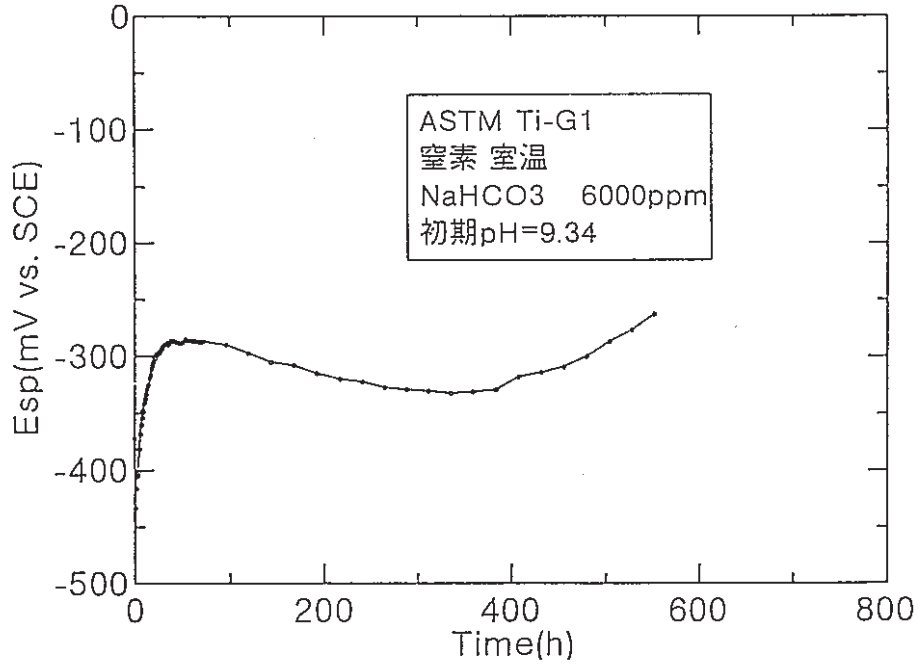


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-1 | 部分データ |



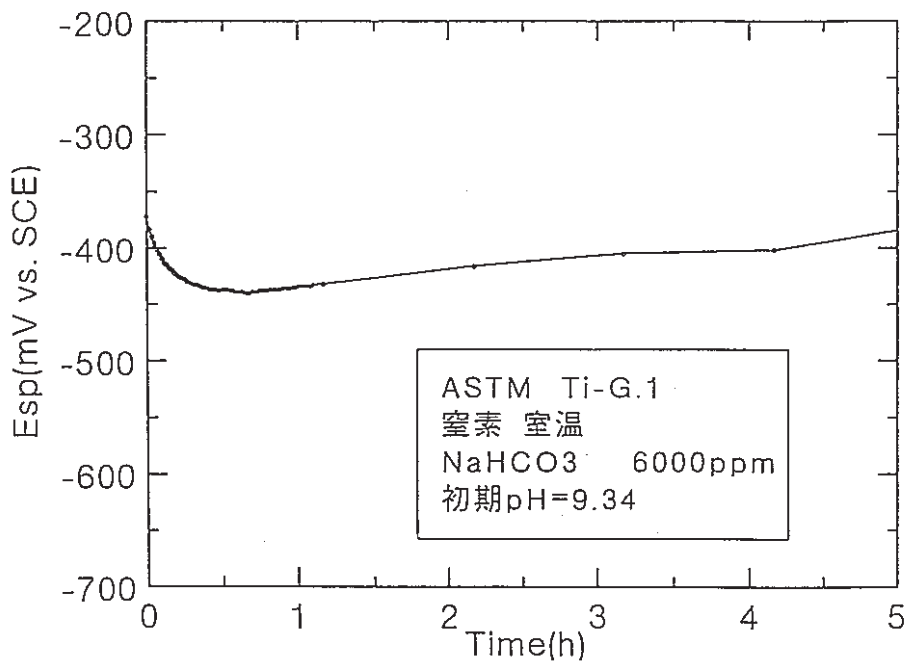
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-2 | 全データ  |

— Esp(mV)

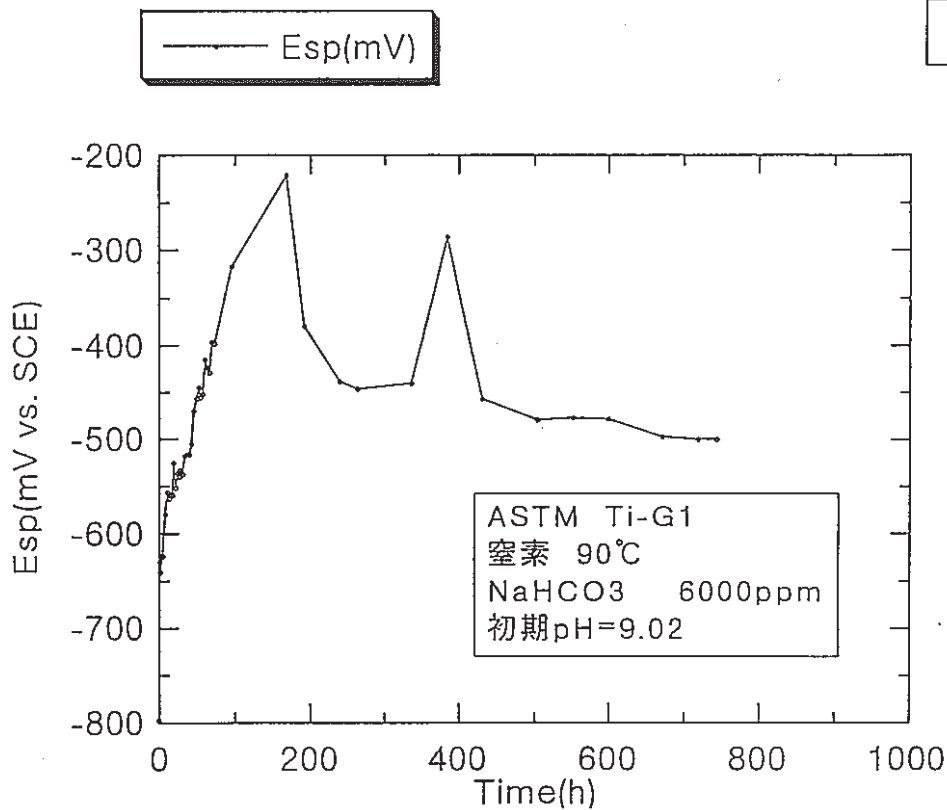


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-2 | 部分データ |

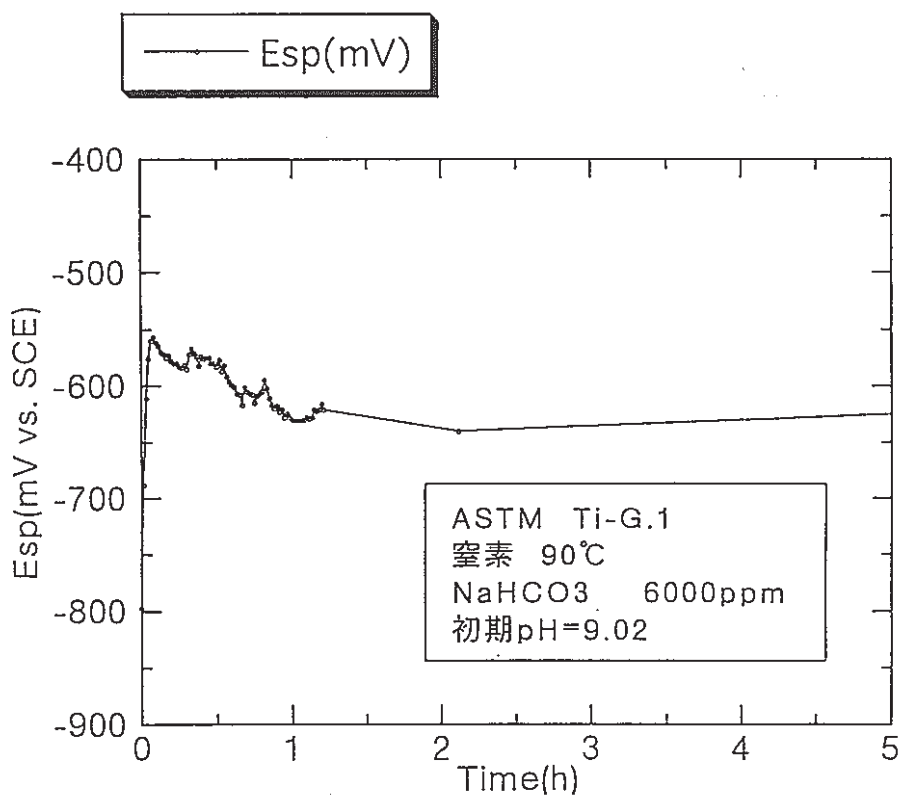
— Esp(mV)



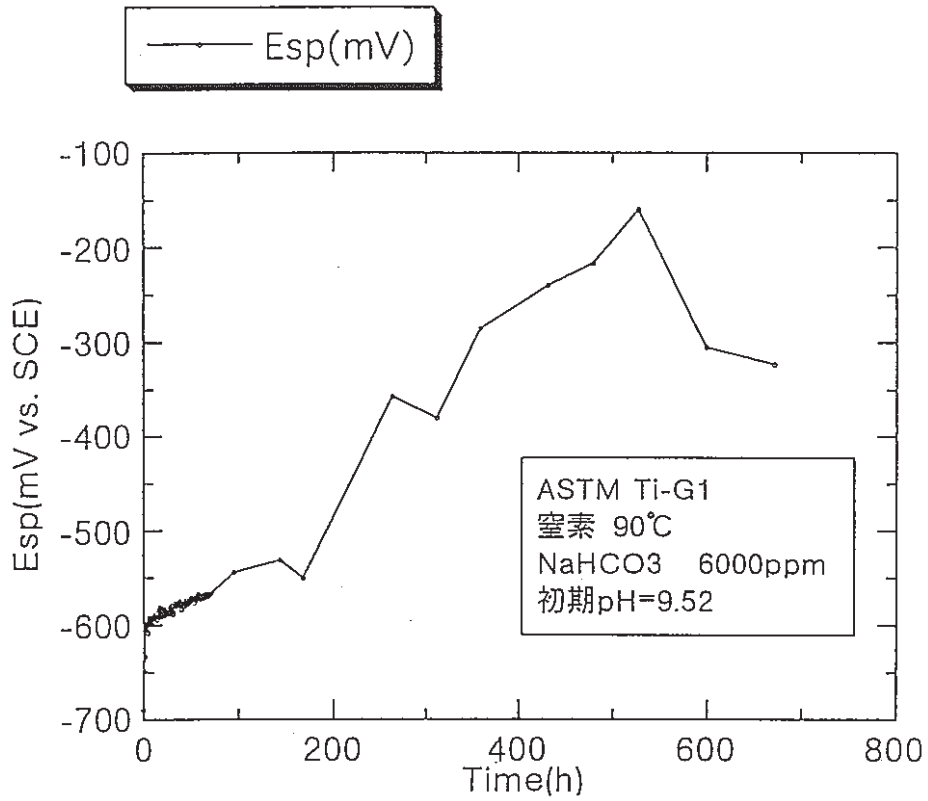
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-3 | 全データ  |



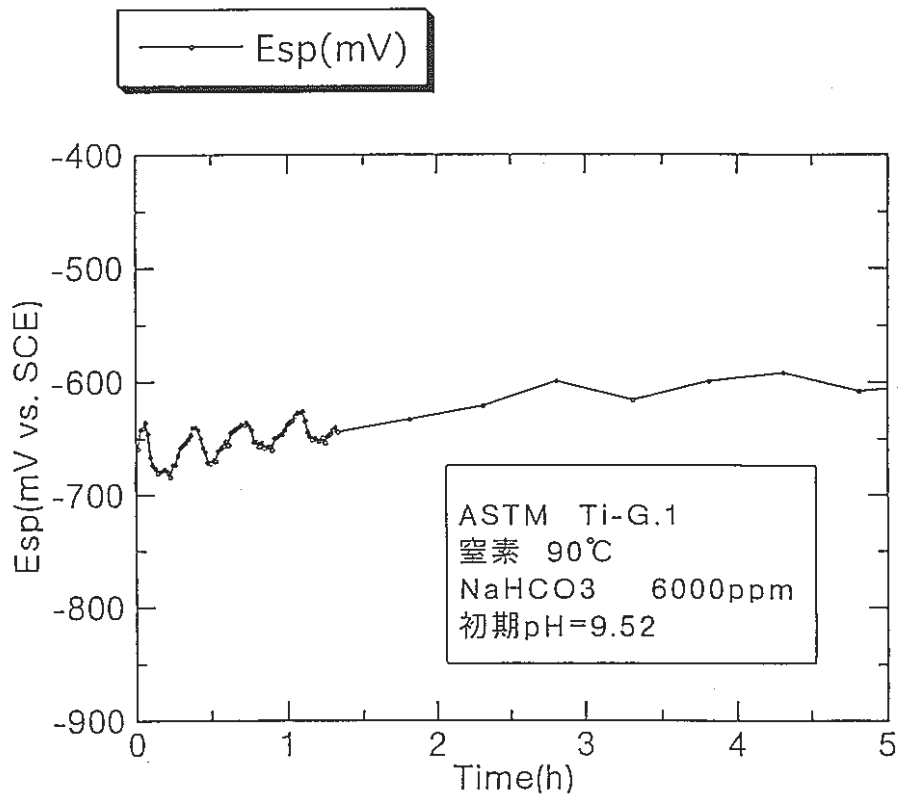
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-3 | 部分データ |



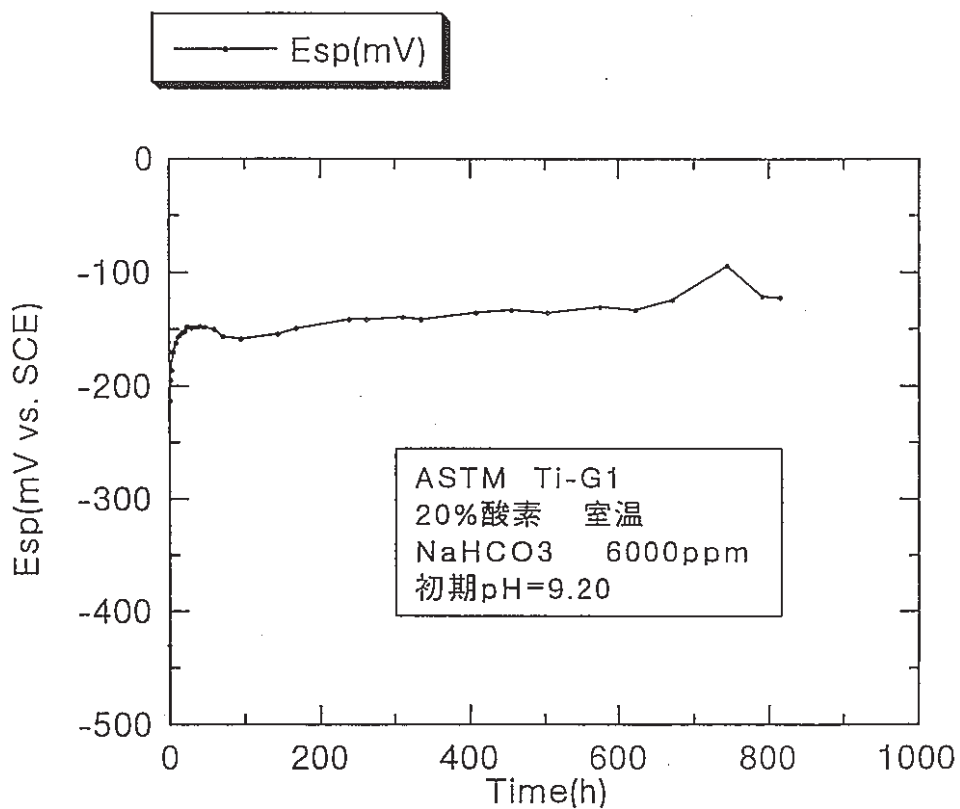
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-4 | 全データ  |



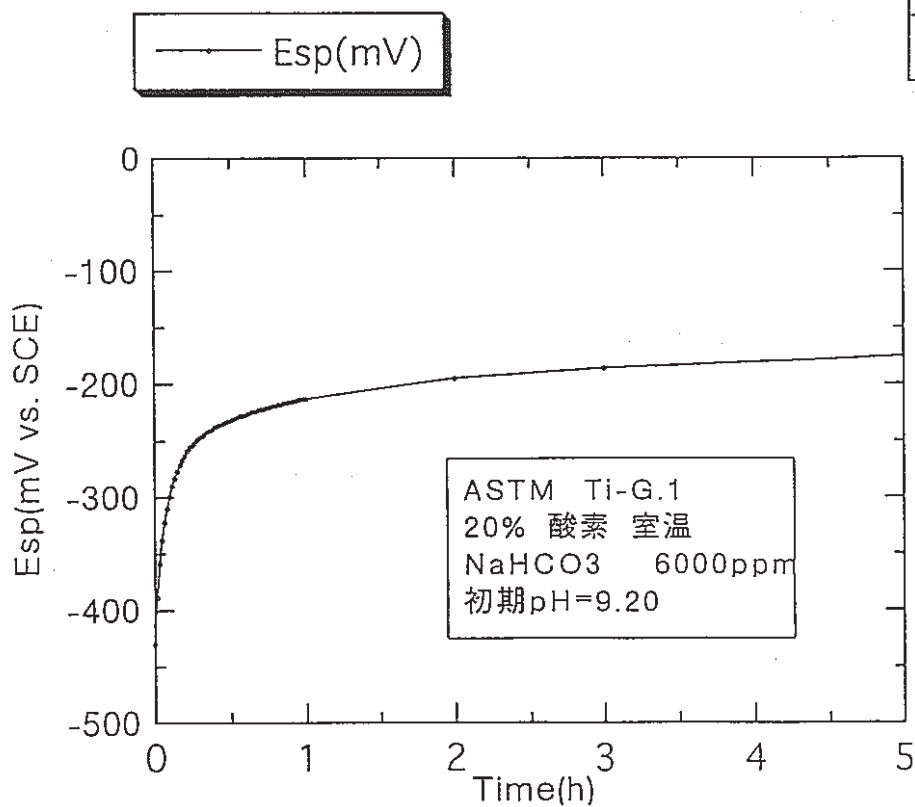
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-4 | 部分データ |



|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-5 | 全データ  |



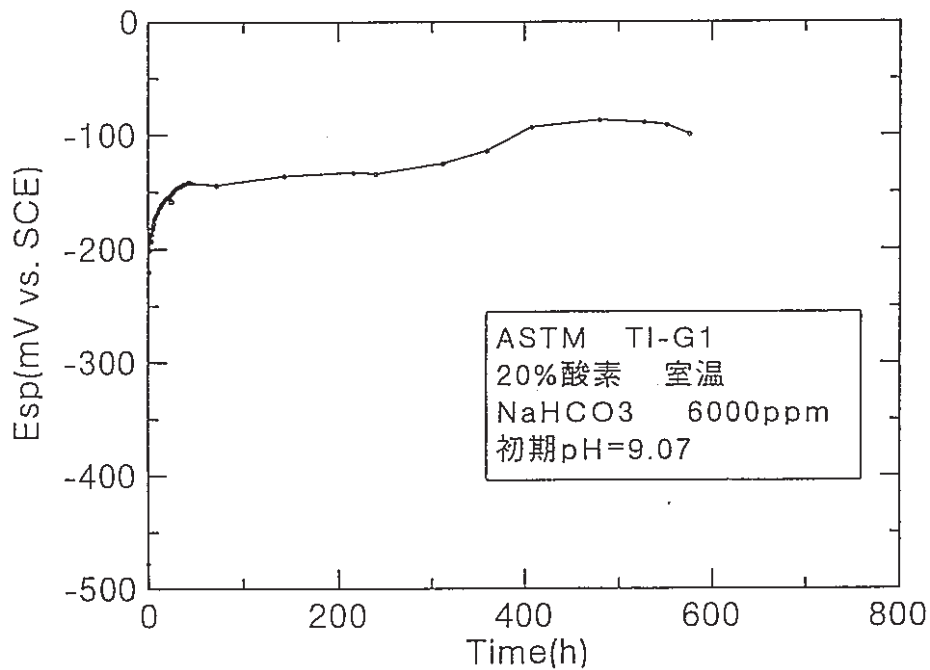
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-5 | 部分データ |





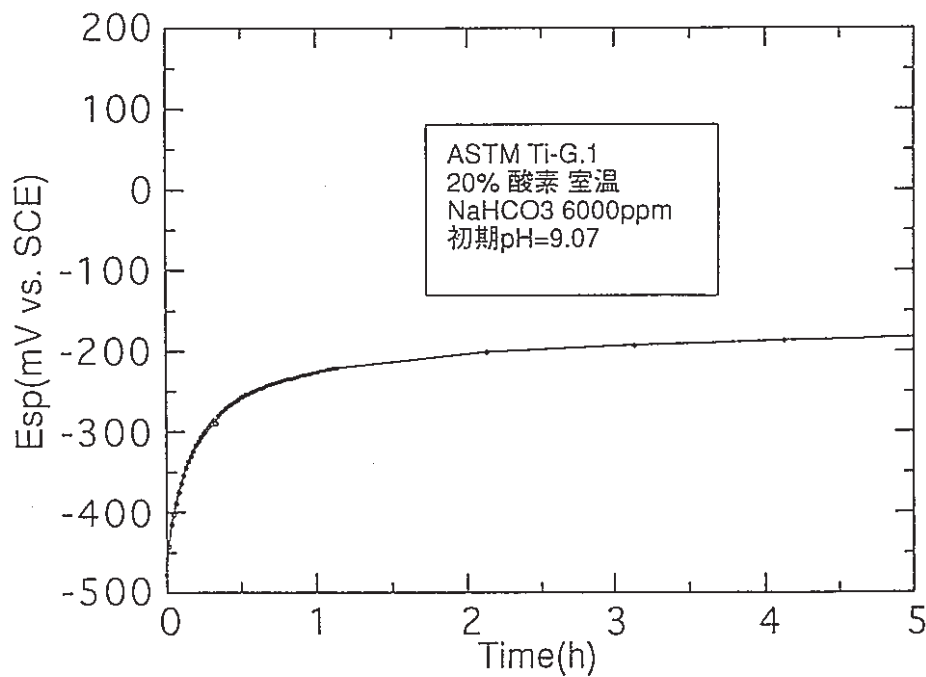
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-6 | 全データ  |

—●— Esp(mV)

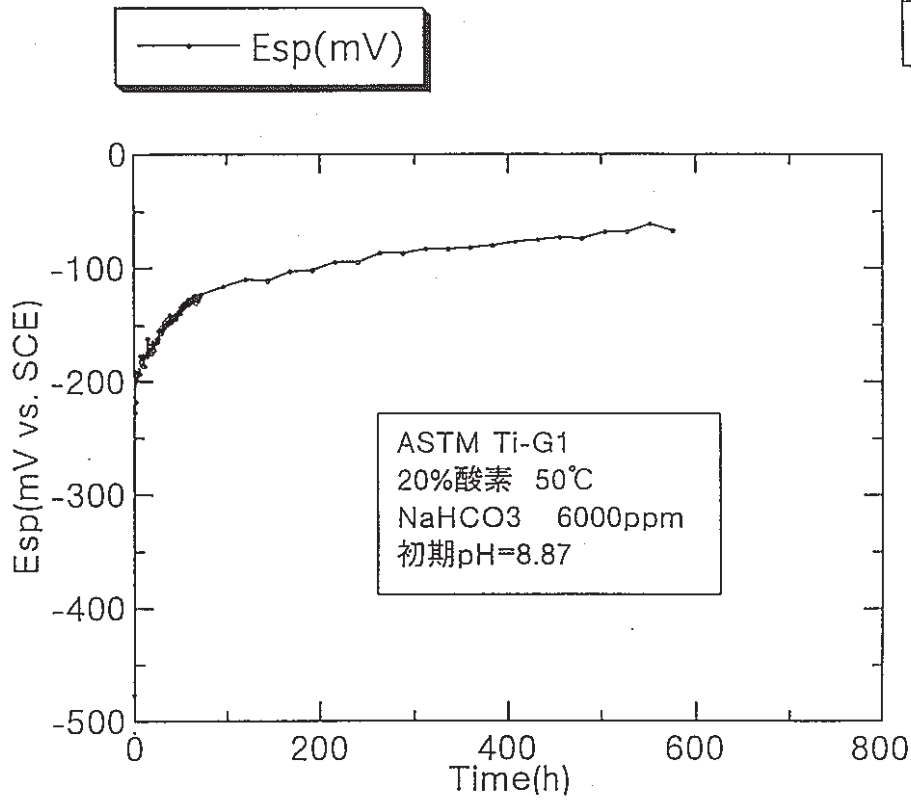


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-6 | 部分データ |

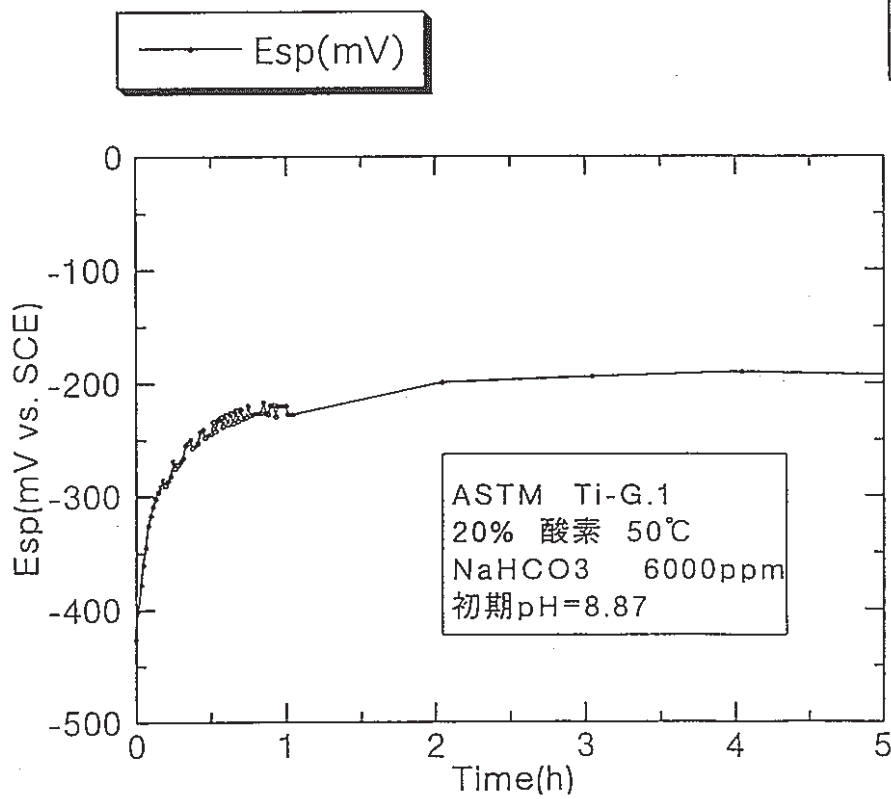
—●— Esp(mV)



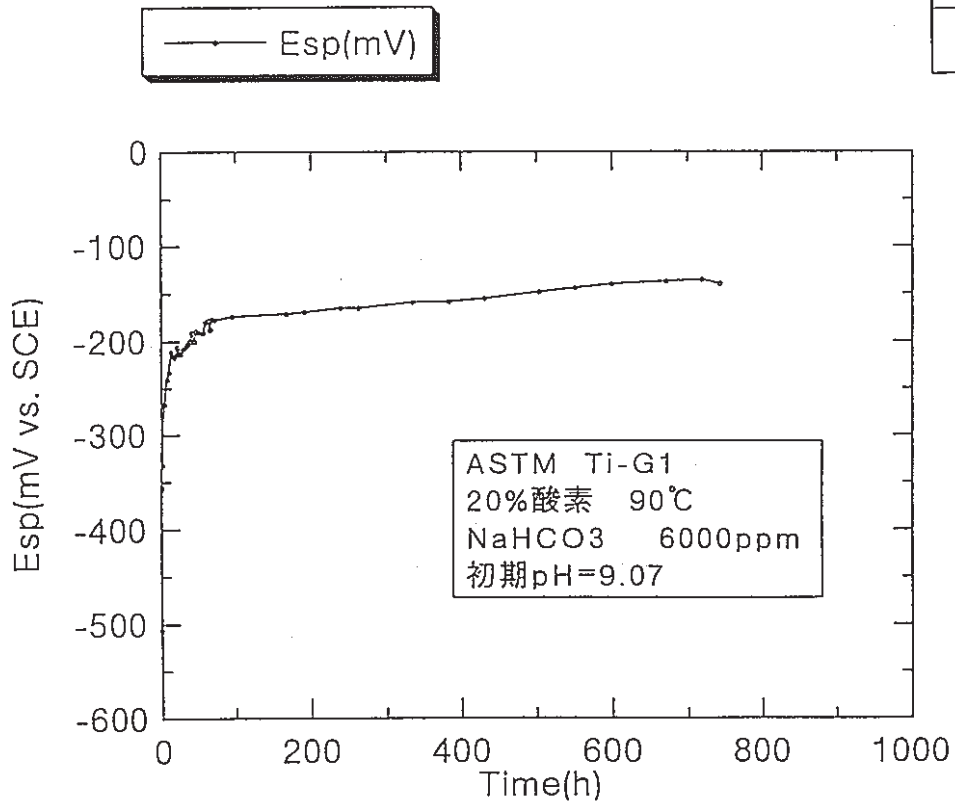
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-7 | 全データ  |



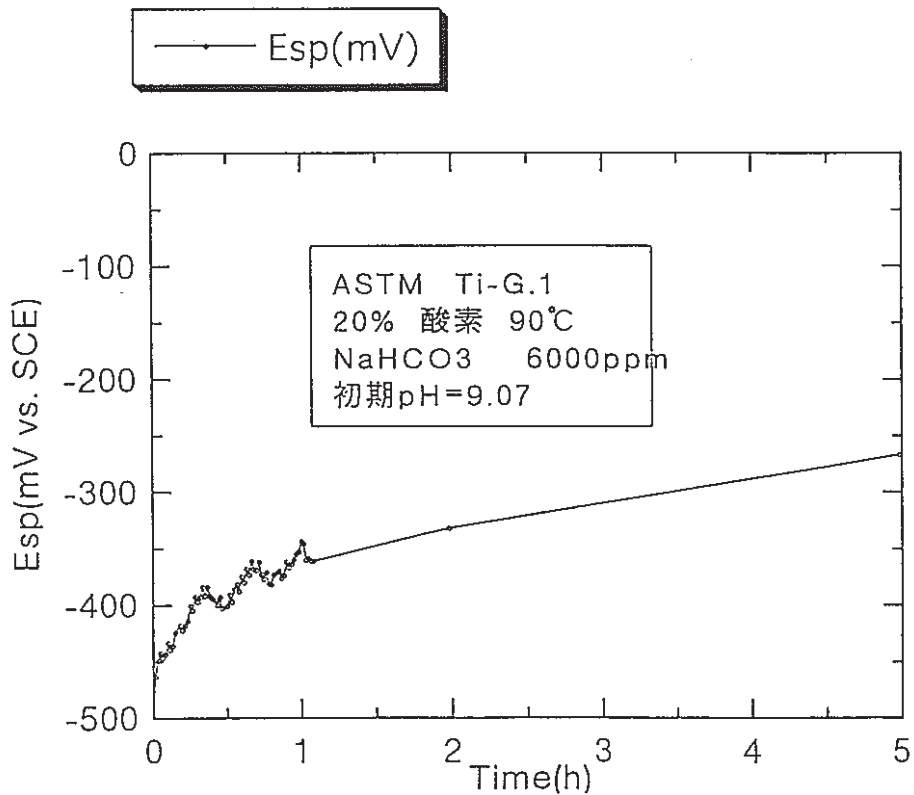
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-7 | 部分データ |



|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-8 | 全データ  |

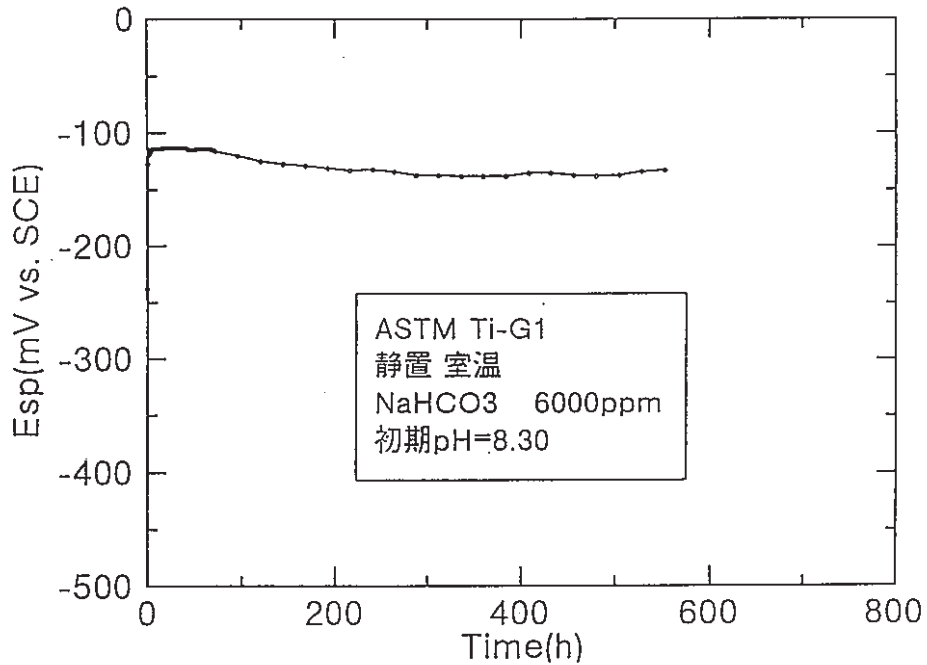


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-8 | 部分データ |



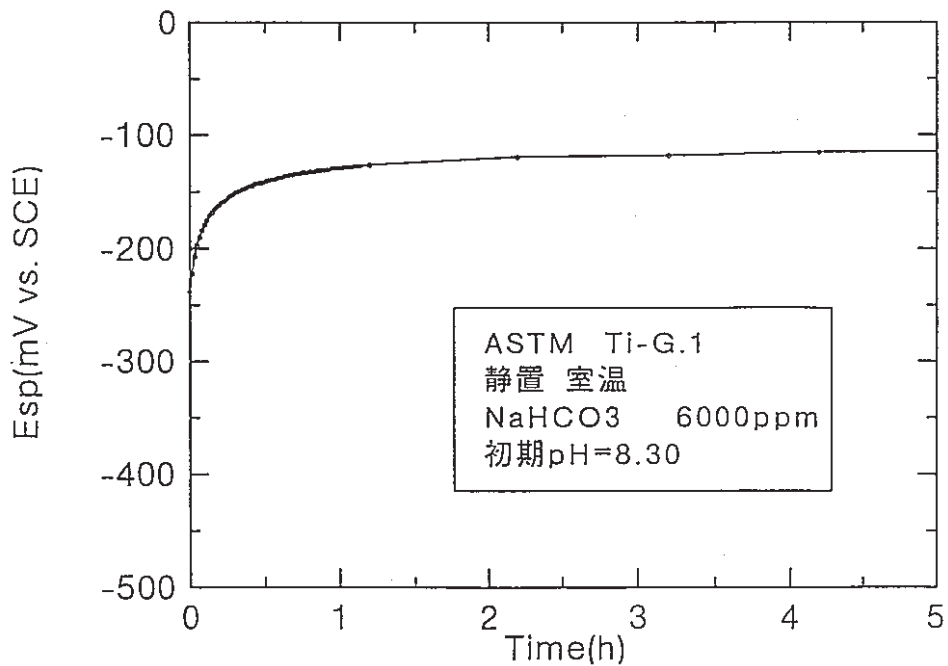
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-9 | 全データ  |

— Esp(mV)



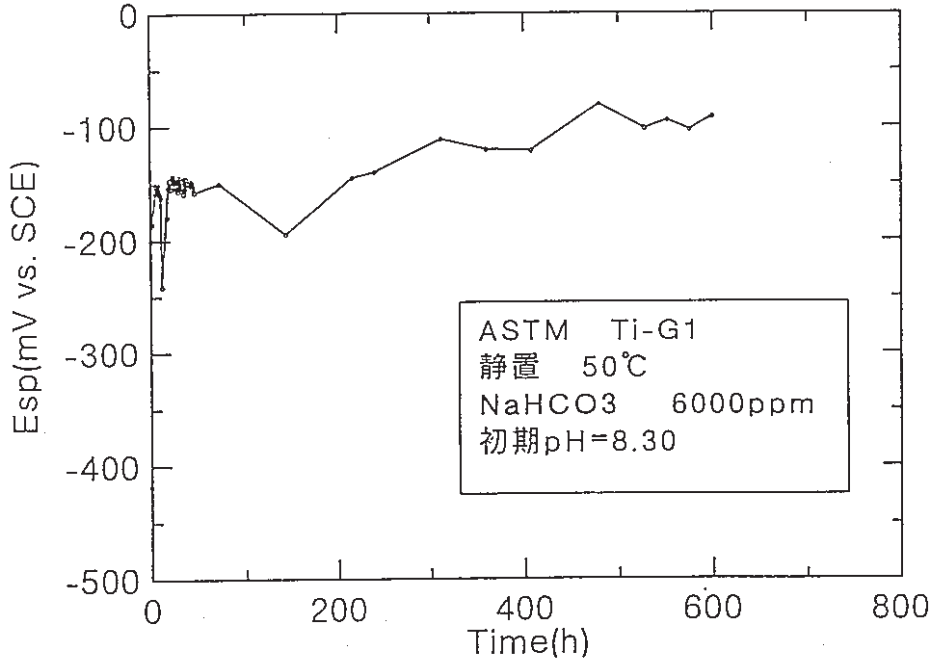
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G1-9 | 部分データ |

— Esp(mV)



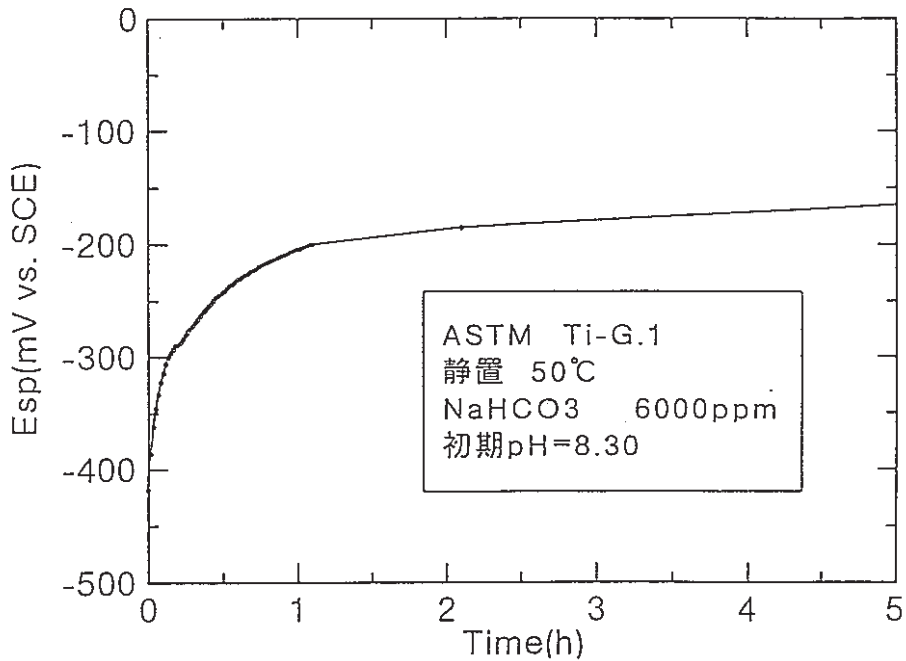
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-10 | 全データ  |

— Esp(mV)

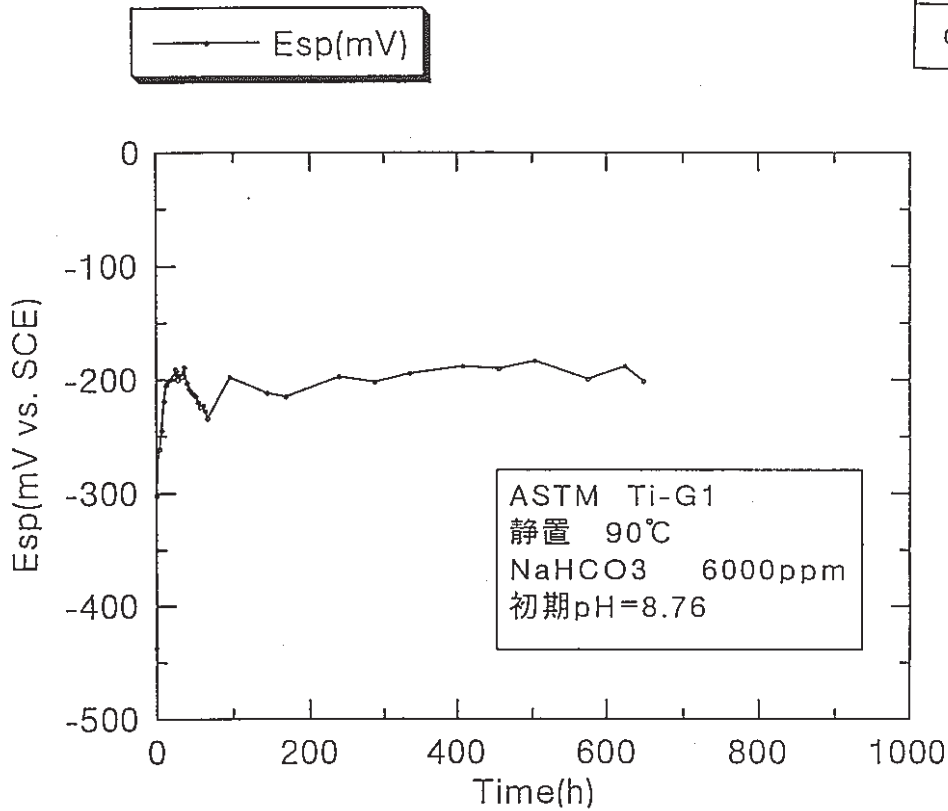


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-10 | 部分データ |

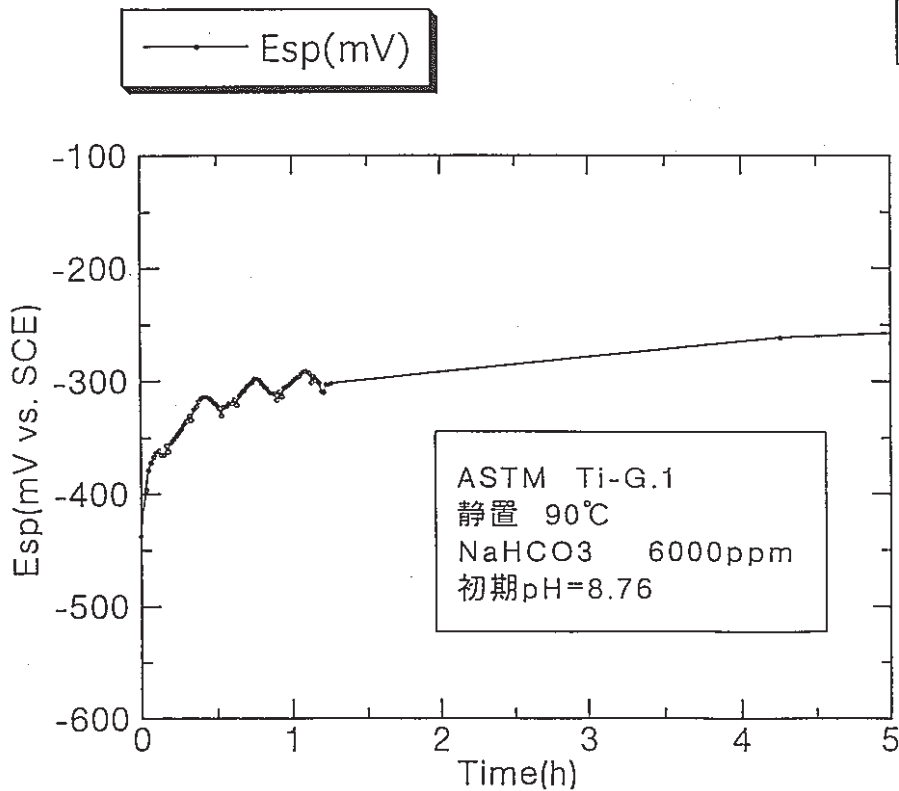
— Esp(mV)



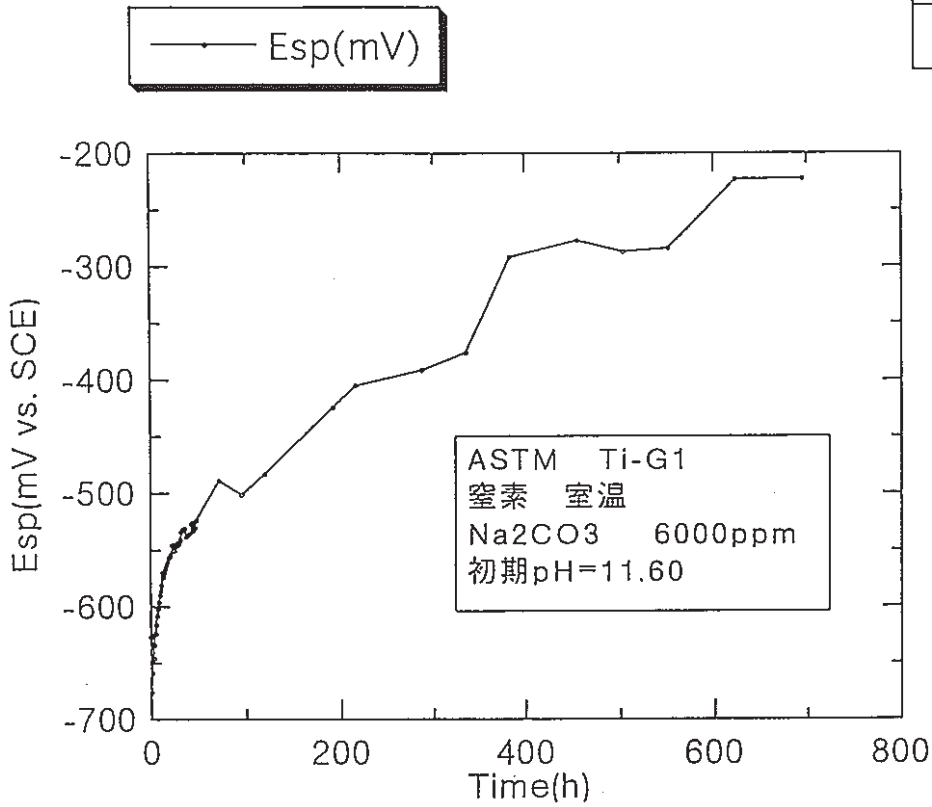
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-11 | 全データ  |



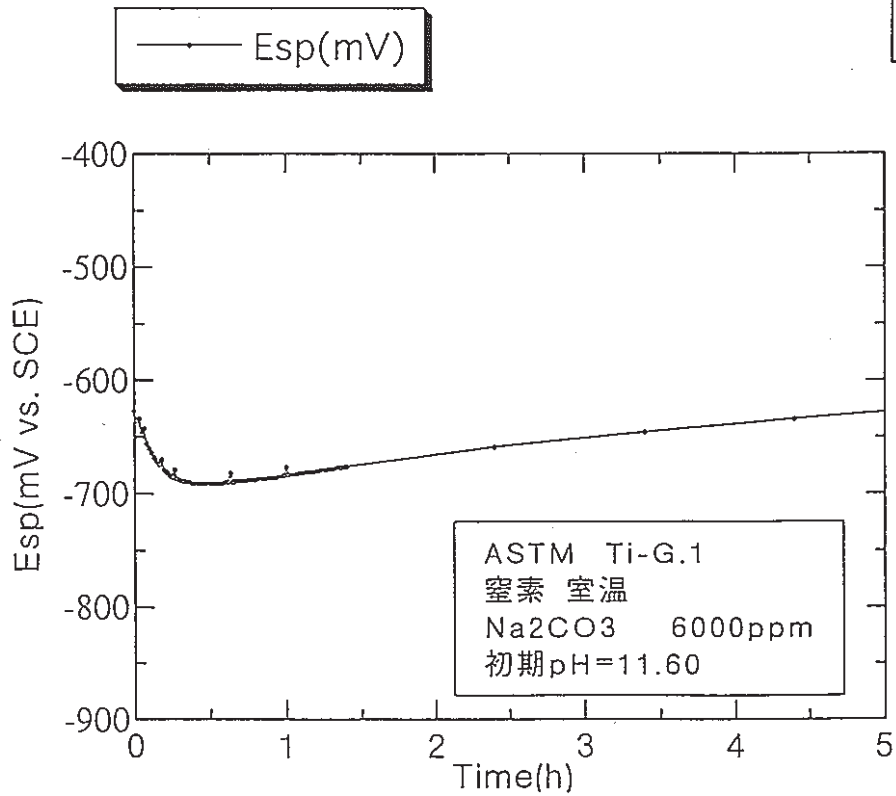
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-11 | 部分データ |



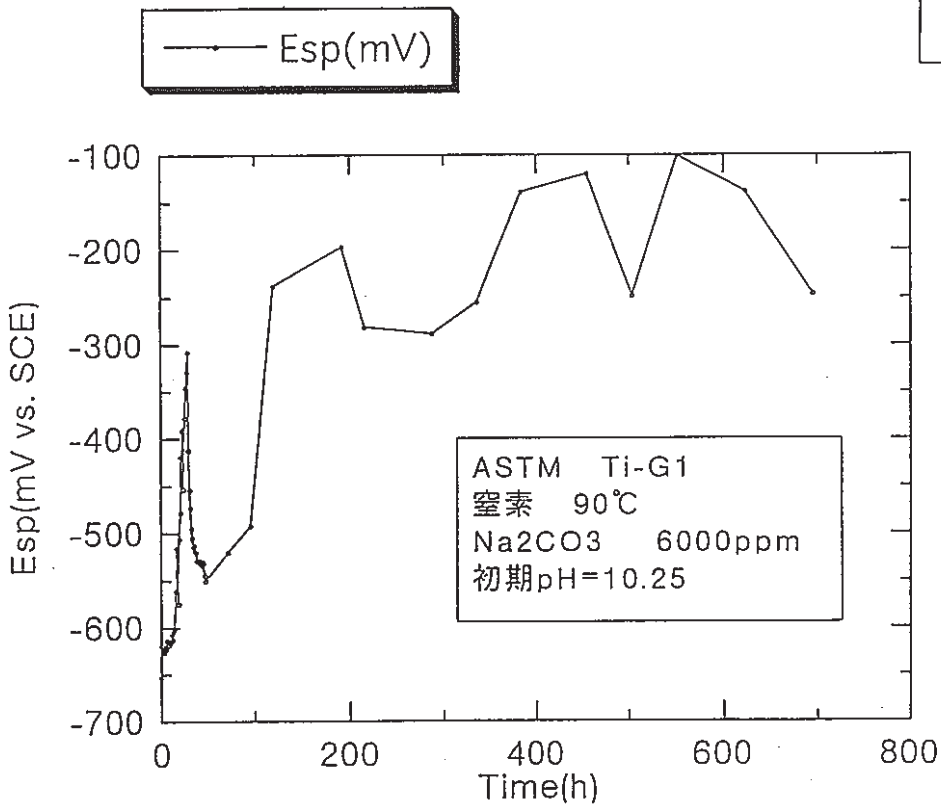
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-12 | 全データ  |



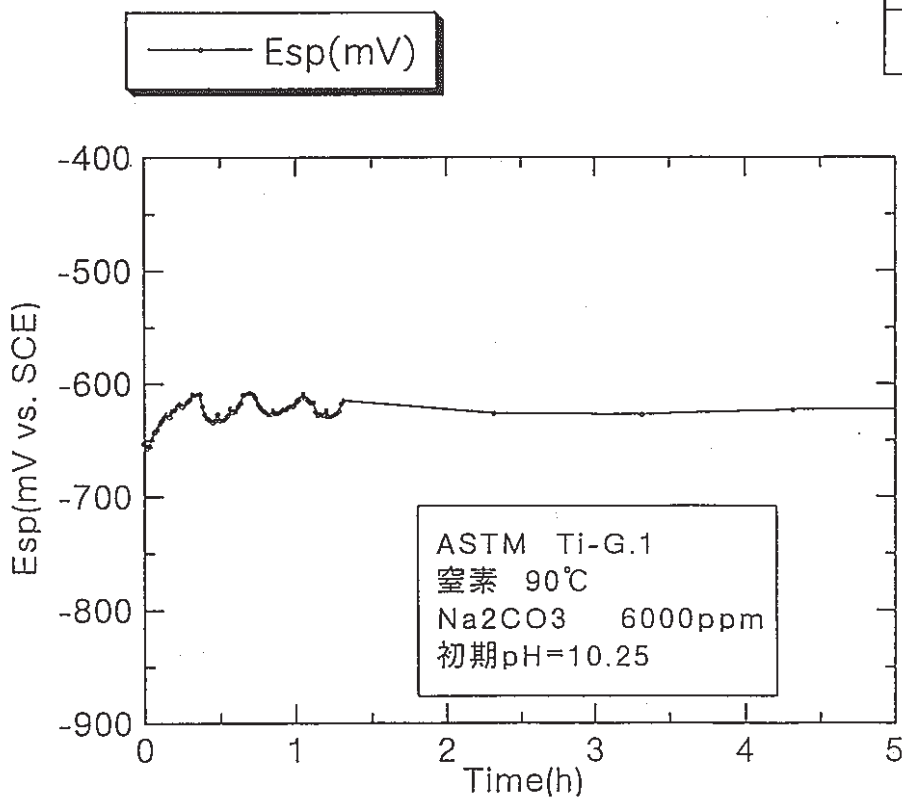
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-12 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-13 | 全データ  |

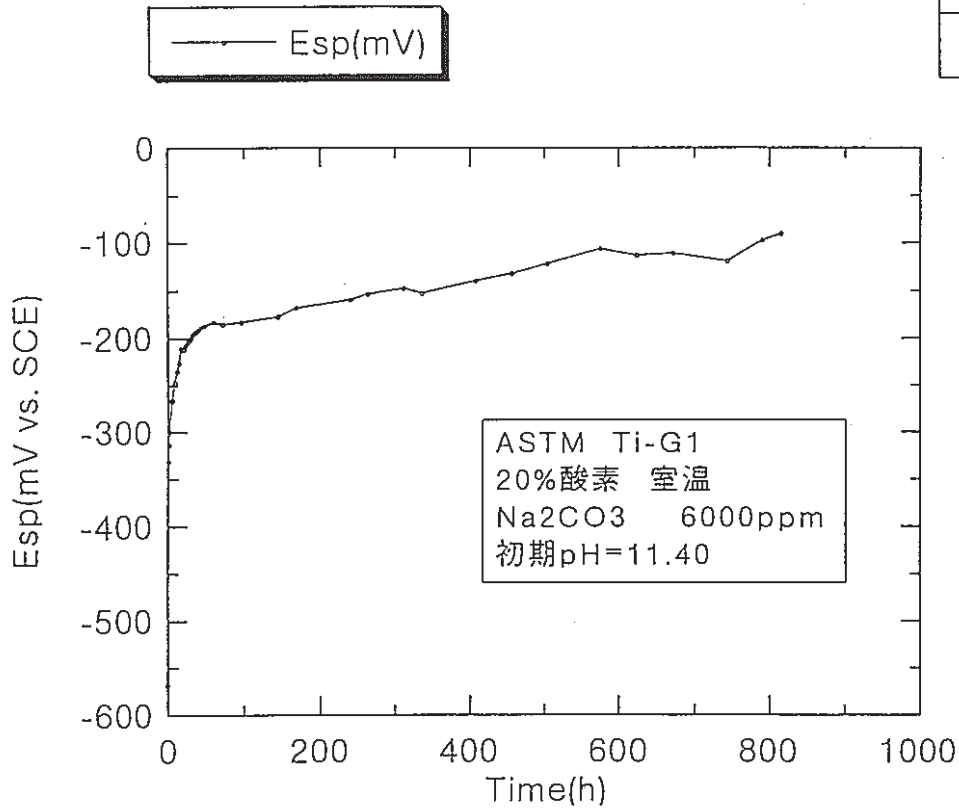


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-13 | 部分データ |

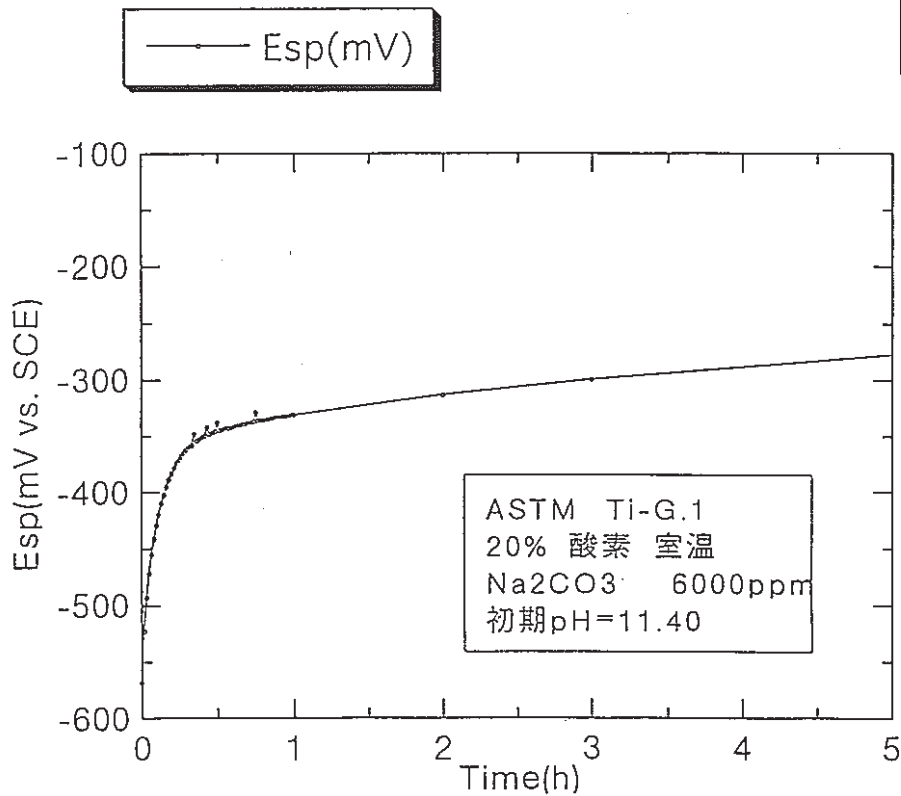




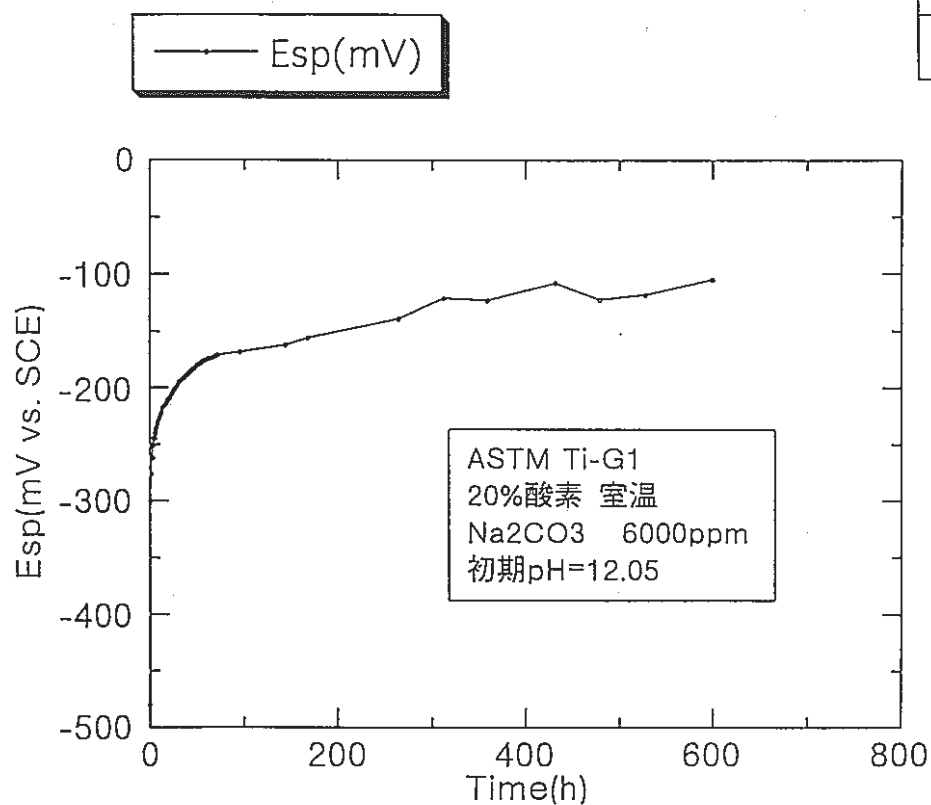
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-14 | 全データ  |



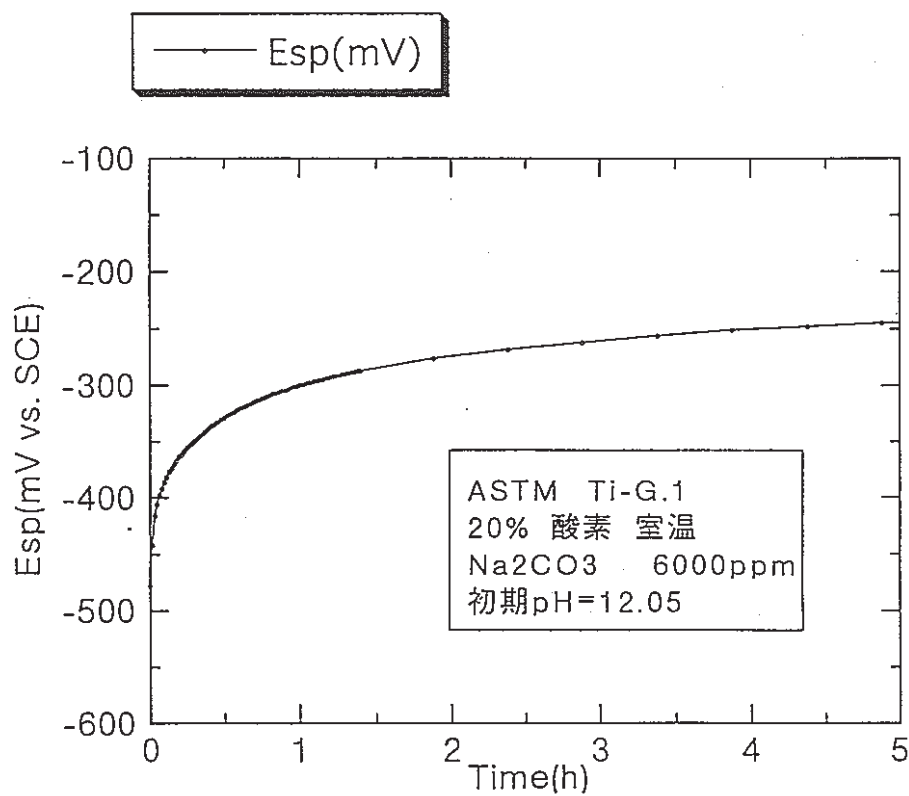
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-14 | 部分データ |



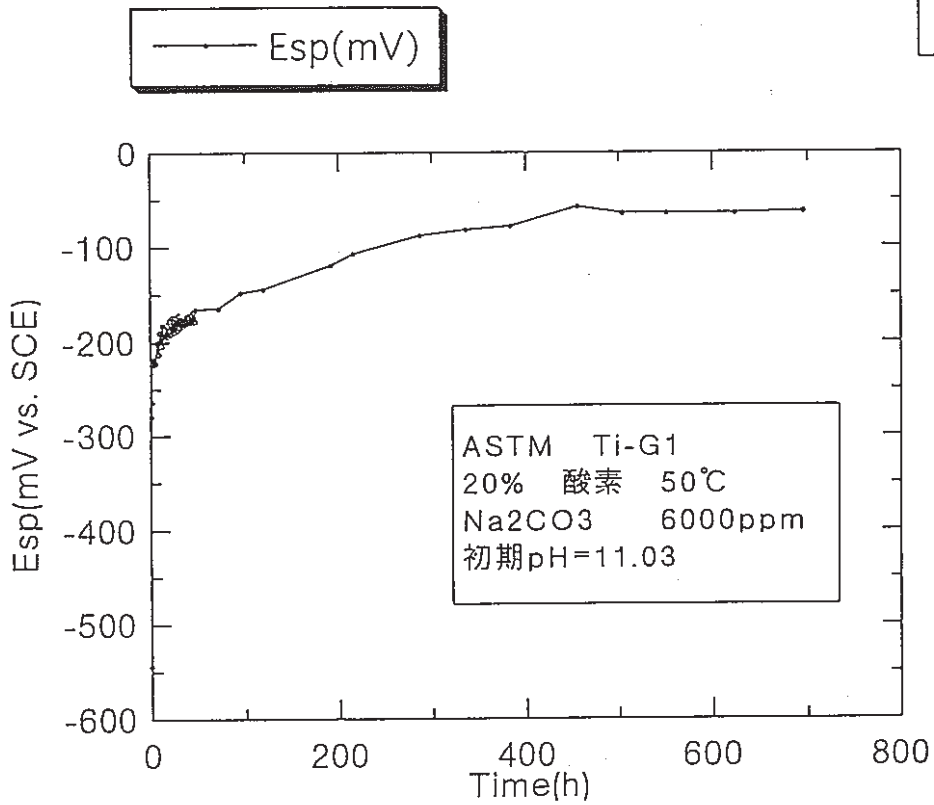
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-15 | 全データ  |



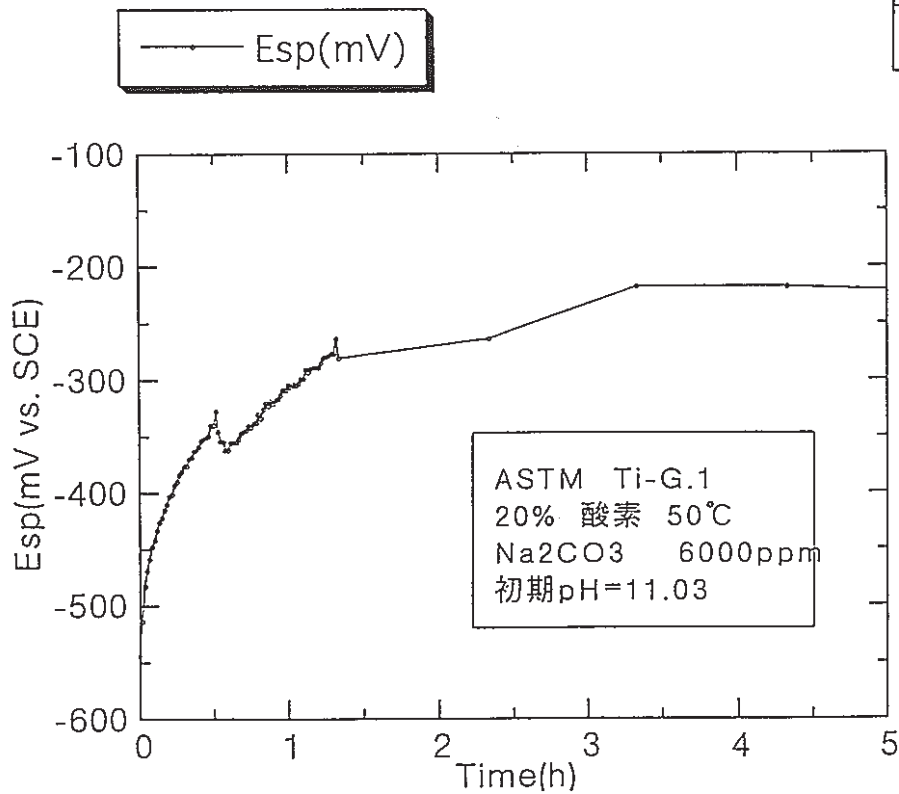
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-15 | 部分データ |



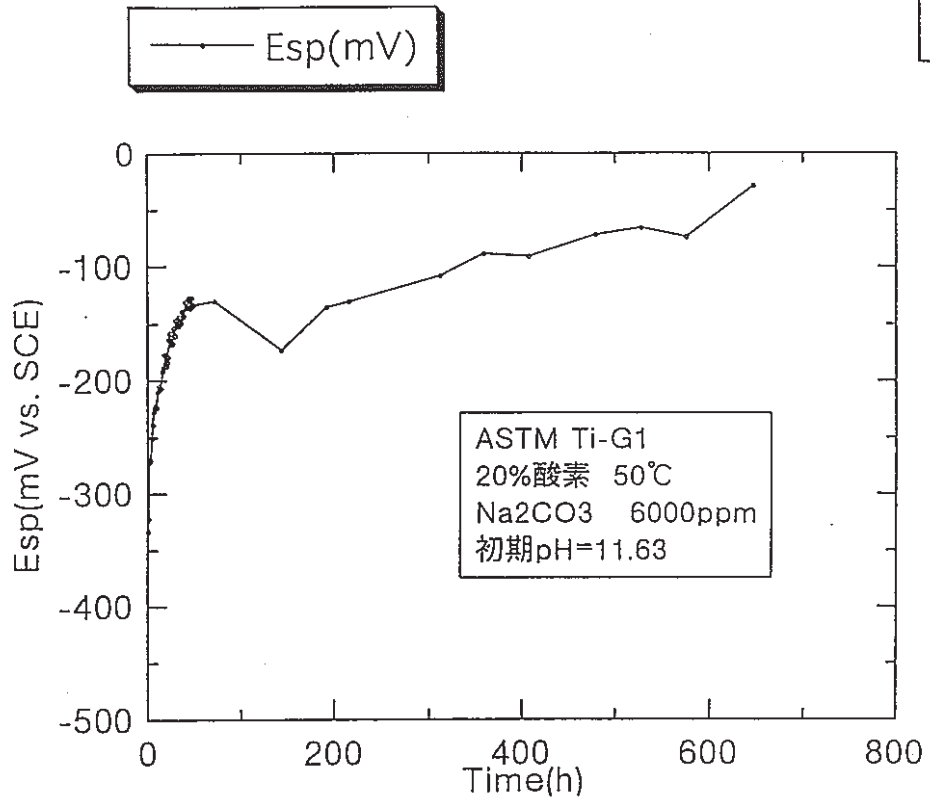
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-16 | 全データ  |



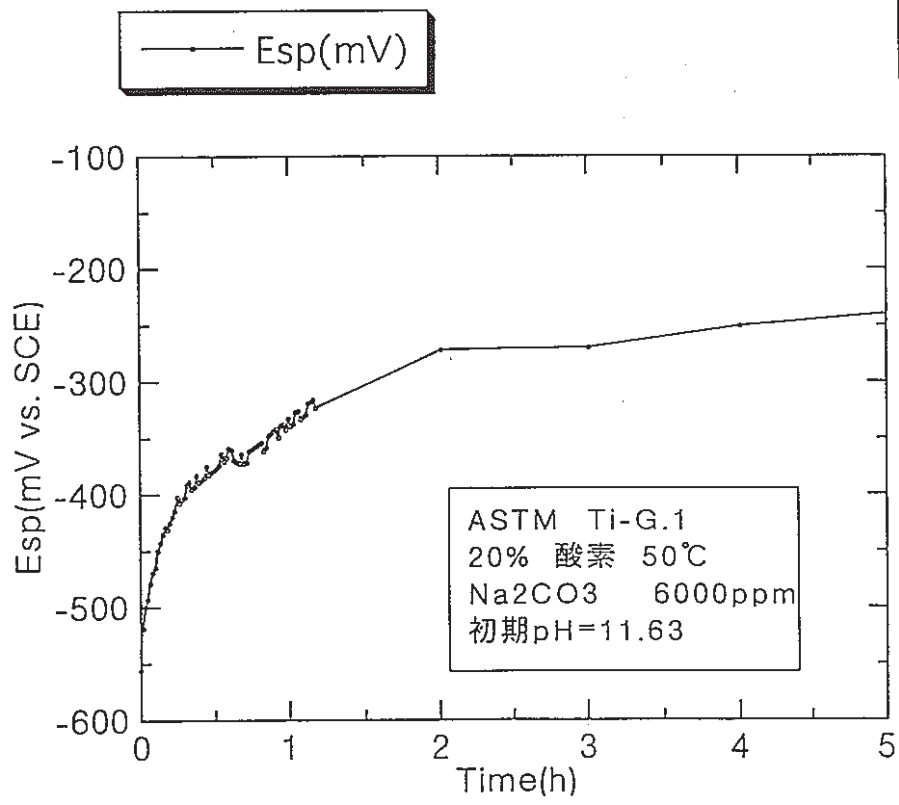
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-16 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-17 | 全データ  |

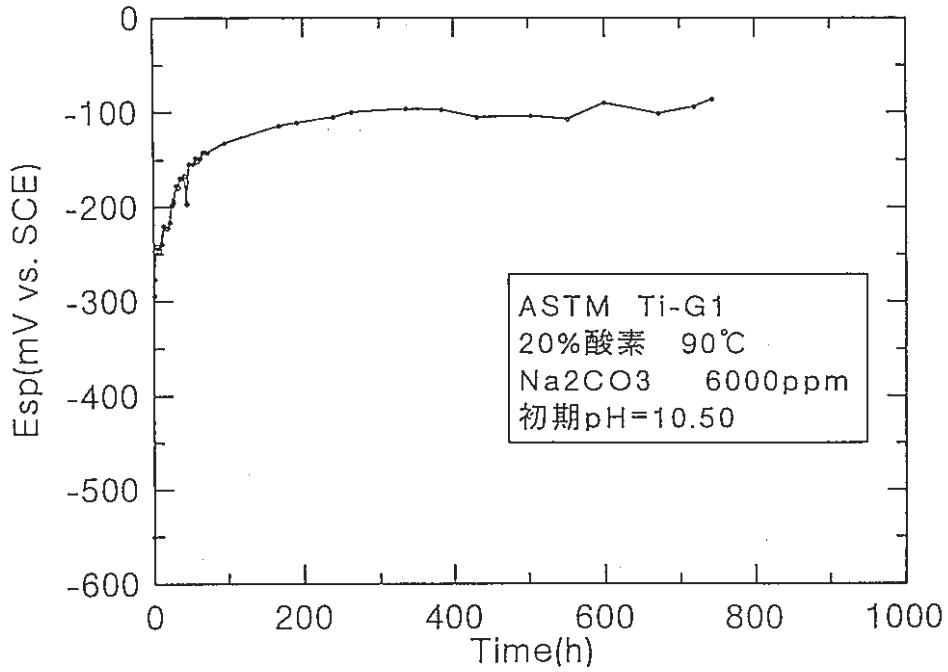


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-17 | 部分データ |



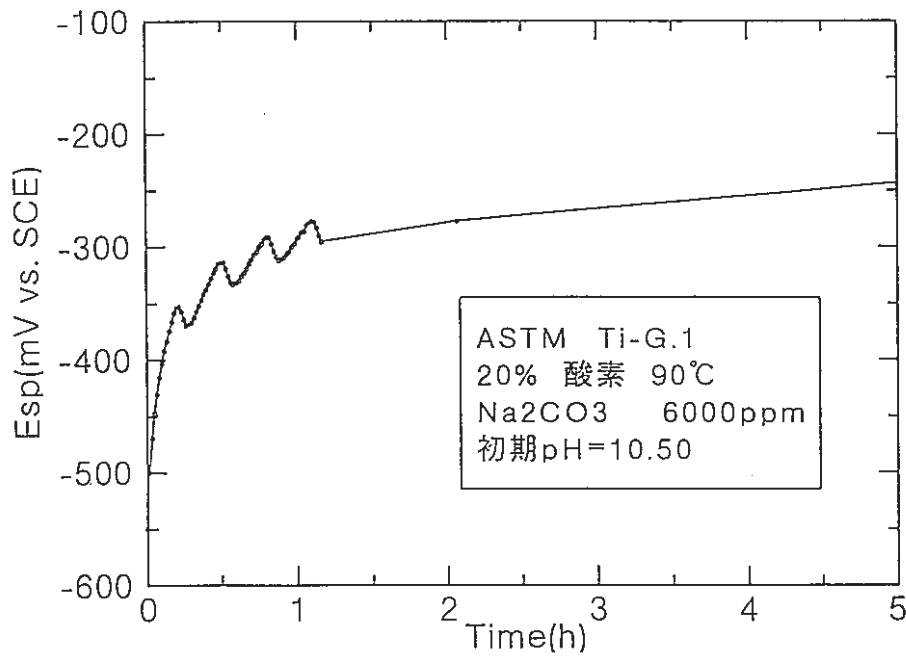
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-18 | 全データ  |

— Esp(mV)

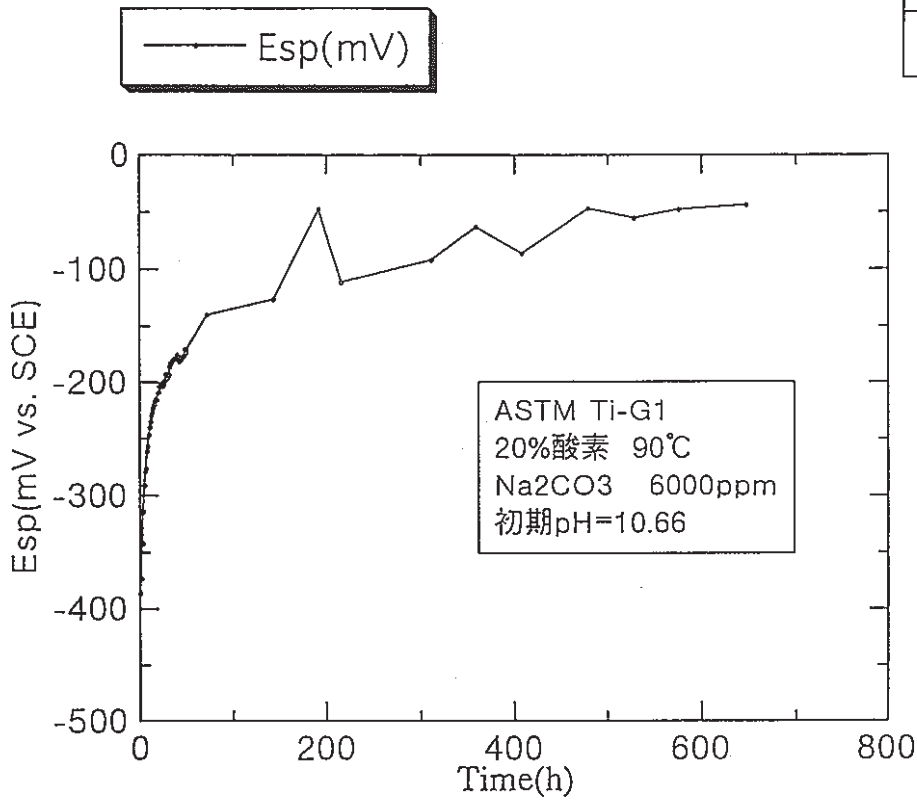


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-18 | 部分データ |

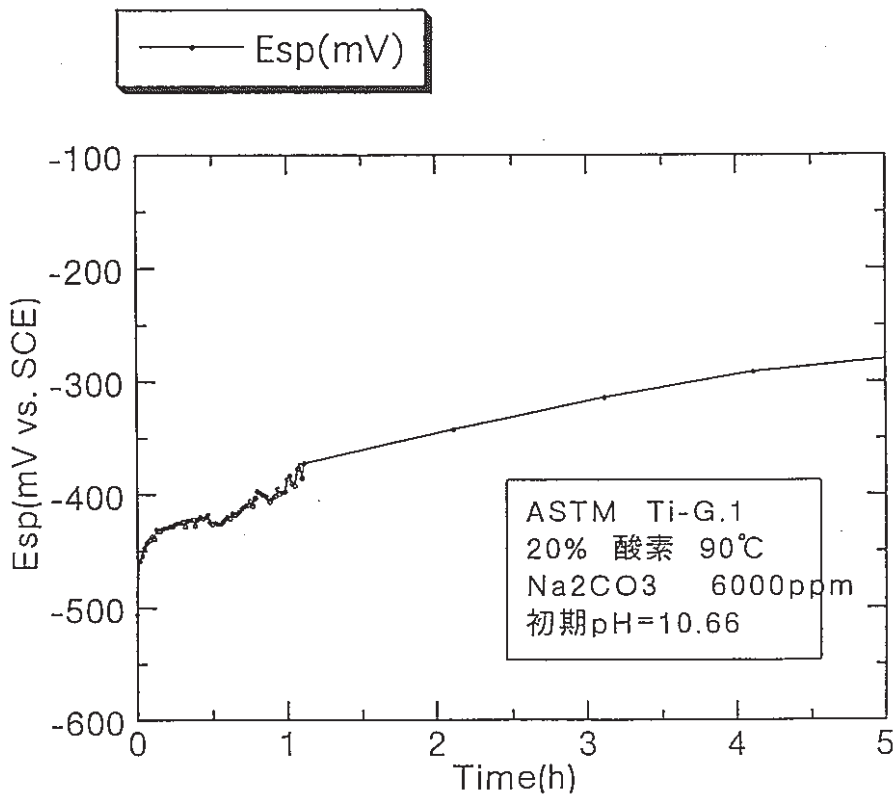
— Esp(mV)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-19 | 全データ  |

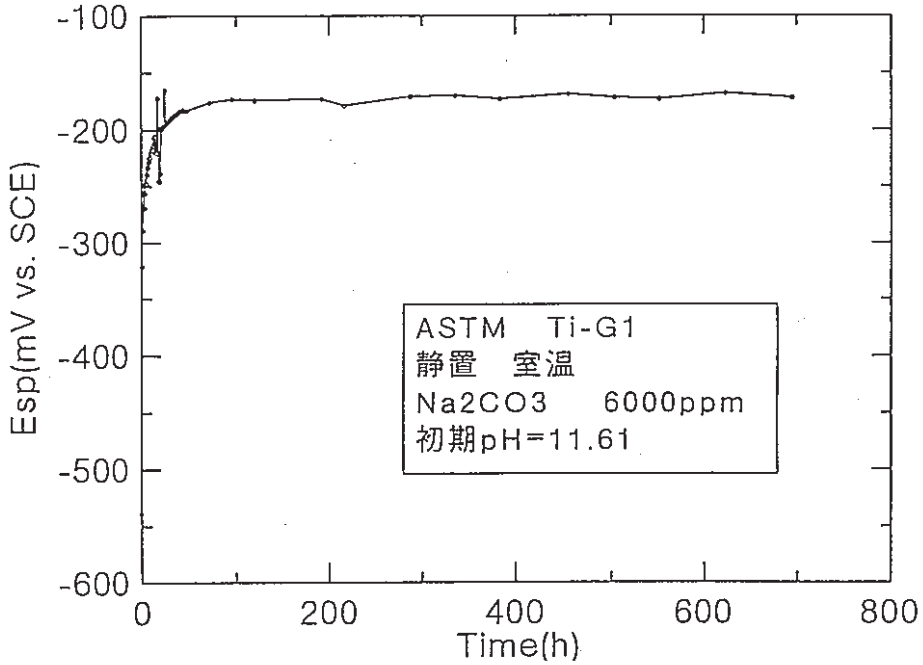


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-19 | 部分データ |



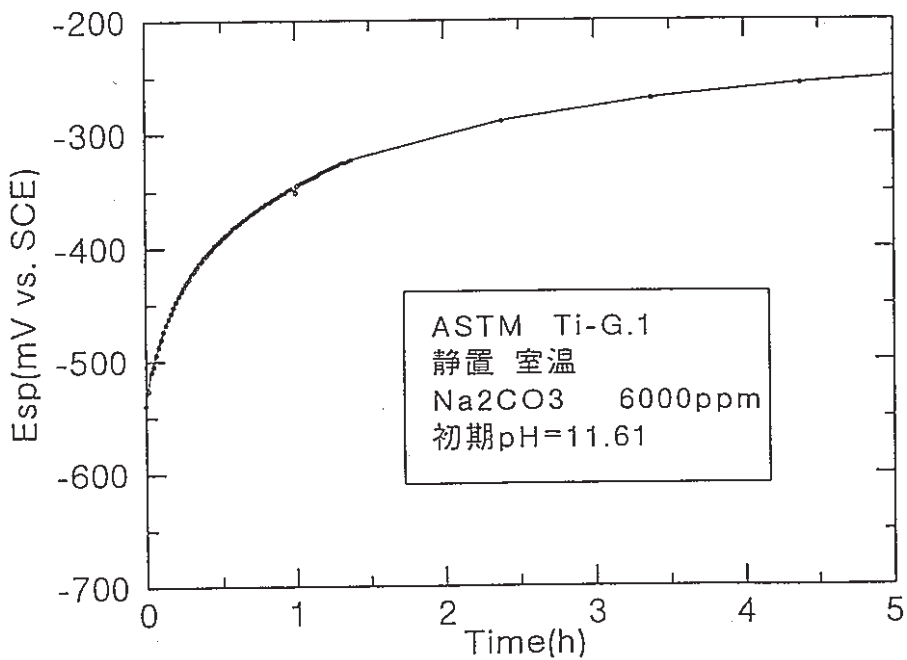
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-20 | 全データ  |

—●— Esp(mV)

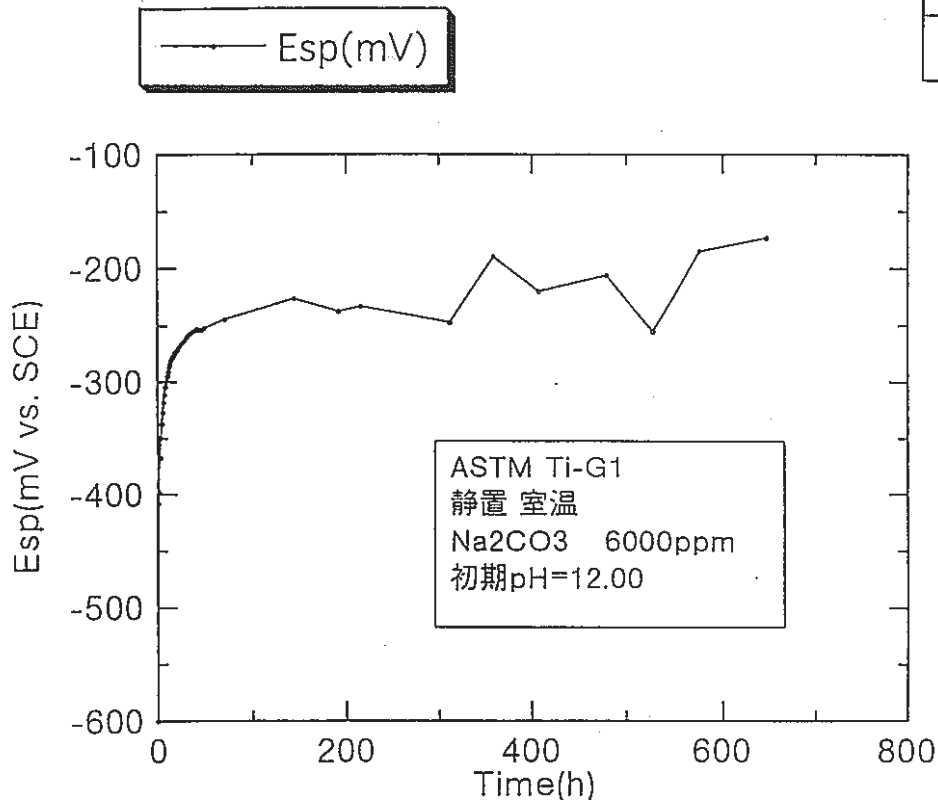


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-20 | 部分データ |

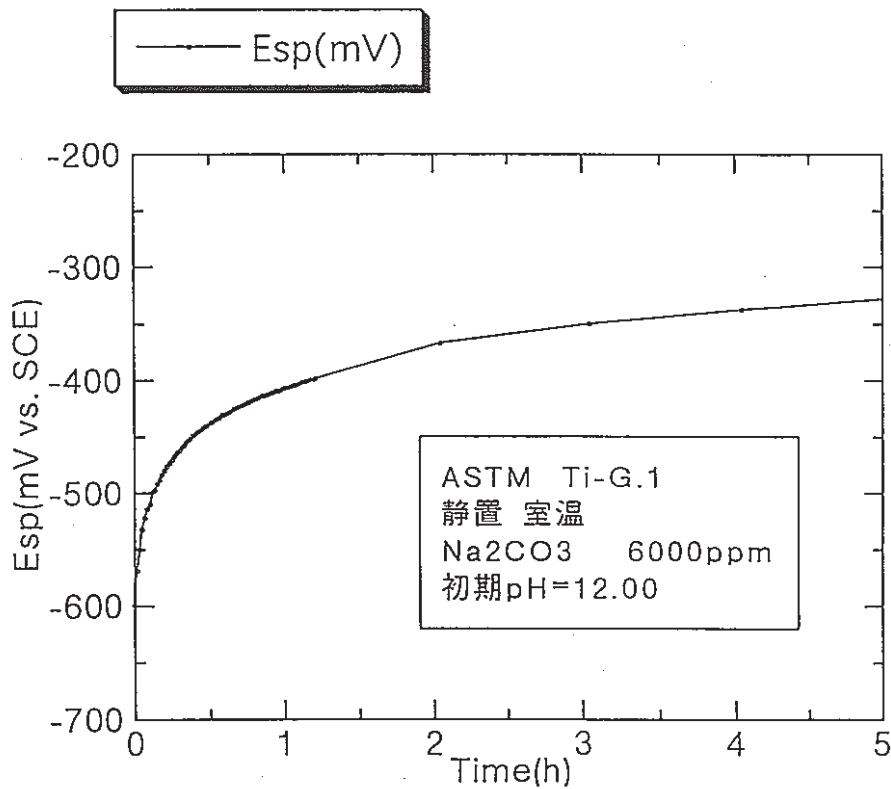
—●— Esp(mV)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-21 | 全データ  |

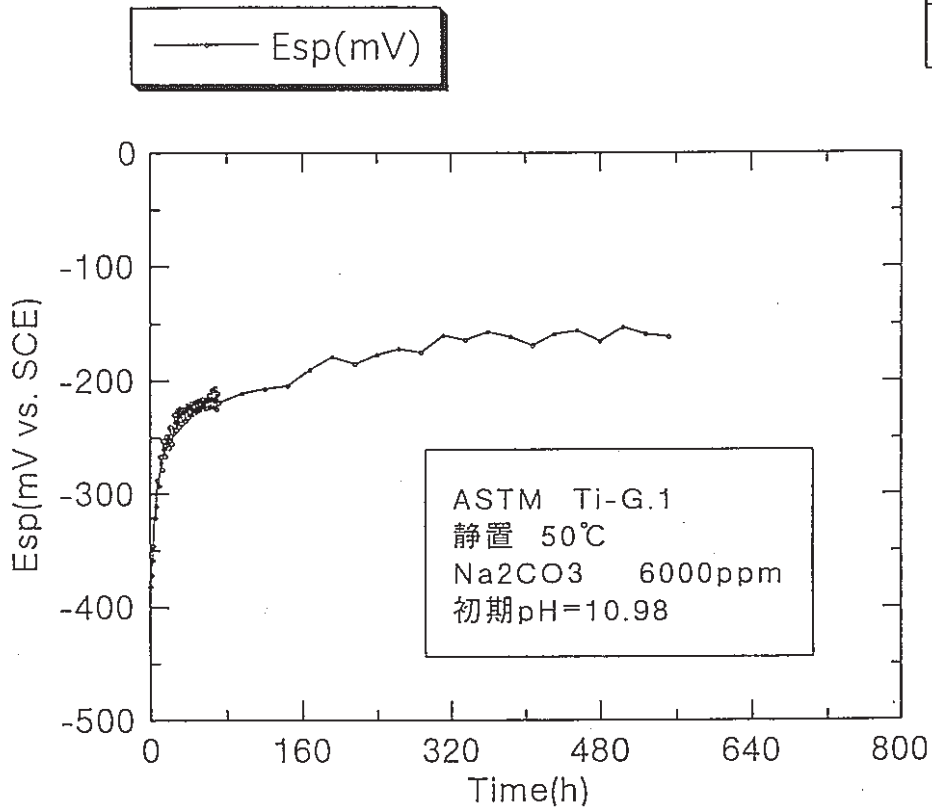


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-21 | 部分データ |

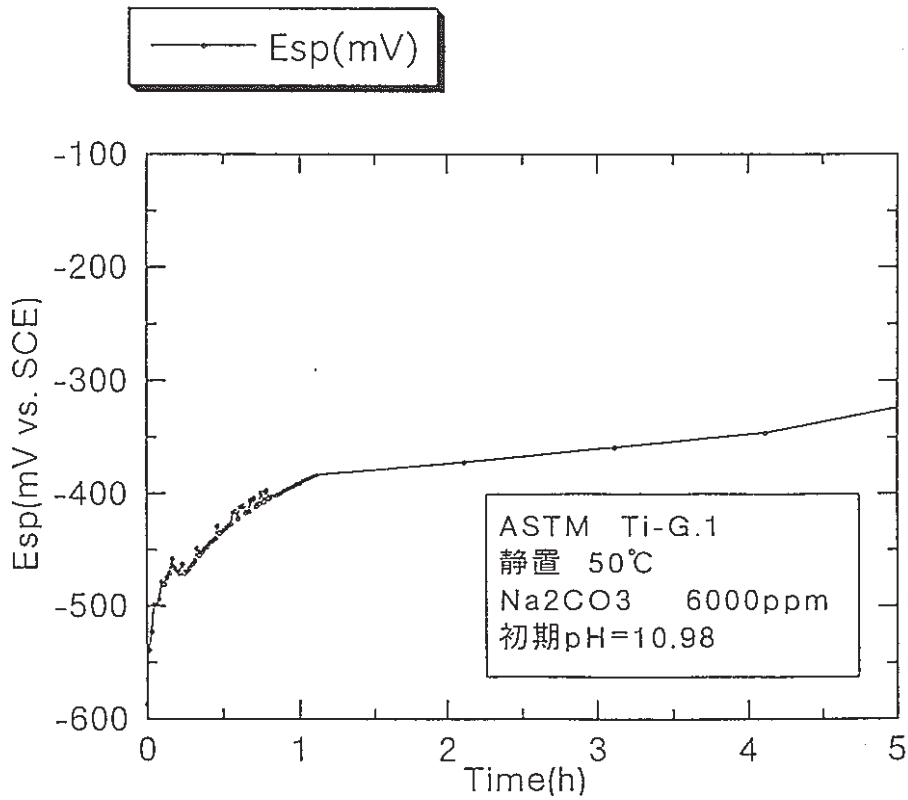




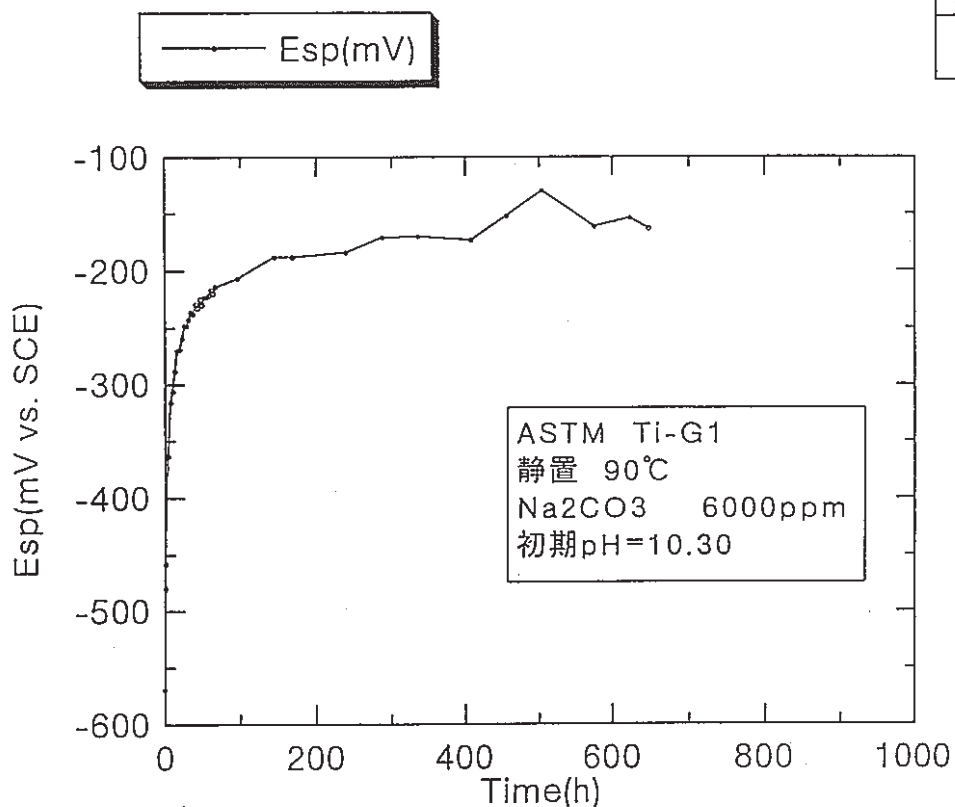
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-22 | 全データ  |



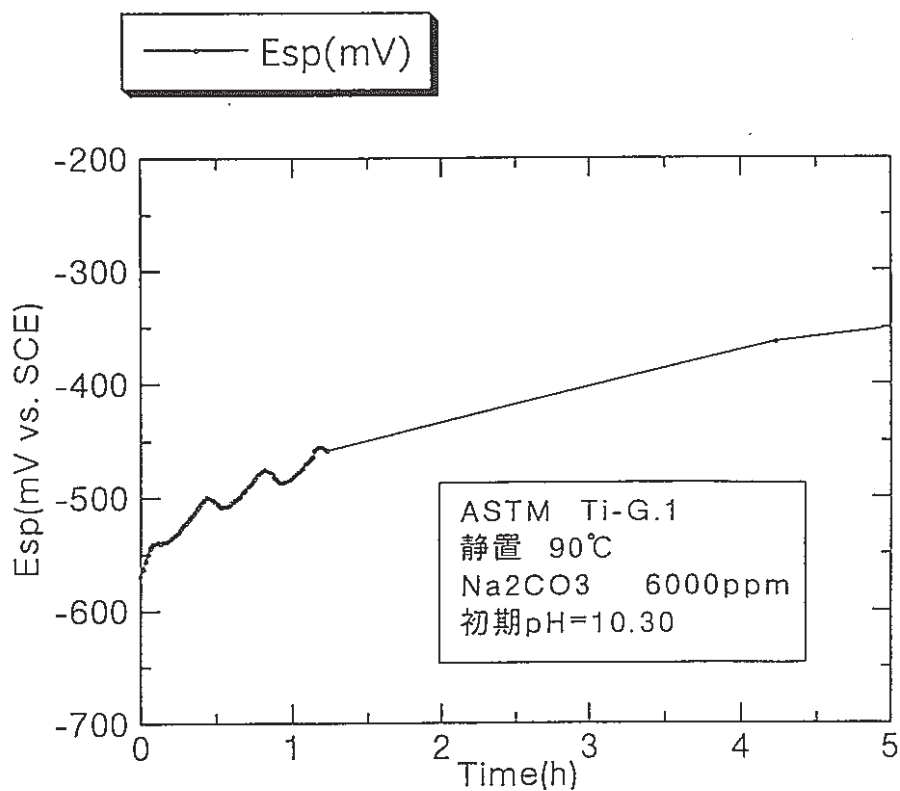
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-22 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-23 | 全データ  |

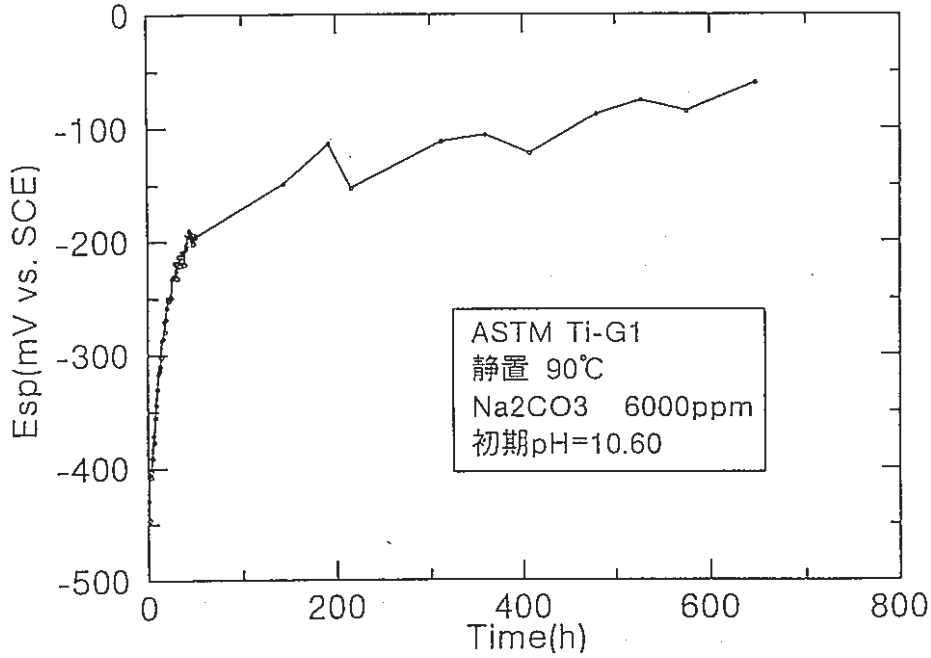


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-23 | 部分データ |



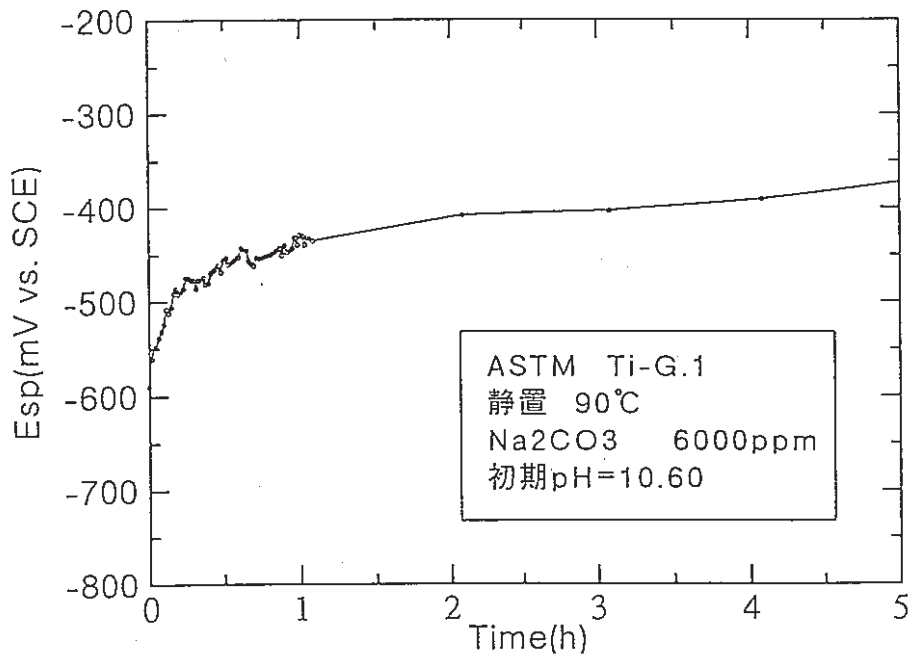
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-24 | 全データ  |

— Esp(mV)

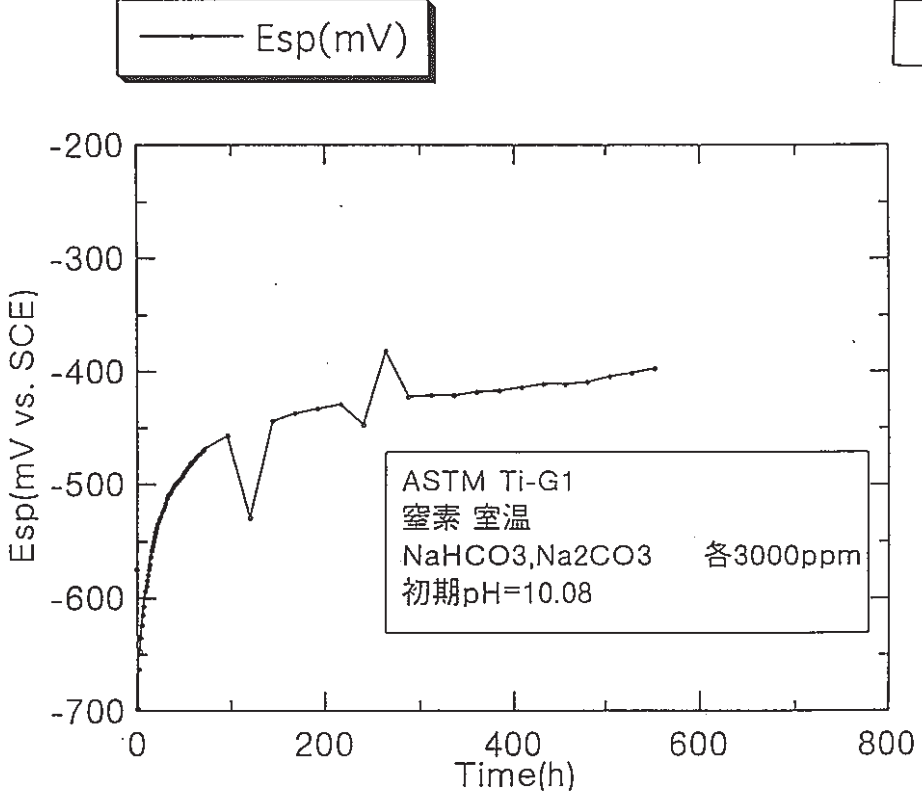


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-24 | 部分データ |

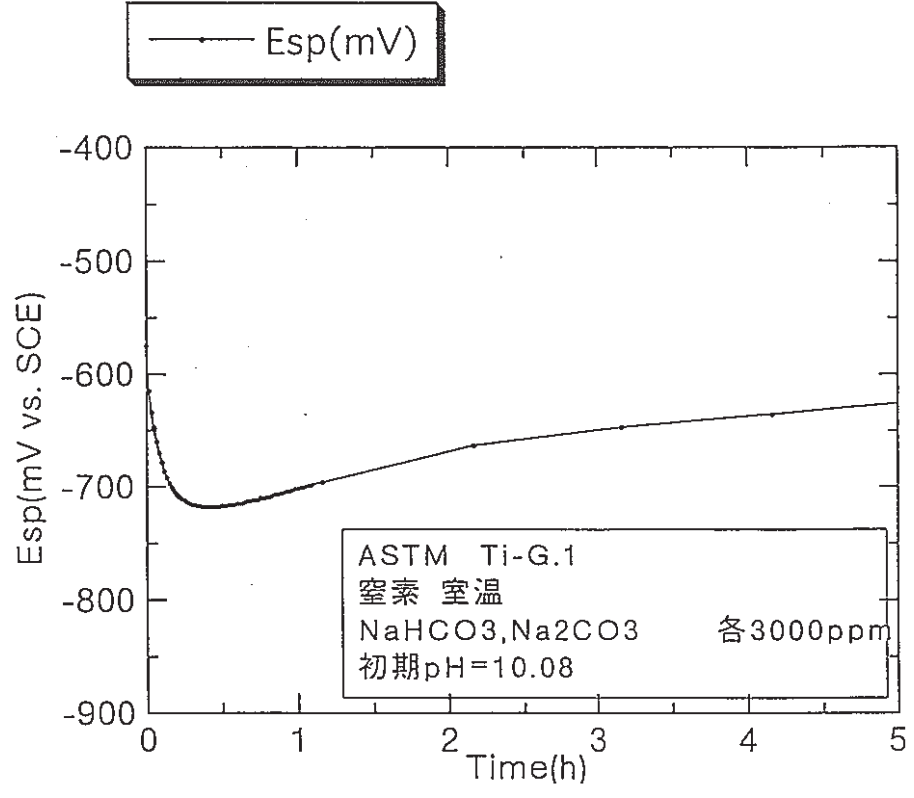
— Esp(mV)



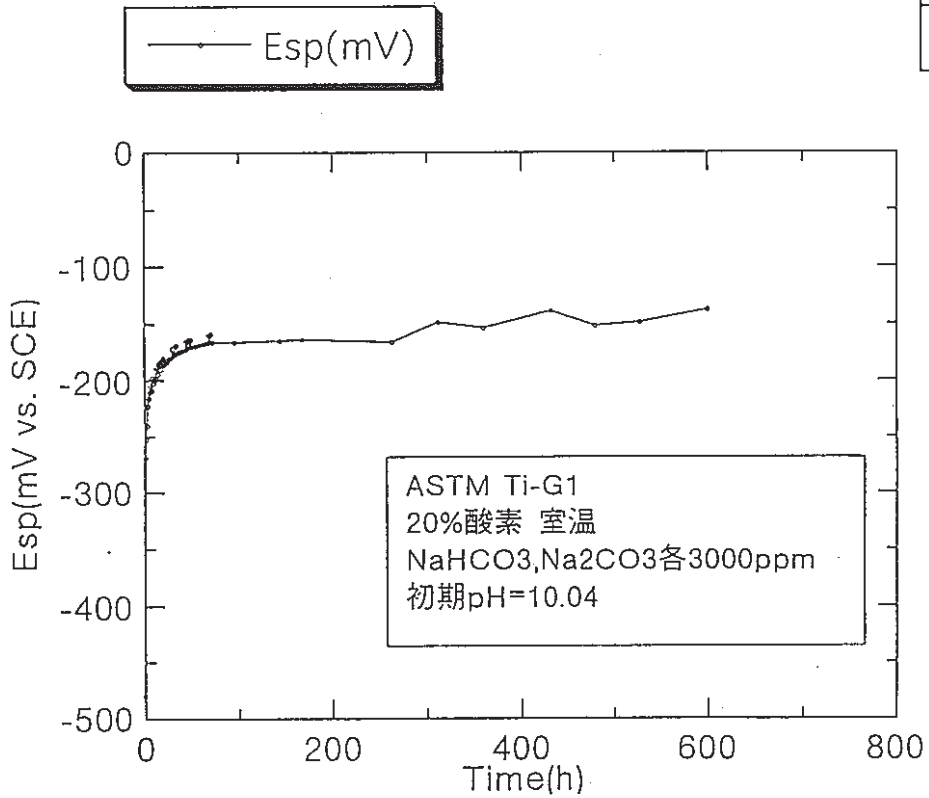
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-25 | 全データ  |



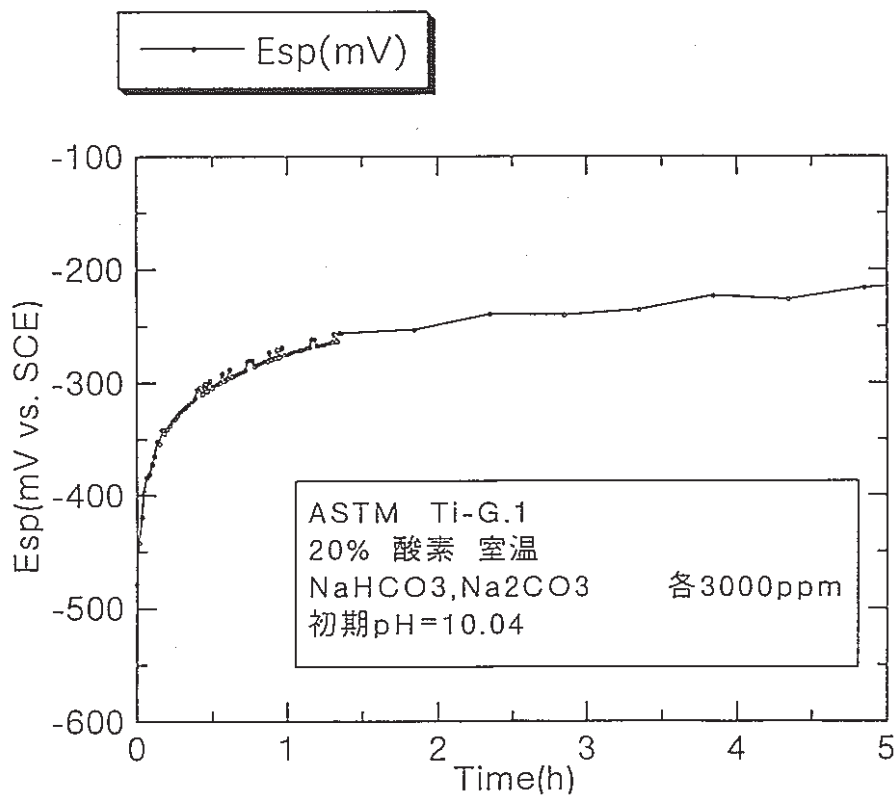
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-25 | 部分データ |



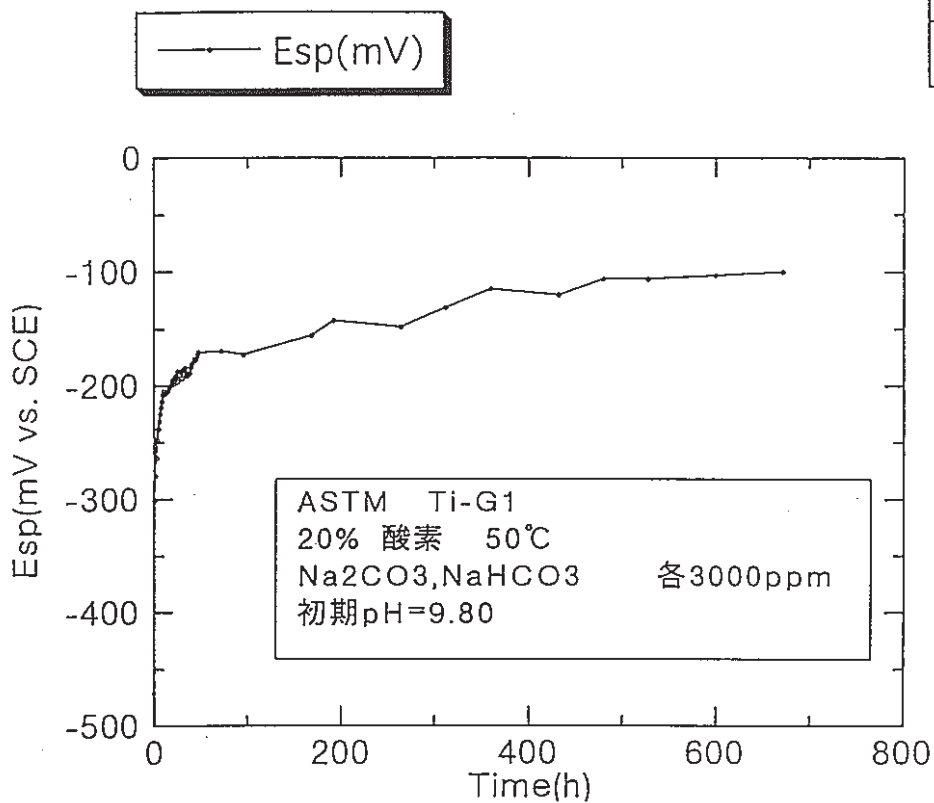
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-26 | 全データ  |



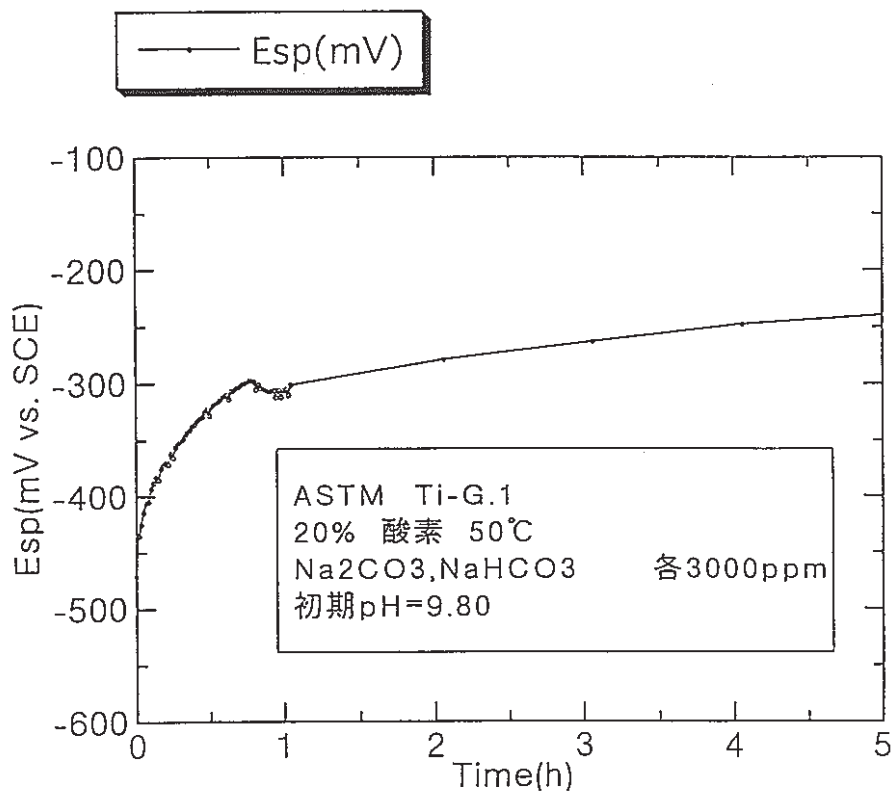
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-26 | 部分データ |



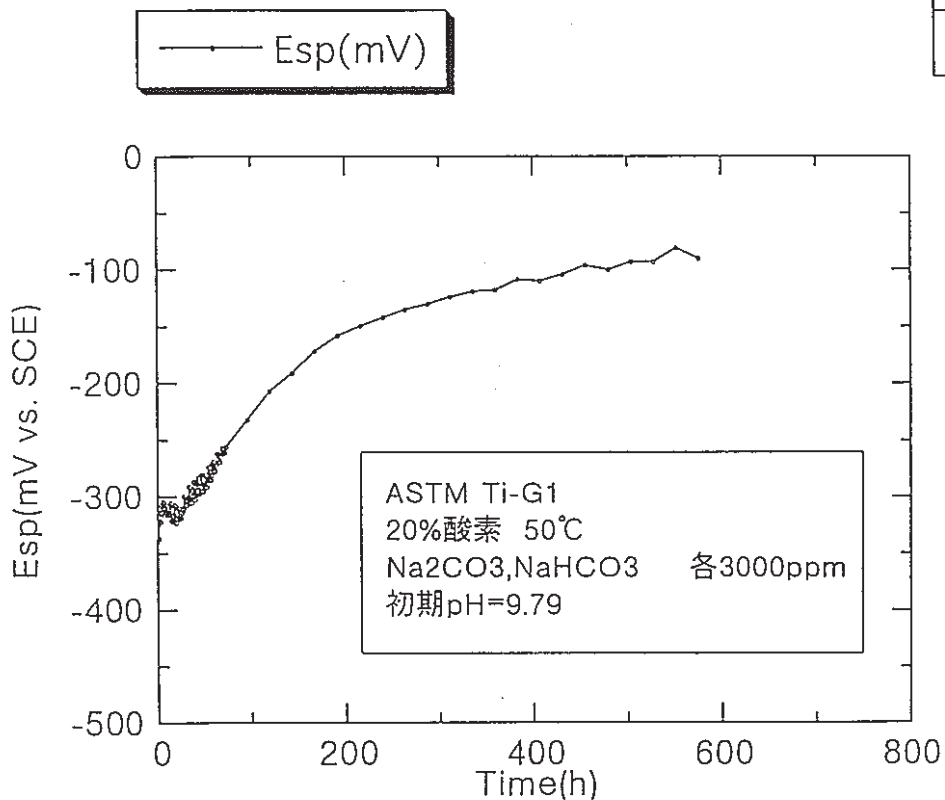
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-27 | 全データ  |



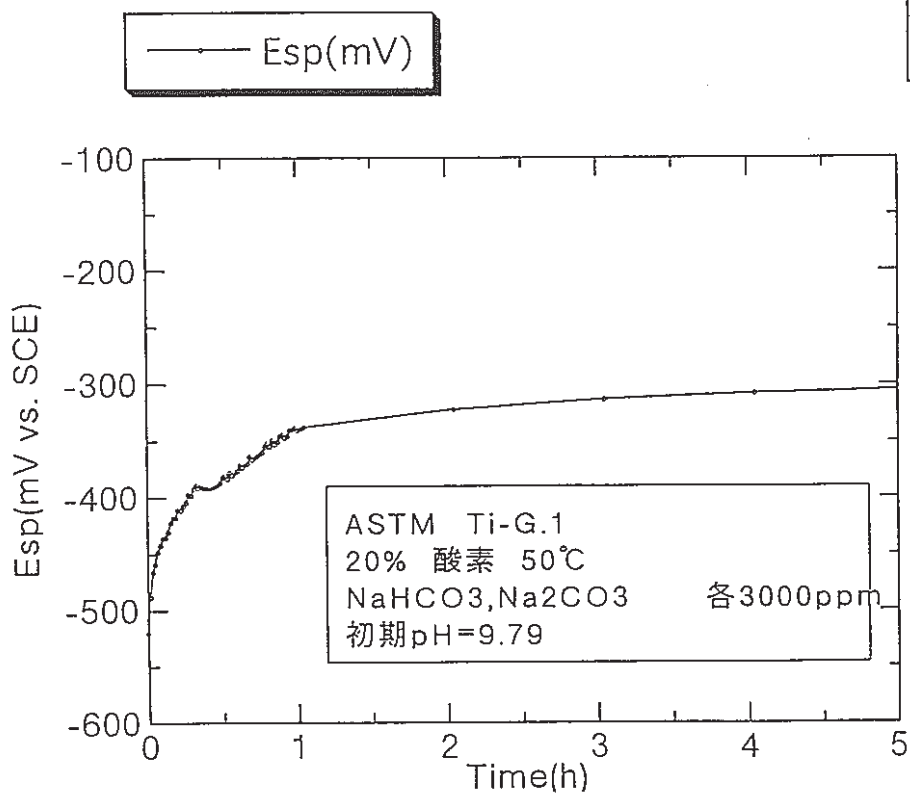
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-27 | 部分データ |



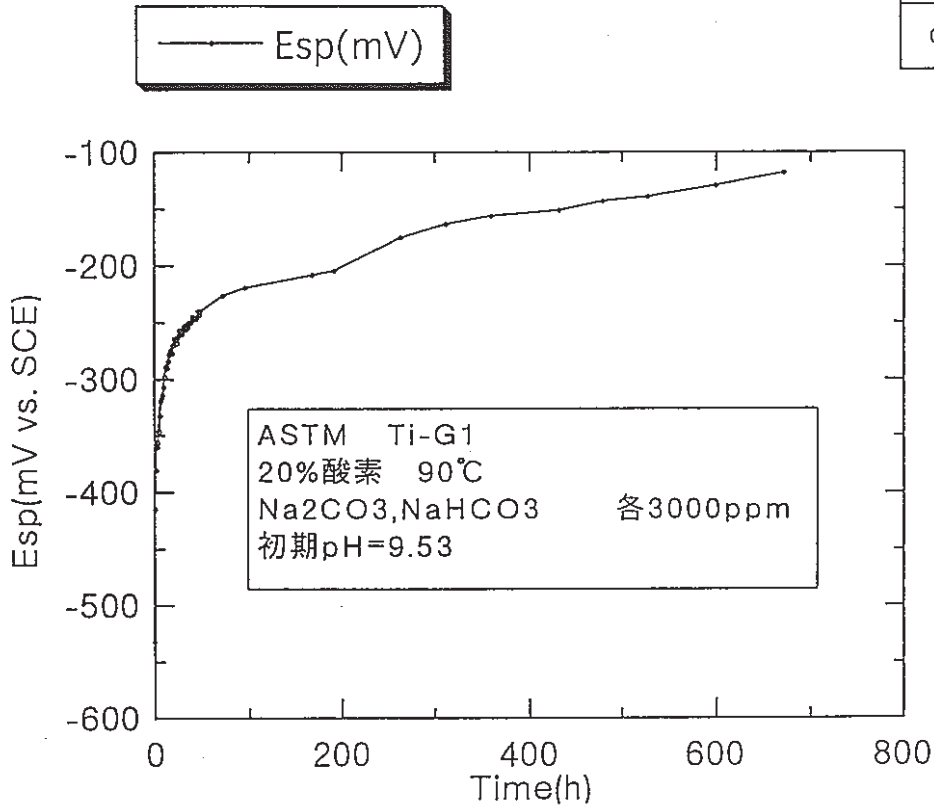
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-28 | 全データ  |



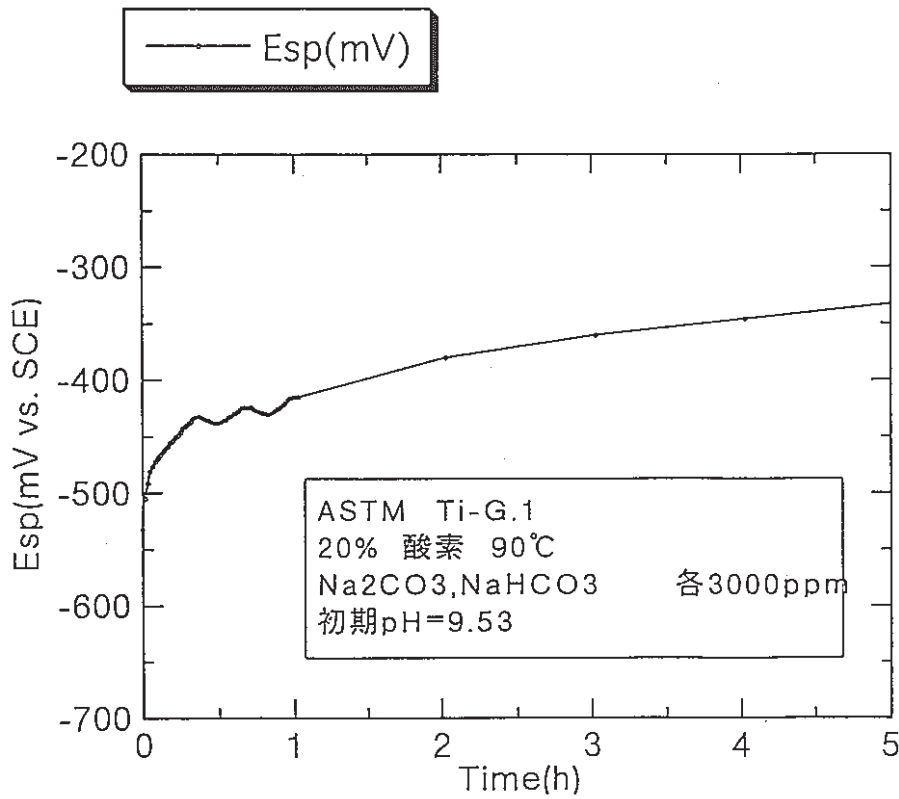
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-28 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-29 | 全データ  |

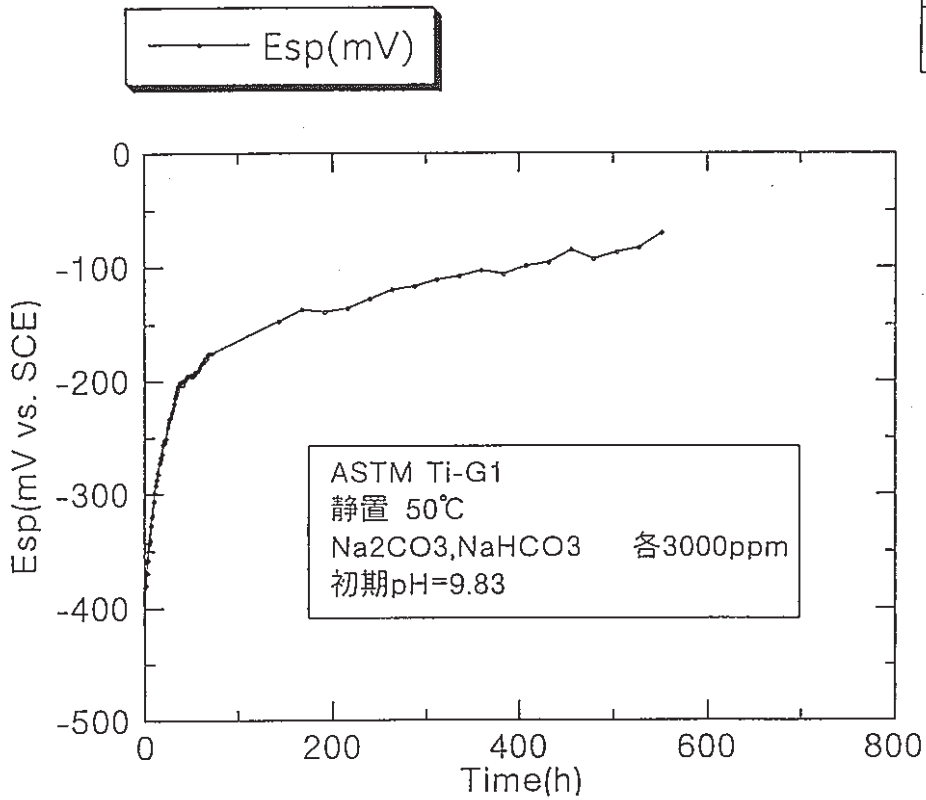


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-29 | 部分データ |

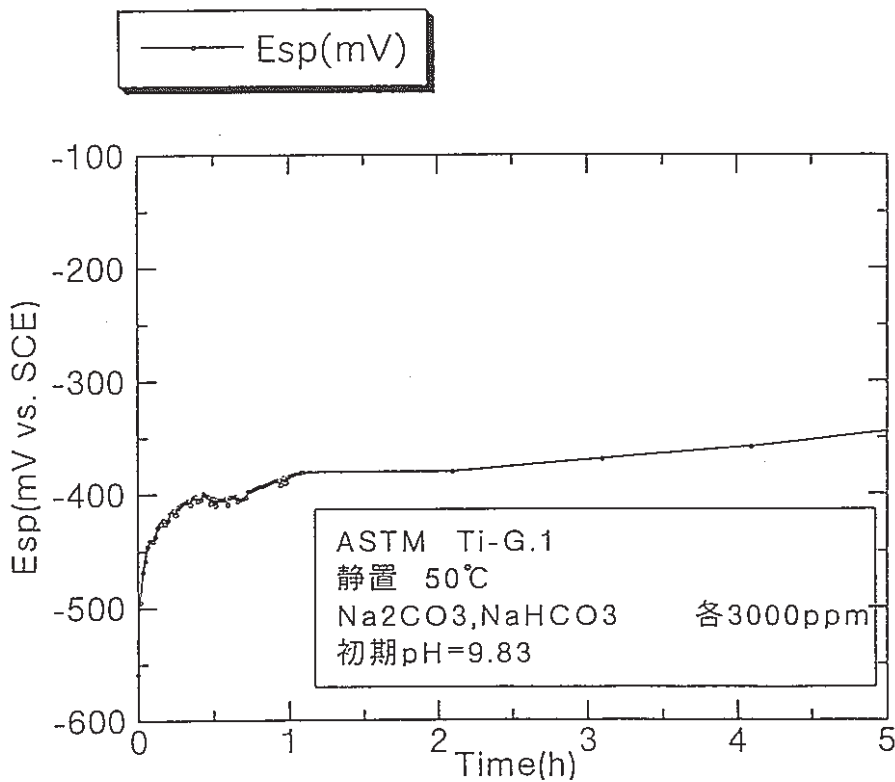




|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-30 | 全データ  |

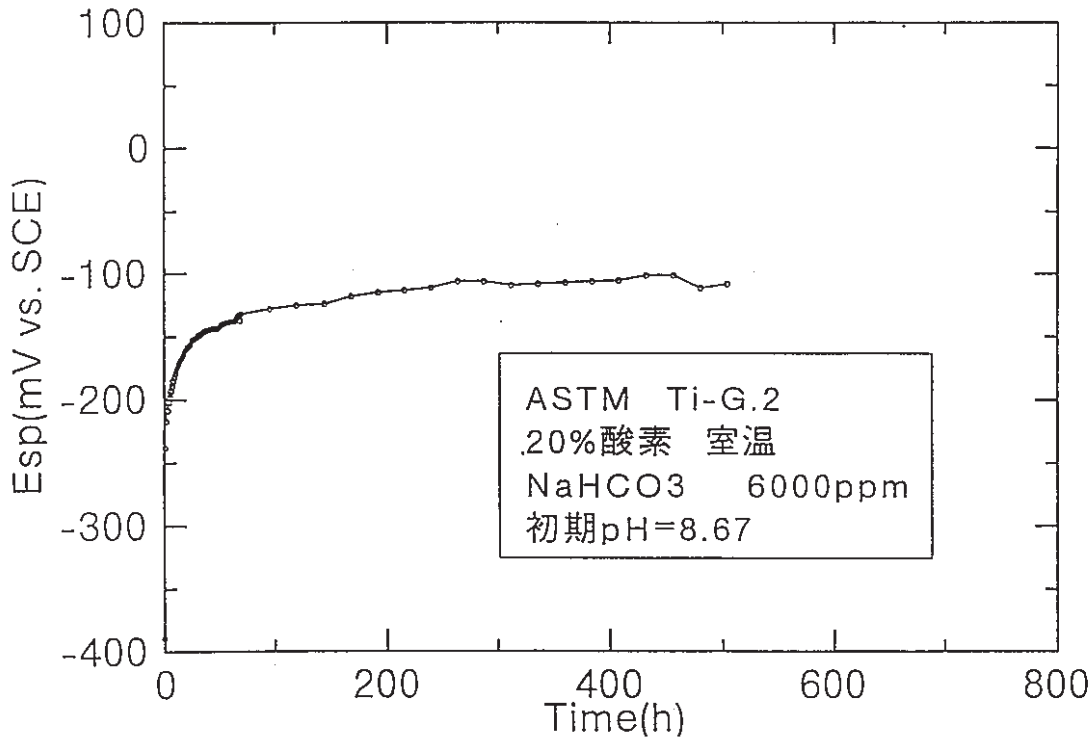


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G1-30 | 部分データ |



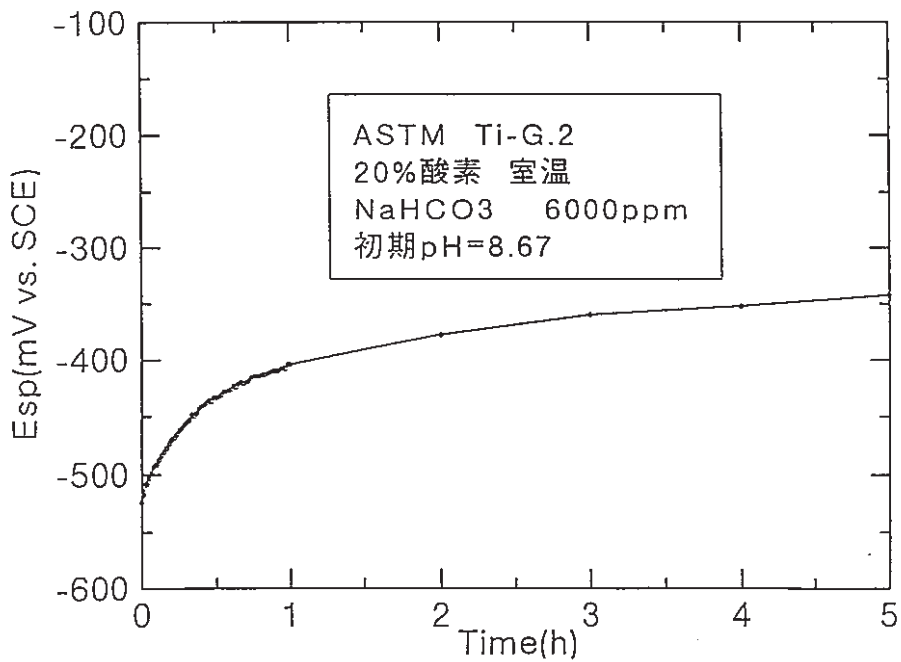
—○— Esp(mV vs. SCE)

|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-1 | 全データ  |



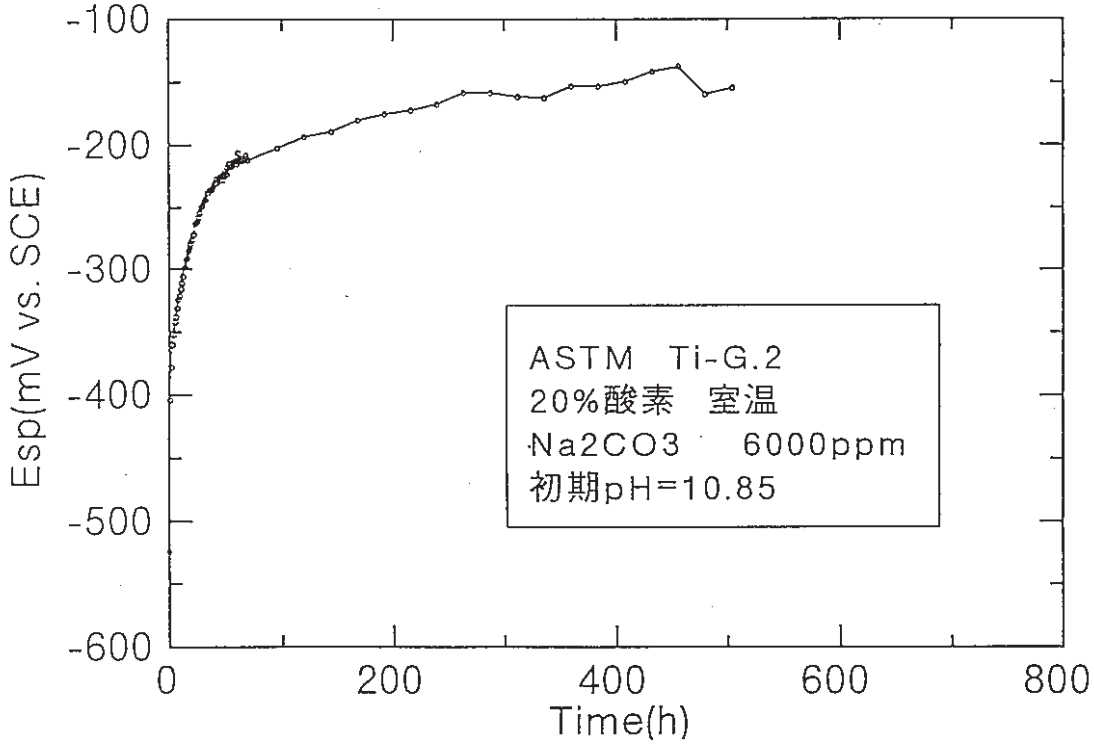
—○— Esp(mV vs. SCE)

|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-1 | 部分データ |



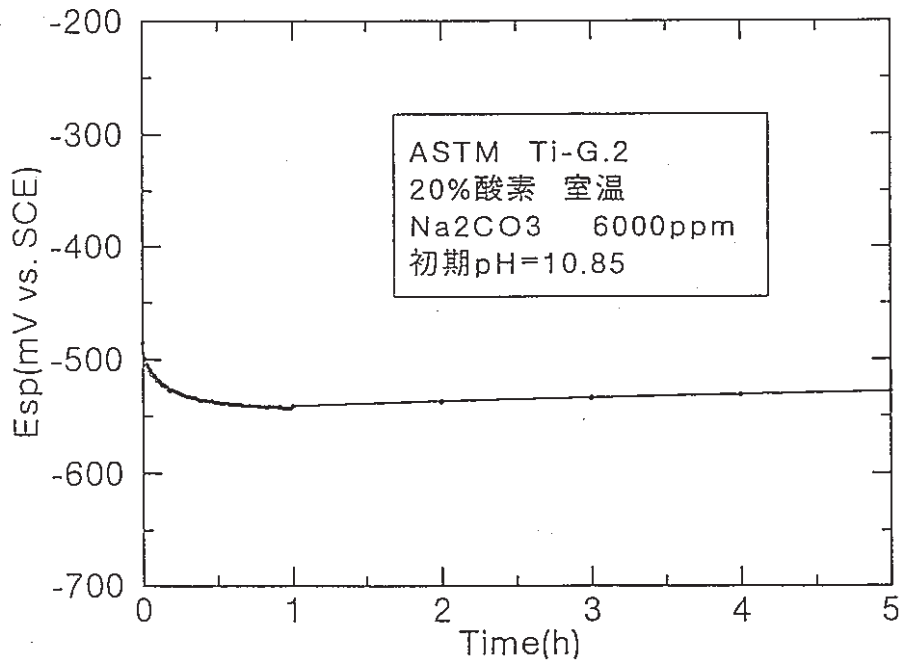
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-2 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

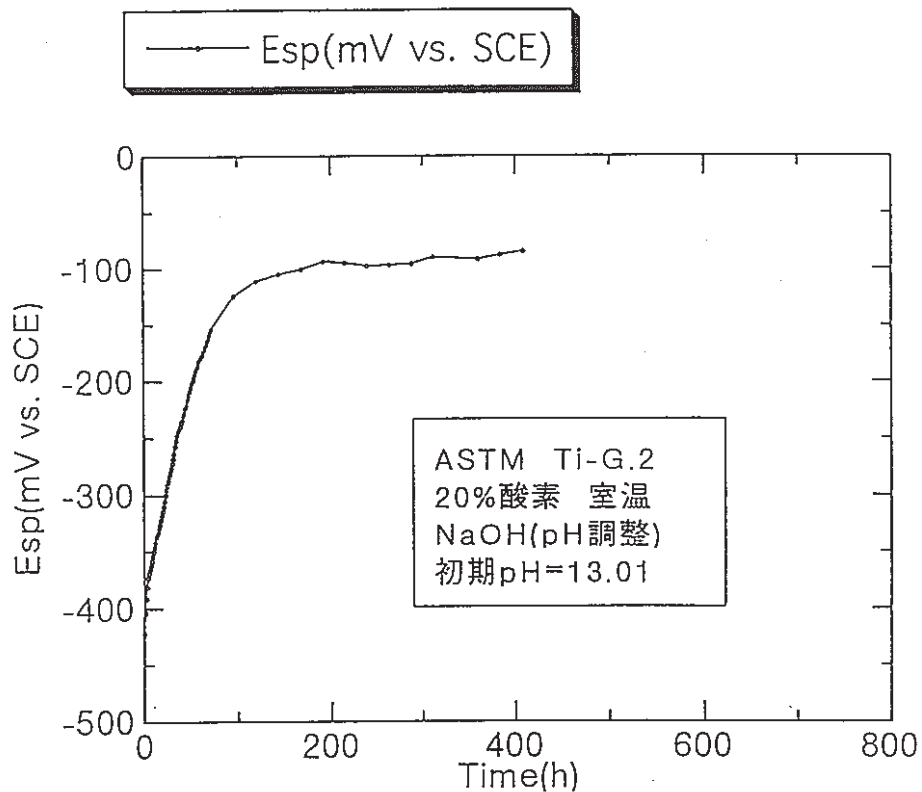


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-2 | 部分データ |

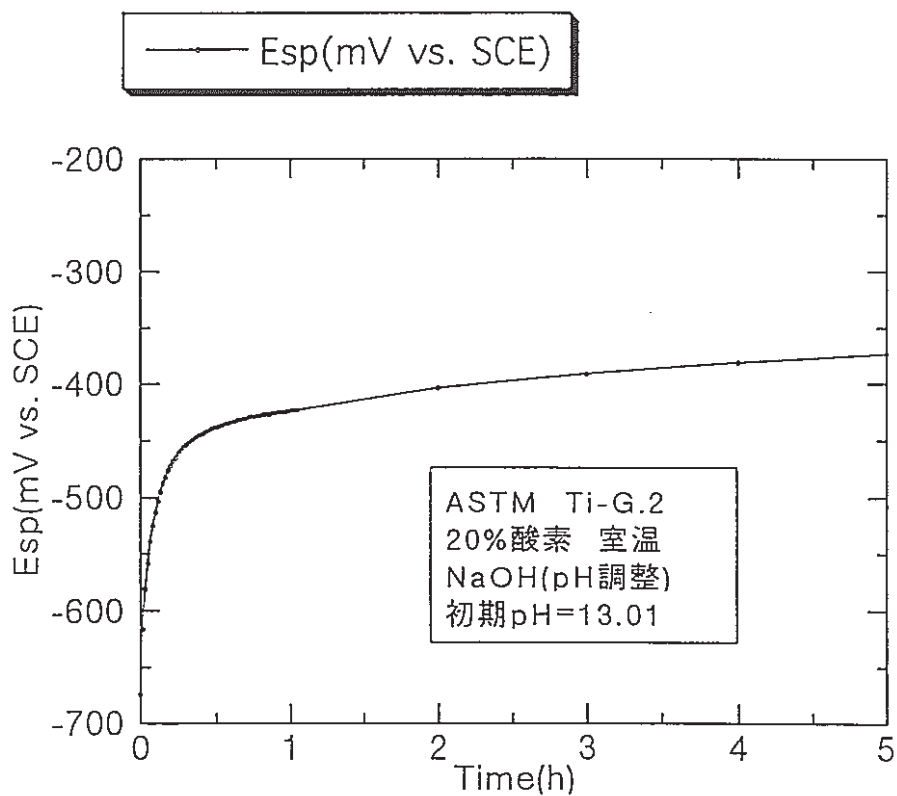
—○— Esp(mV vs. SCE)



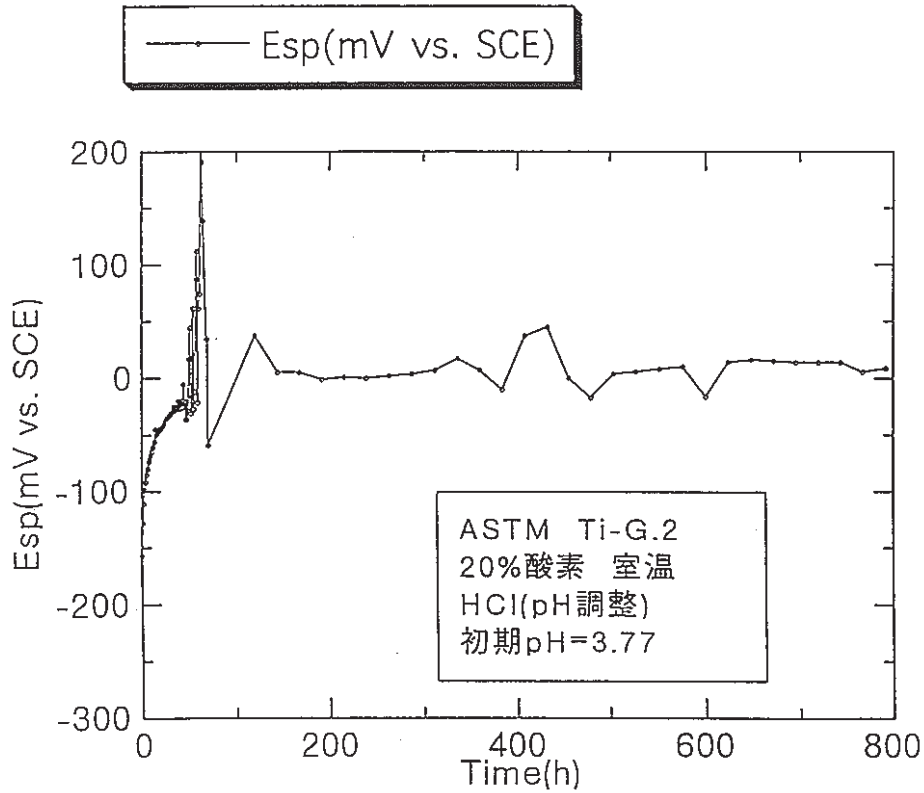
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-3 | 全データ  |



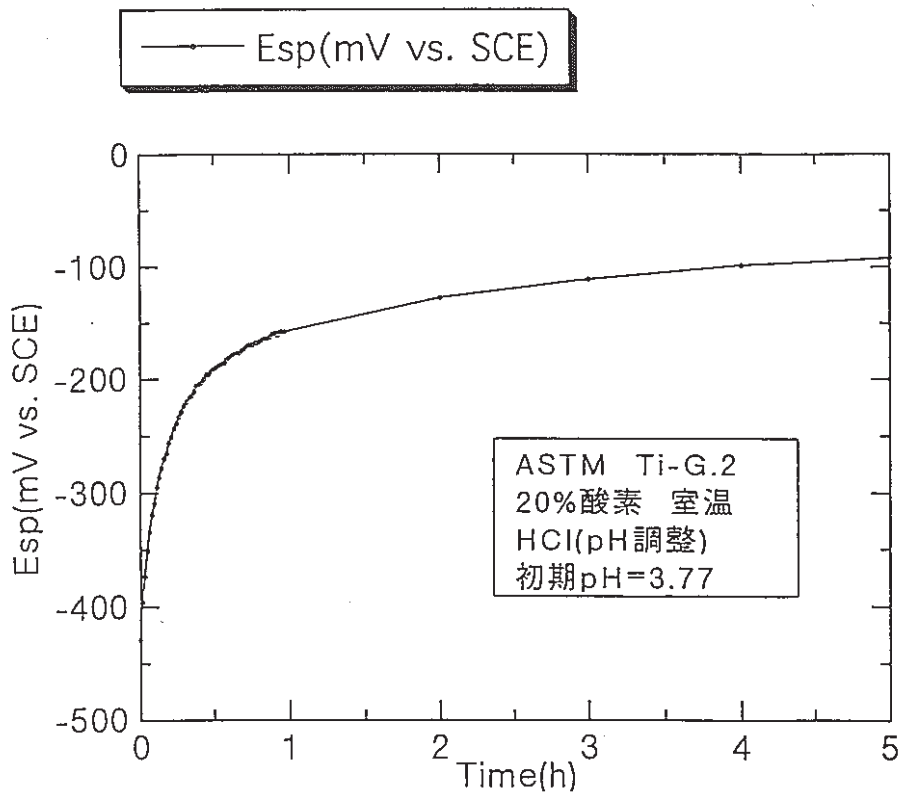
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-3 | 部分データ |



|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-4 | 全データ  |

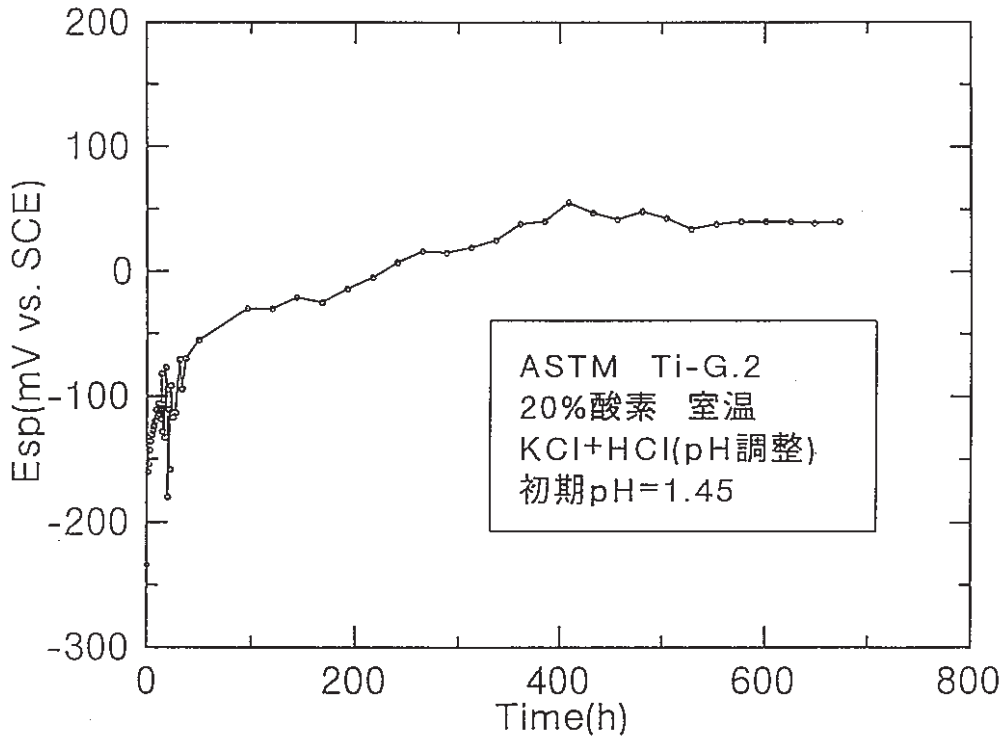


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-4 | 部分データ |



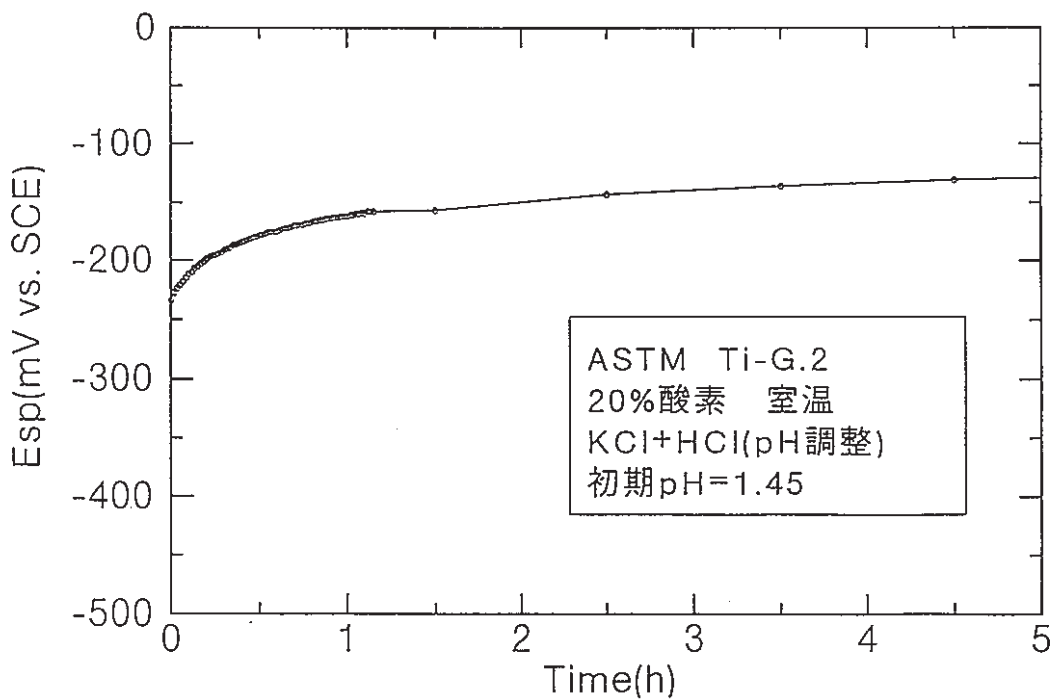
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-5 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



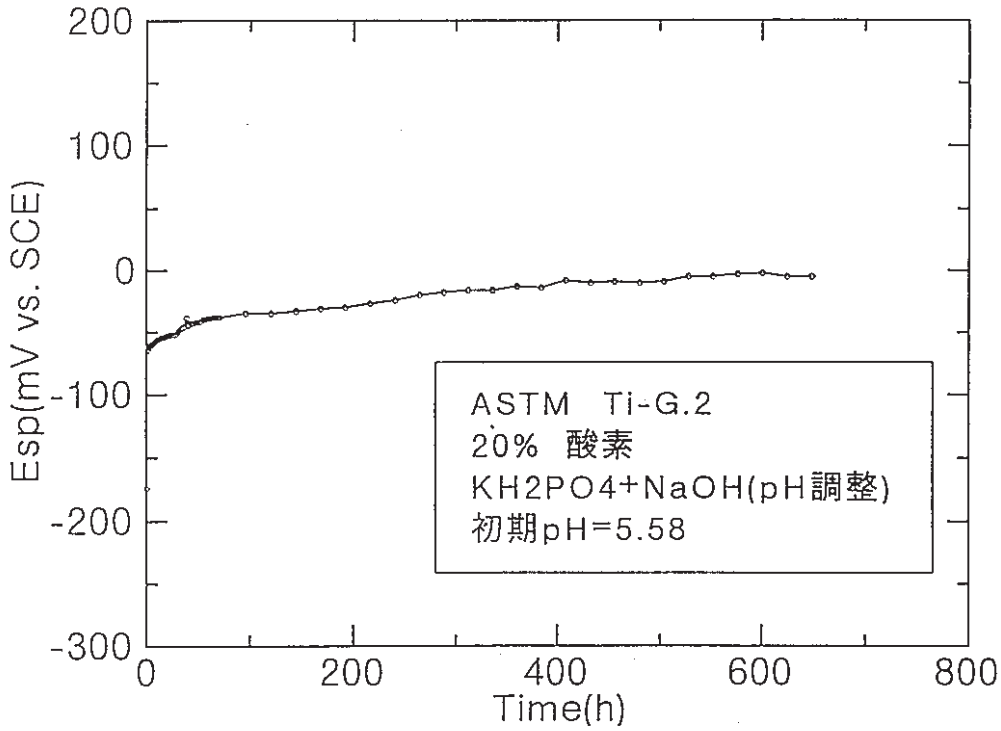
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-5 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



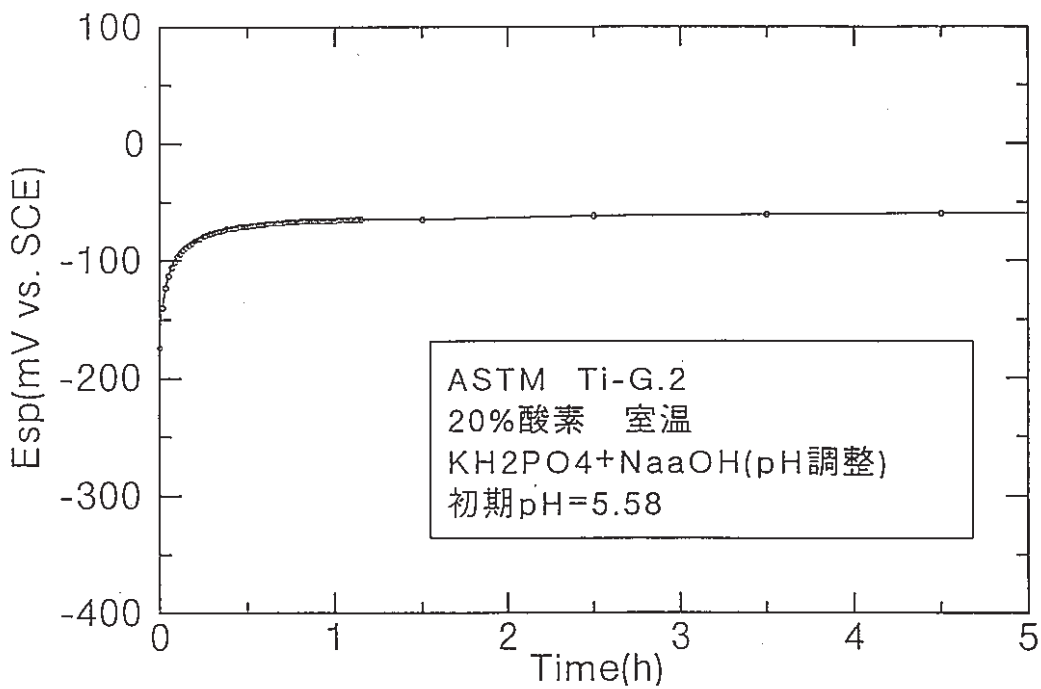
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-6 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



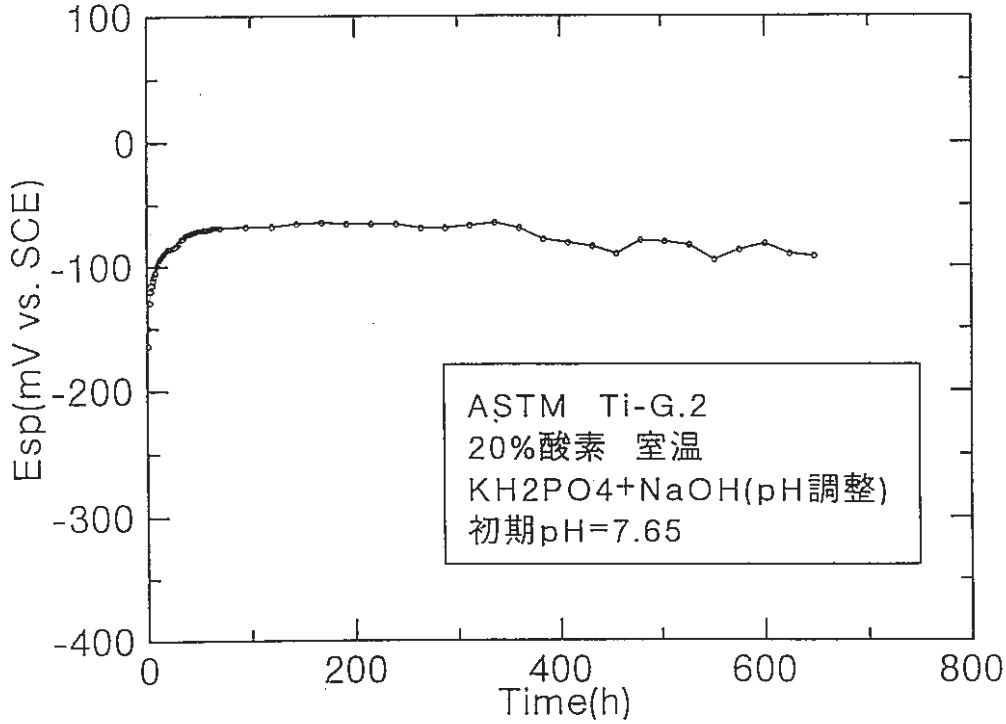
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-6 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



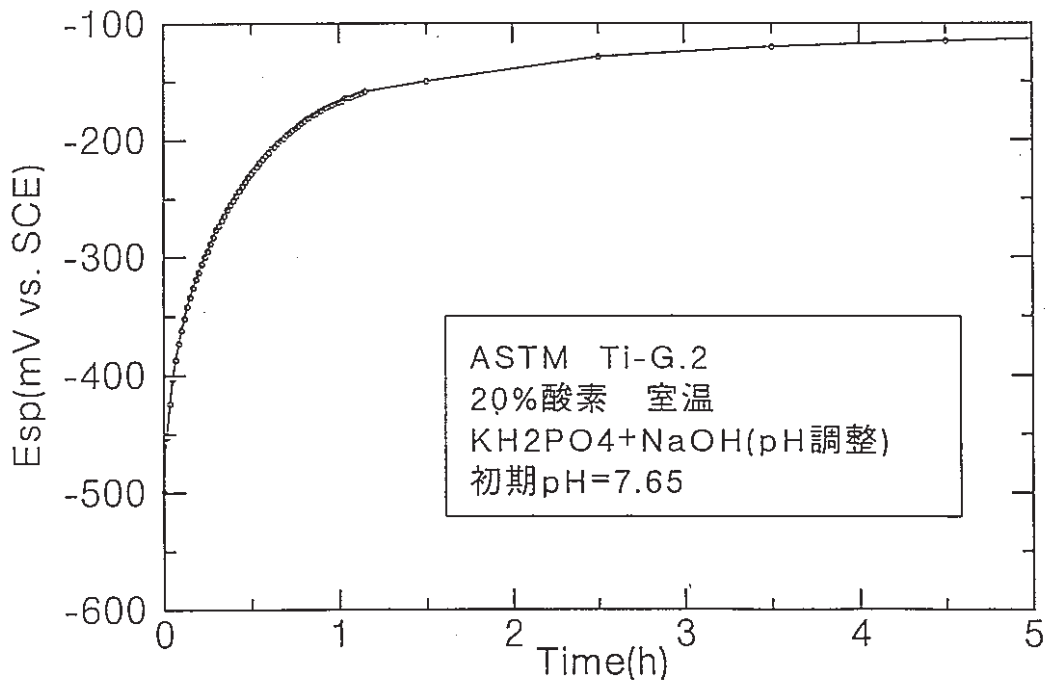
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-7 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-7 | 部分データ |

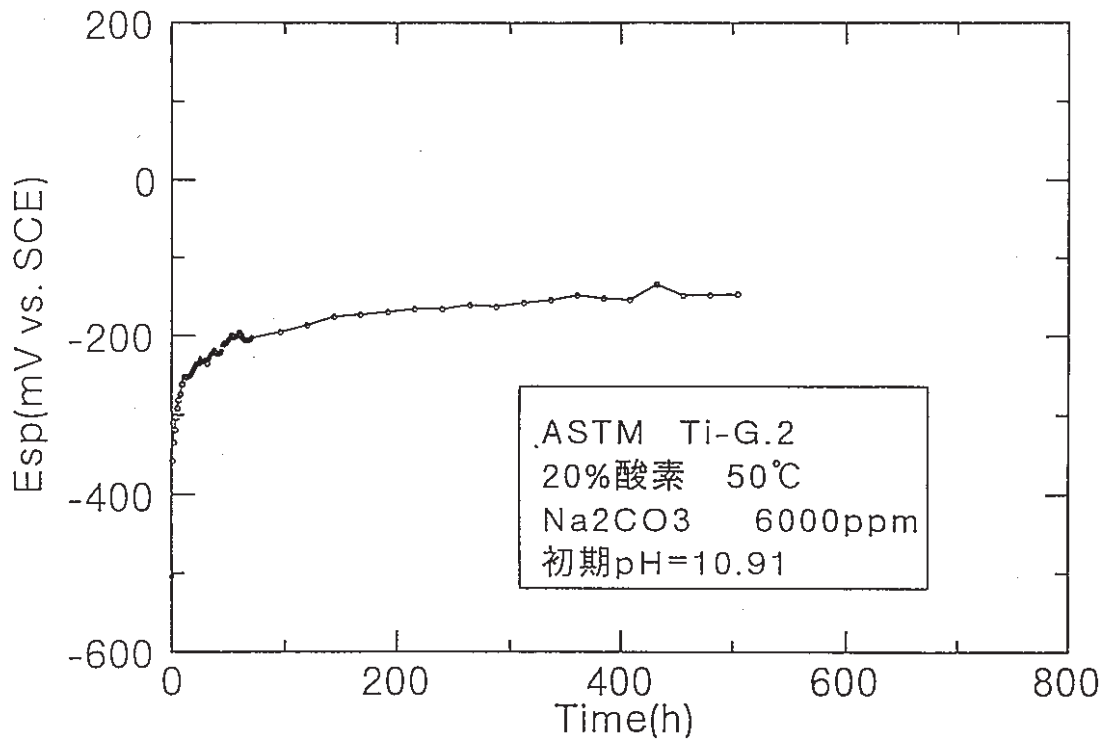
—○— Esp(mV vs. SCE)





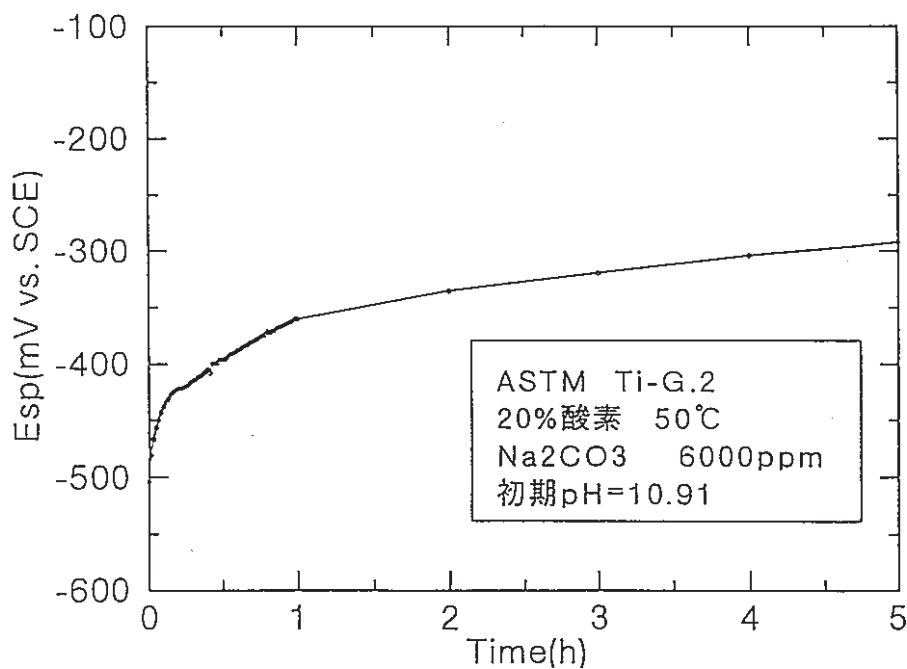
|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-8 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

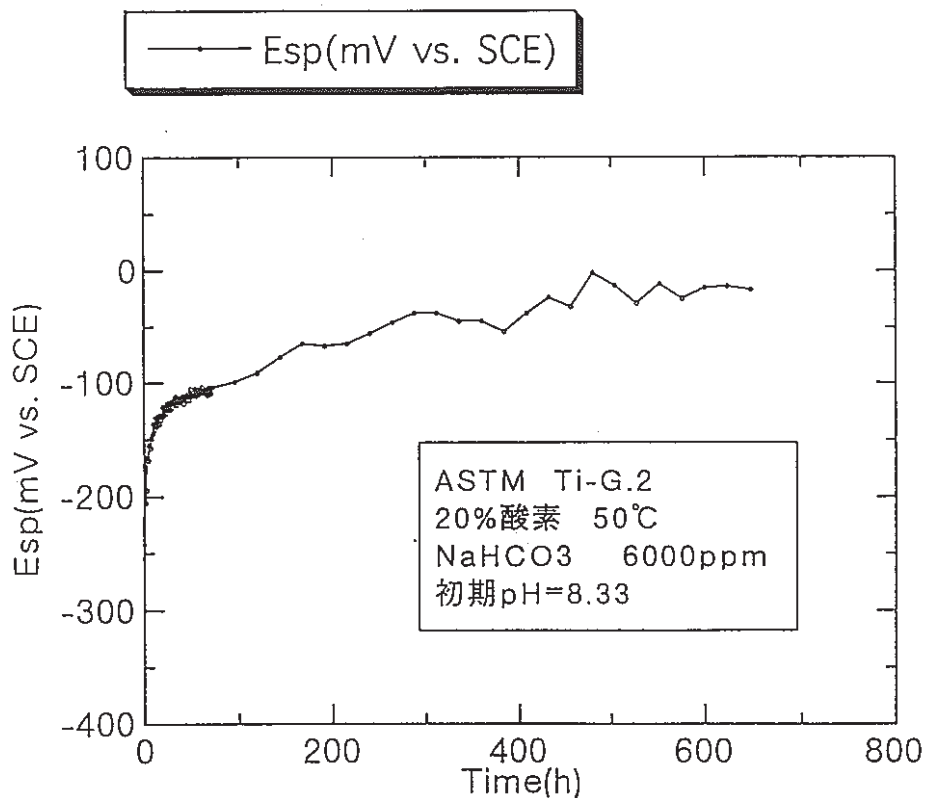


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-8 | 部分データ |

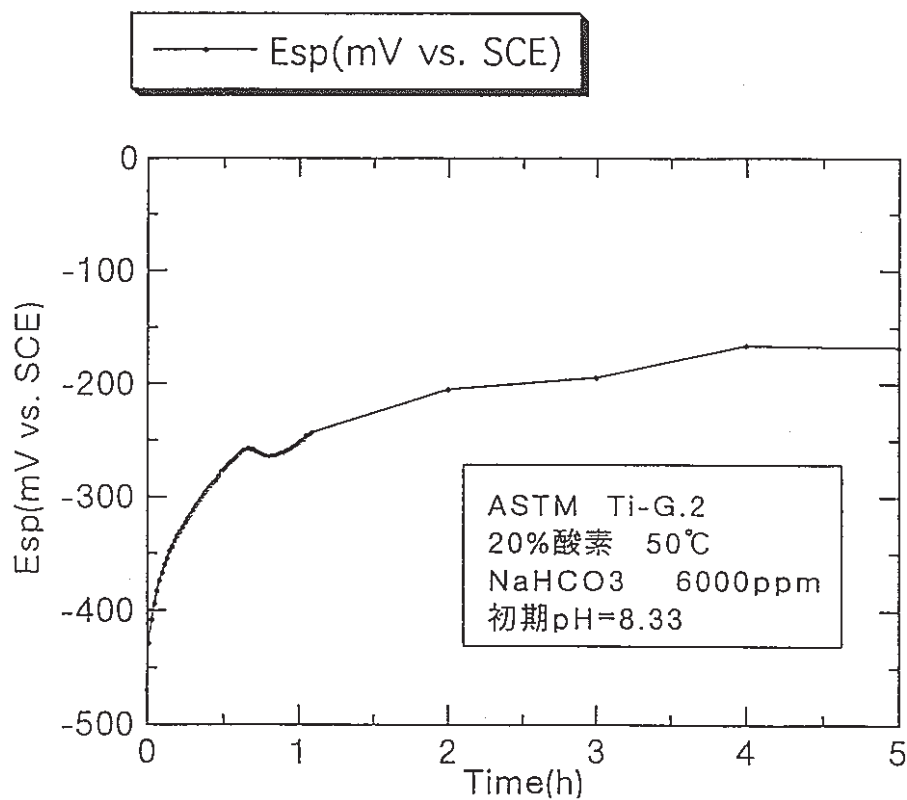
—○— Esp(mV vs. SCE)



|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-9 | 全データ  |

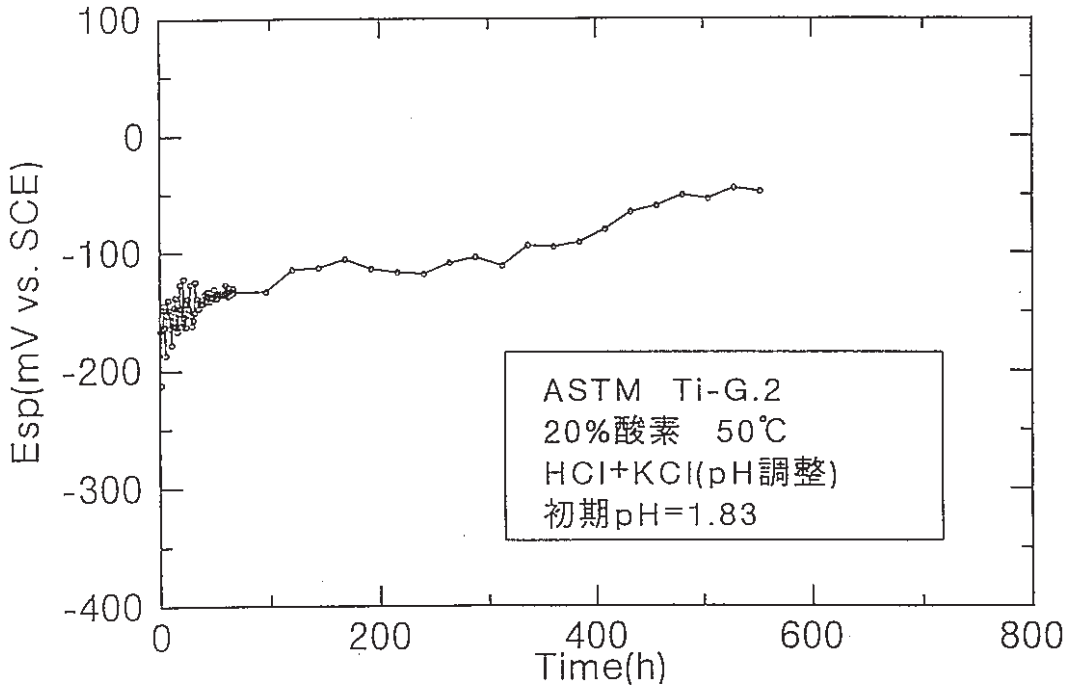


|      |       |
|------|-------|
| 試験番号 | 開始～終了 |
| G2-9 | 部分データ |



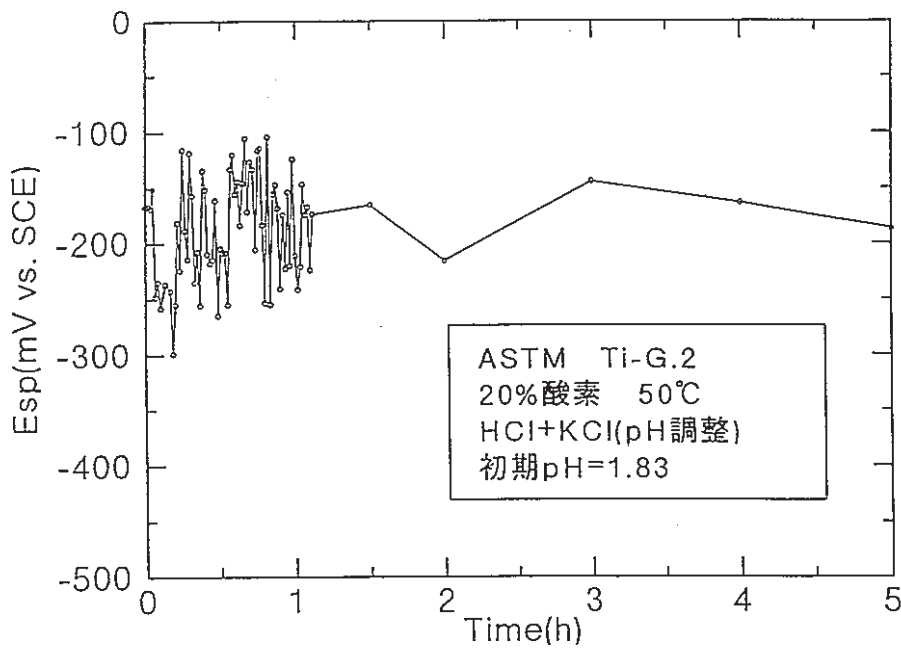
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-10 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



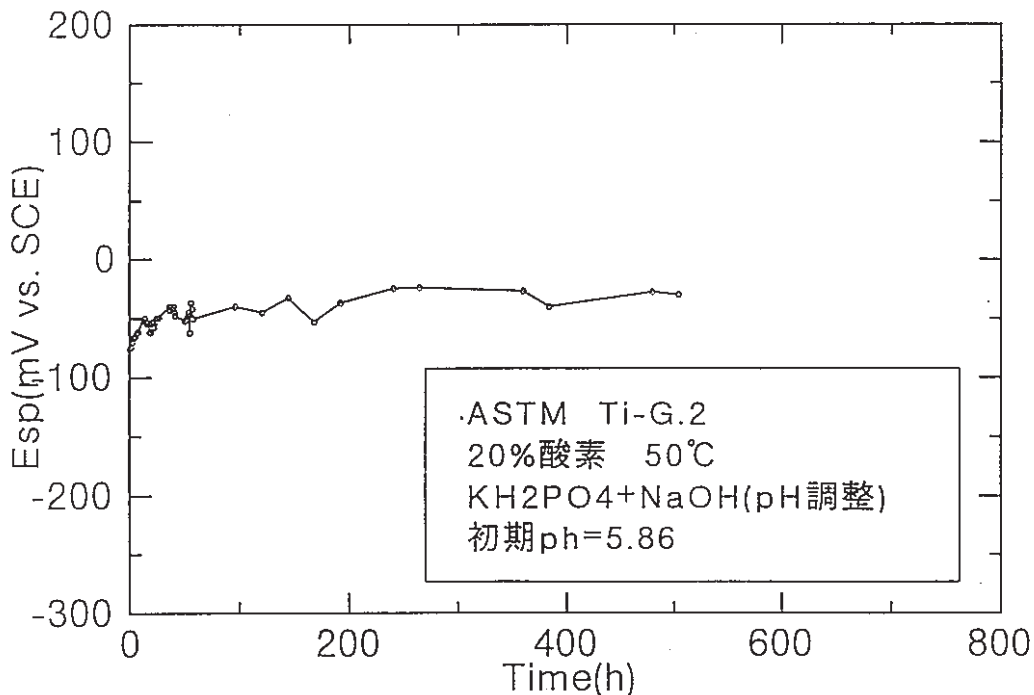
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-10 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



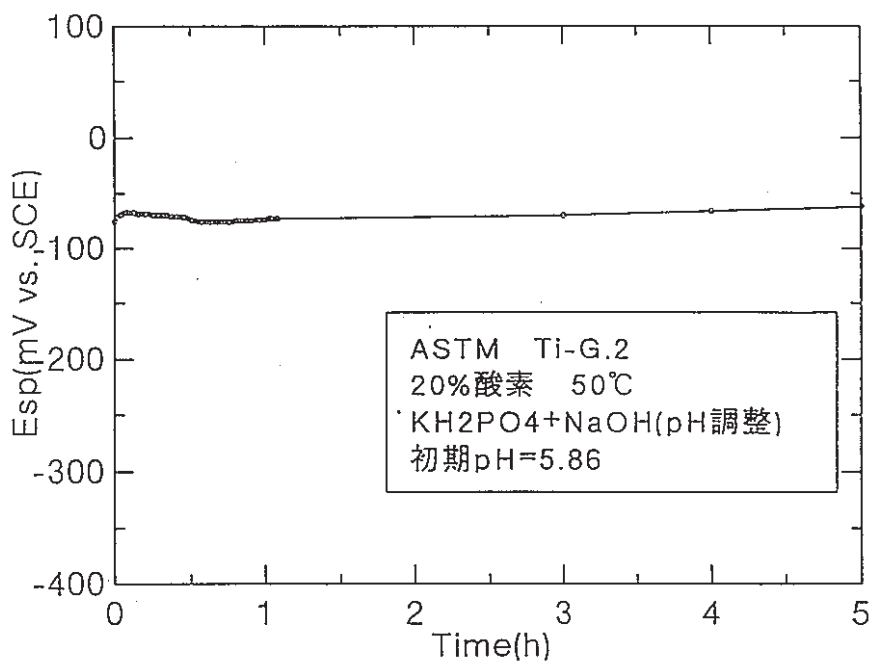
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-11 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

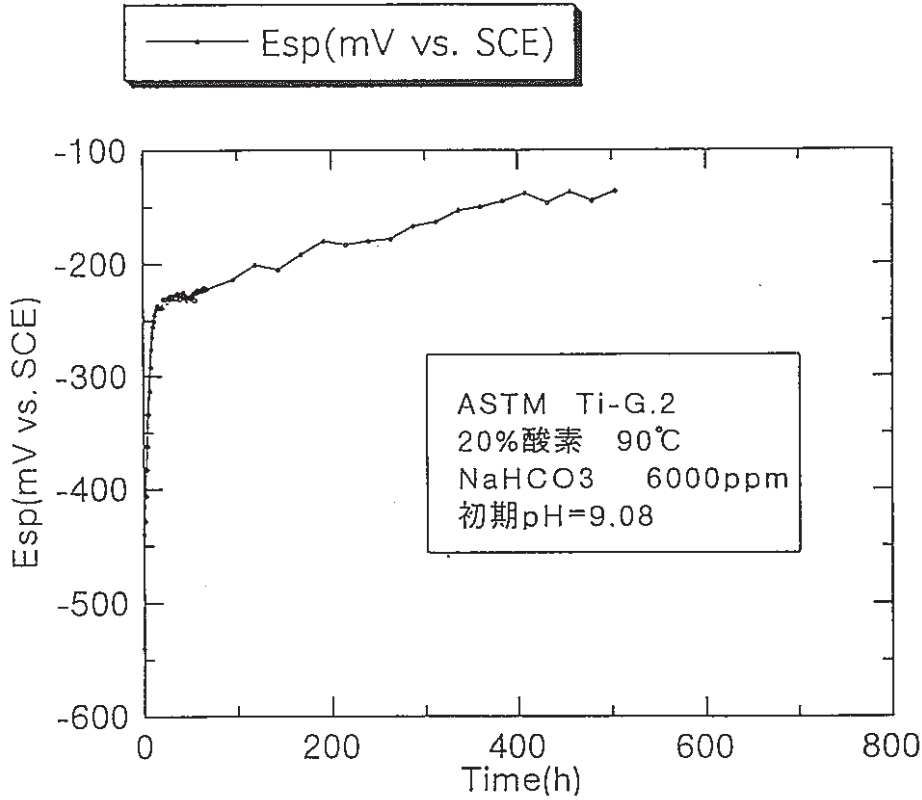


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-11 | 部分データ |

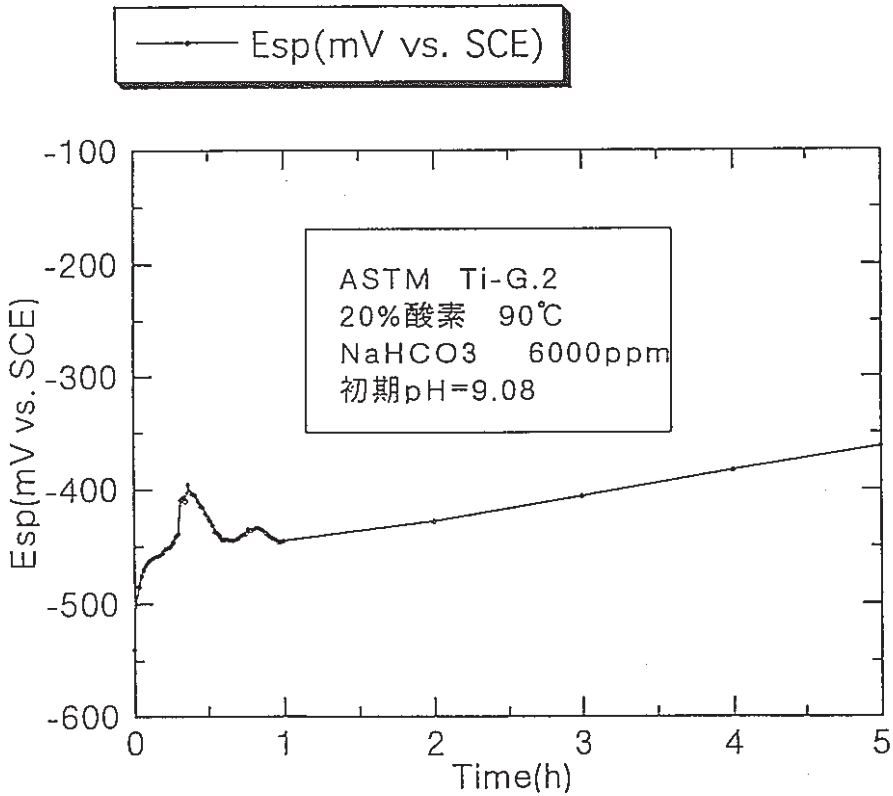
—○— Esp(mV vs. SCE)



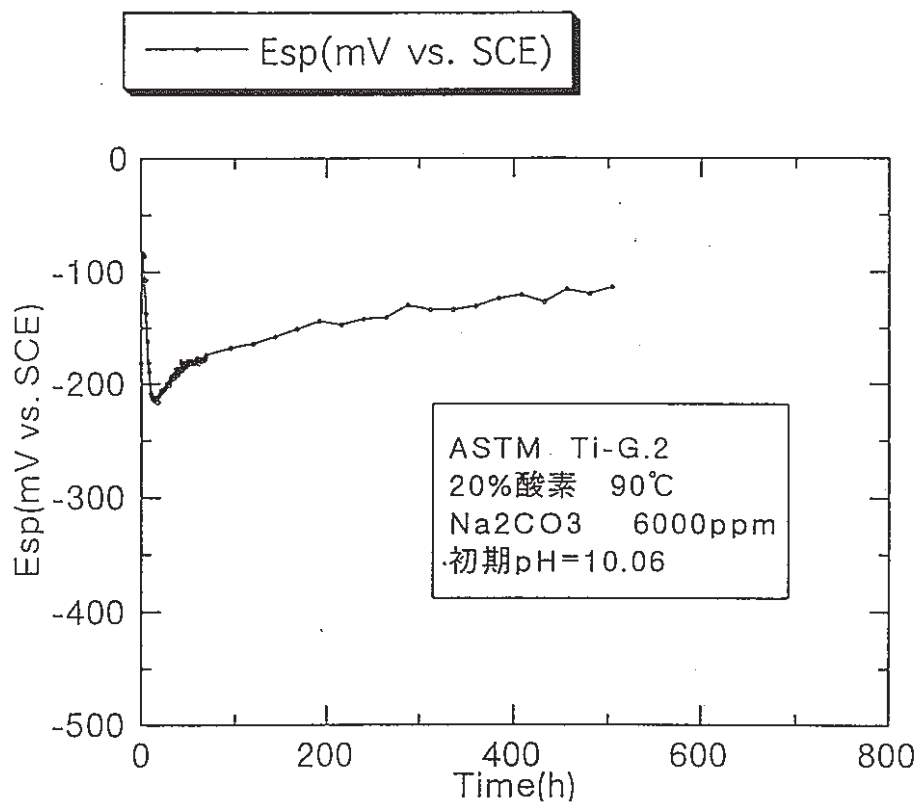
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-12 | 全データ  |



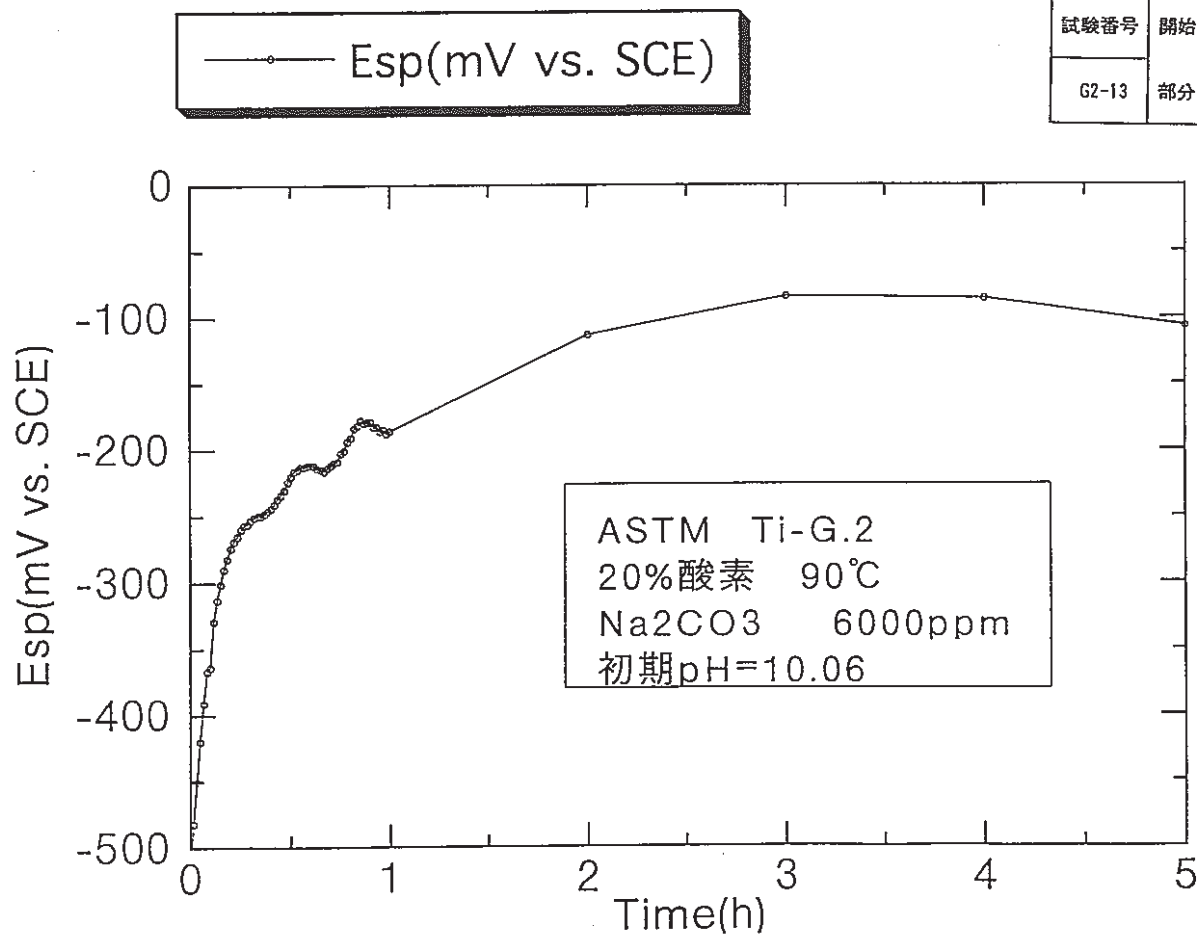
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-12 | 部分データ |



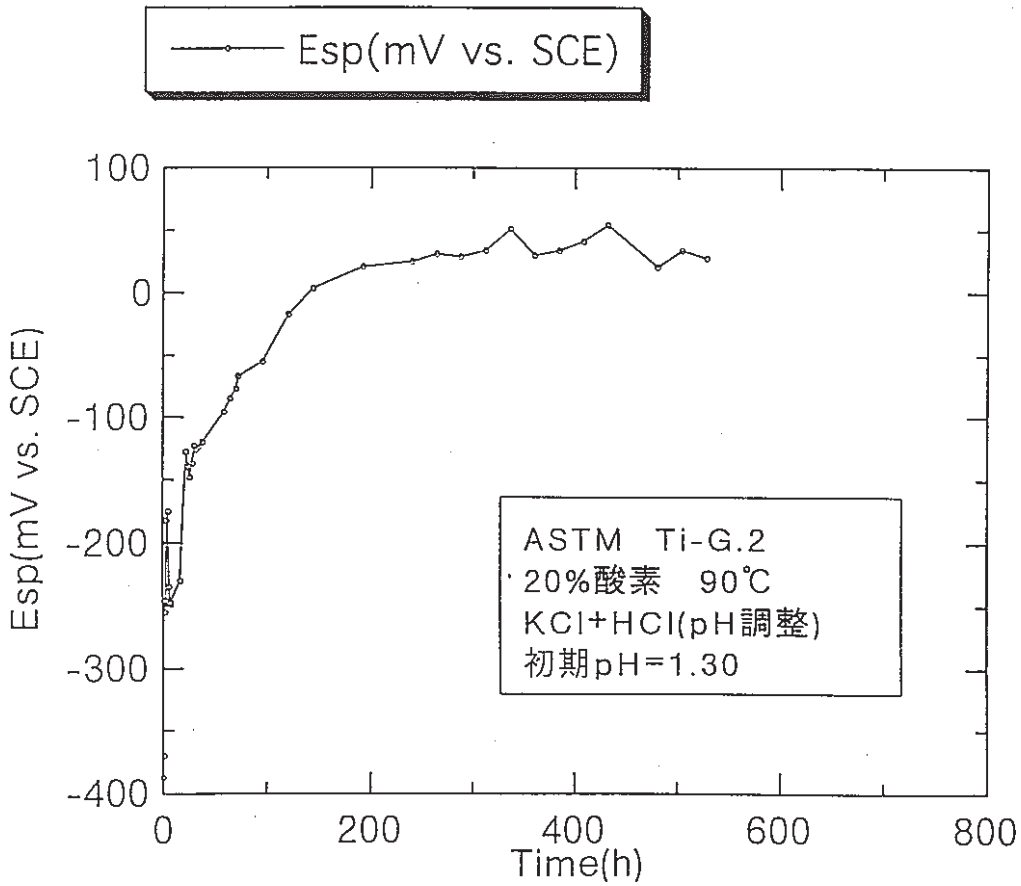
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-13 | 全データ  |



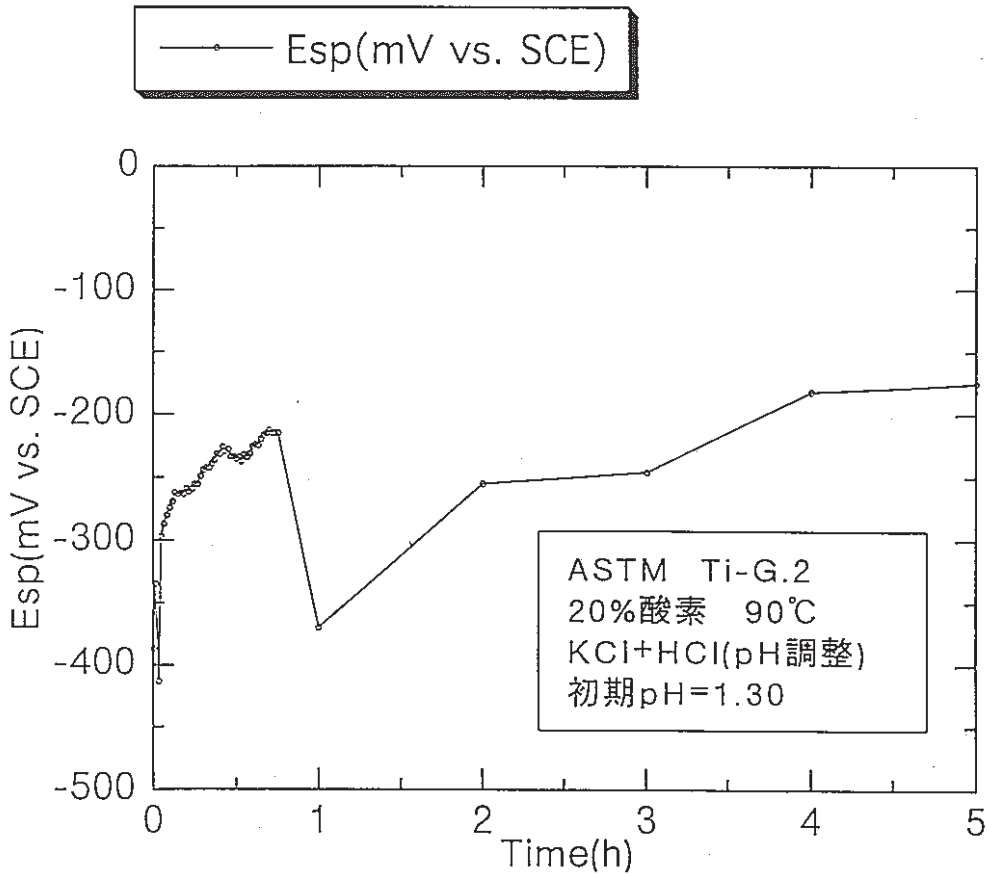
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-13 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-14 | 全データ  |

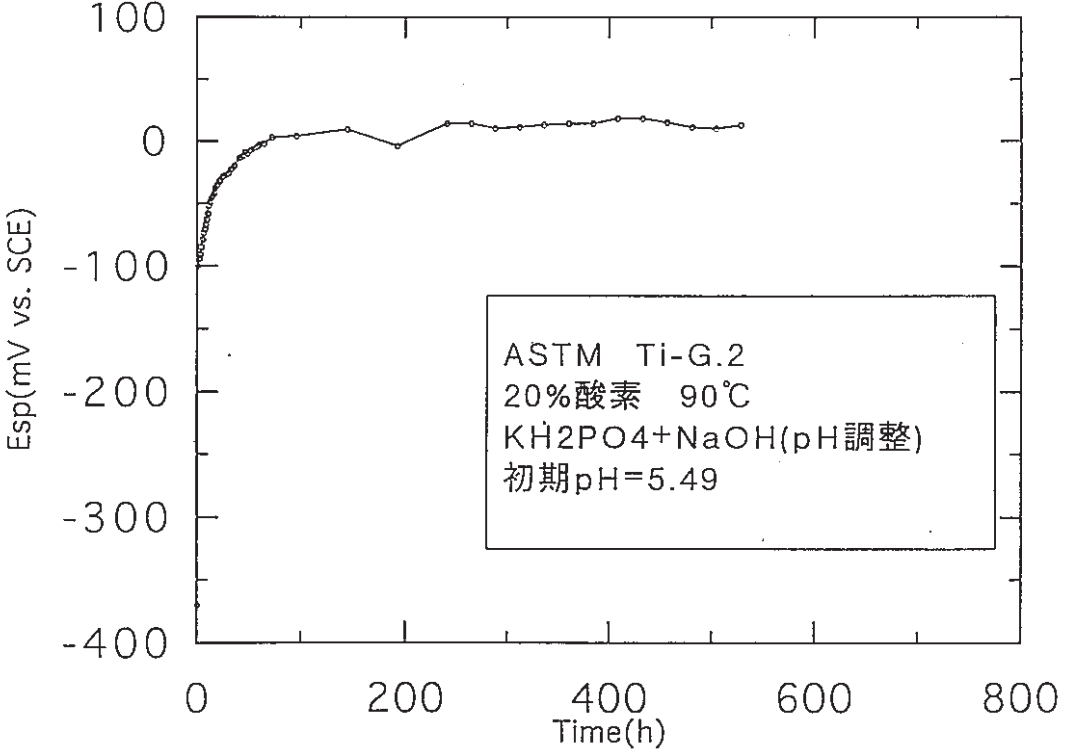


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-14 | 部分データ |



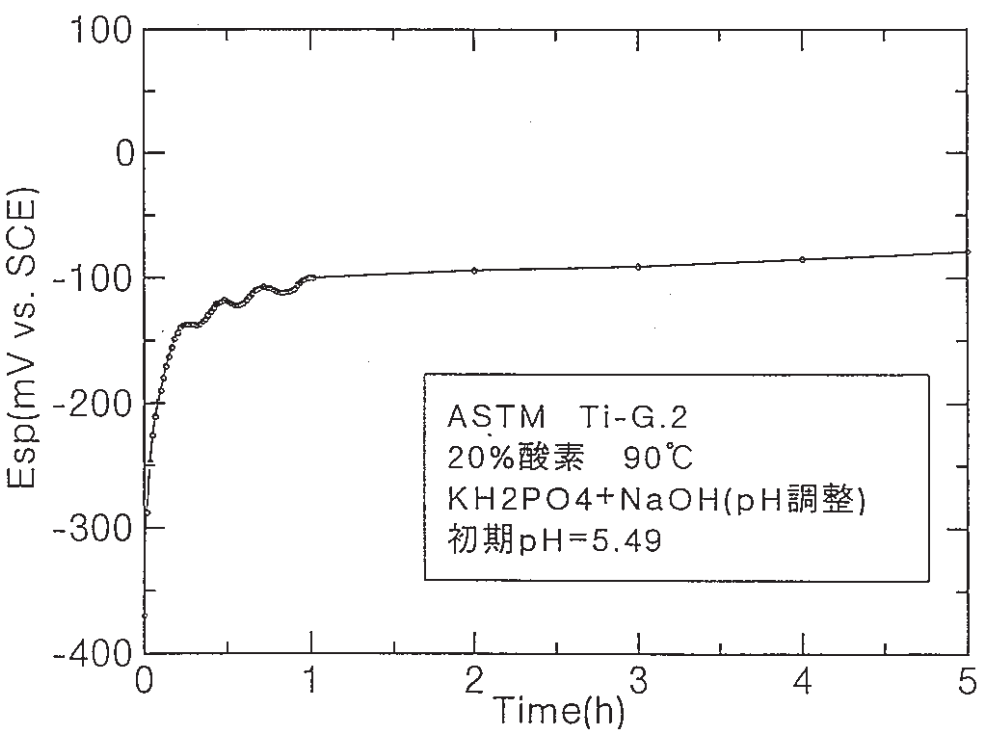
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-15 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-15 | 部分データ |

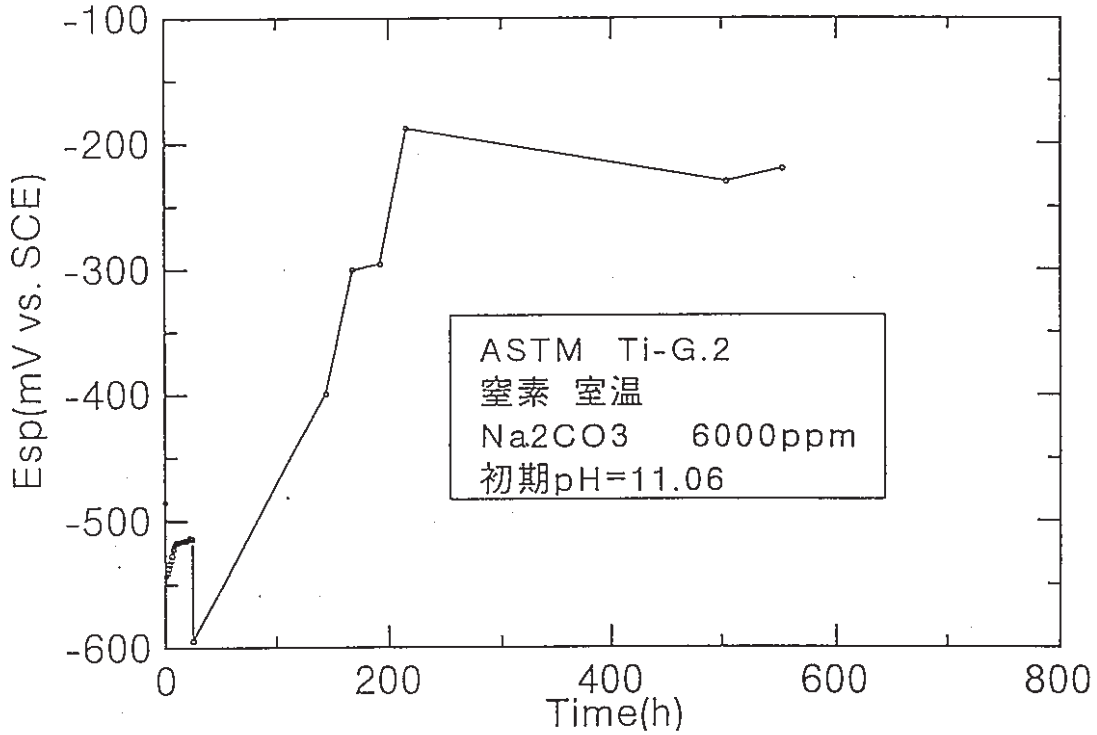
—○— Esp(mV vs. SCE)





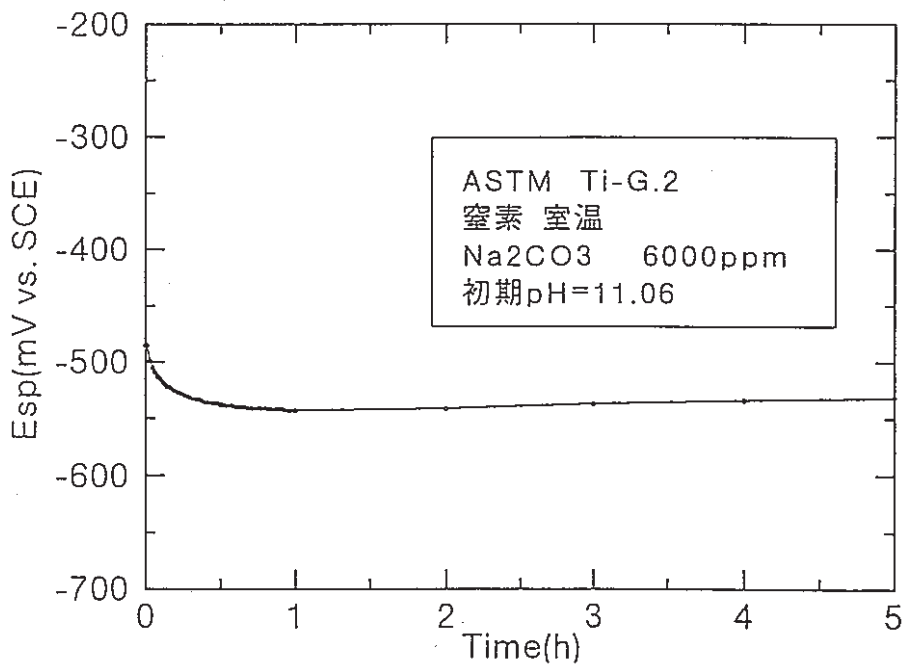
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-16 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

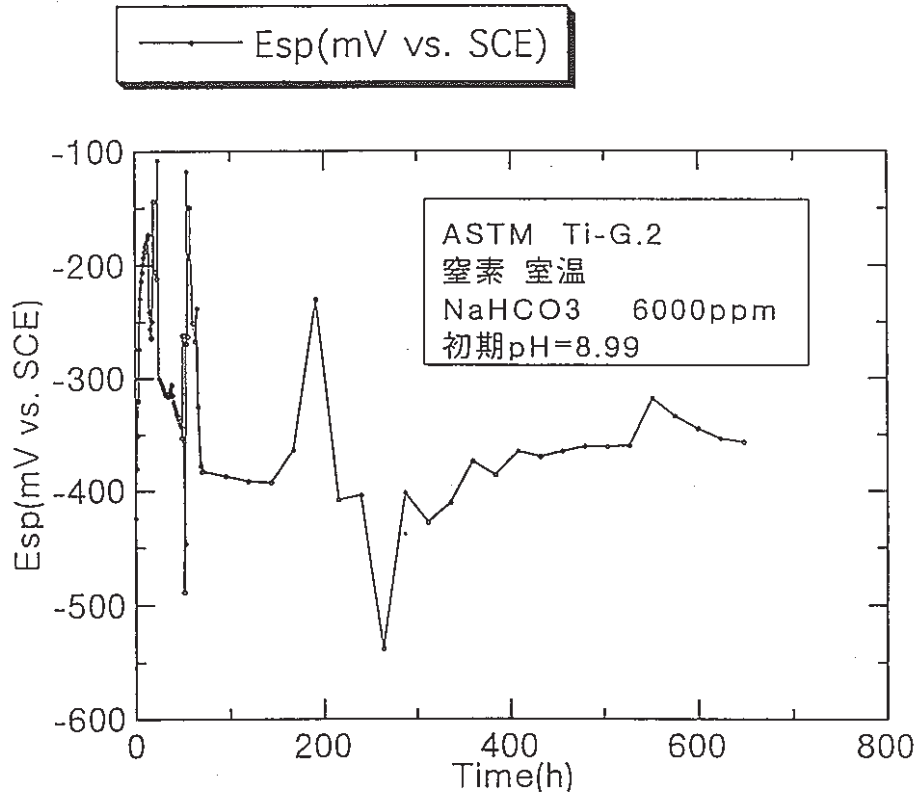


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-16 | 部分データ |

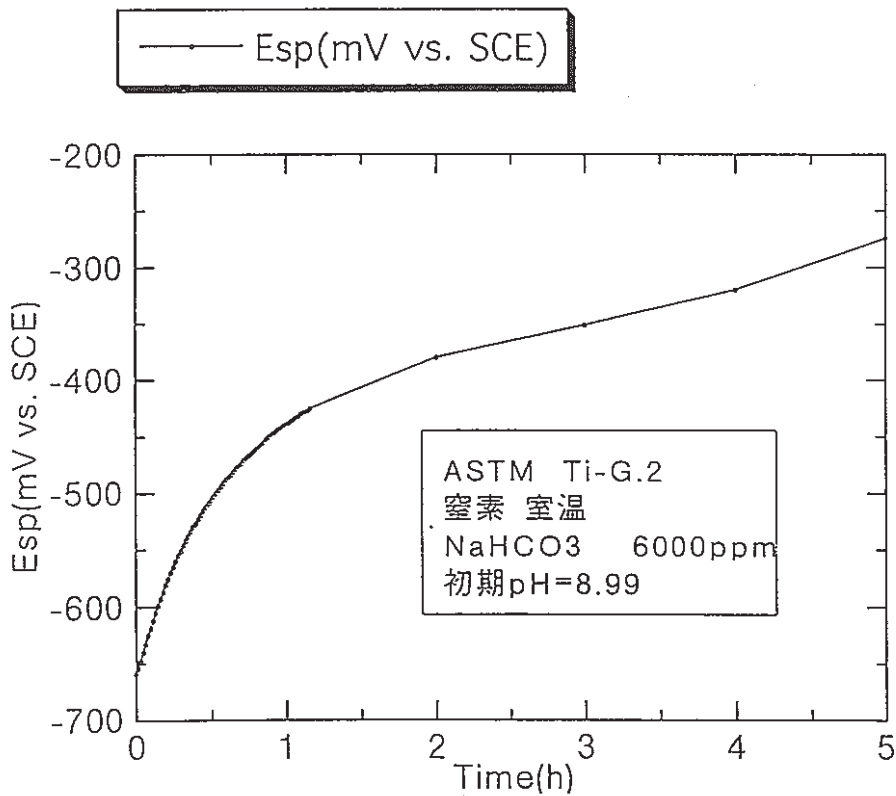
—○— Esp(mV vs. SCE)



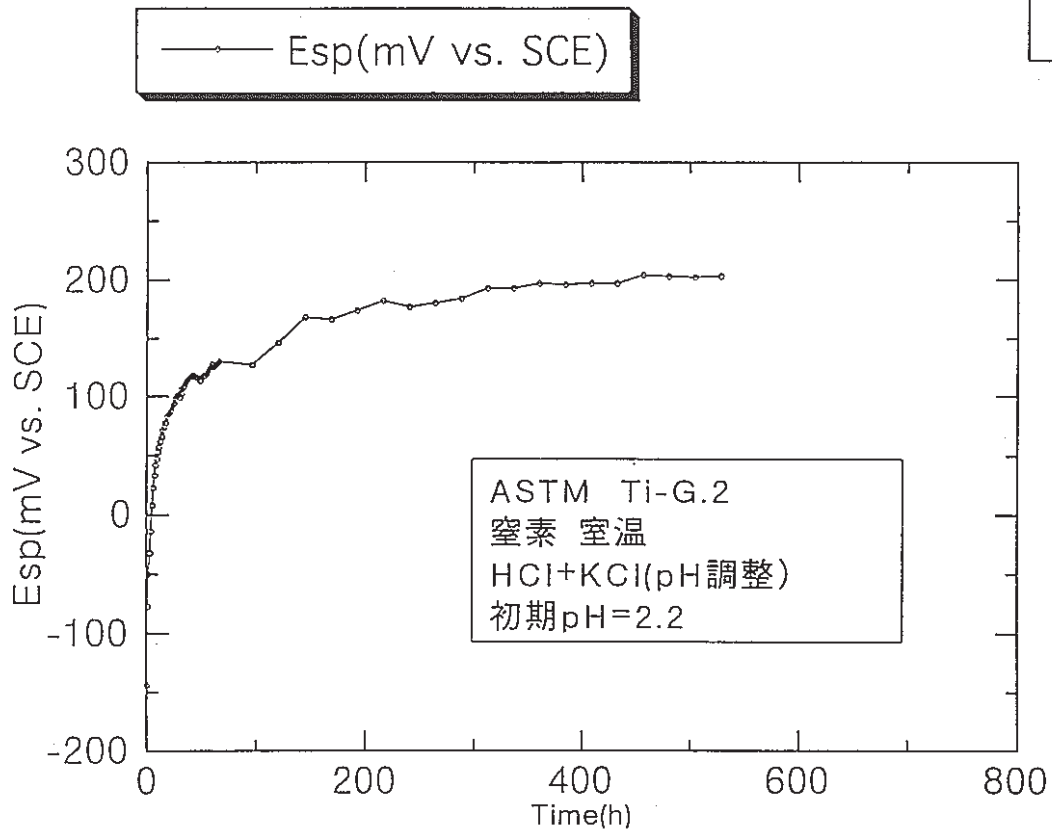
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-17 | 全データ  |



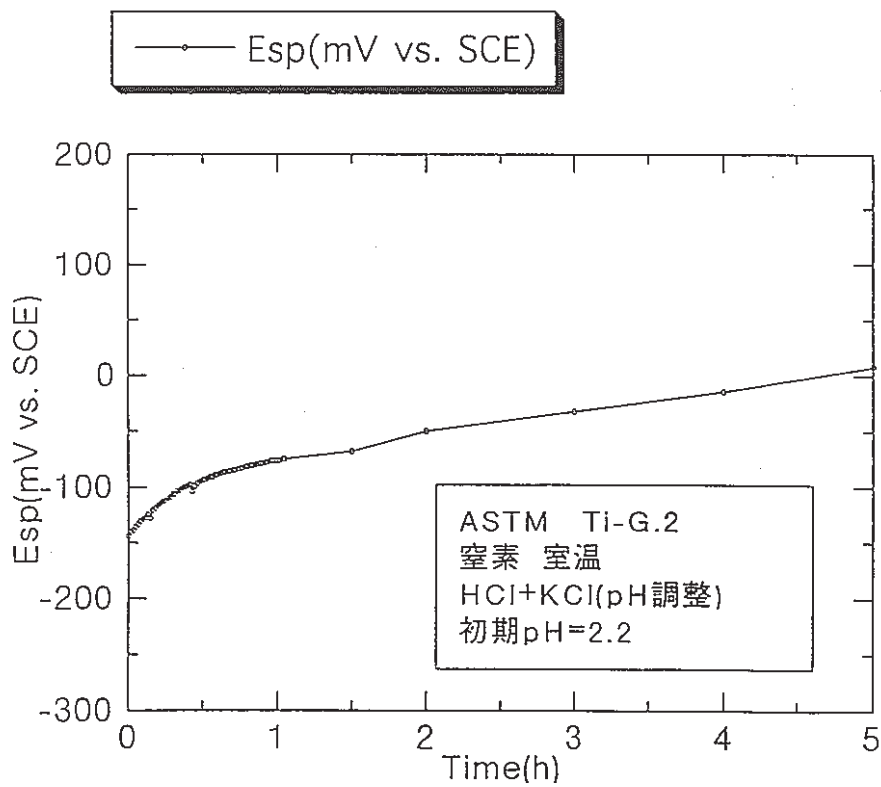
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-17 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-18 | 全データ  |

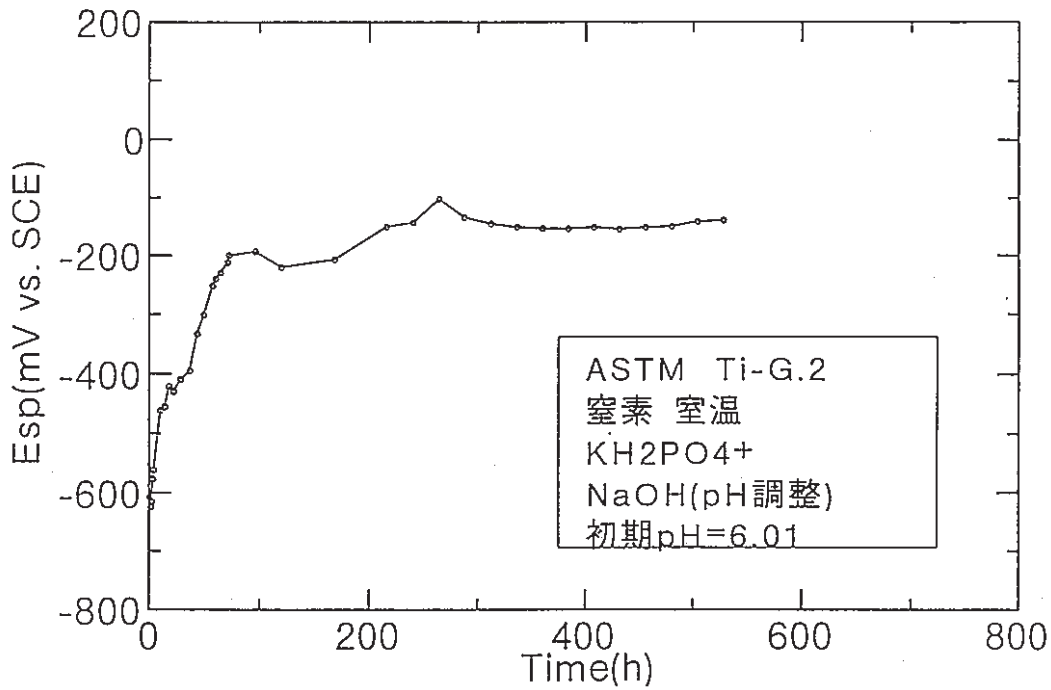


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-18 | 部分データ |



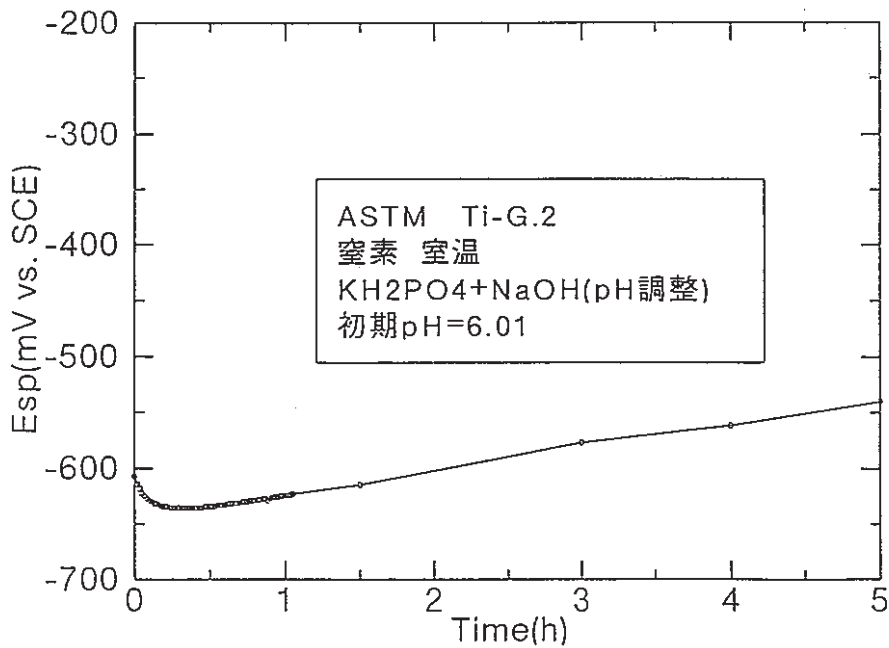
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-19 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



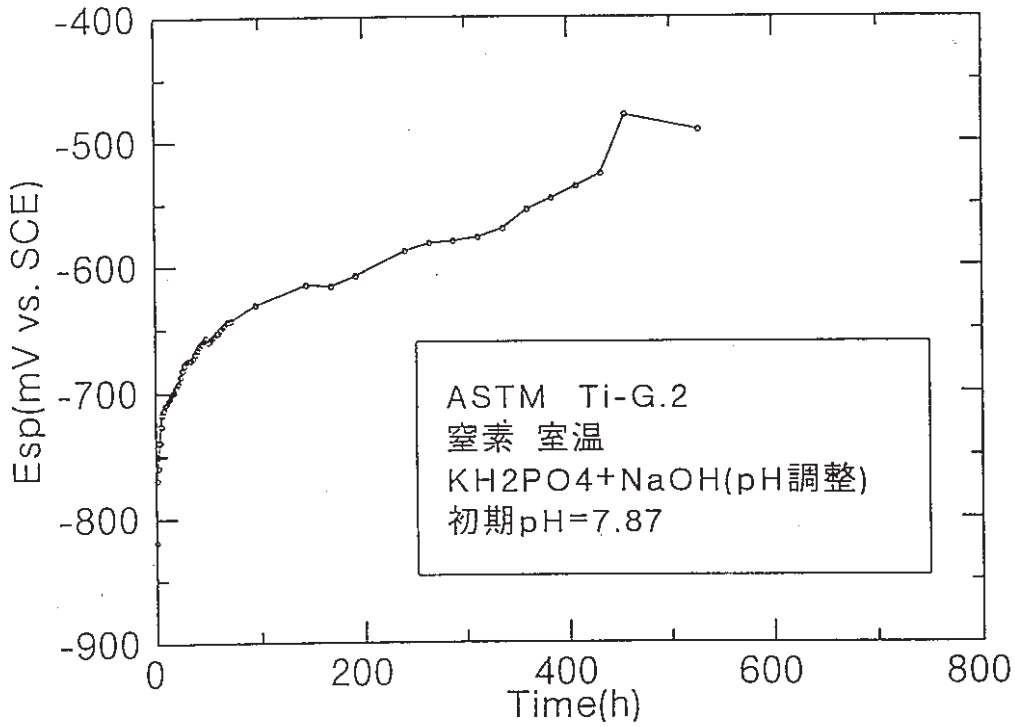
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-19 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



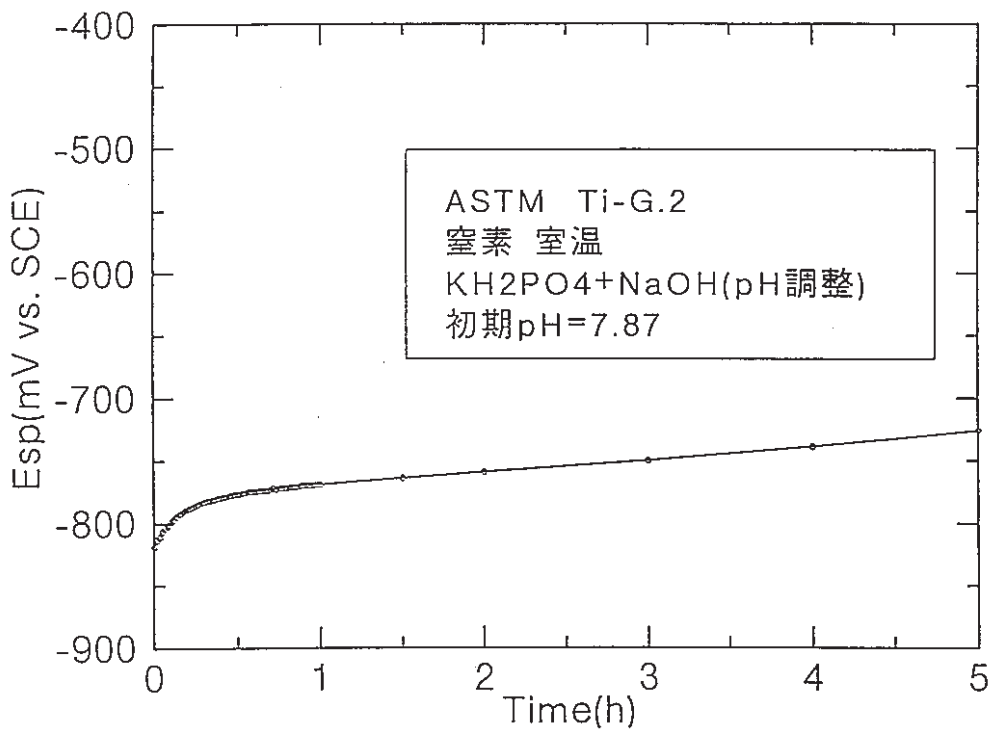
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-20 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

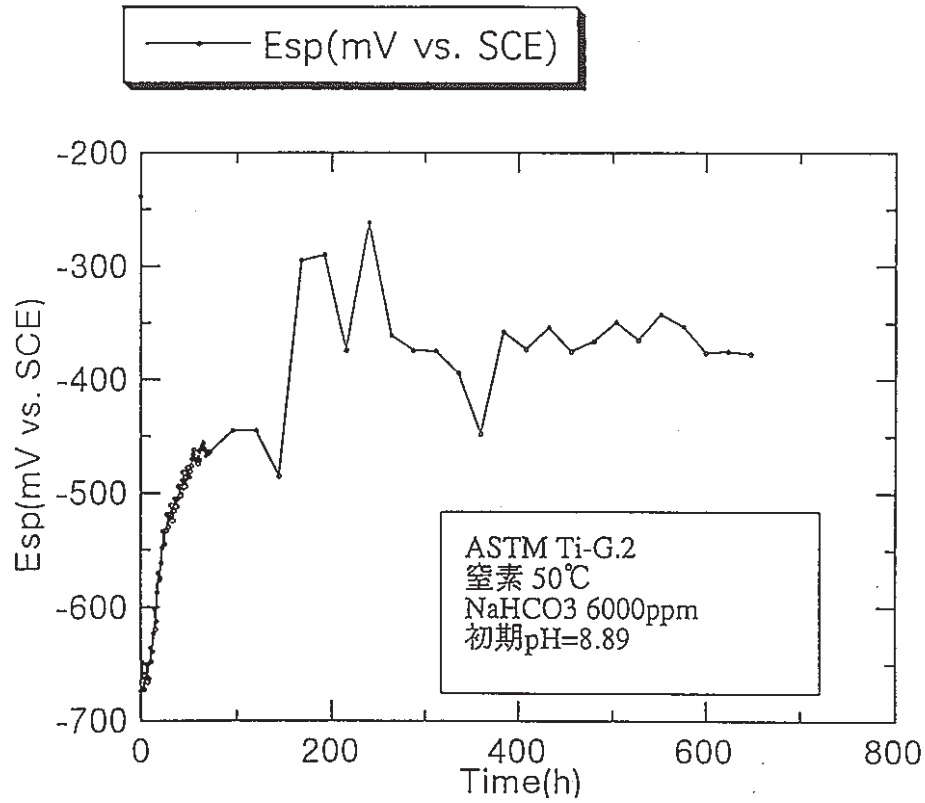


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-20 | 部分データ |

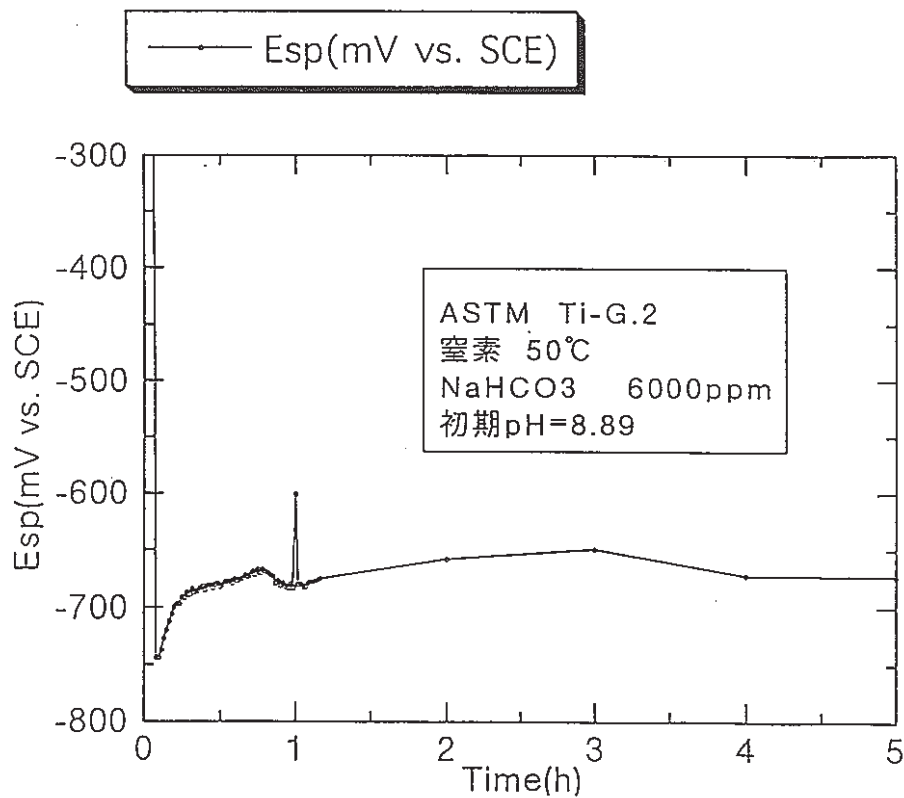
—○— Esp(mV vs. SCE)



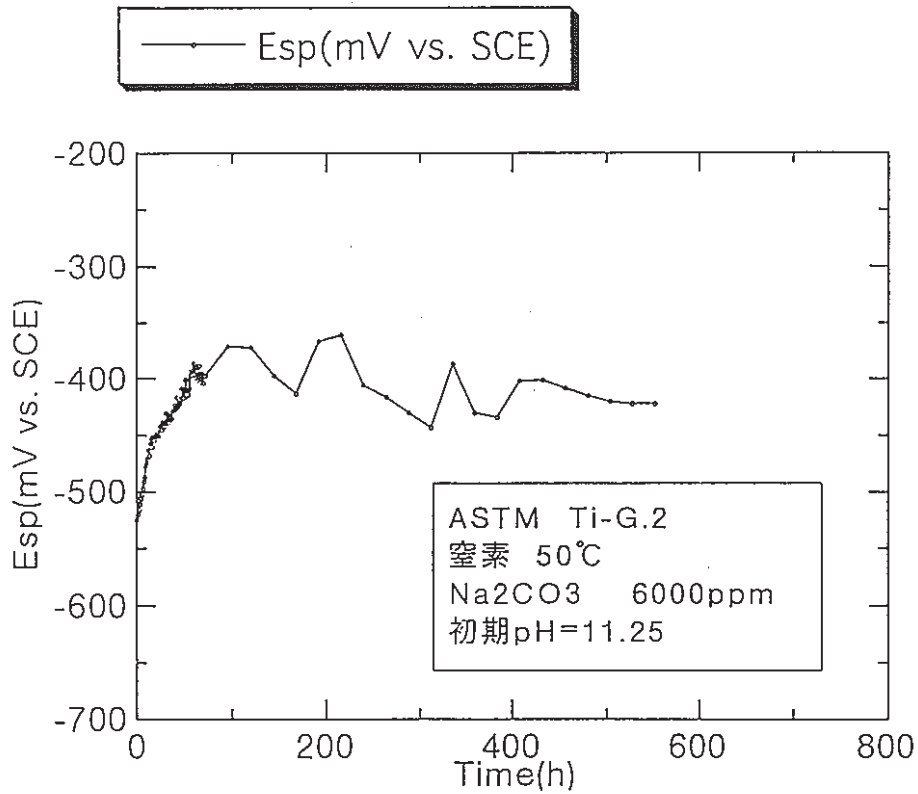
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-21 | 全データ  |



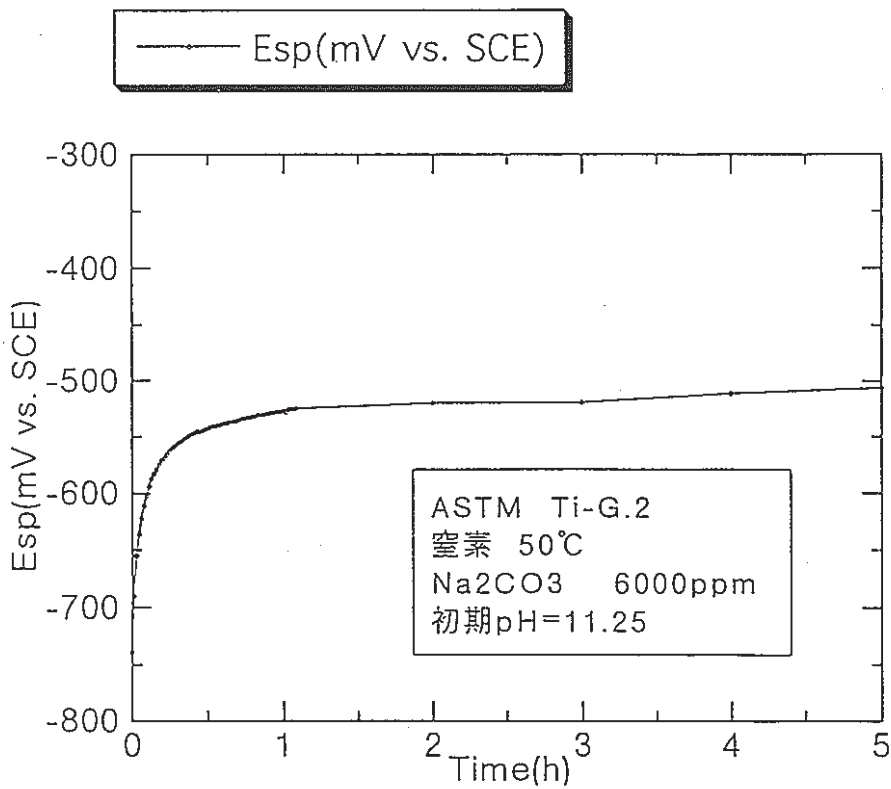
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-21 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-22 | 全データ  |

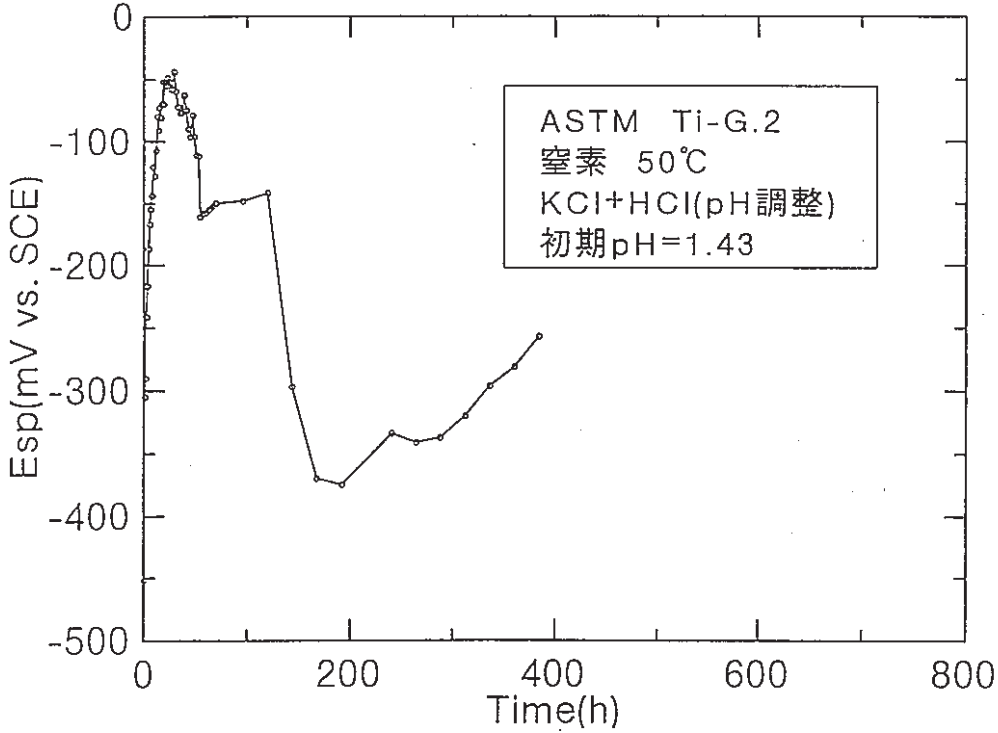


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-22 | 部分データ |



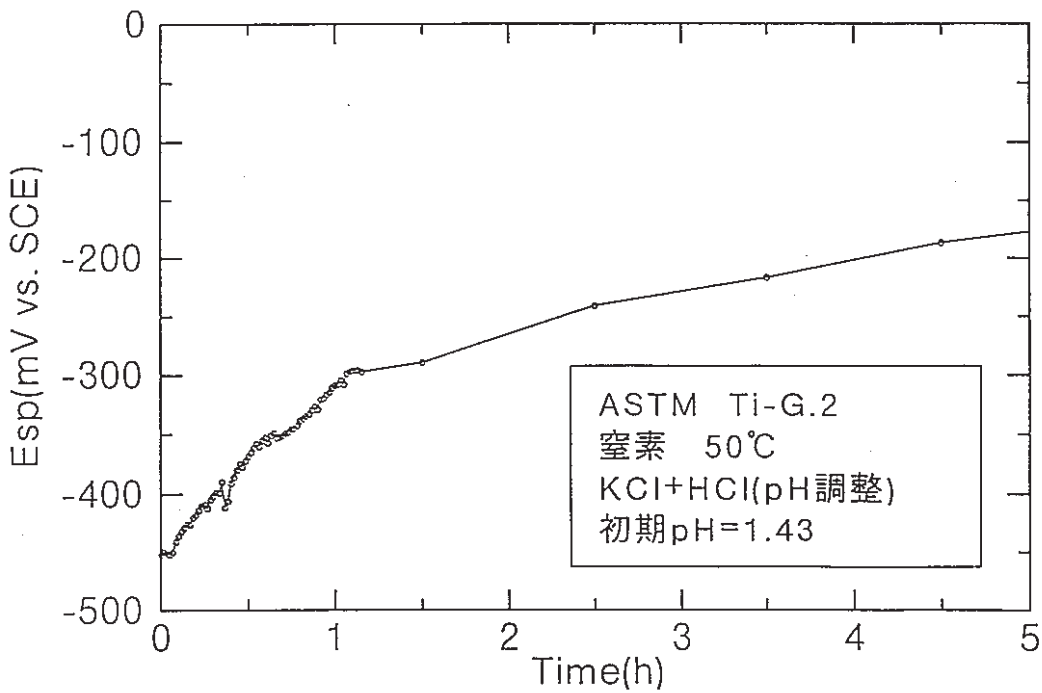
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-23 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-23 | 部分データ |

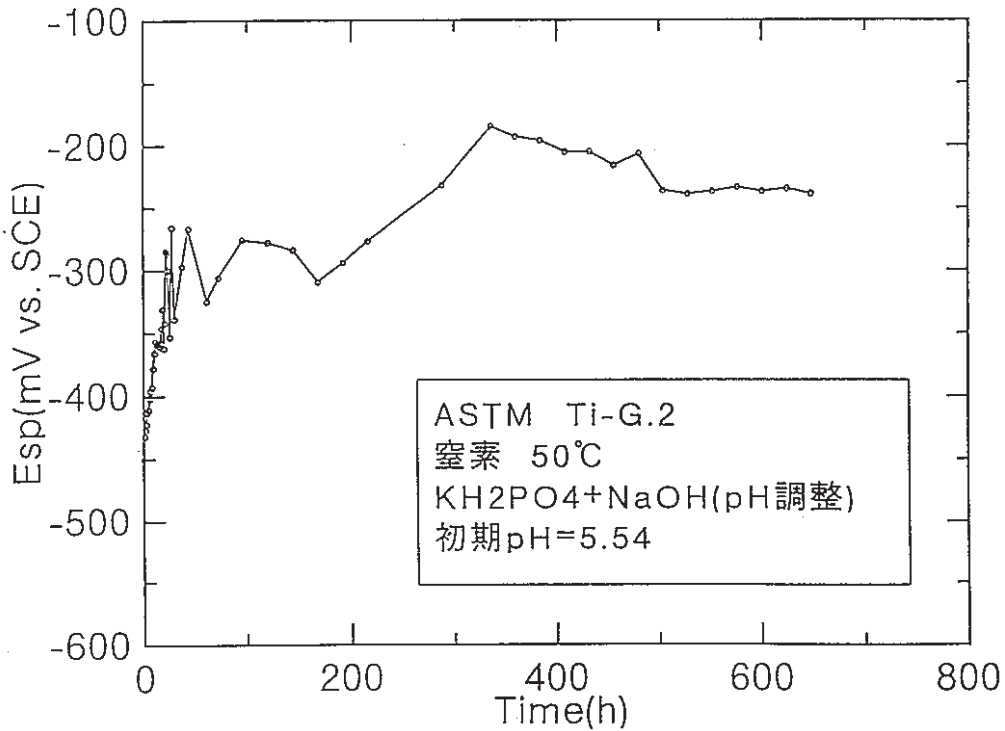
—○— Esp(mV vs. SCE)





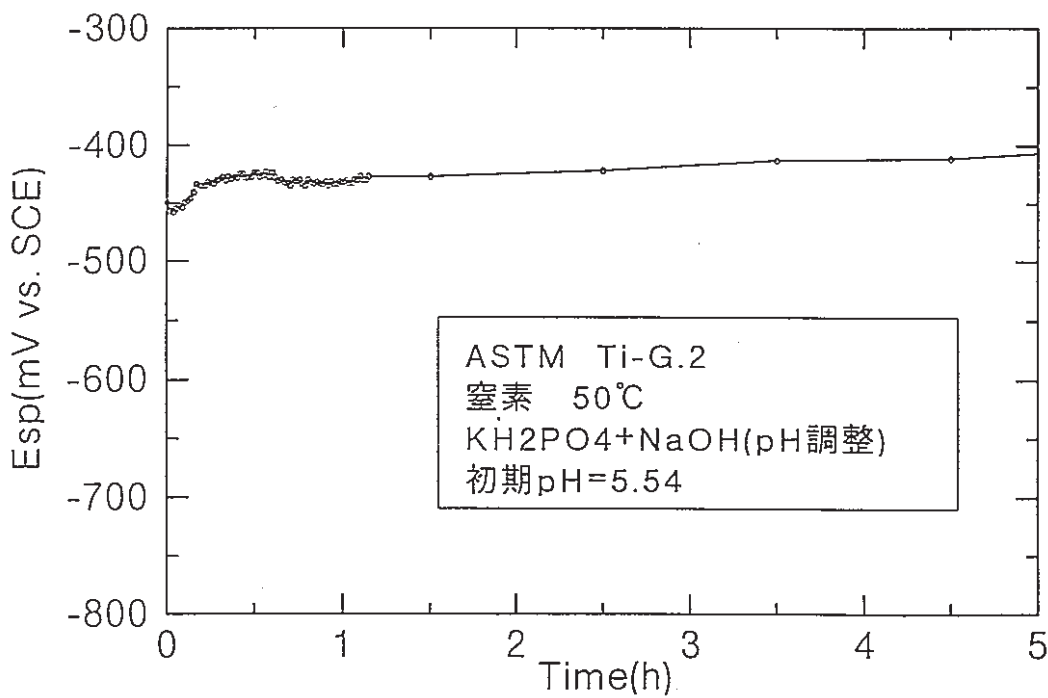
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-24 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

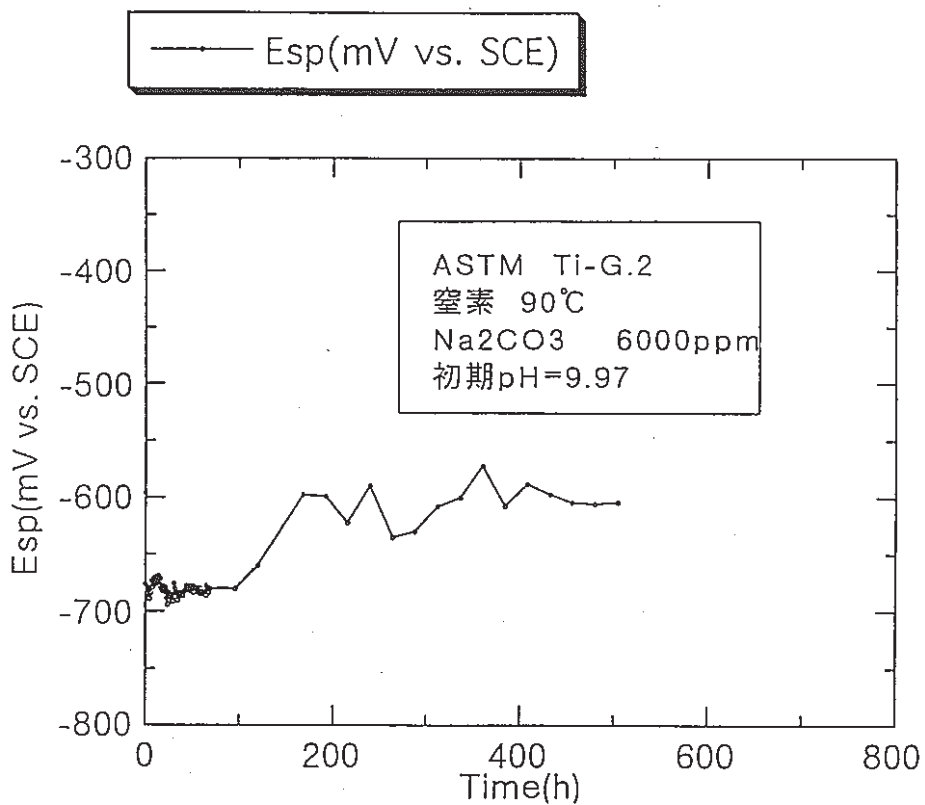


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-24 | 部分データ |

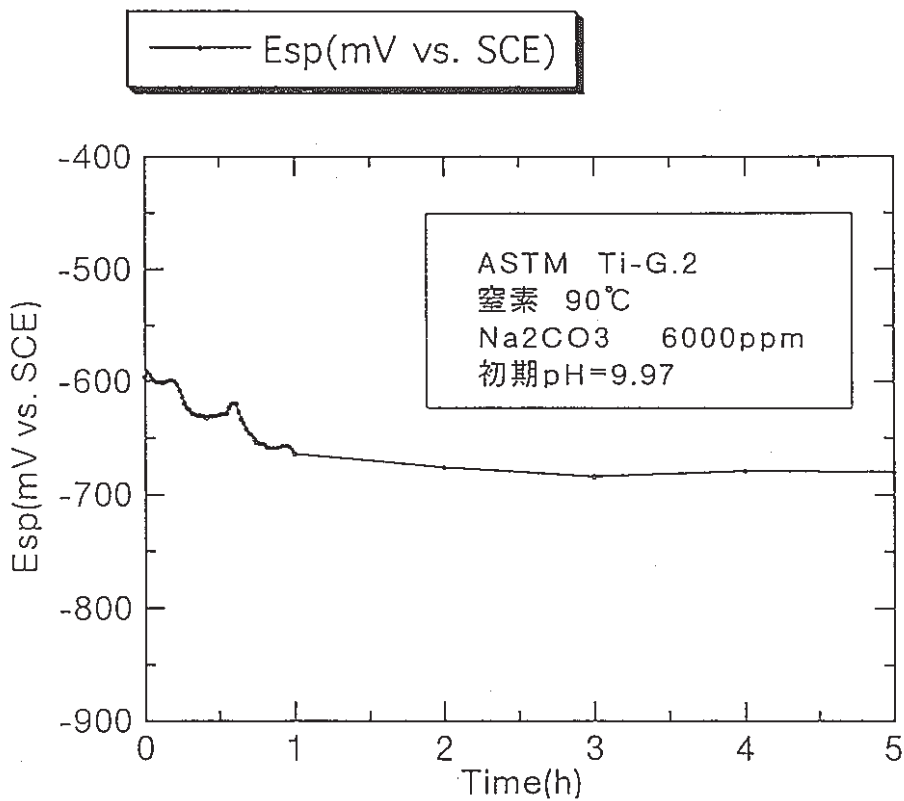
—○— Esp(mV vs. SCE)



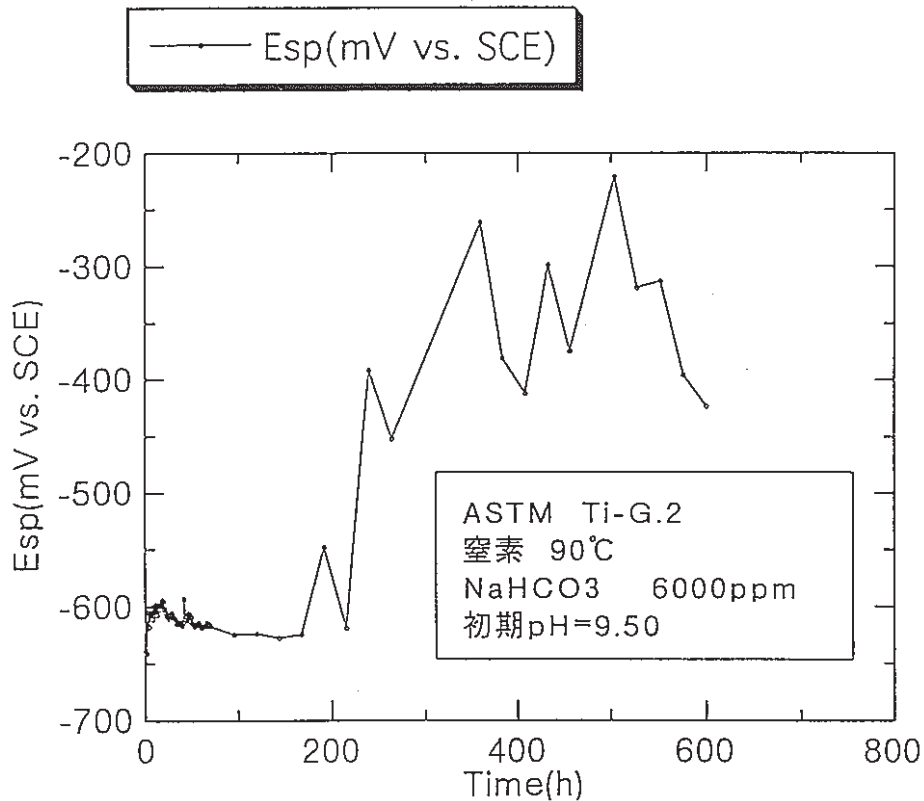
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-25 | 全データ  |



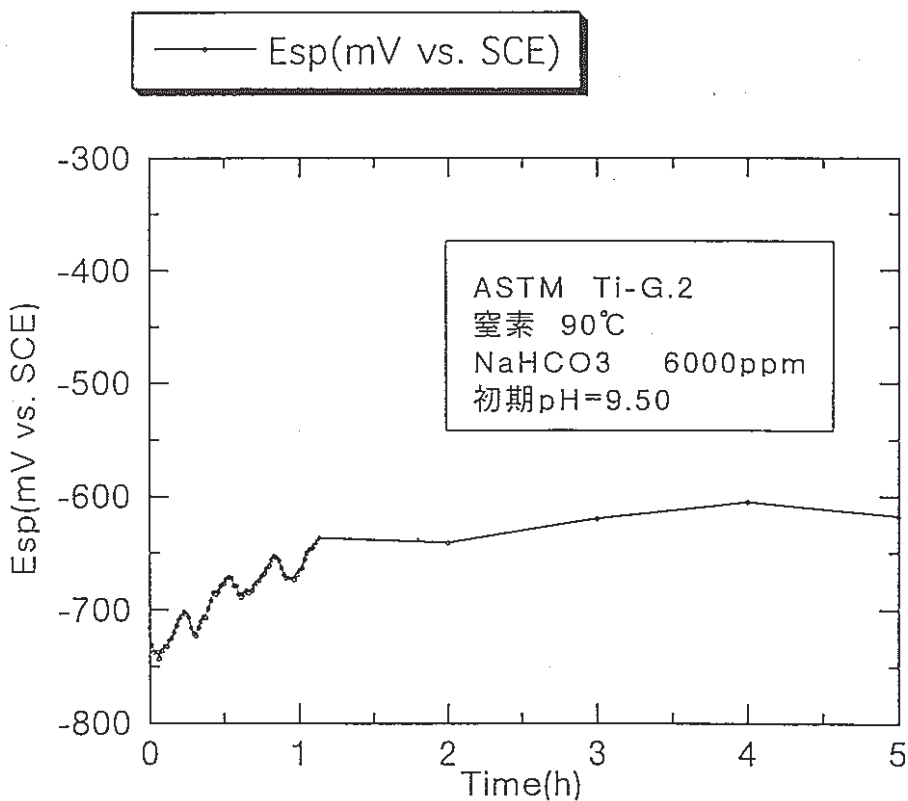
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-25 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-26 | 全データ  |

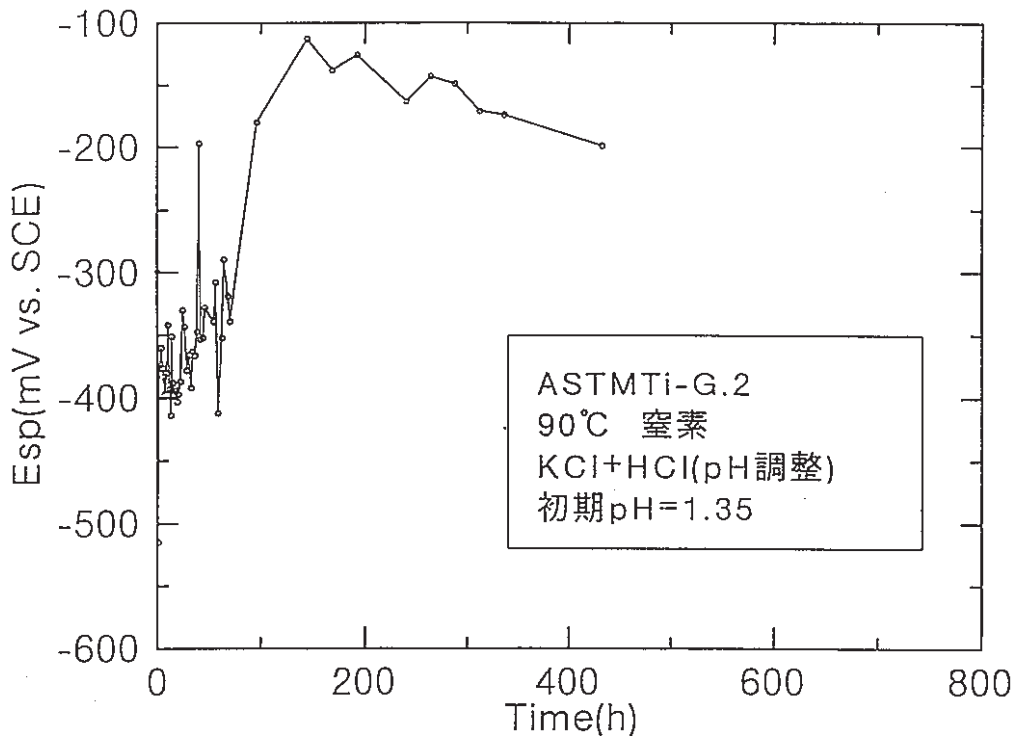


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-26 | 部分データ |



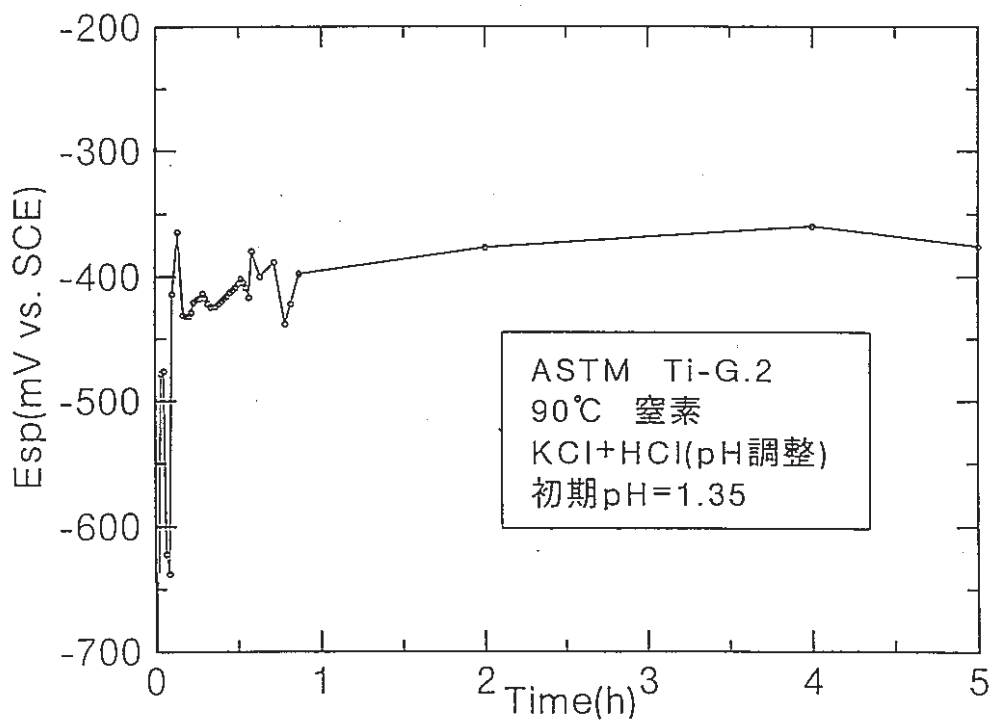
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-27 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



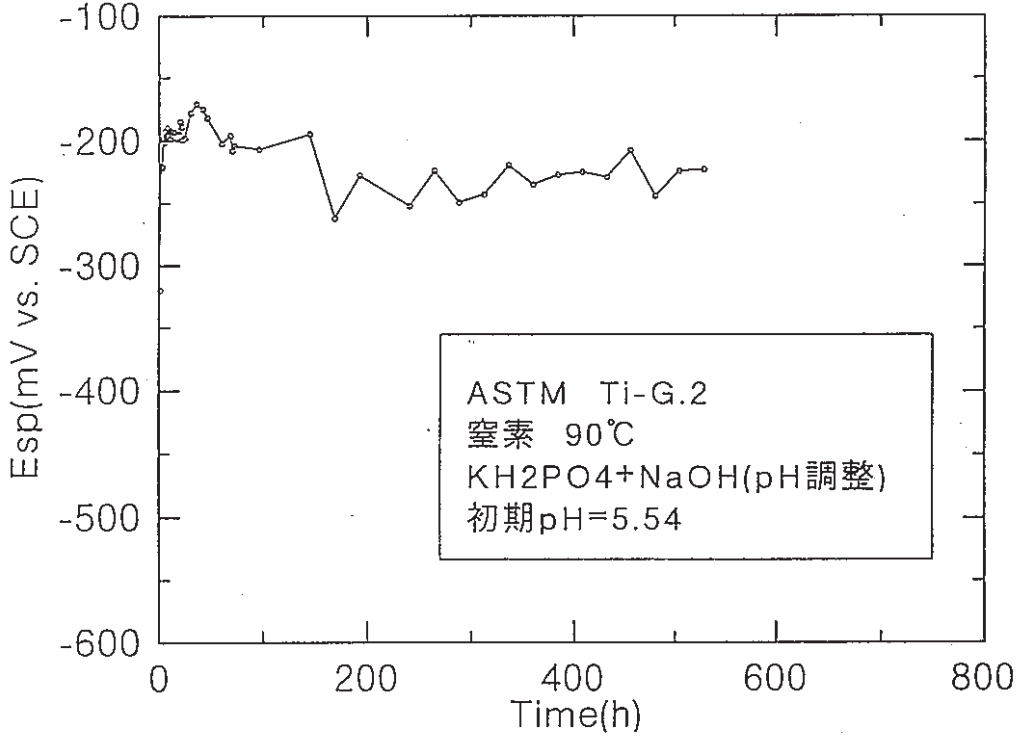
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-27 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



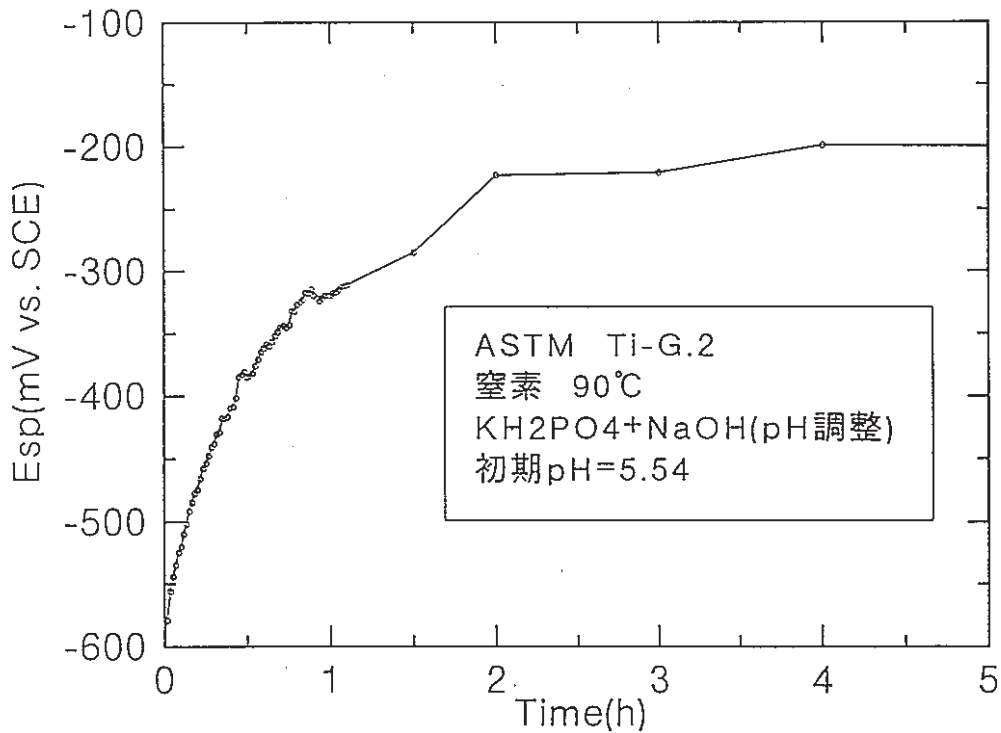
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-28 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

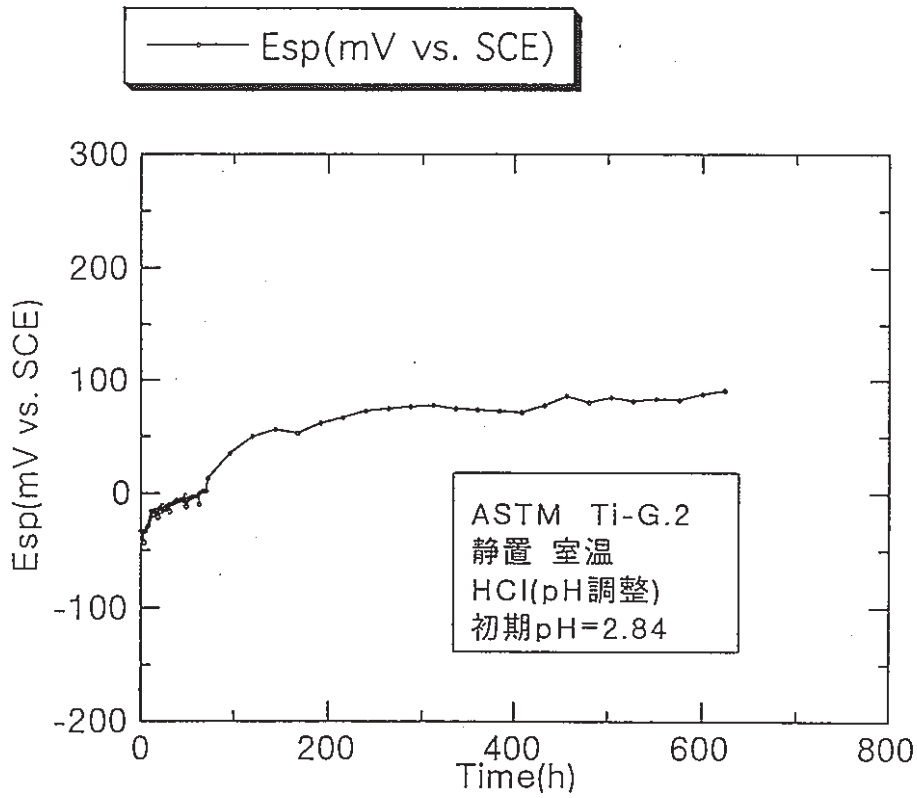


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-28 | 部分データ |

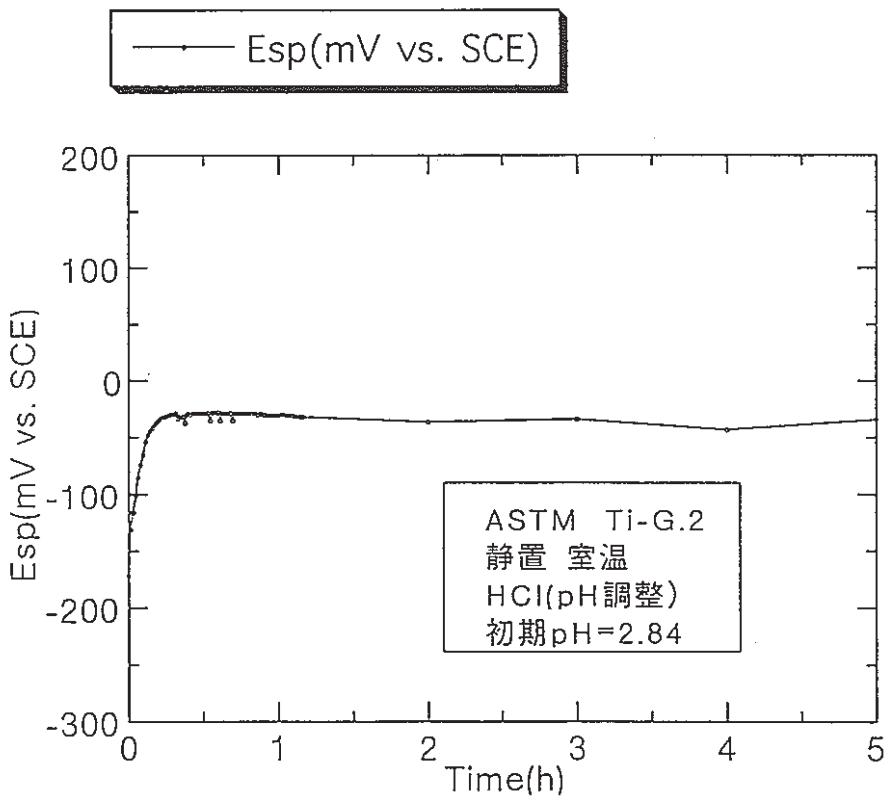
—○— Esp(mV vs. SCE)



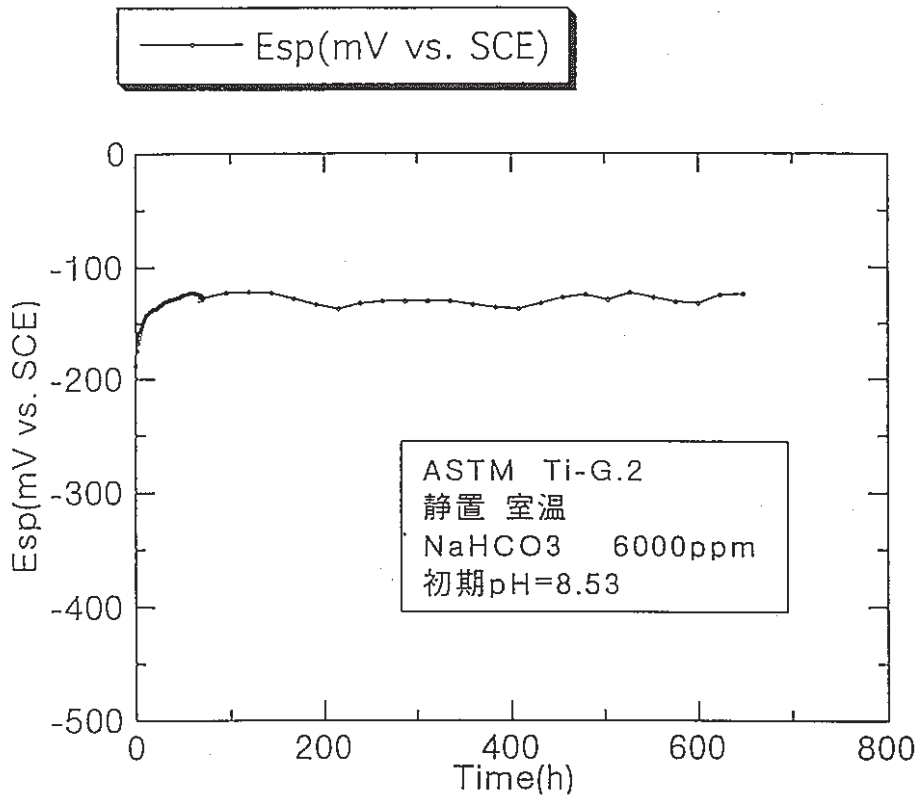
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-29 | 全データ  |



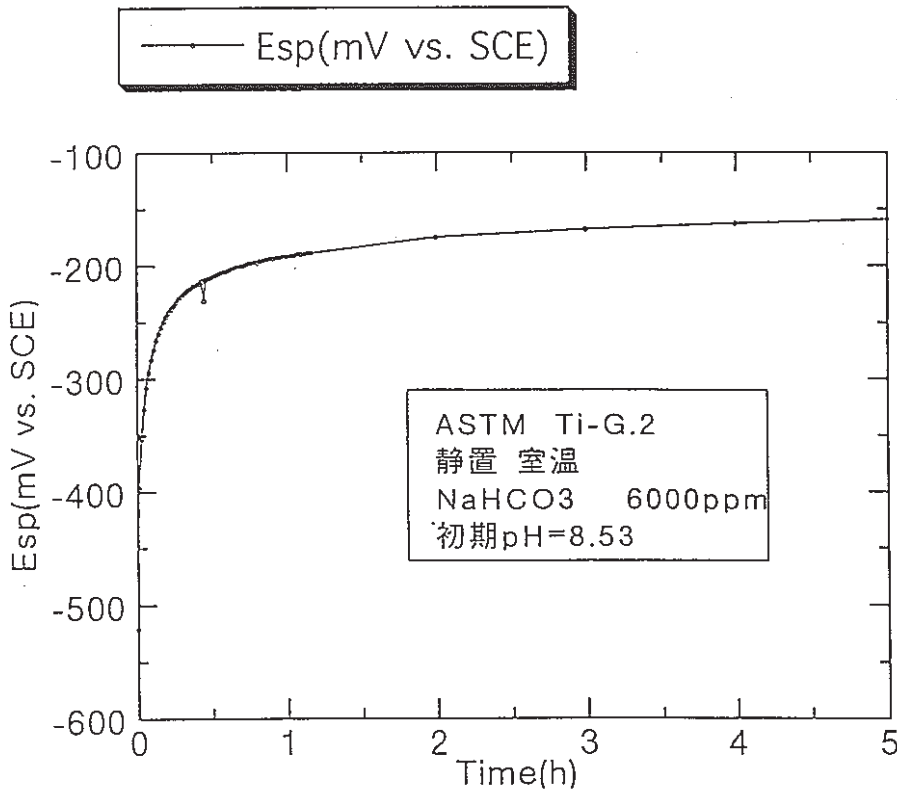
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-29 | 部分データ |



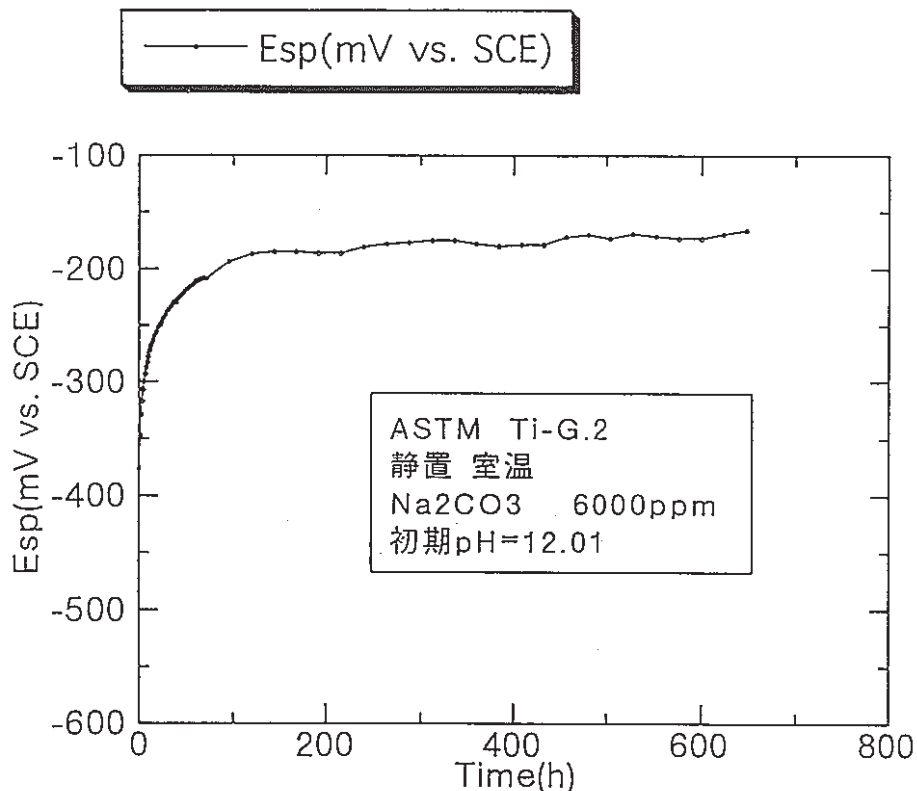
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-30 | 全データ  |



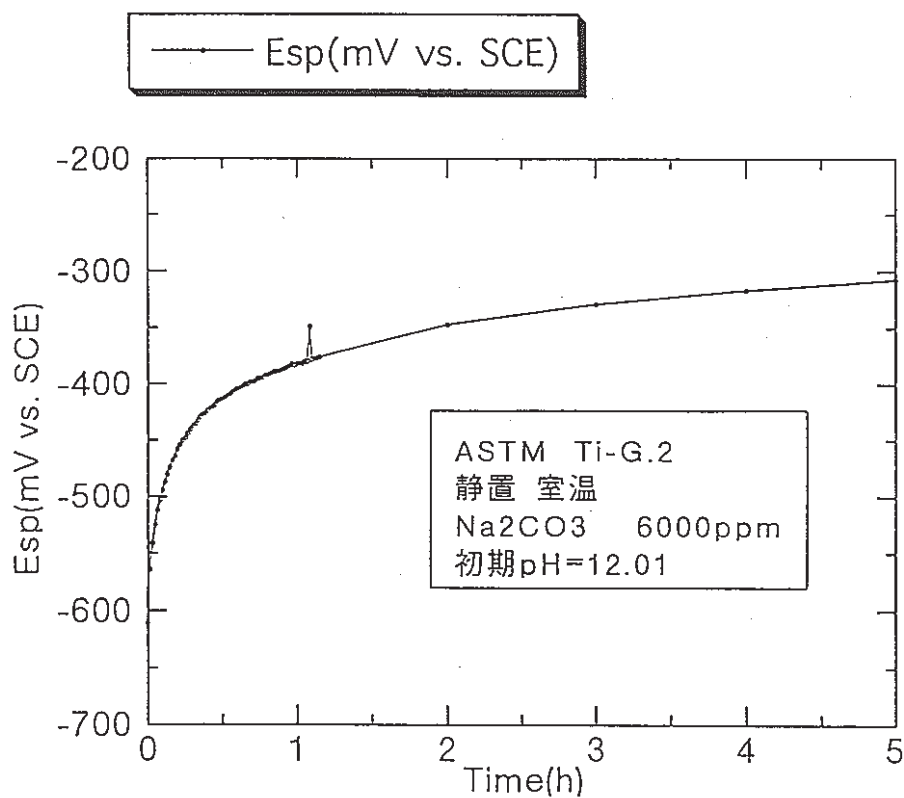
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-30 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-31 | 全データ  |

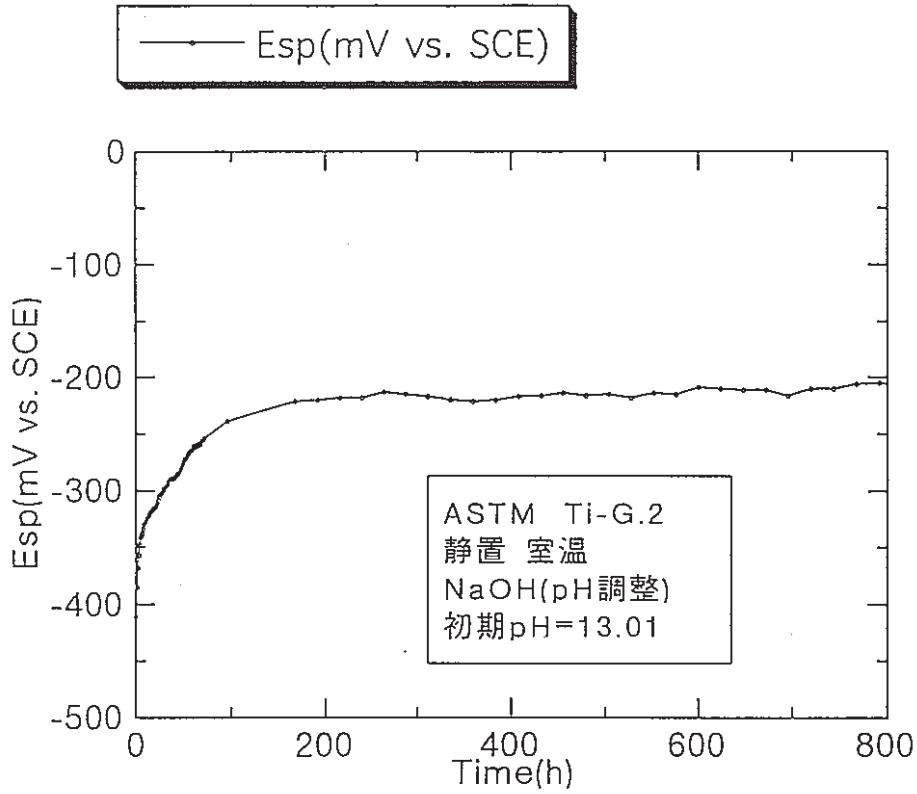


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-31 | 部分データ |

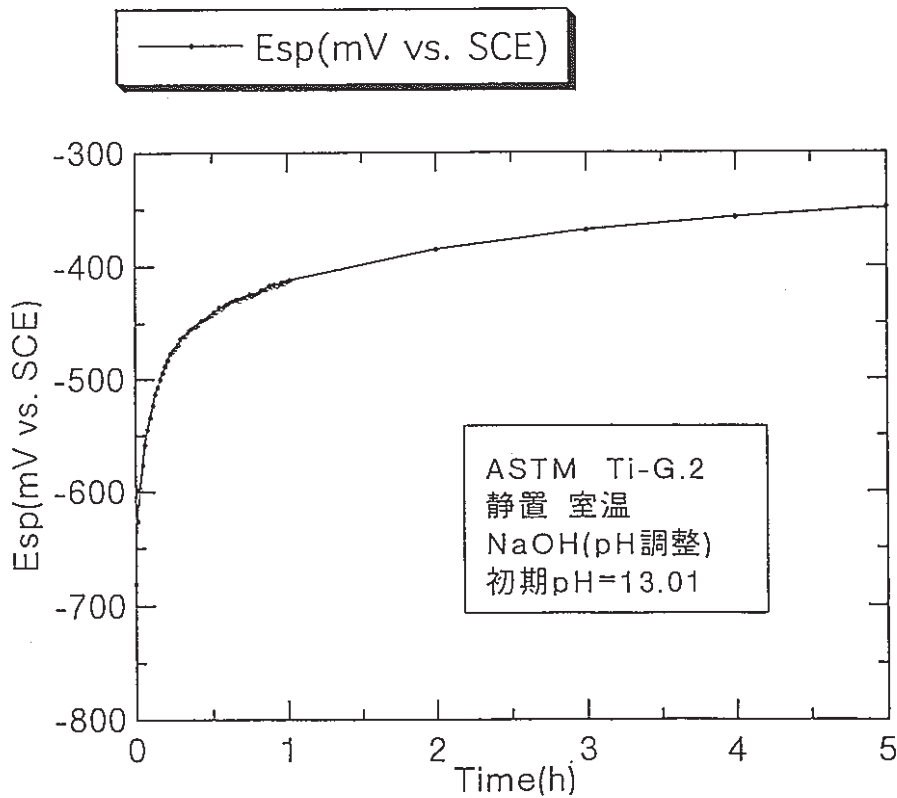




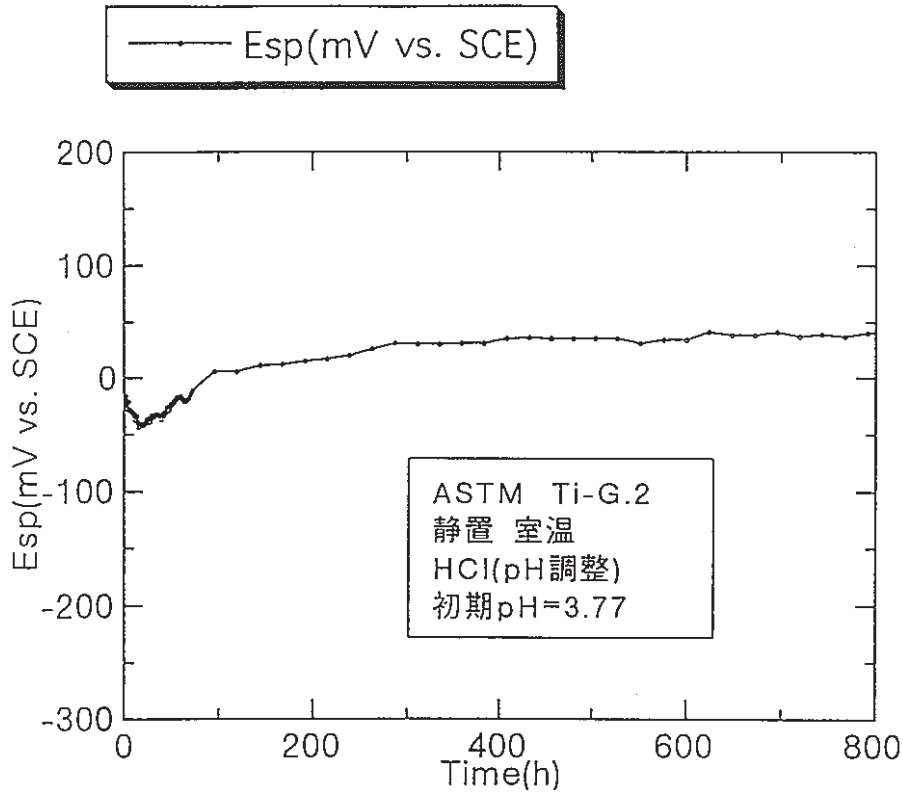
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-32 | 全データ  |



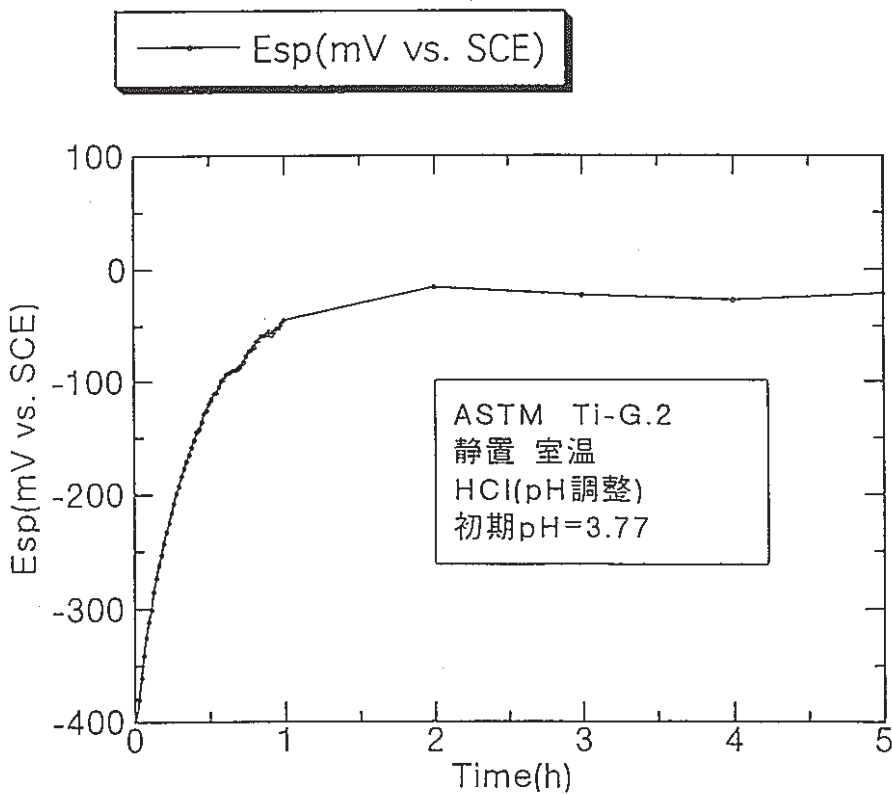
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-32 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-33 | 全データ  |

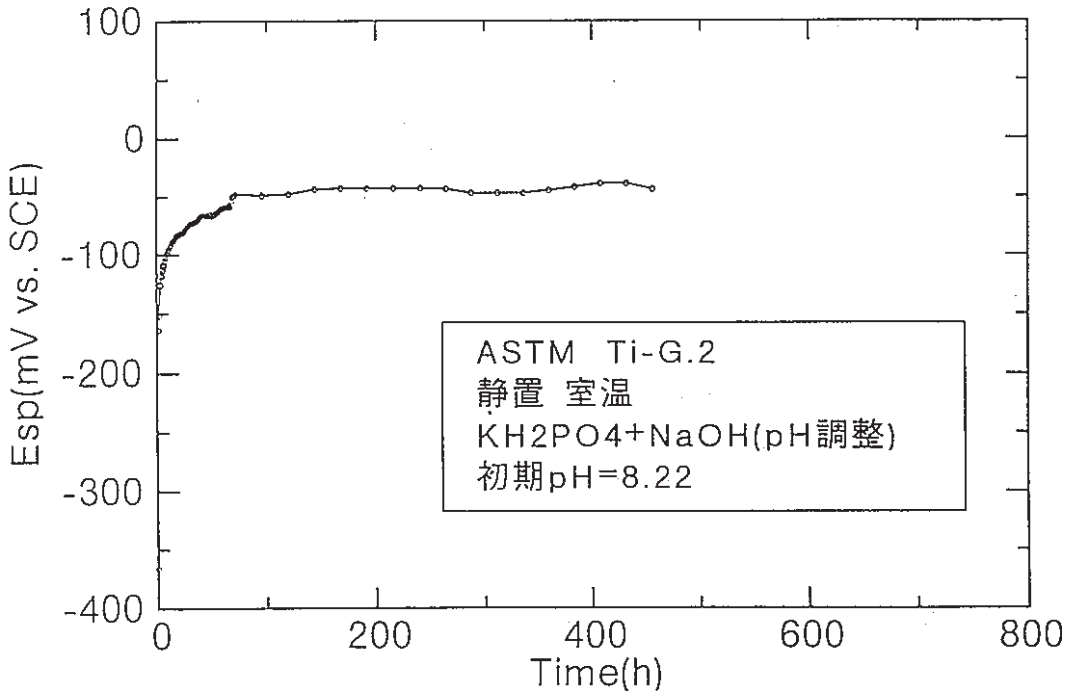


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-33 | 部分データ |



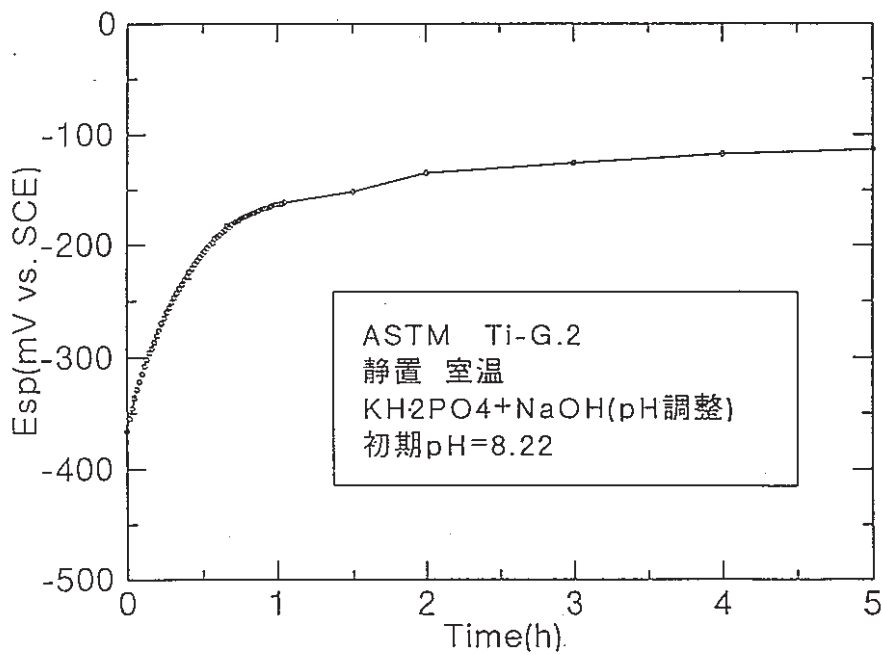
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-34 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



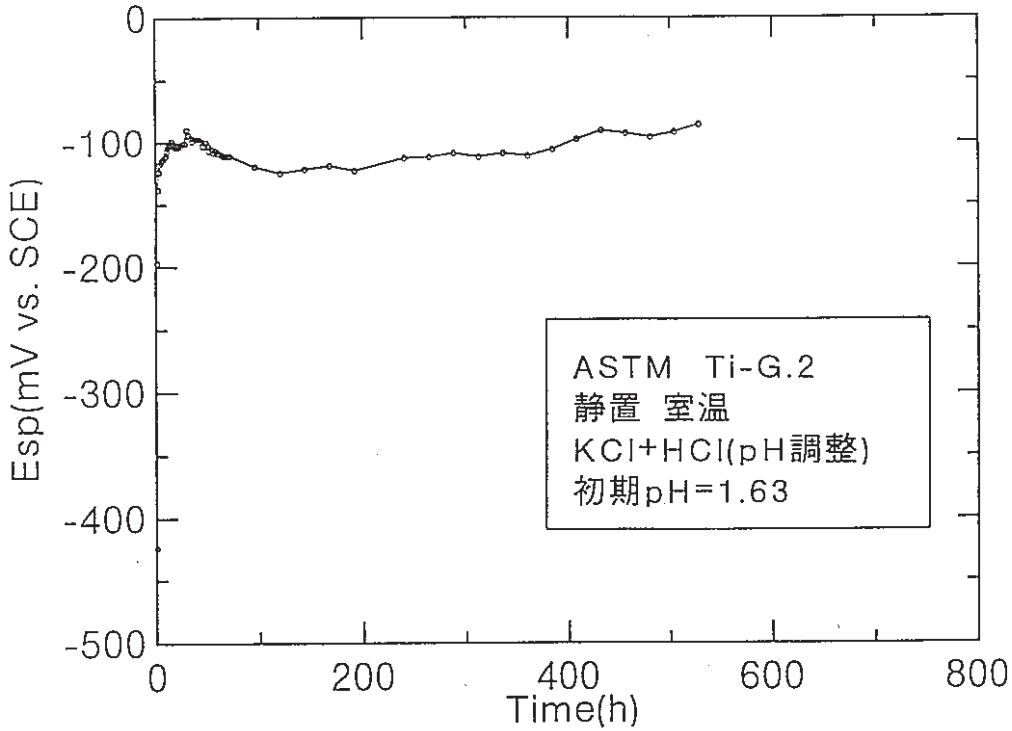
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-34 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



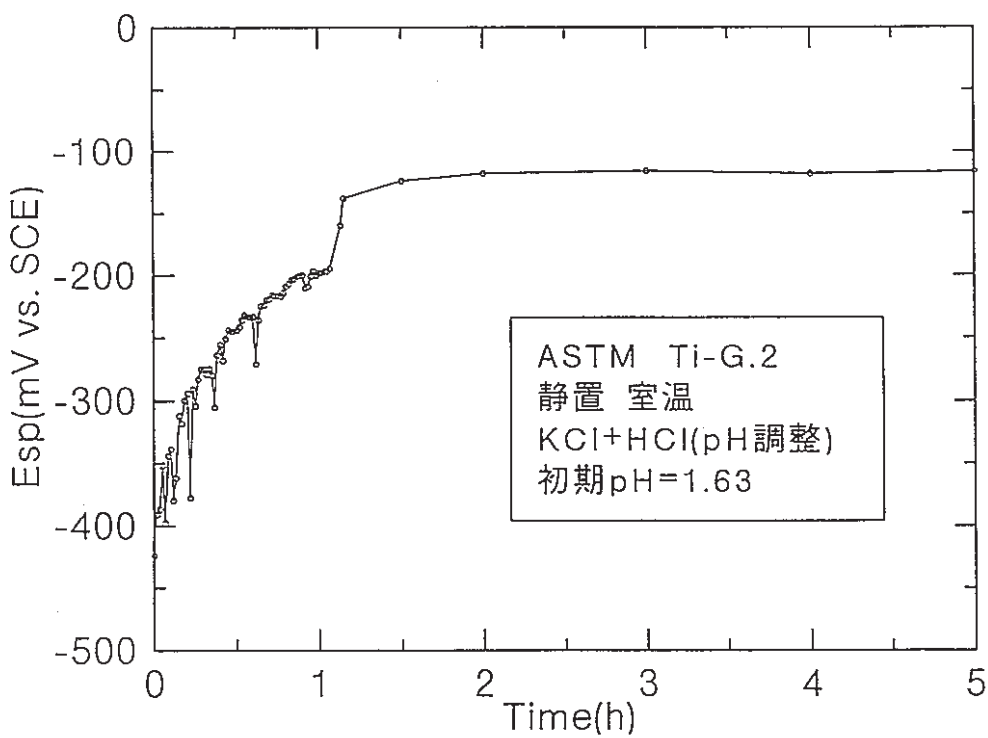
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-35 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



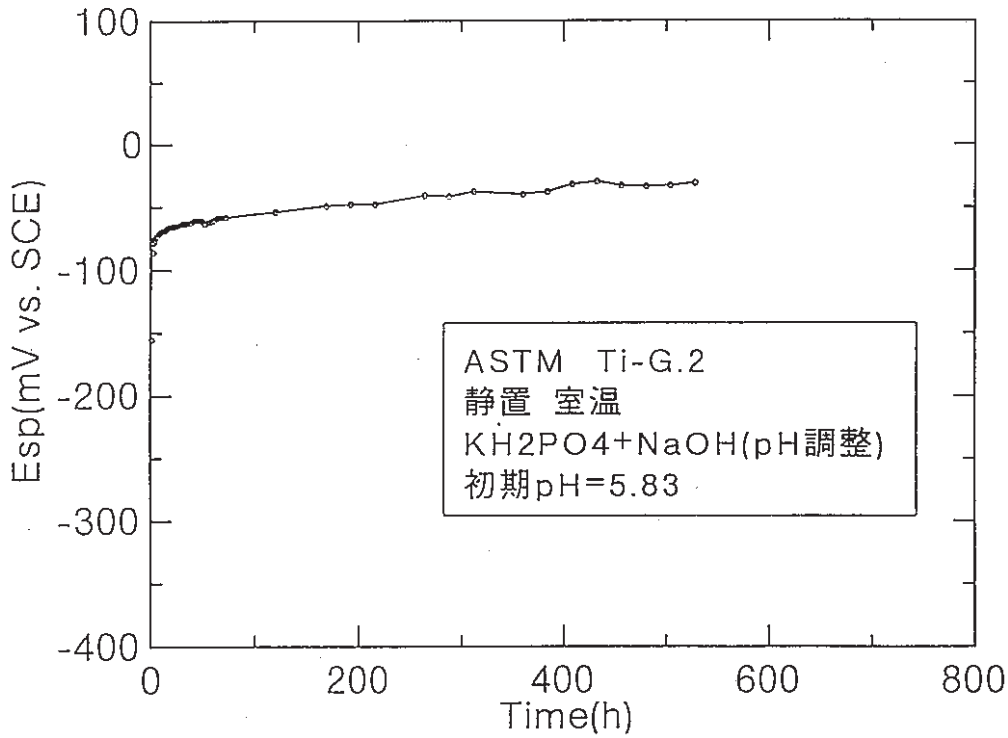
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-35 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



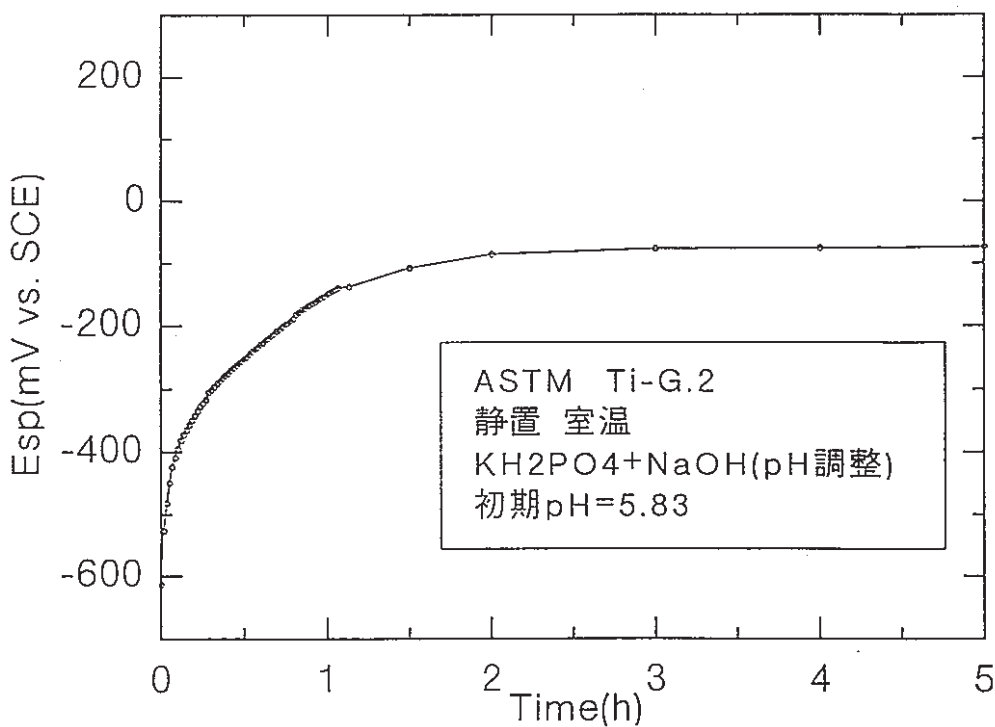
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-36 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

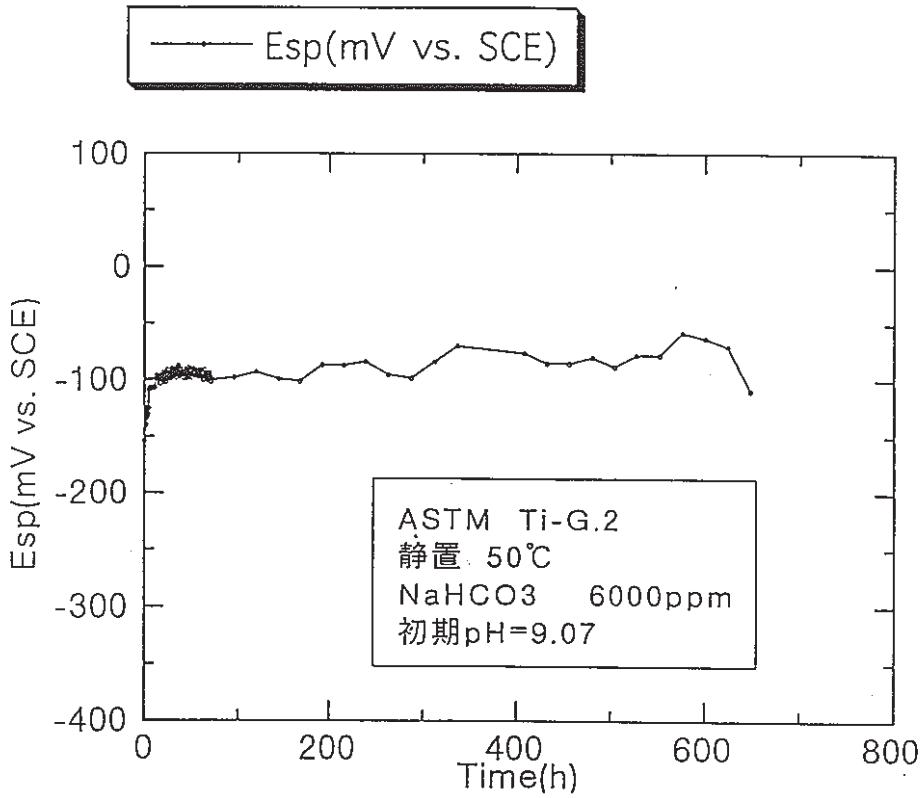


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-36 | 部分データ |

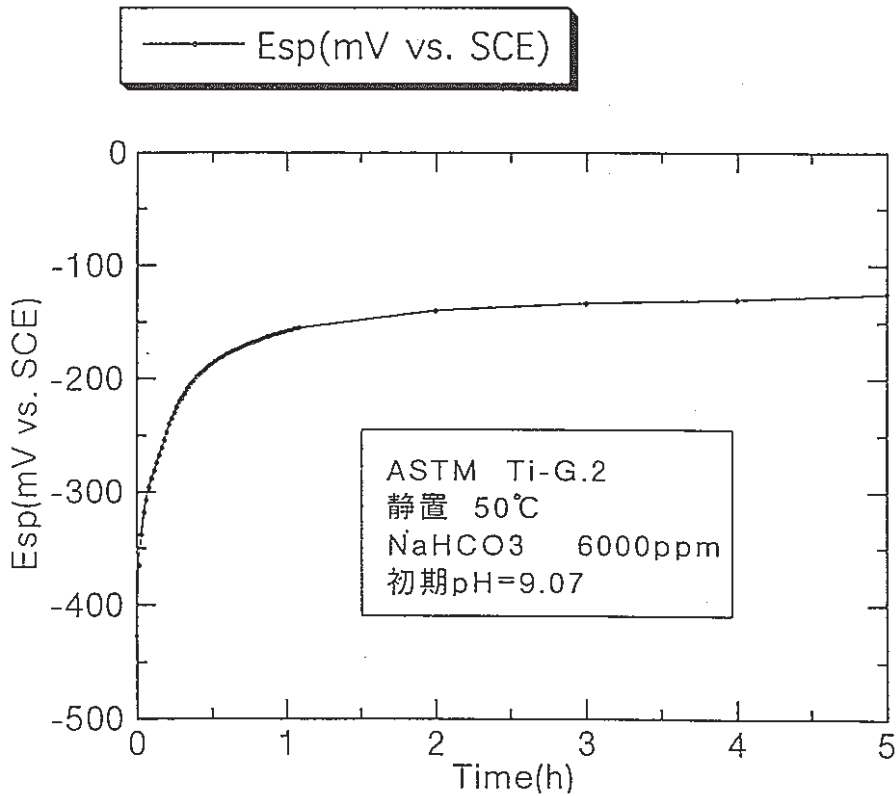
—○— Esp(mV vs. SCE)



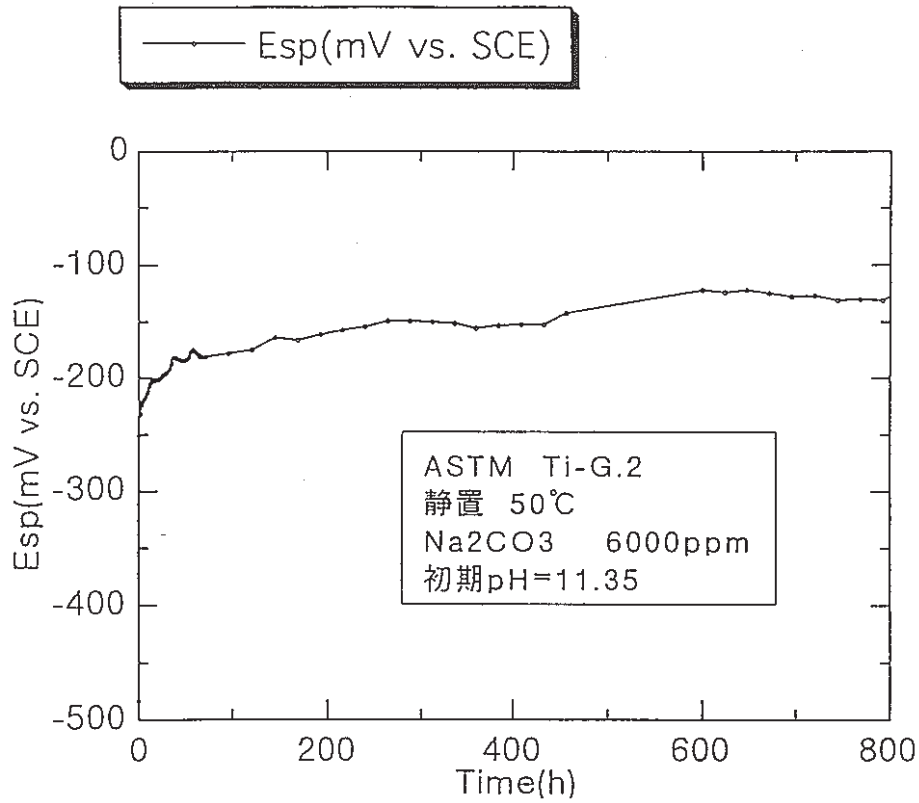
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-37 | 全データ  |



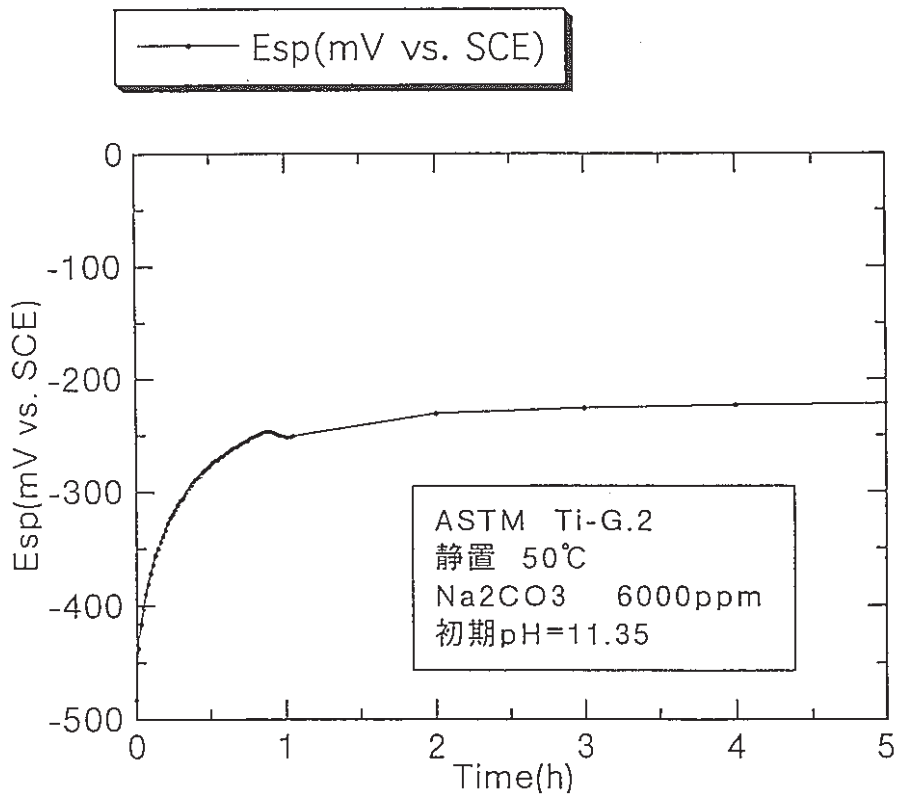
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-37 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-38 | 全データ  |

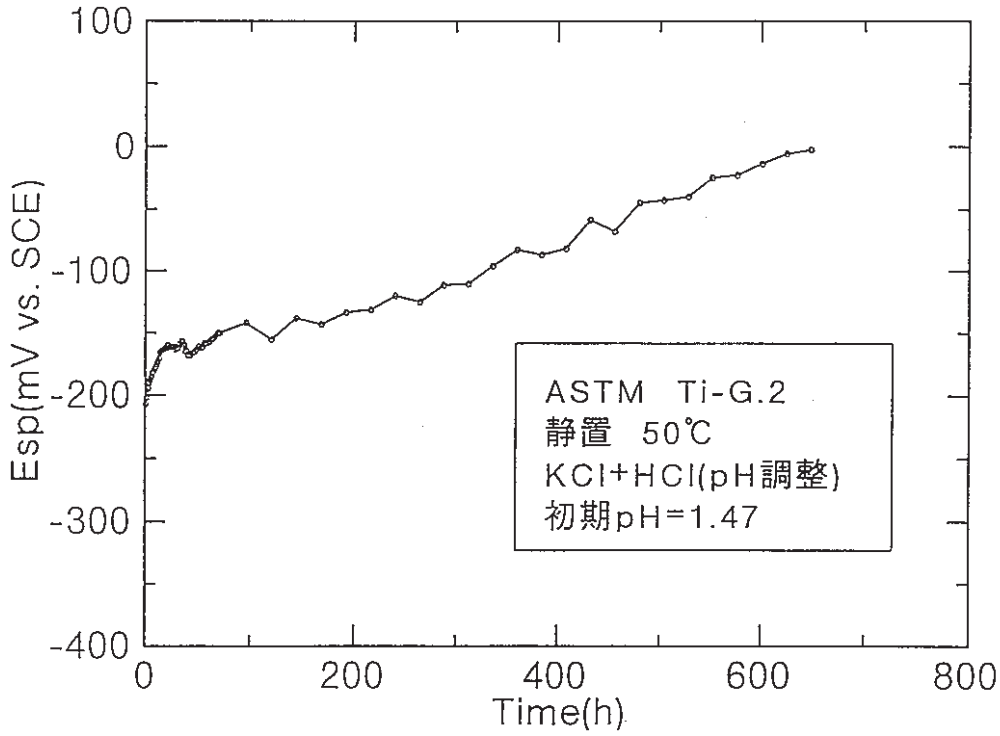


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-38 | 部分データ |



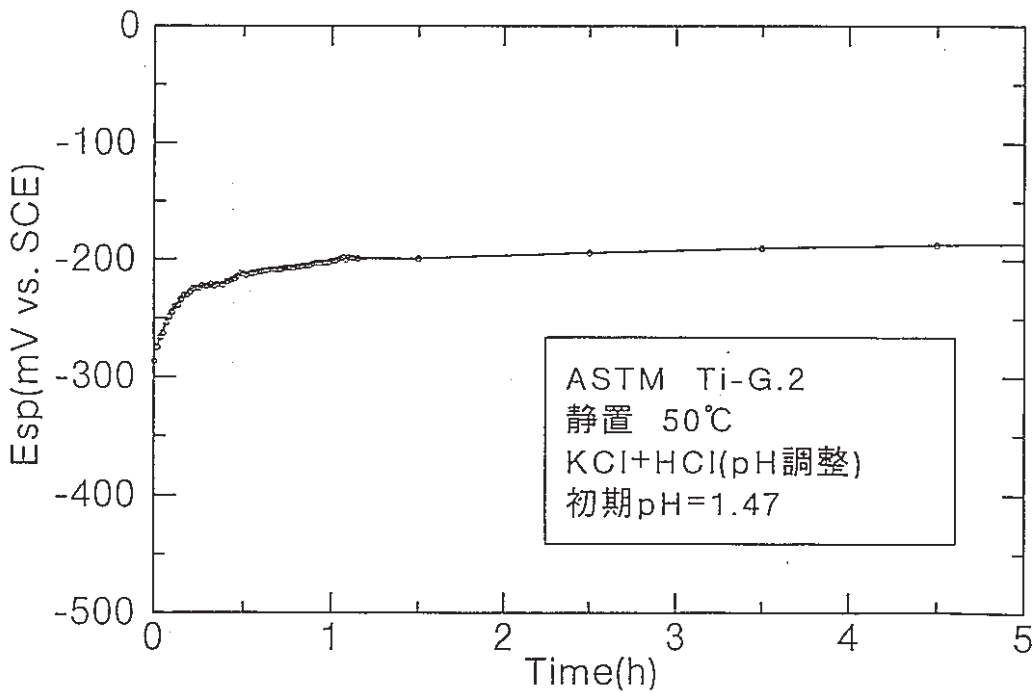
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-39 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-39 | 部分データ |

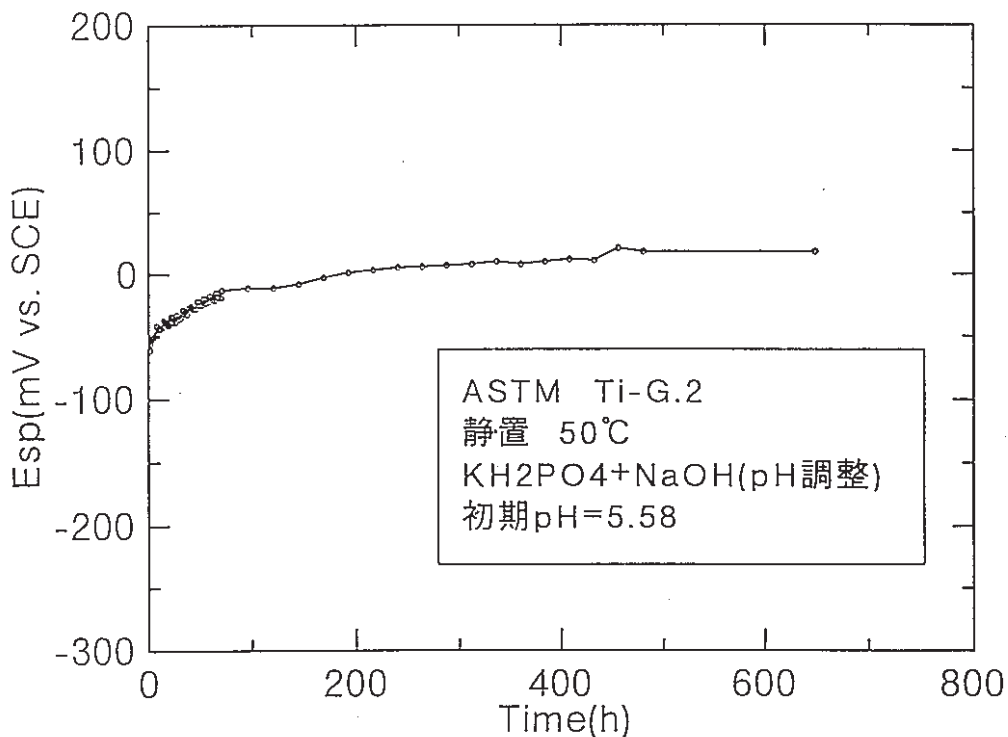
—○— Esp(mV vs. SCE)





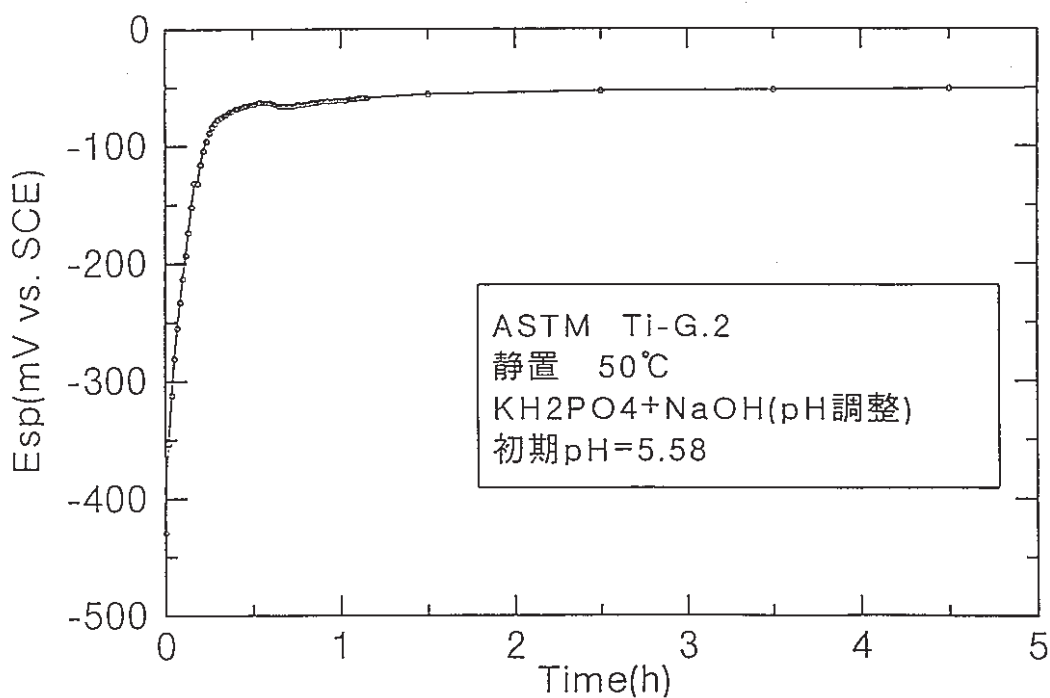
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-40 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

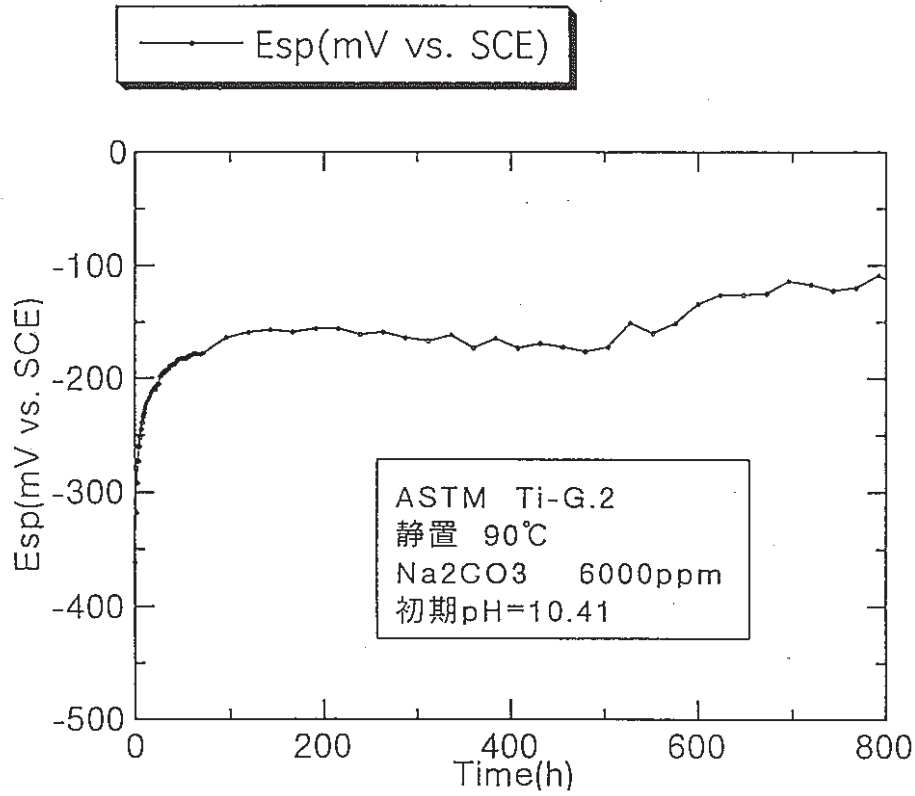


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-40 | 部分データ |

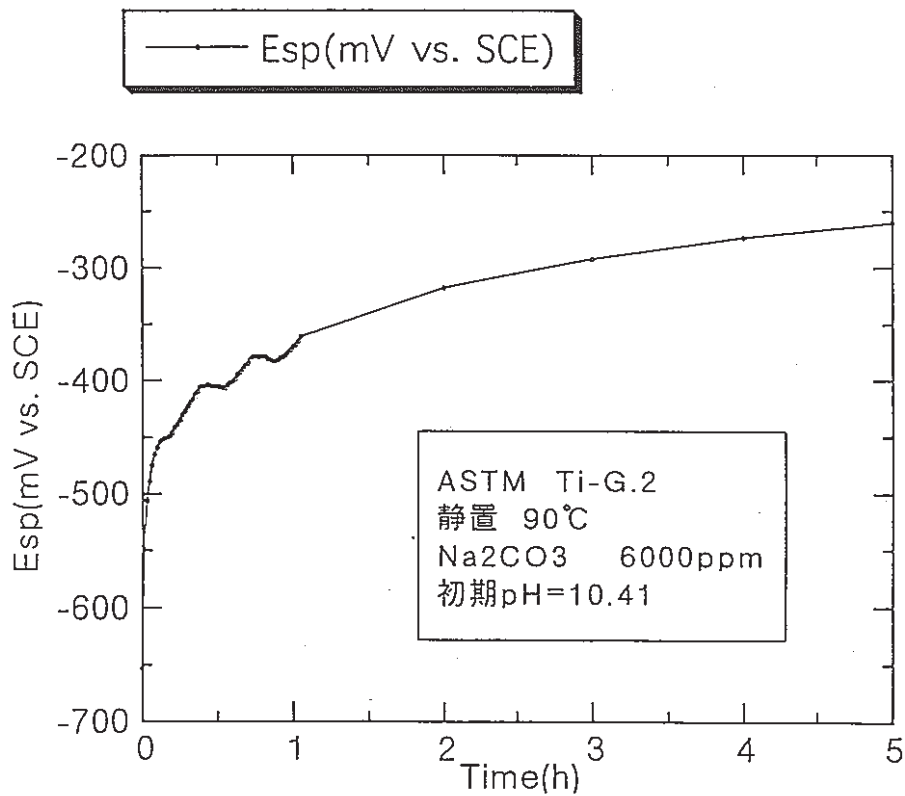
—○— Esp(mV vs. SCE)



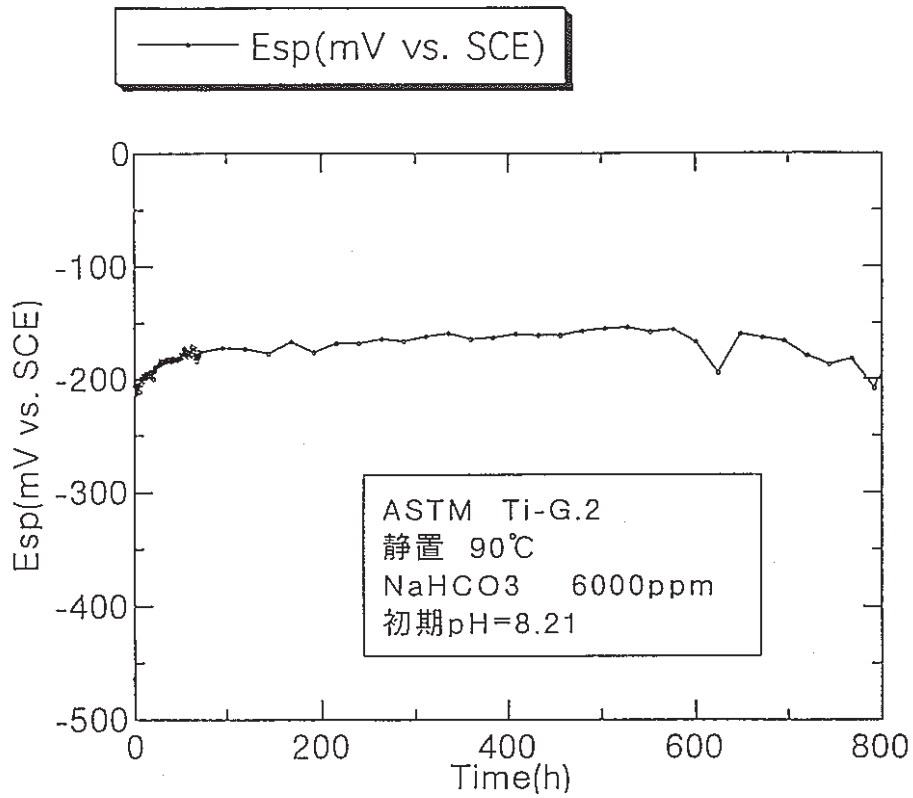
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-41 | 全データ  |



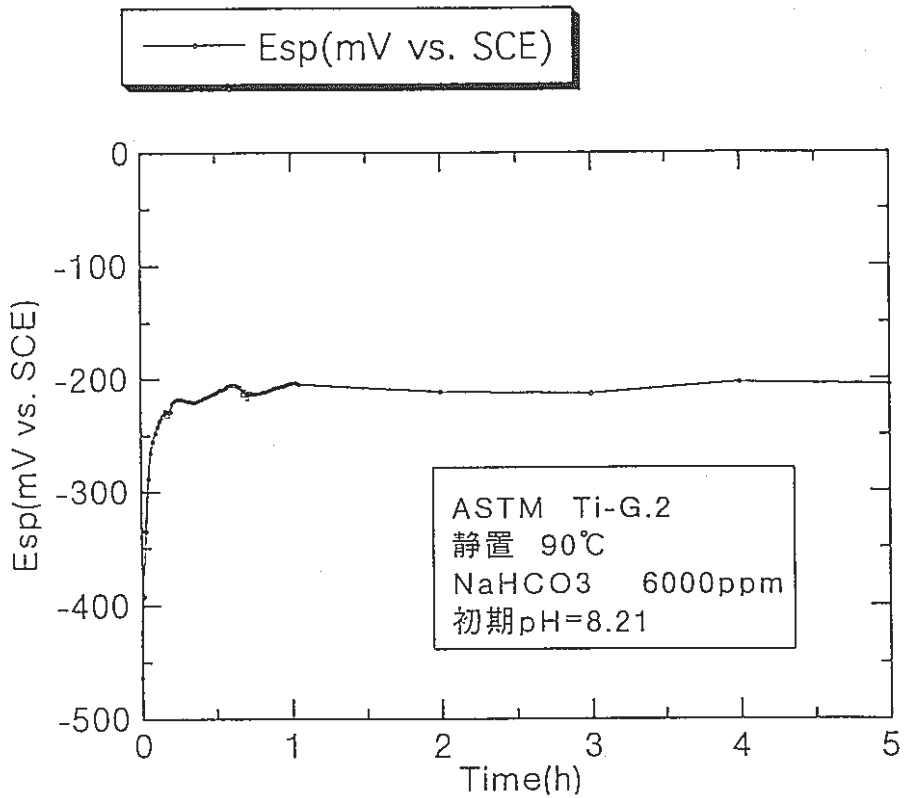
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-41 | 部分データ |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-42 | 全データ  |

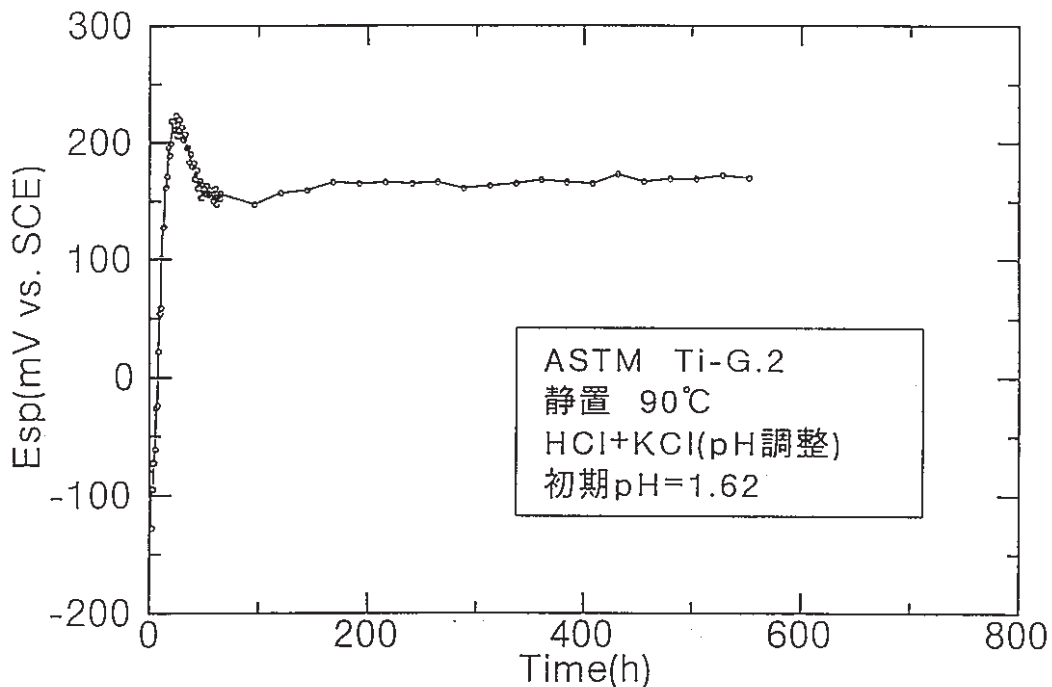


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-42 | 部分データ |



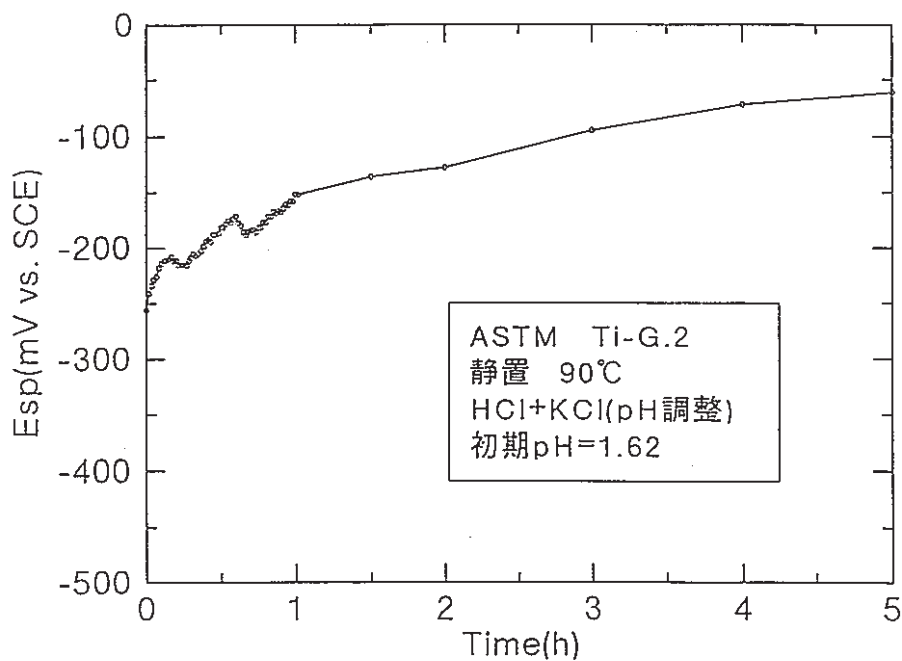
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-43 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



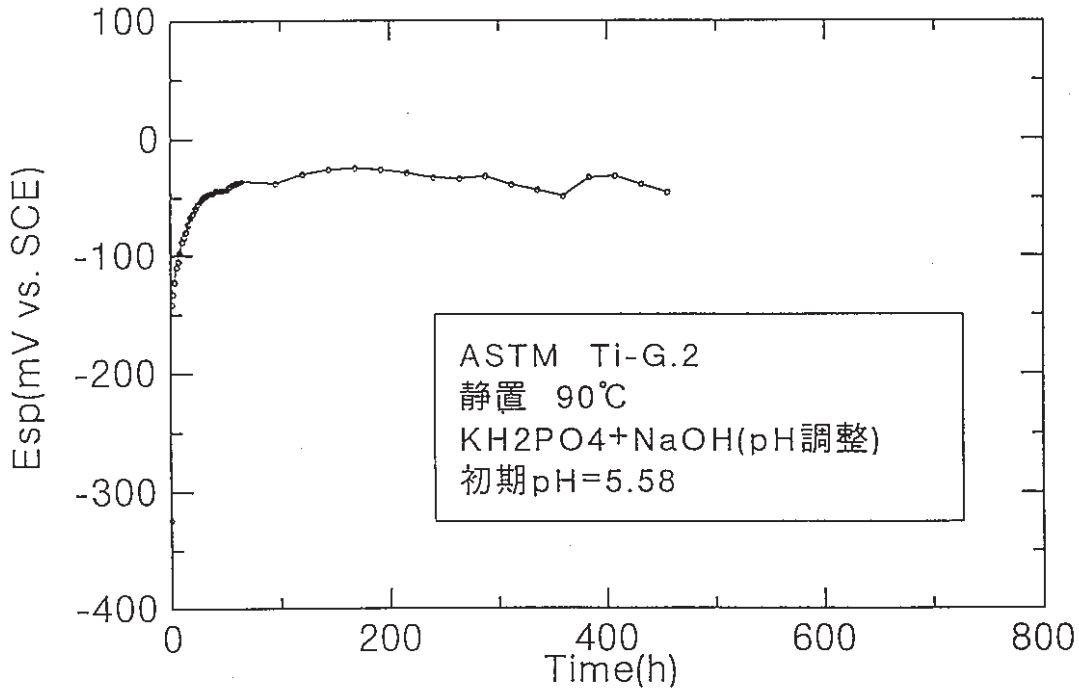
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-43 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



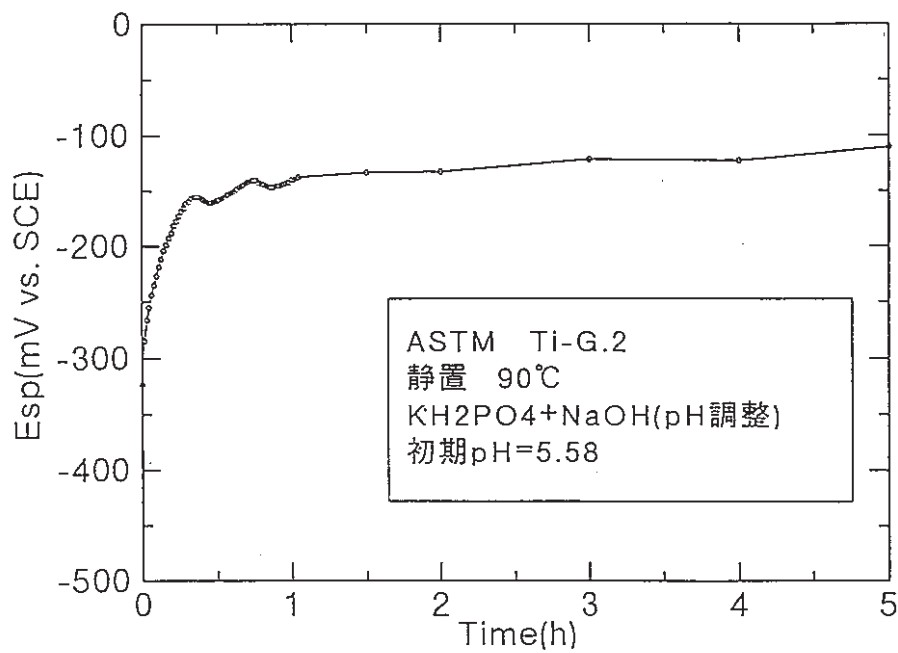
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-44 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



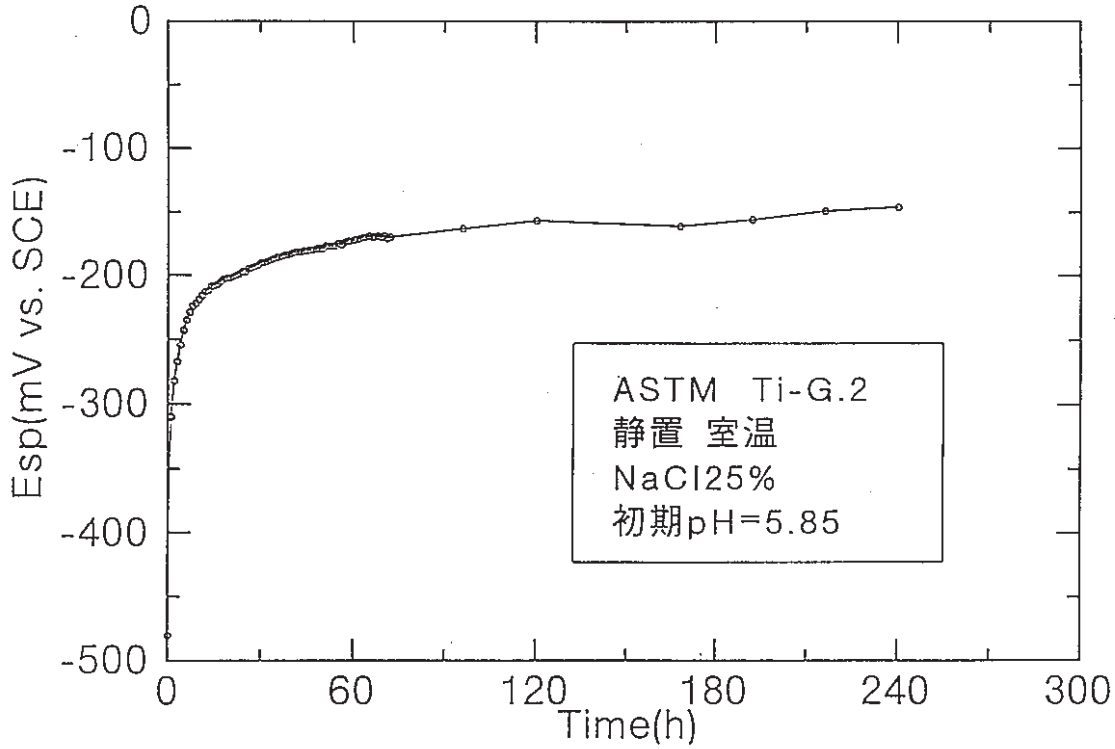
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-44 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



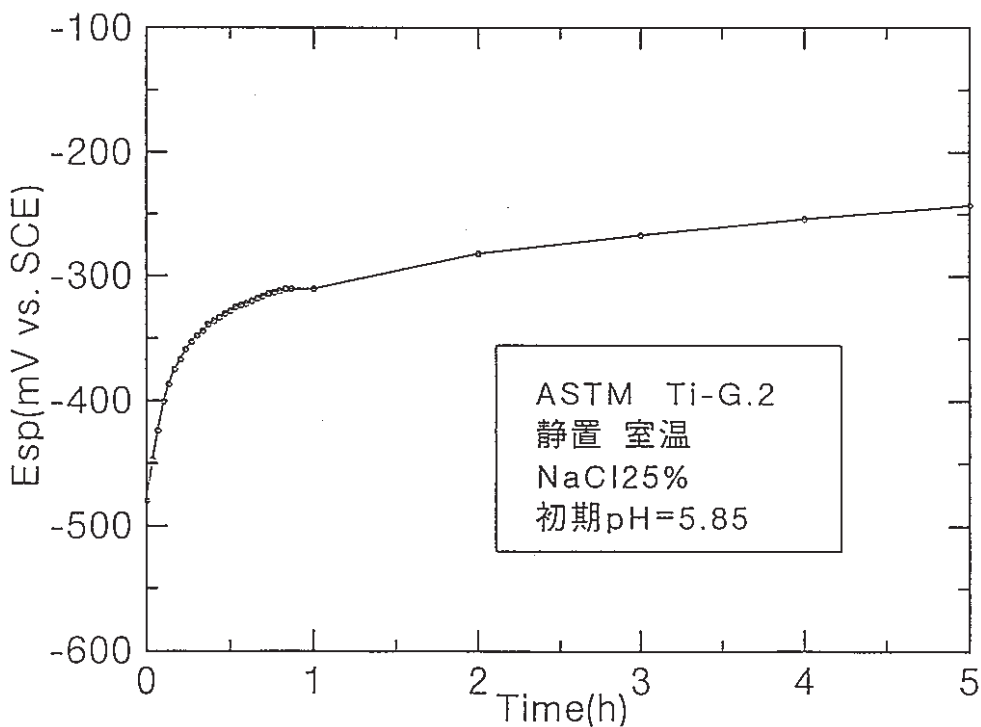
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-45 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



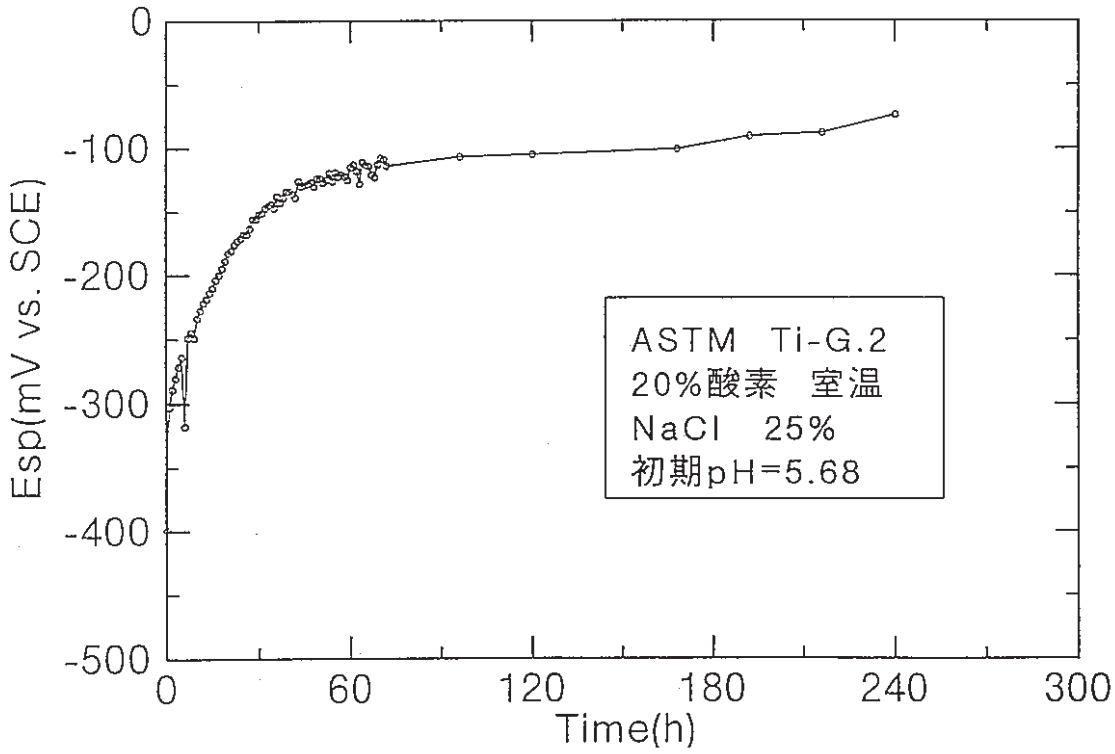
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-45 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



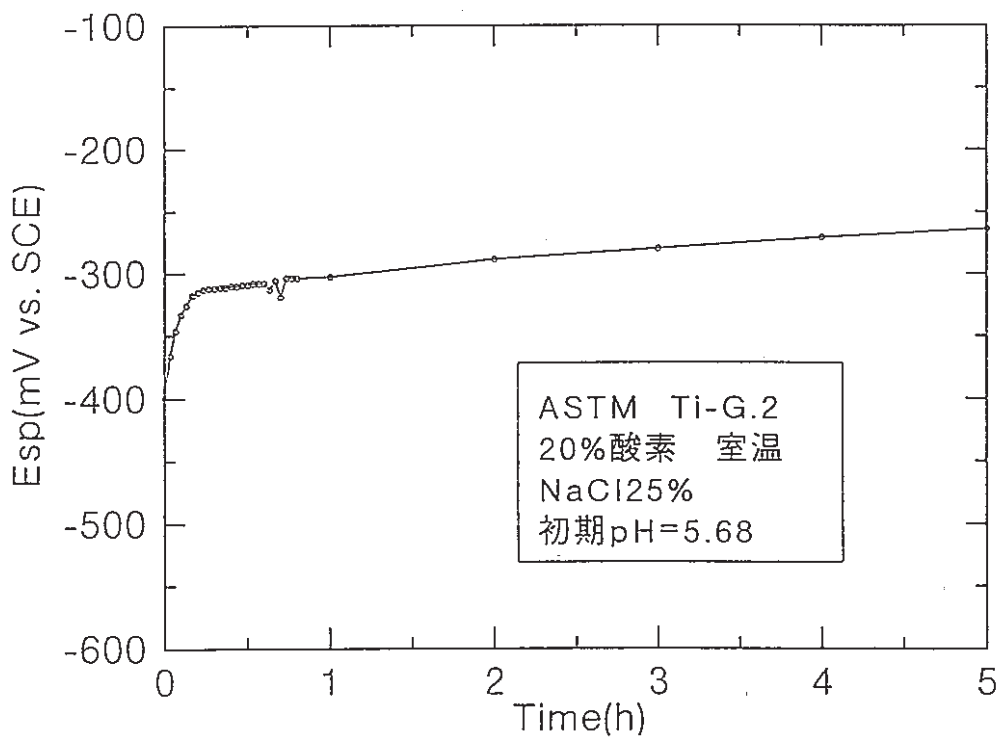
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-46 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



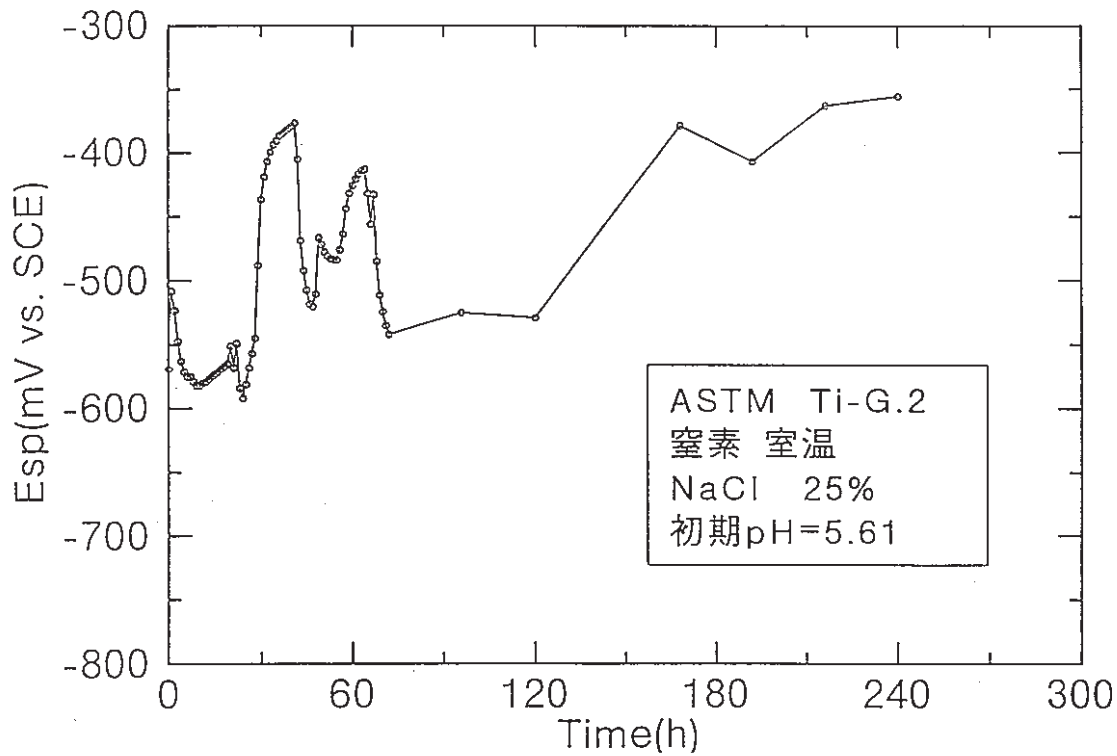
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-46 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



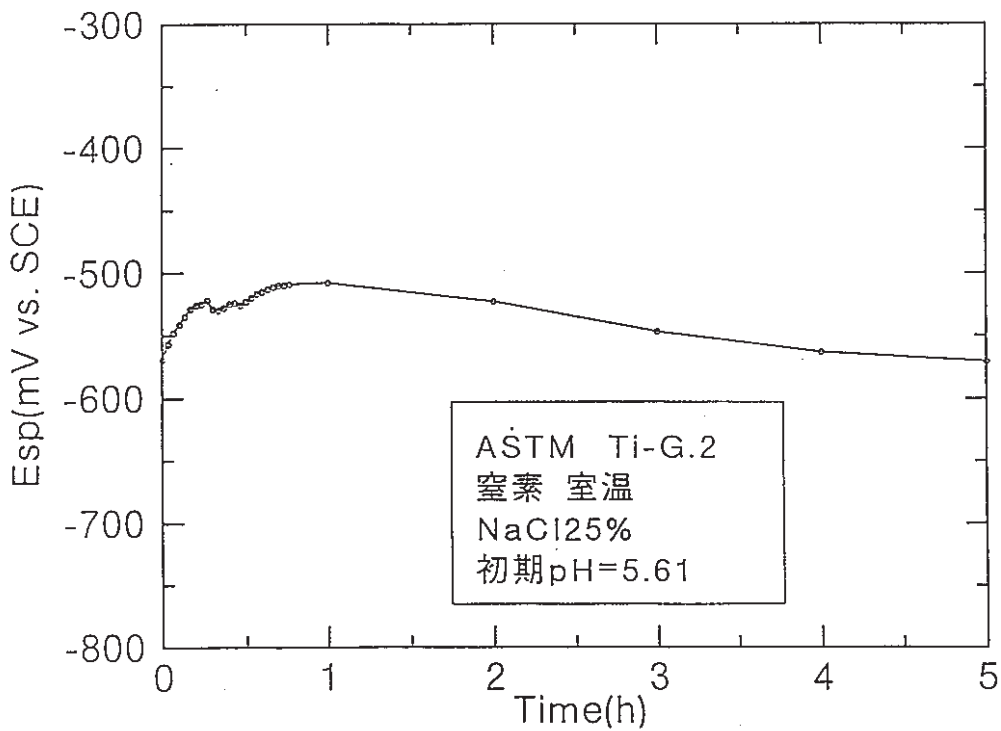
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-47 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-47 | 部分データ |

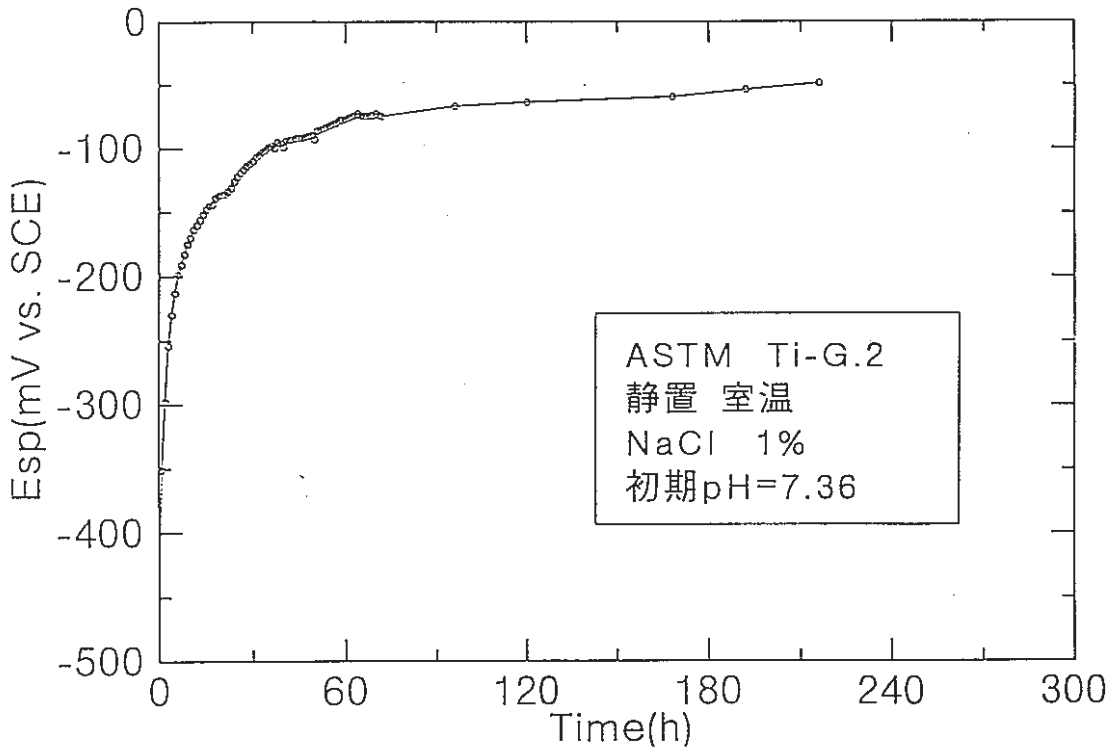
—○— Esp(mV vs. SCE)





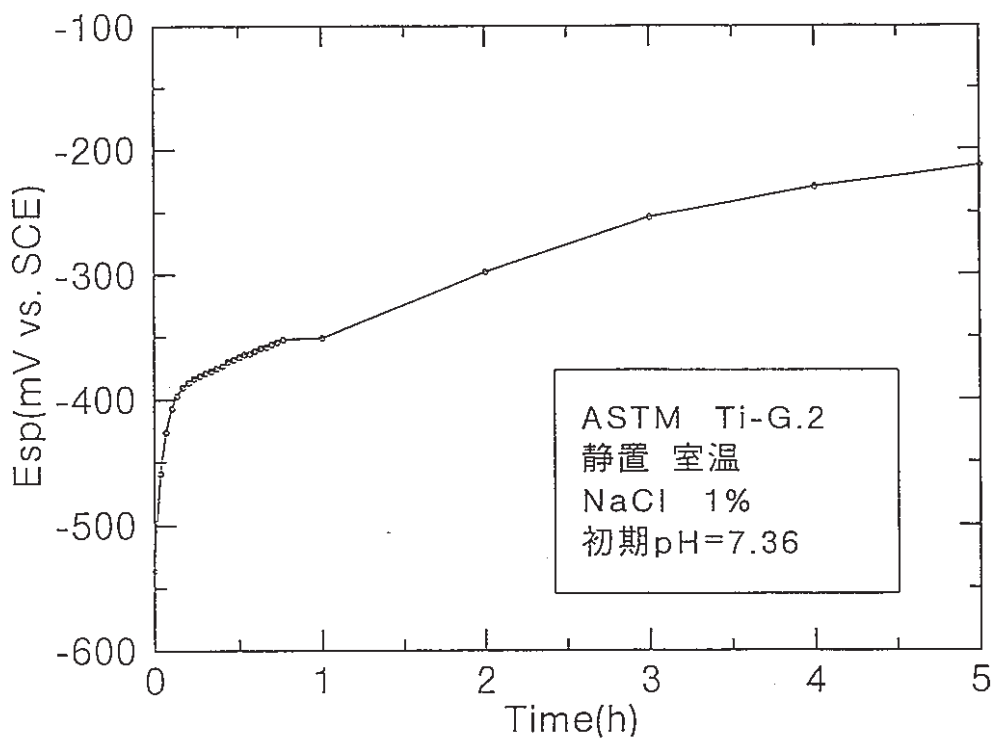
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-48 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



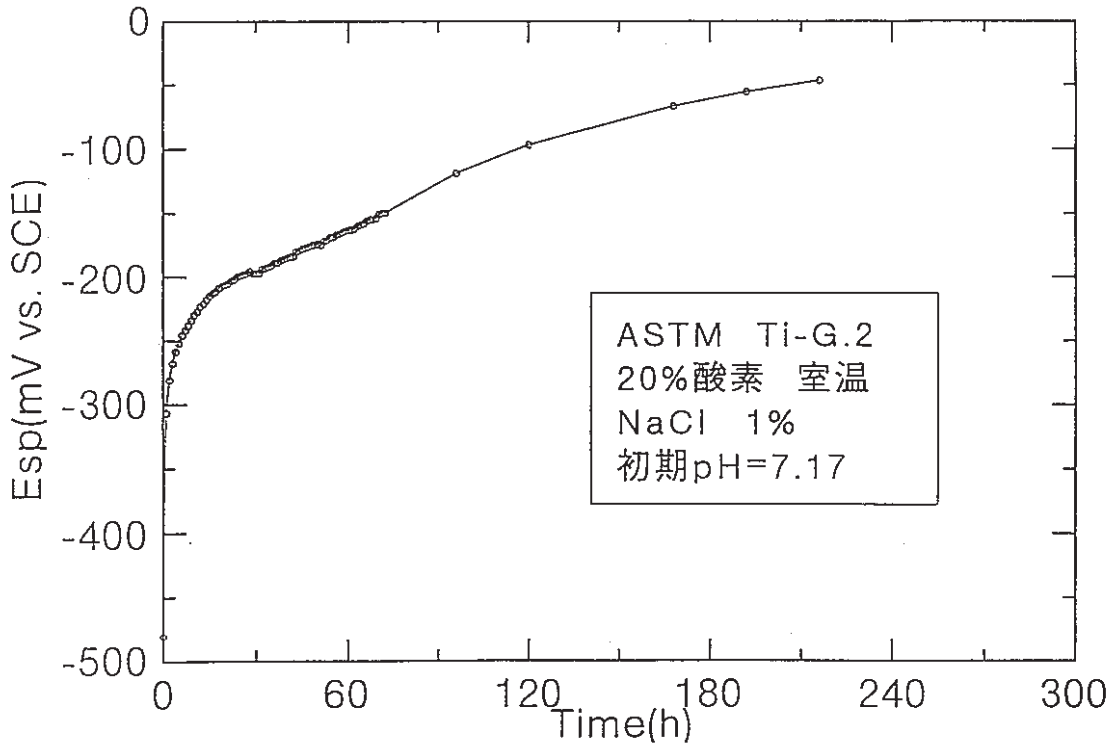
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-48 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



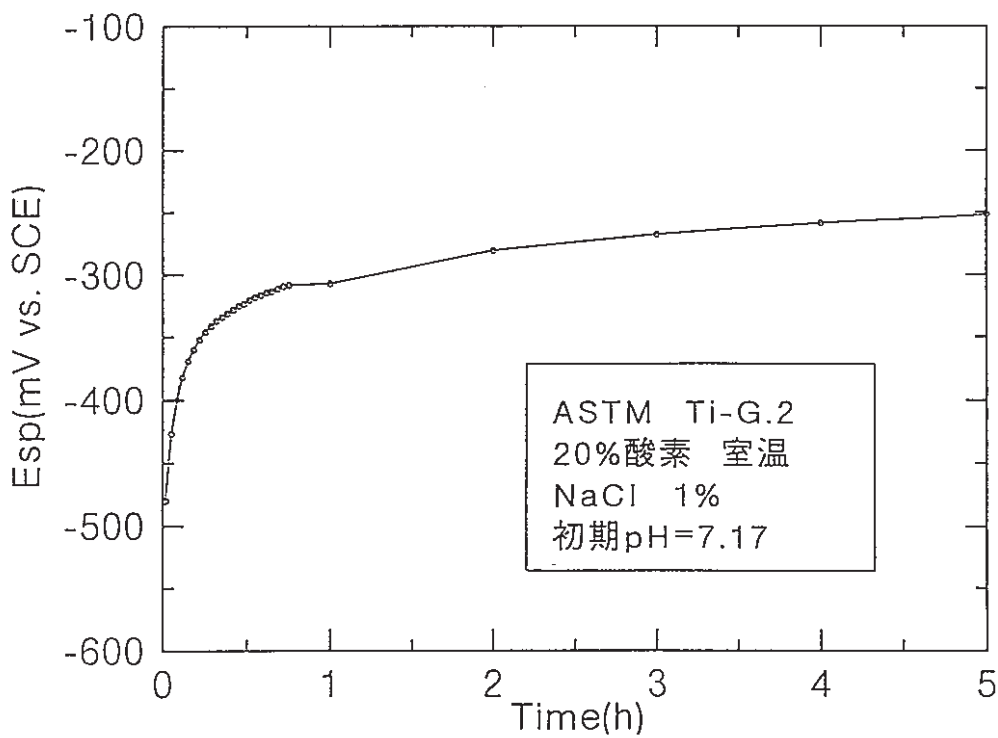
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-49 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



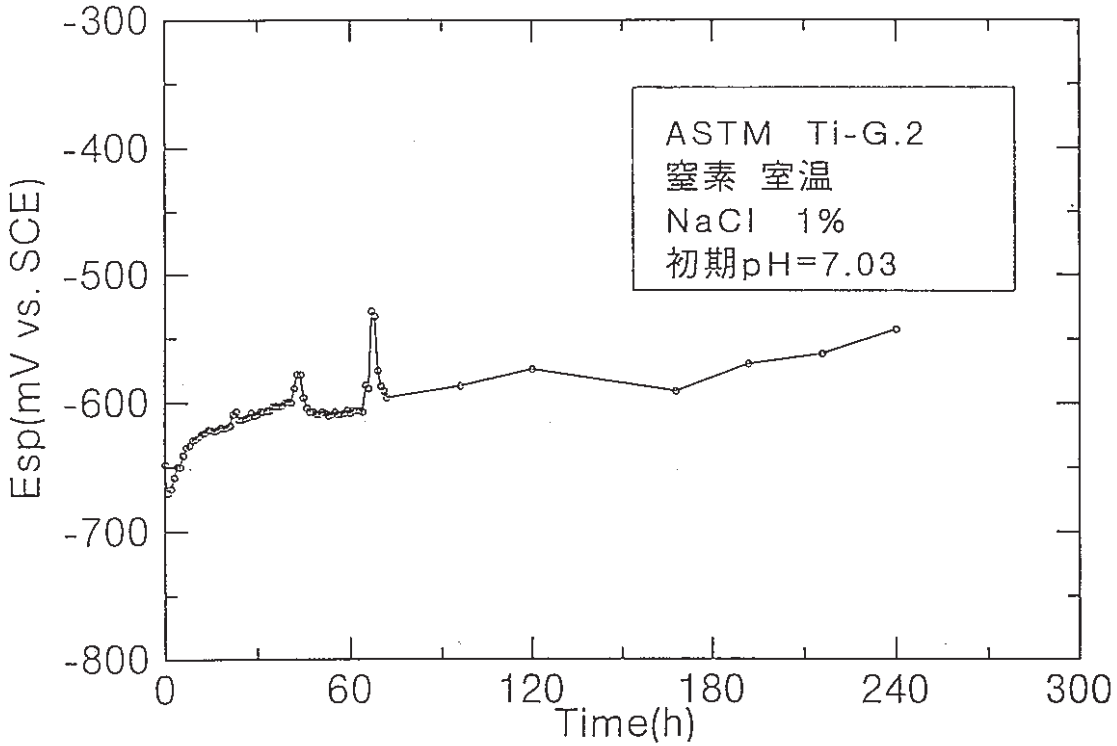
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-49 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



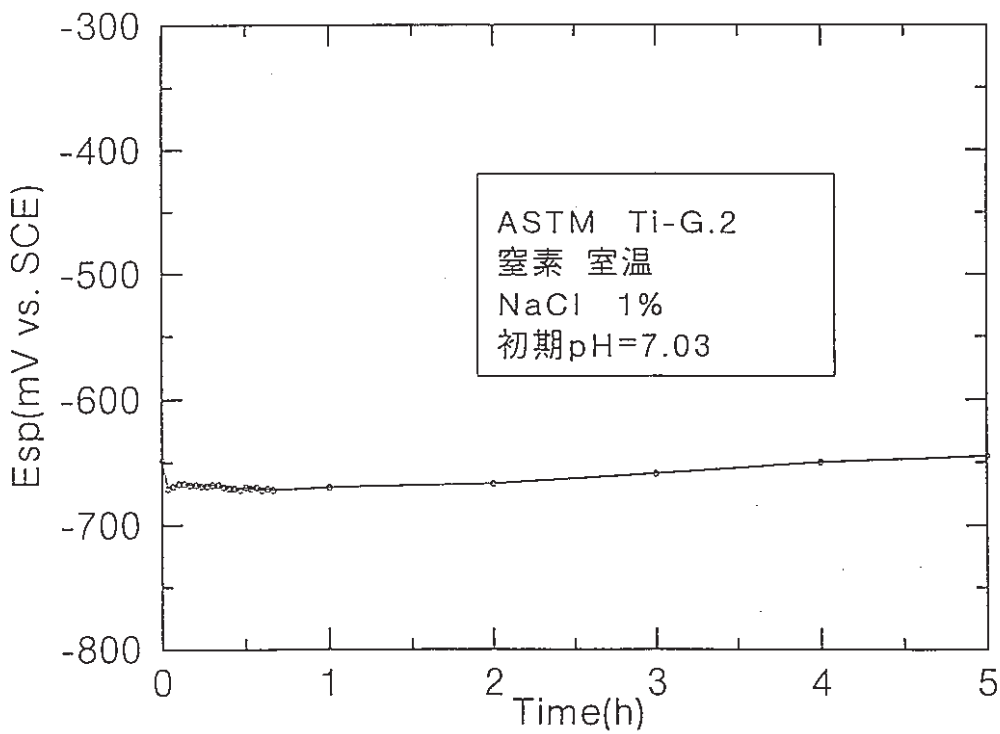
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-50 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



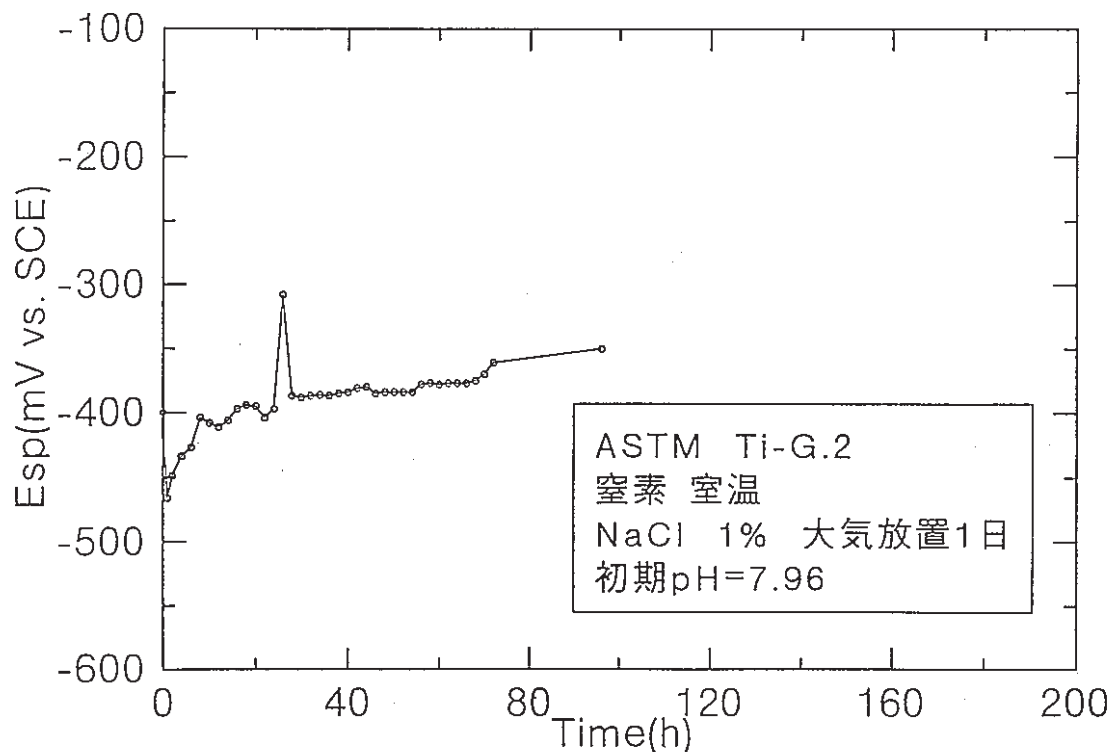
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-50 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



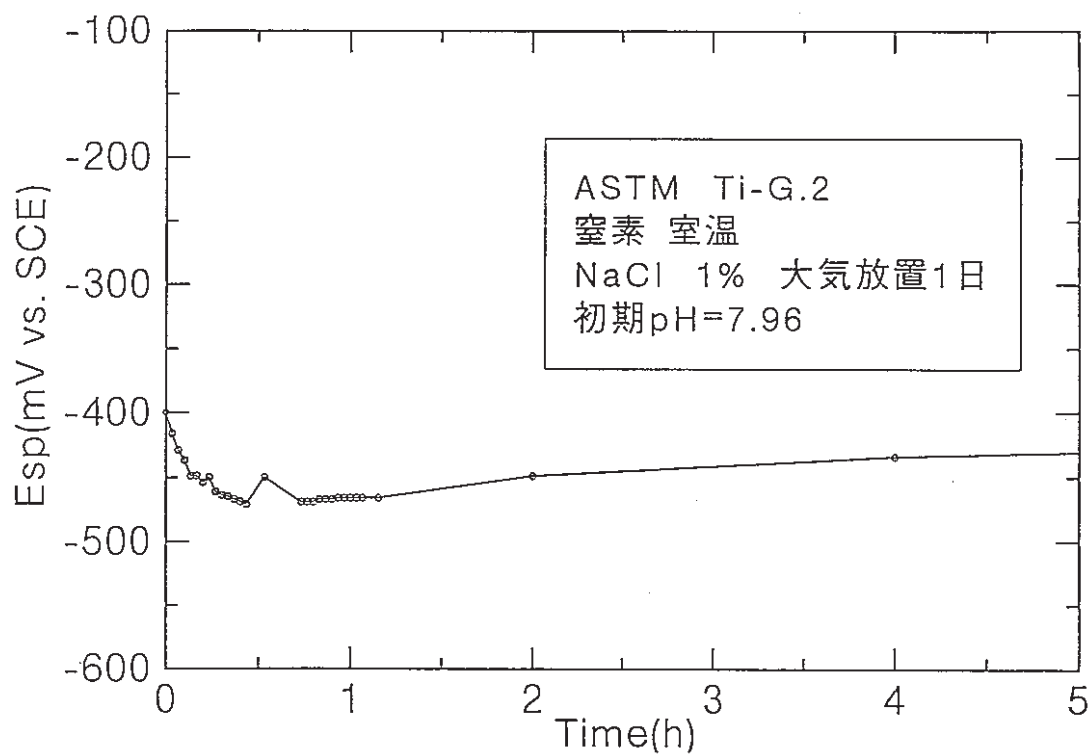
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-51 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



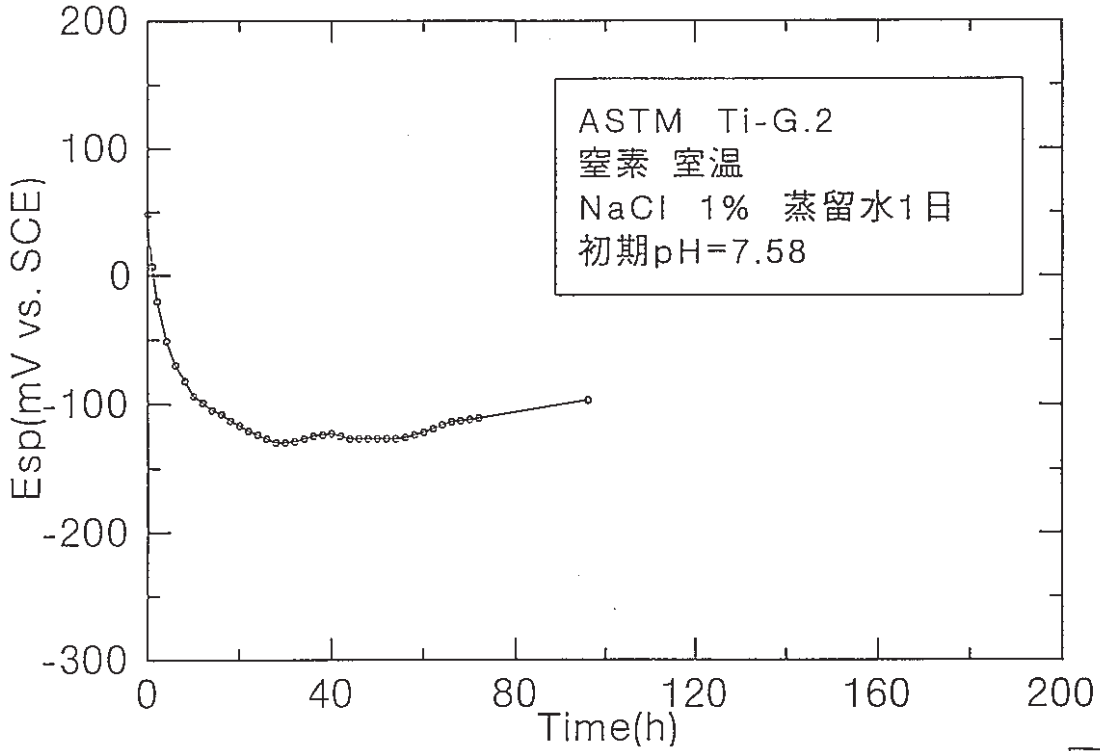
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-51 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



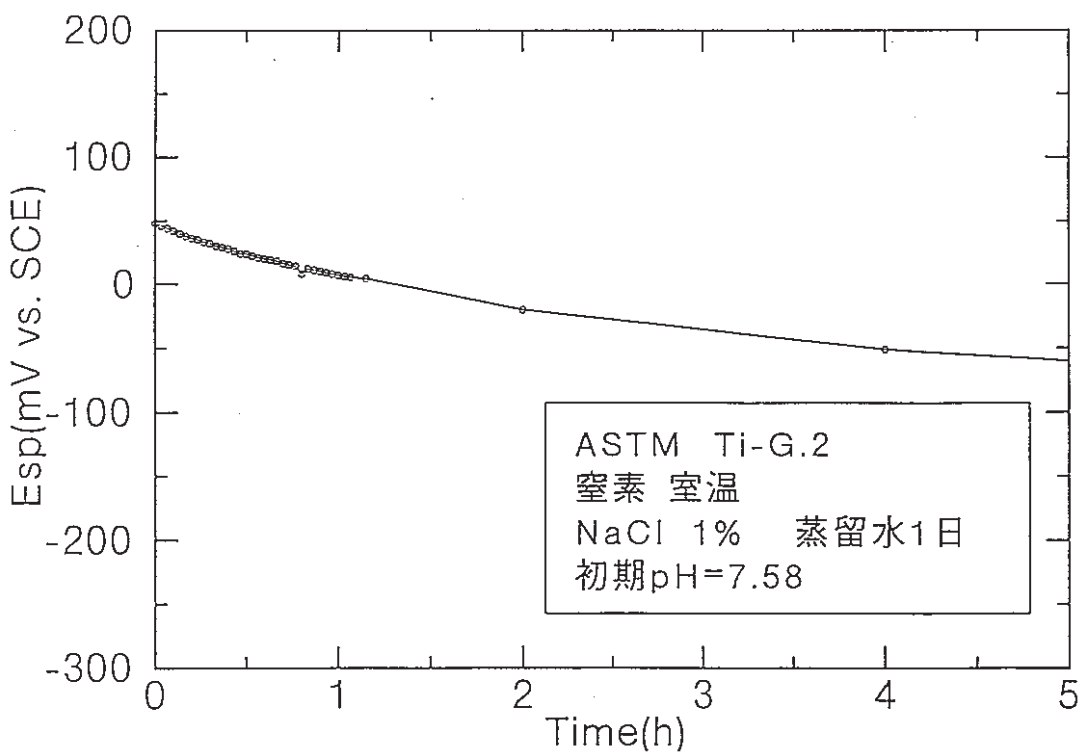
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-52 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)



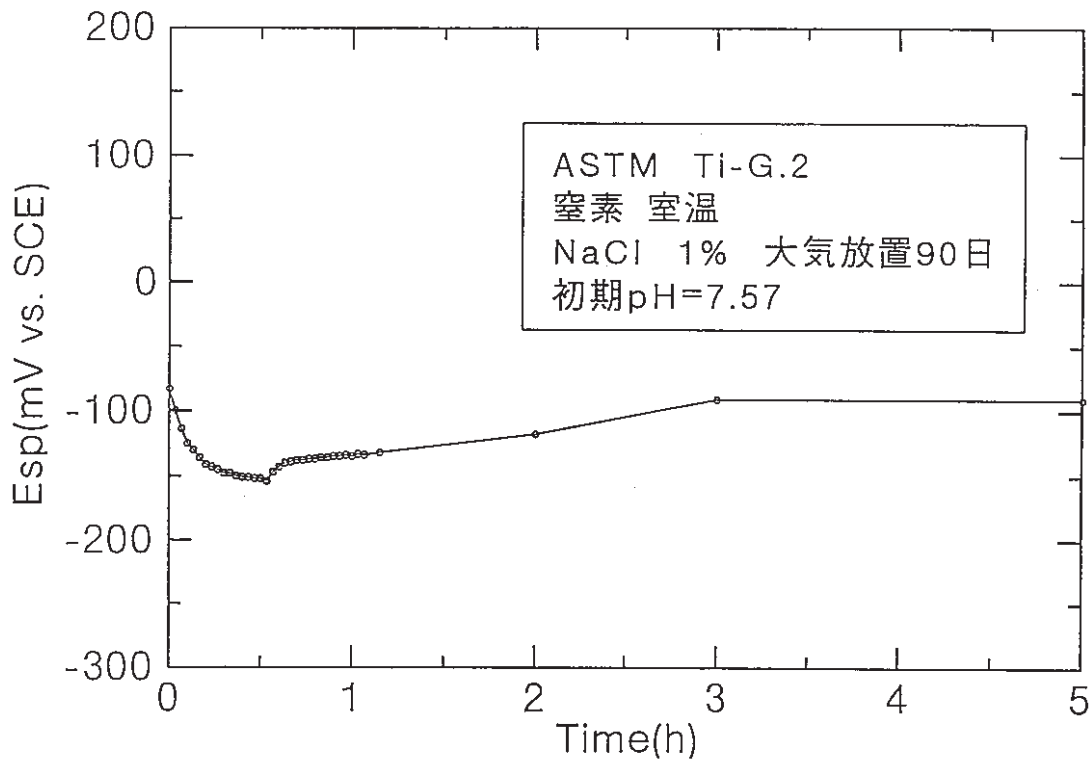
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G2-52 | 部分データ |

—○— Esp(mV vs. SCE)



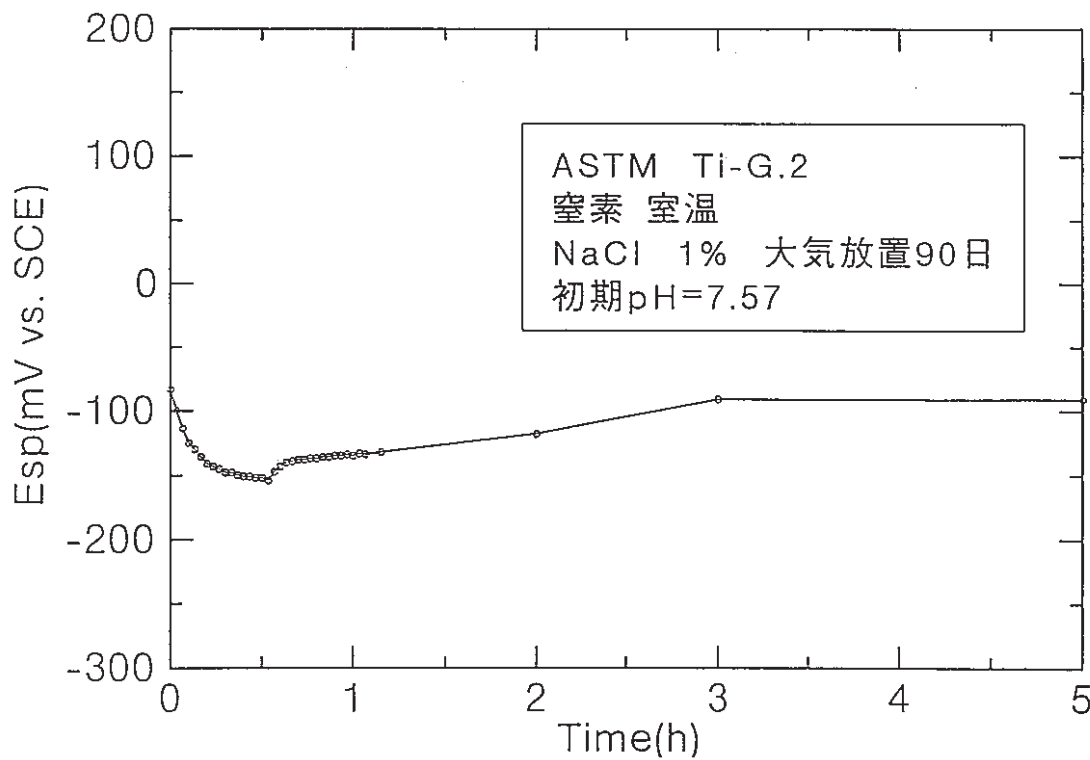
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-53 | 全データ  |

—○— Esp(mV vs. SCE)

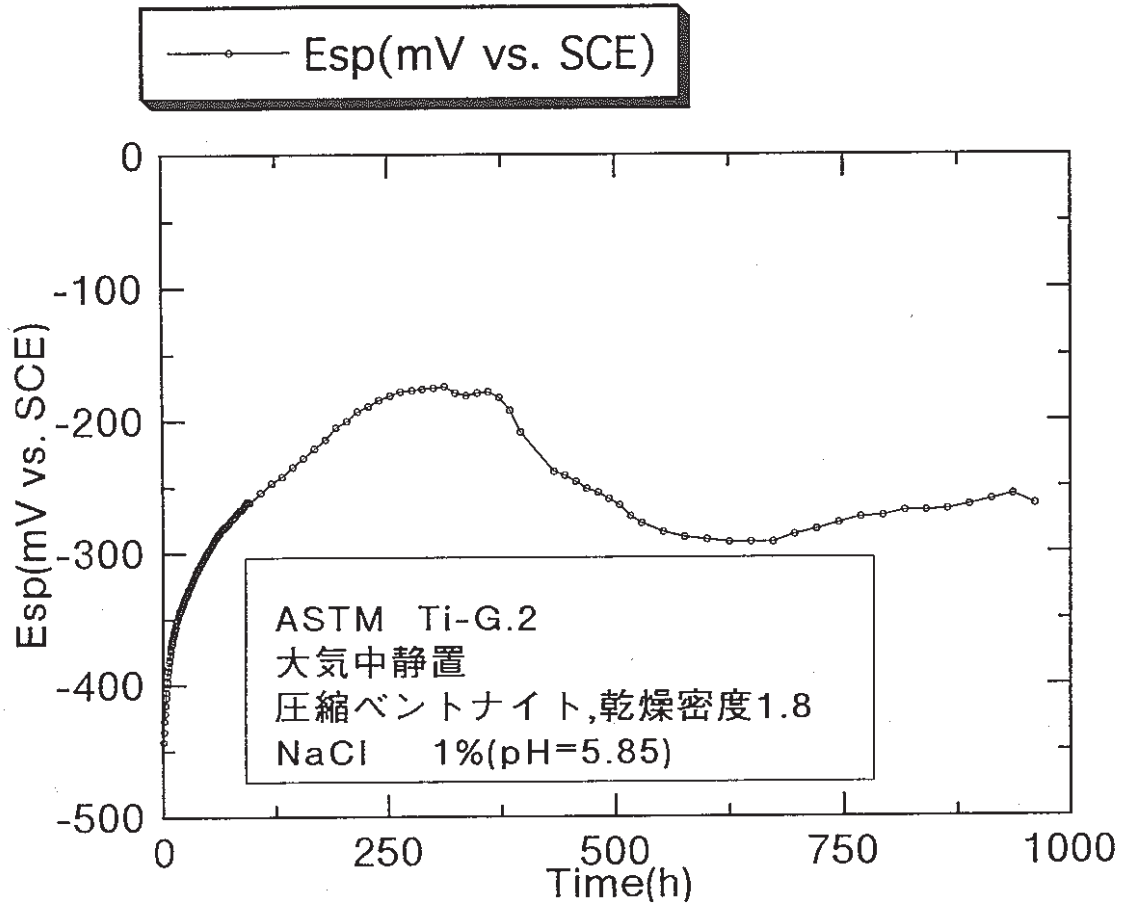


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-53 | 部分データ |

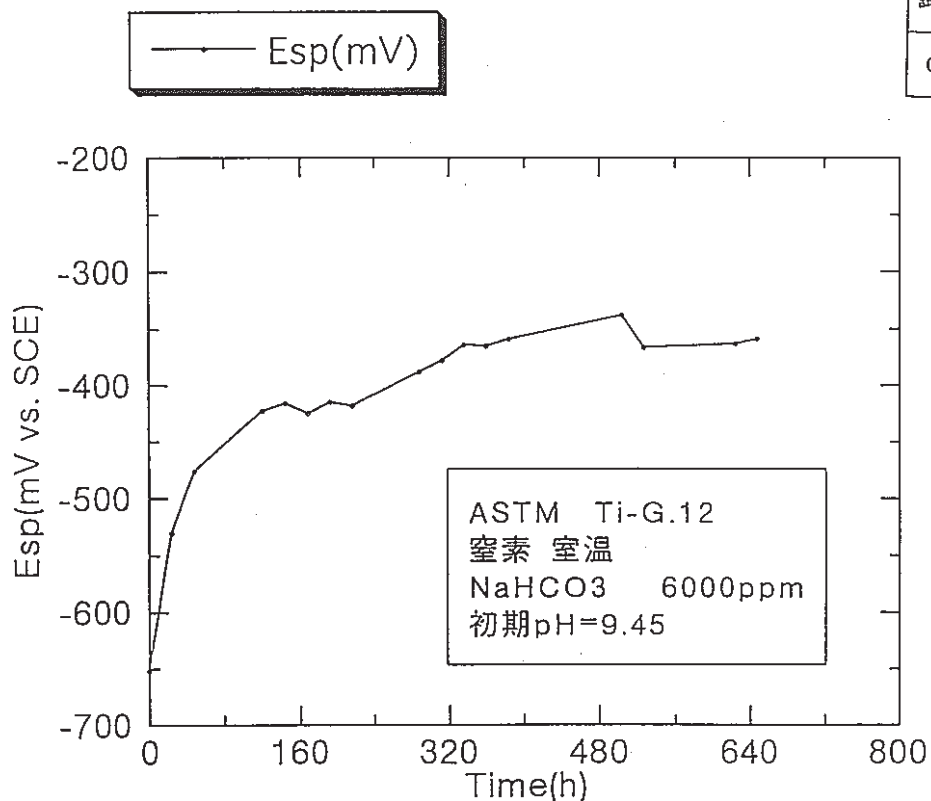
—○— Esp(mV vs. SCE)



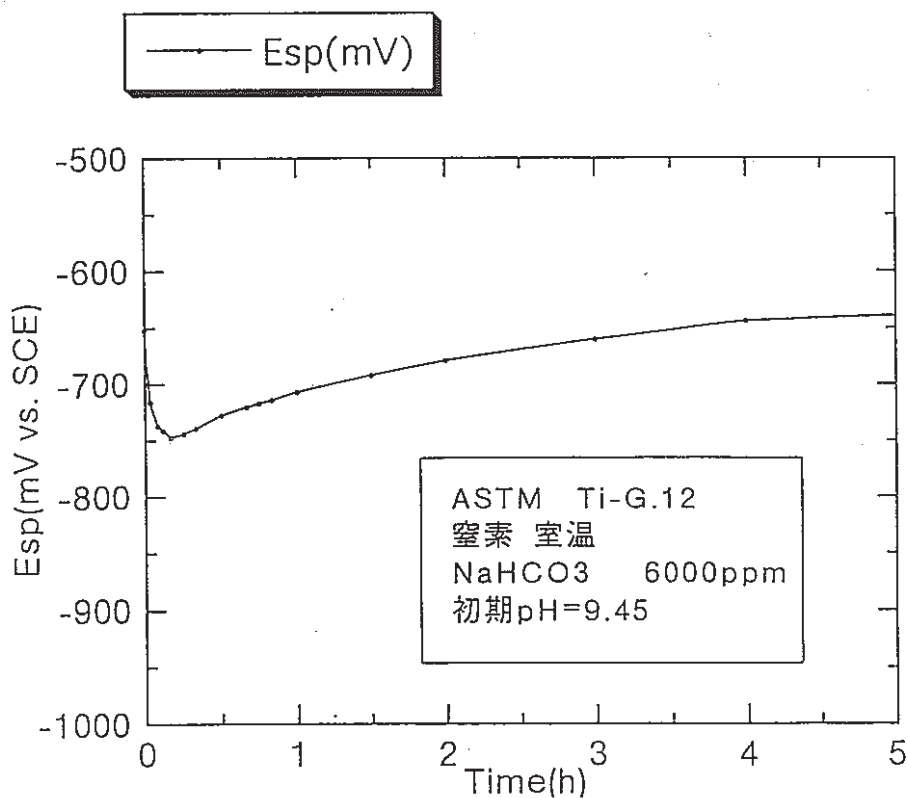
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G2-54 | 全データ  |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-1 | 全データ  |



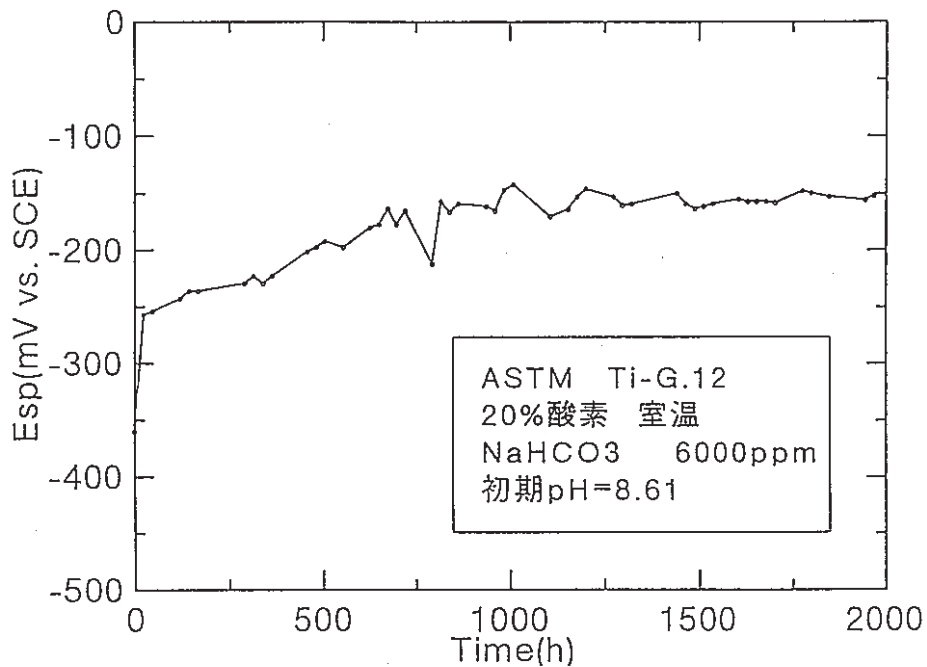
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-1 | 部分データ |





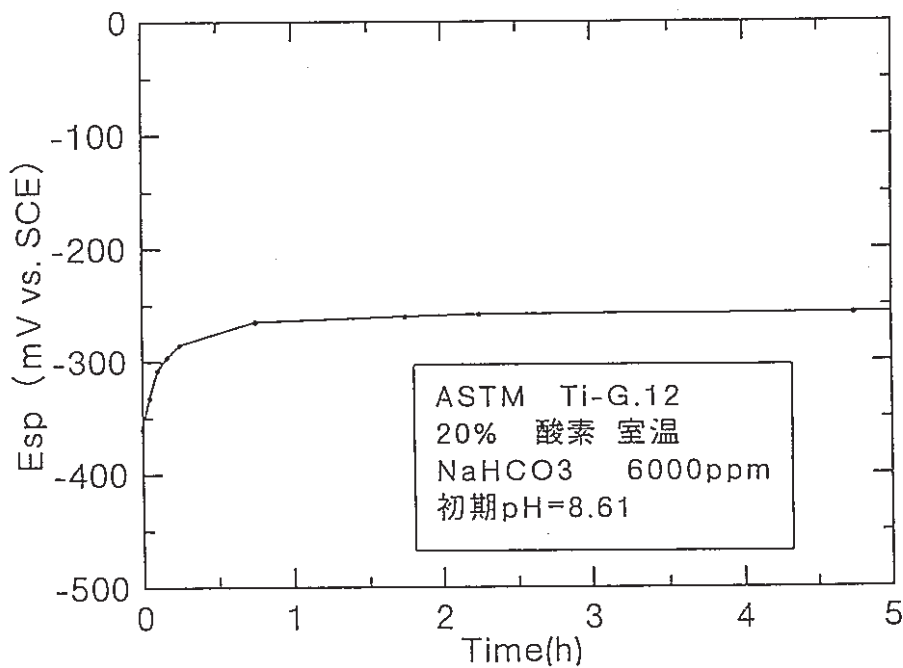
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-2 | 全データ  |

— Esp(mV)

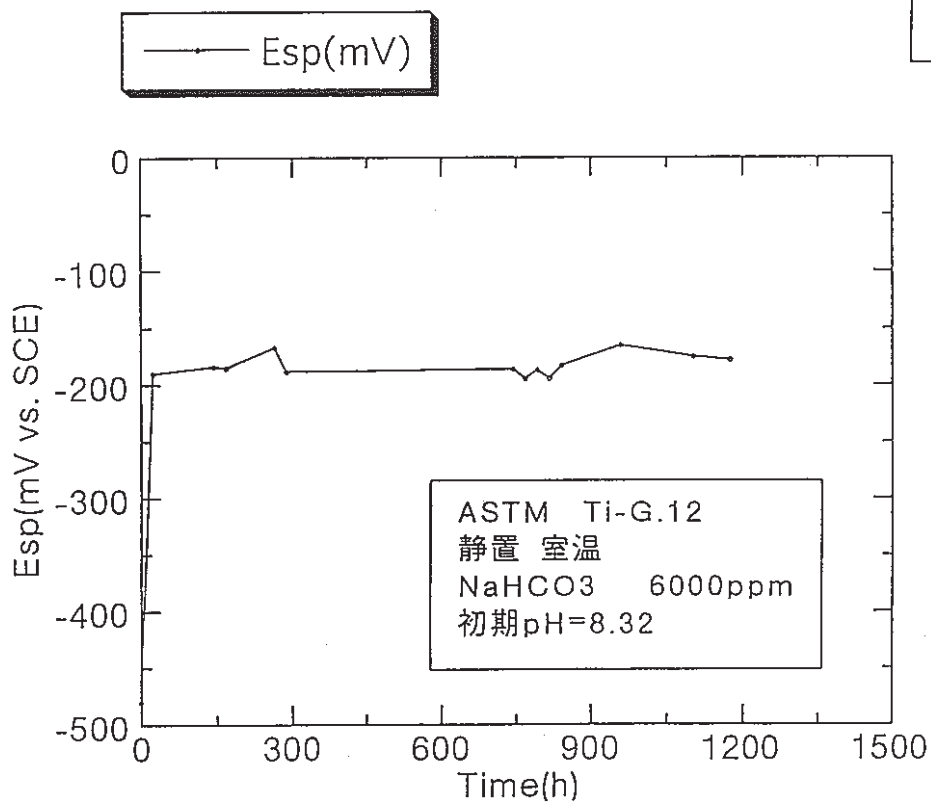


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-2 | 部分データ |

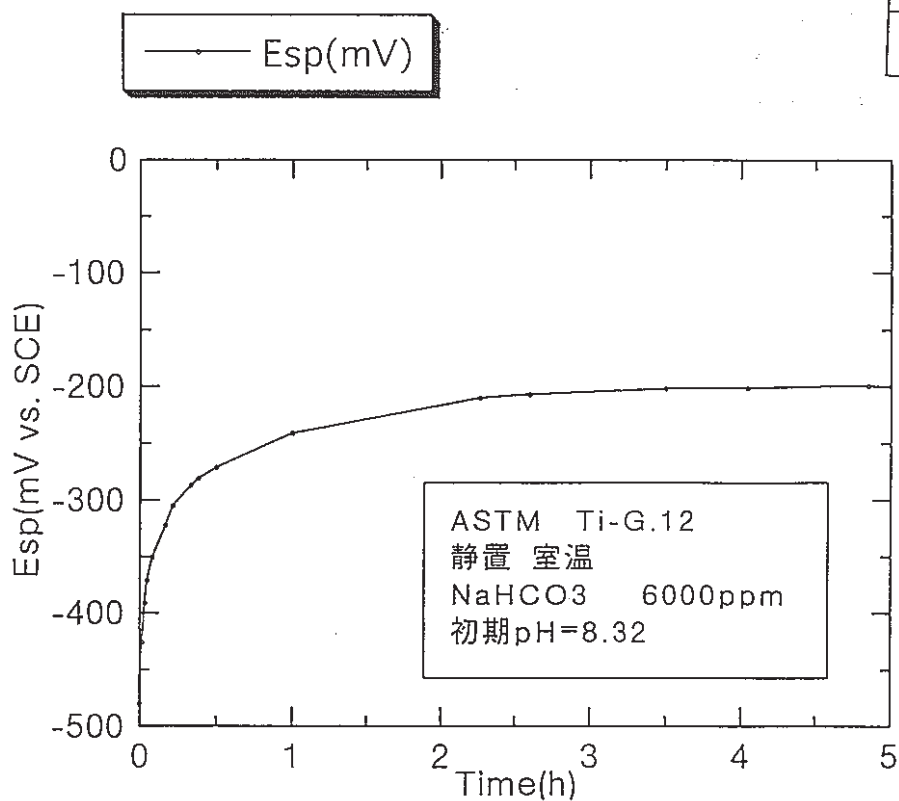
— Esp (mV)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-3 | 全データ  |

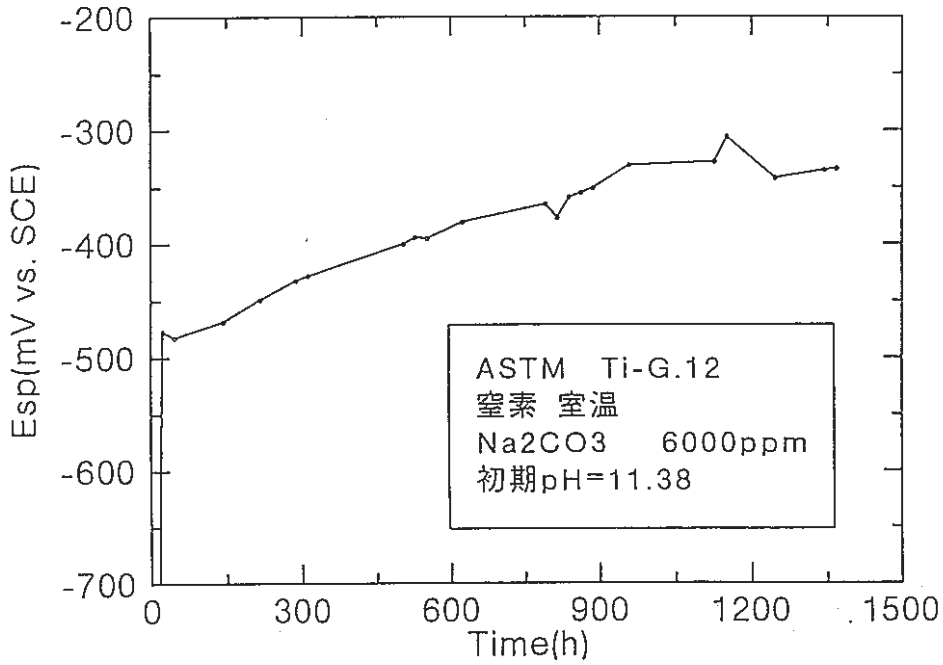


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-3 | 部分データ |



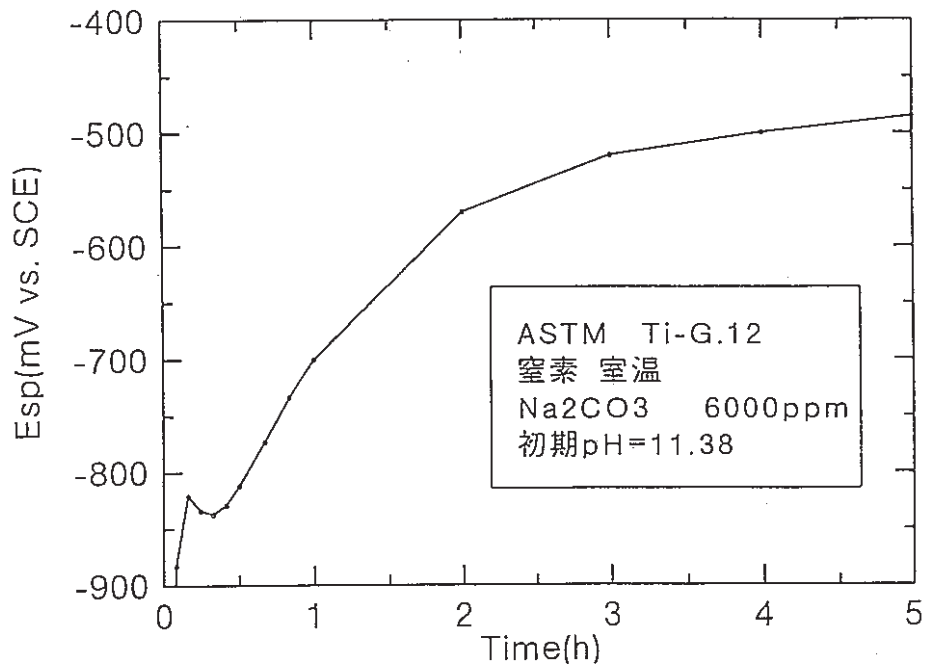
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-4 | 全データ  |

—●— Esp(mV)

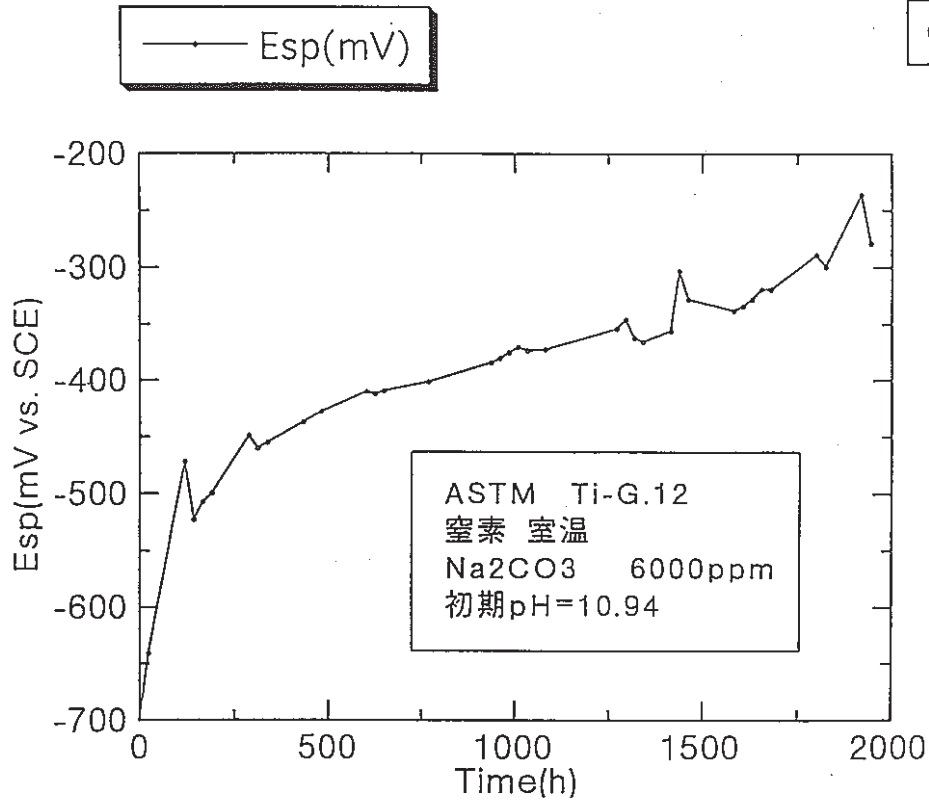


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-4 | 部分データ |

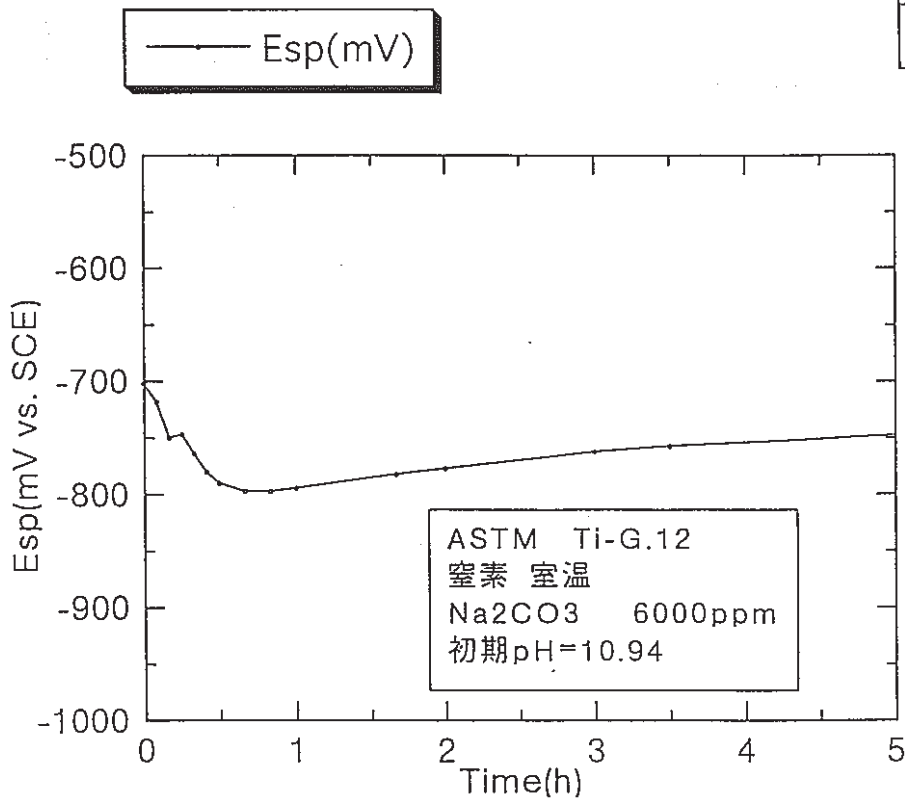
—●— Esp(mV)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G12-5 | 全データ  |

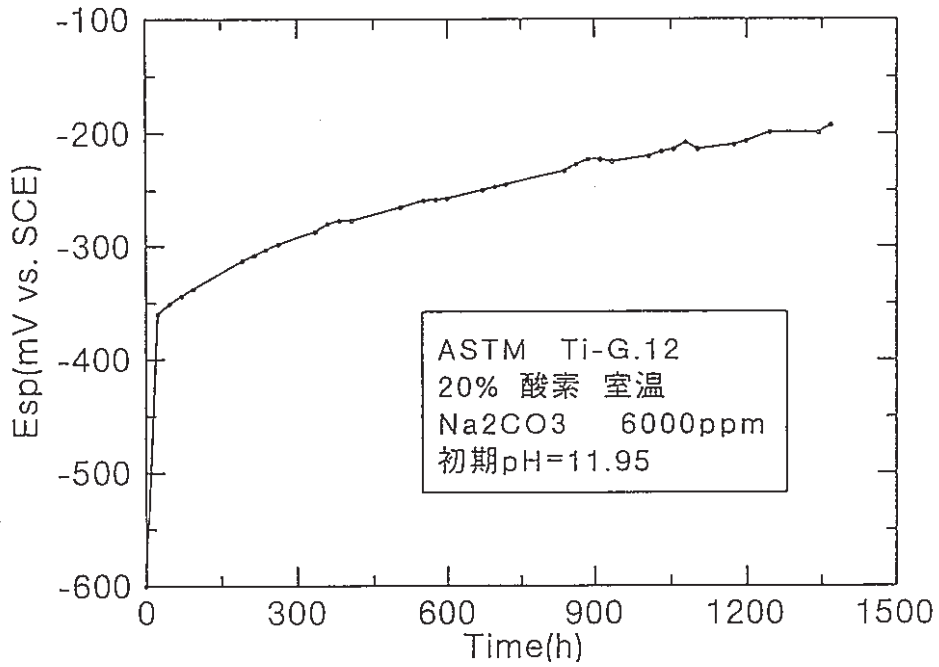


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始~終了 |
| G12-5 | 部分データ |



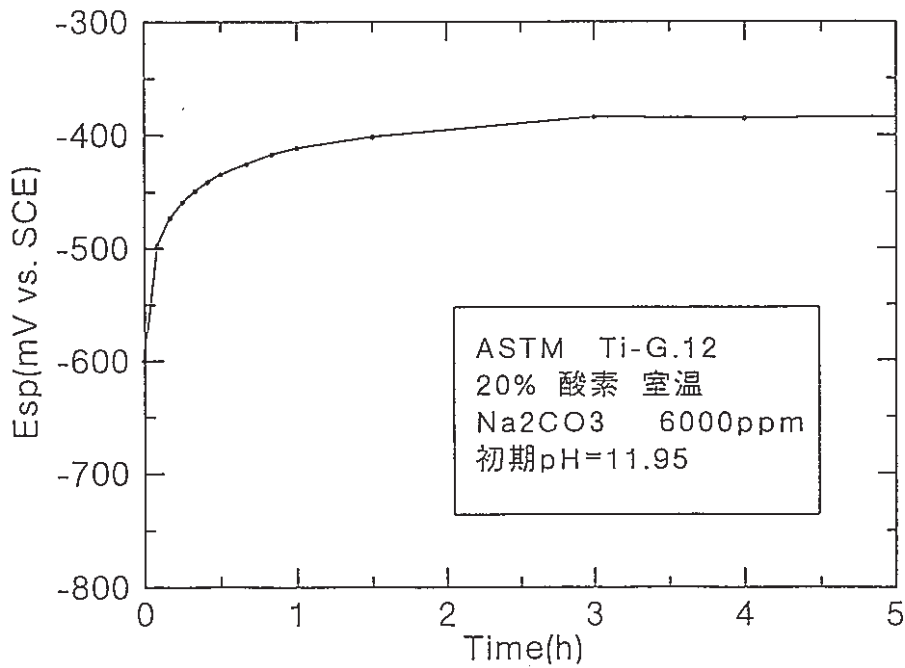
|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-6 | 全データ  |

— Esp(mV)

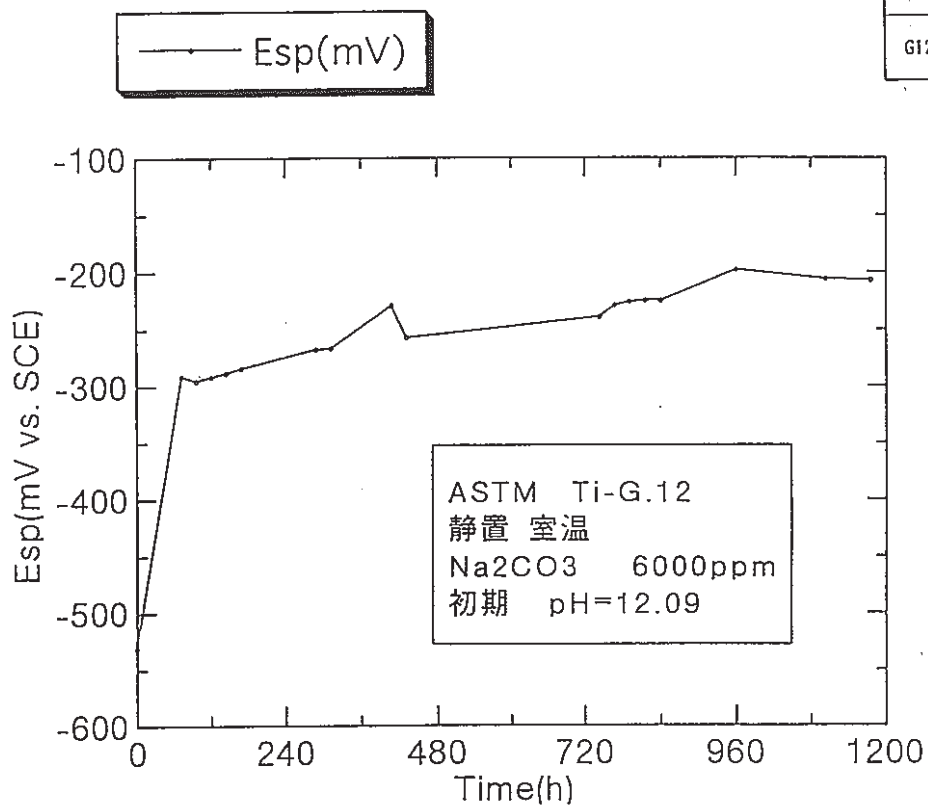


|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-6 | 部分データ |

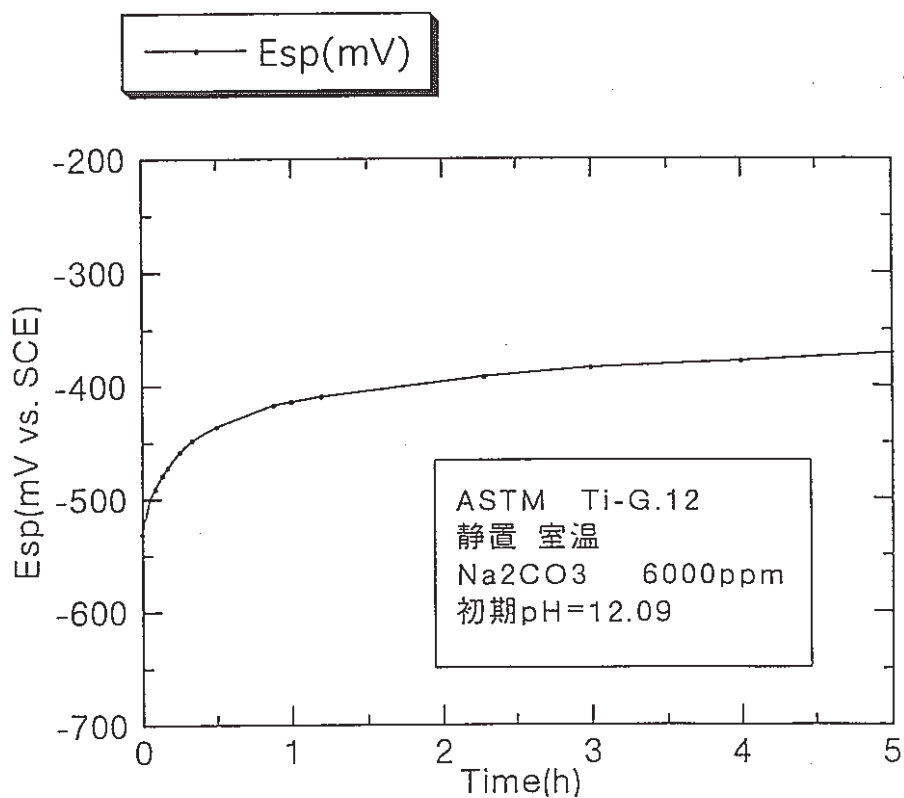
— Esp(mV)



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-7 | 全データ  |



|       |       |
|-------|-------|
| 試験番号  | 開始～終了 |
| G12-7 | 部分データ |



## Appendix-2

### $E_{R, CREV}$ 測定結果(生データ)

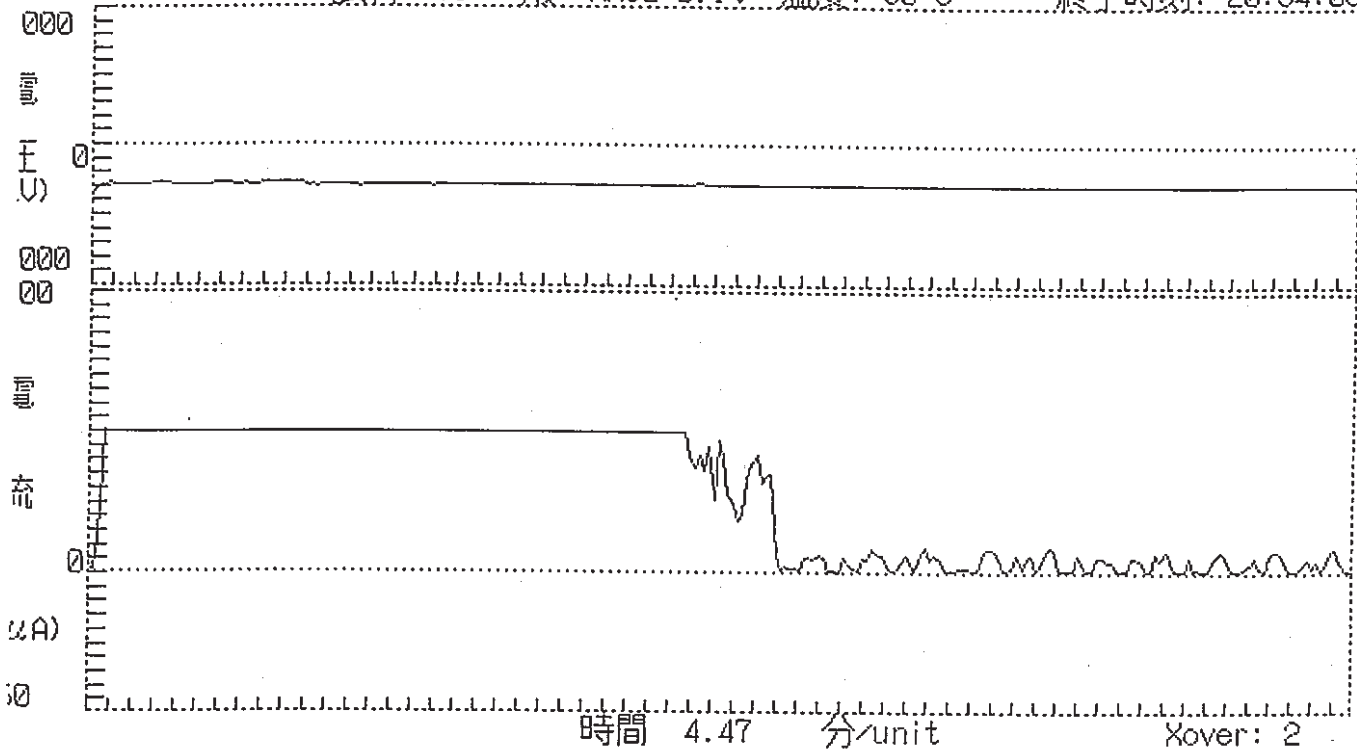
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| Cl <sup>-</sup> -1 |

r 電位: -291 mV  
熱電位: -347 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/24  
開始時刻: 16:14:16  
終了時刻: 20:34:08

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -287 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -281 mV  
ER 電位 : -291 mV



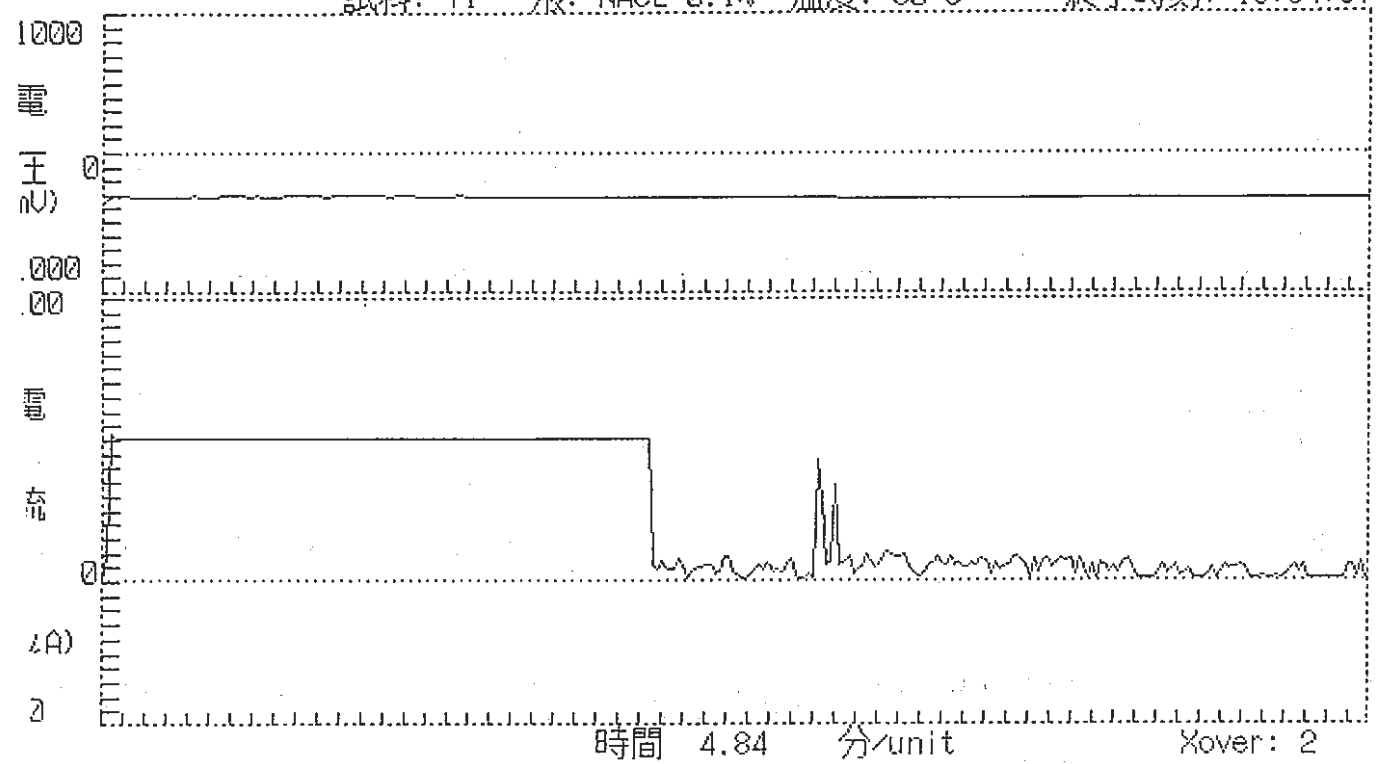
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| Cl <sup>-</sup> -2 |

Er 電位: -330 mV  
 自然電位: -363 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/23  
 開始時刻: 14:53:03  
 終了時刻: 19:34:57

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -323 mV  
 PHASE IV START POTENTIAL: -316 mV  
 ER 電位 : -330 mV

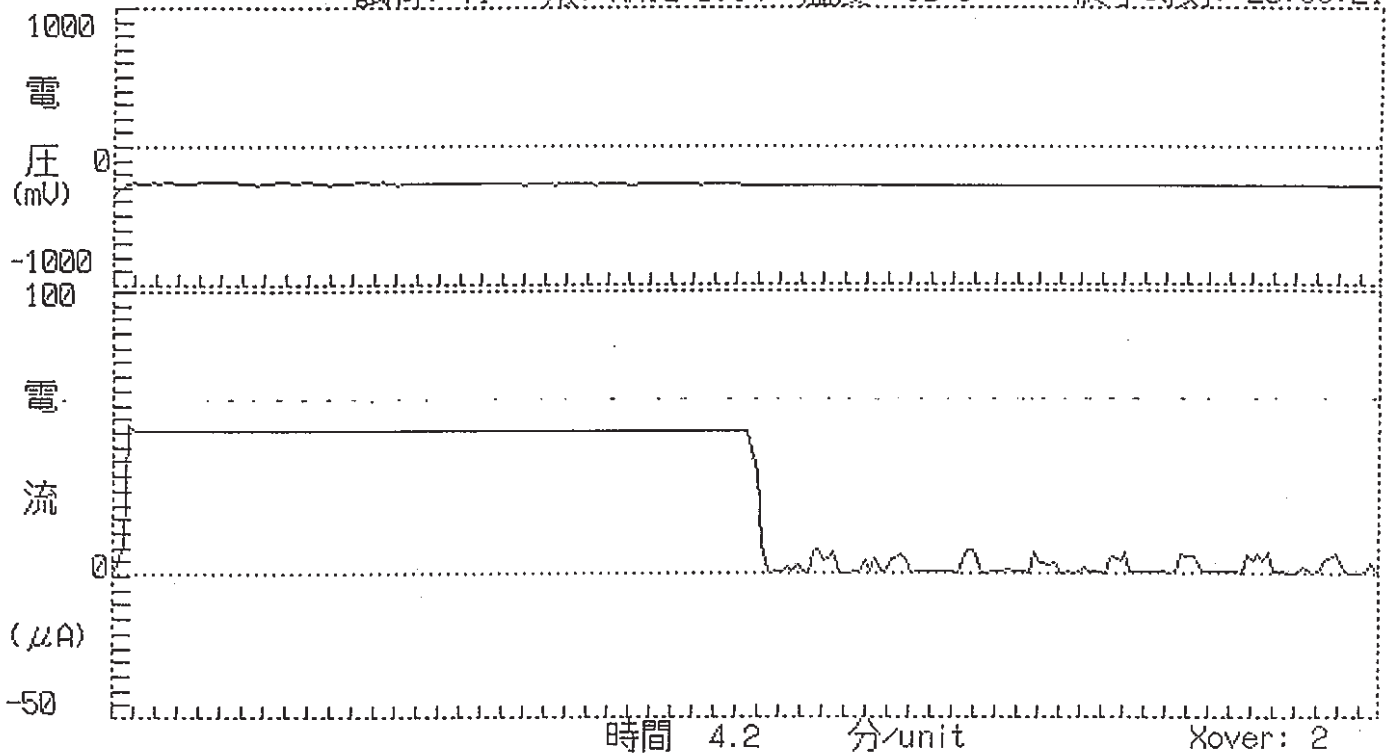
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| Cl <sup>-</sup> -3 |

E<sub>r</sub> 電位: -282 mV  
自然電位: -344 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/20  
開始時刻: 16:54:12  
終了時刻: 20:58:21

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -273 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -282 mV  
ER 電位 : -282 mV

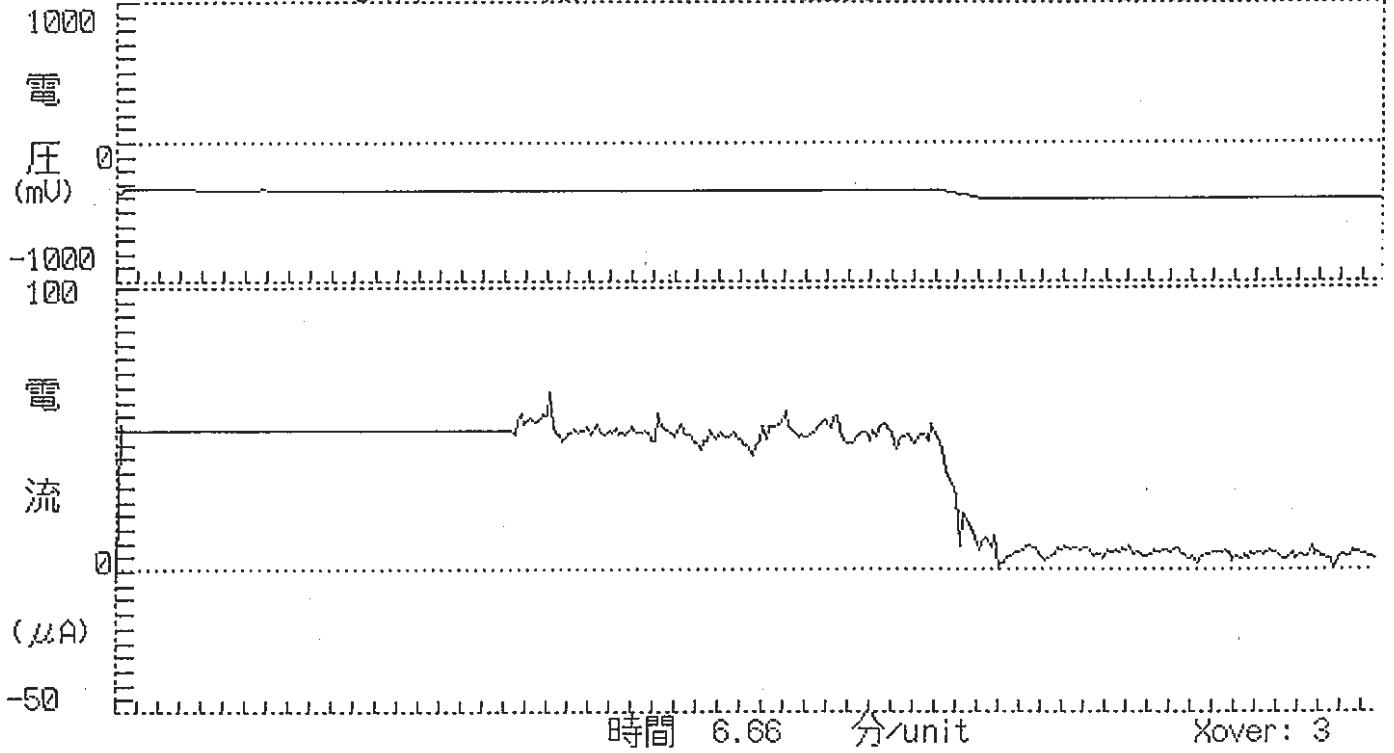
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| CI <sup>-</sup> -4 |

E<sub>r</sub> 電位: -414 mV  
自然電位: -381 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/05  
開始時刻: 16:05:26  
終了時刻: 22:34:27

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -362 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -344 mV  
ER 電位 : -414 mV

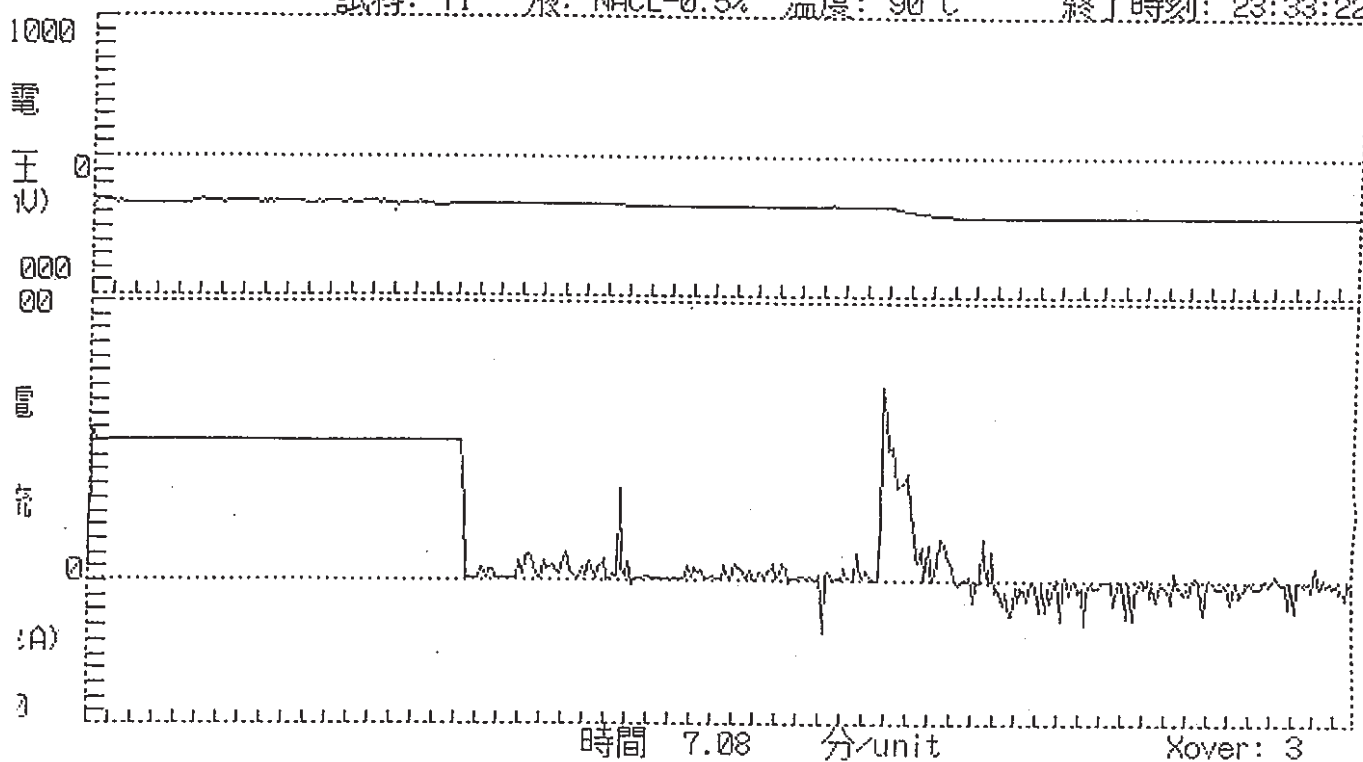
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| Cl <sup>-</sup> -5 |

Er 電位: -429 mV  
自然電位: -354 mV

【ER 測定】

日付: 95/12/20  
開始時刻: 16:38:53  
終了時刻: 23:33:22

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -326 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -335 mV  
ER 電位 : -429 mV

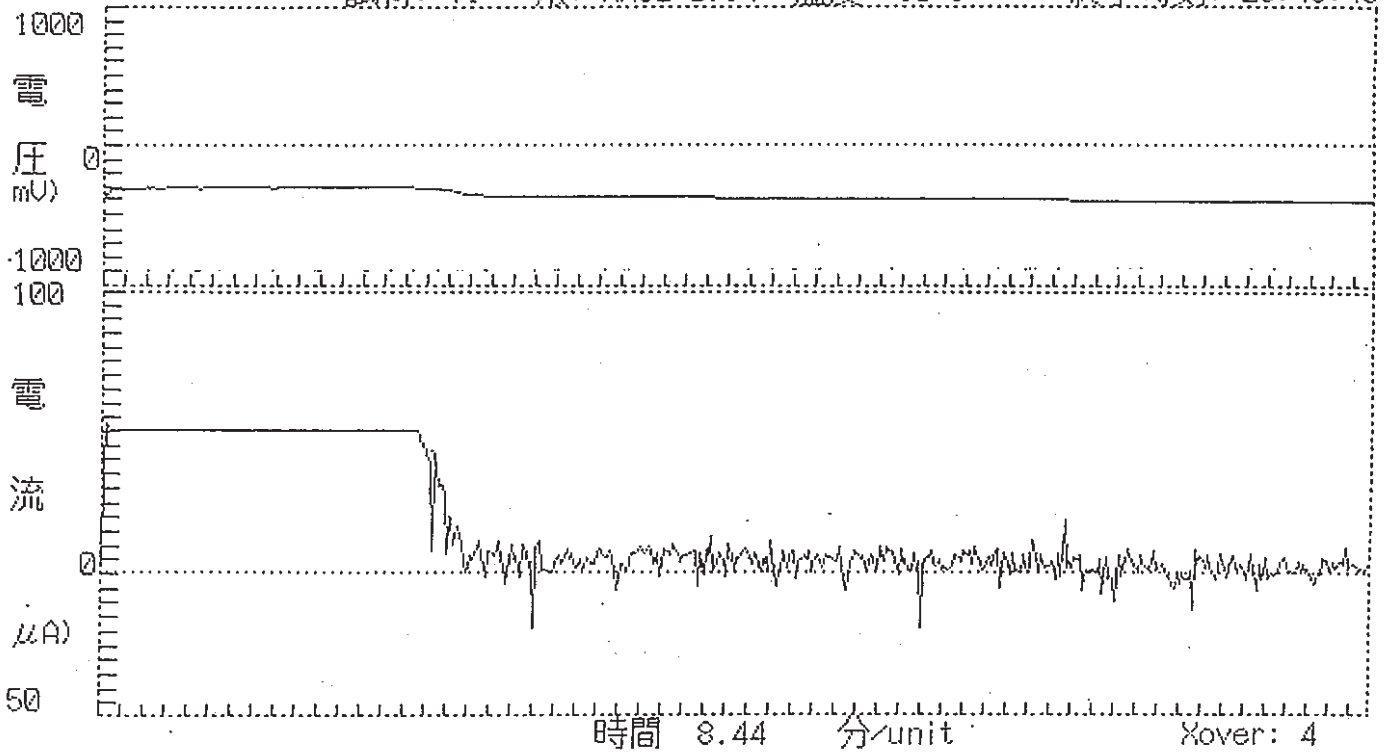
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| Cl <sup>-</sup> -6 |

Er 電位: -403 mV  
自然電位: -390 mV

【ER 測定】

日付: 95/12/14  
開始時刻: 15:31:44  
終了時刻: 23:45:43

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -358 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -312 mV  
ER 電位 : -403 mV

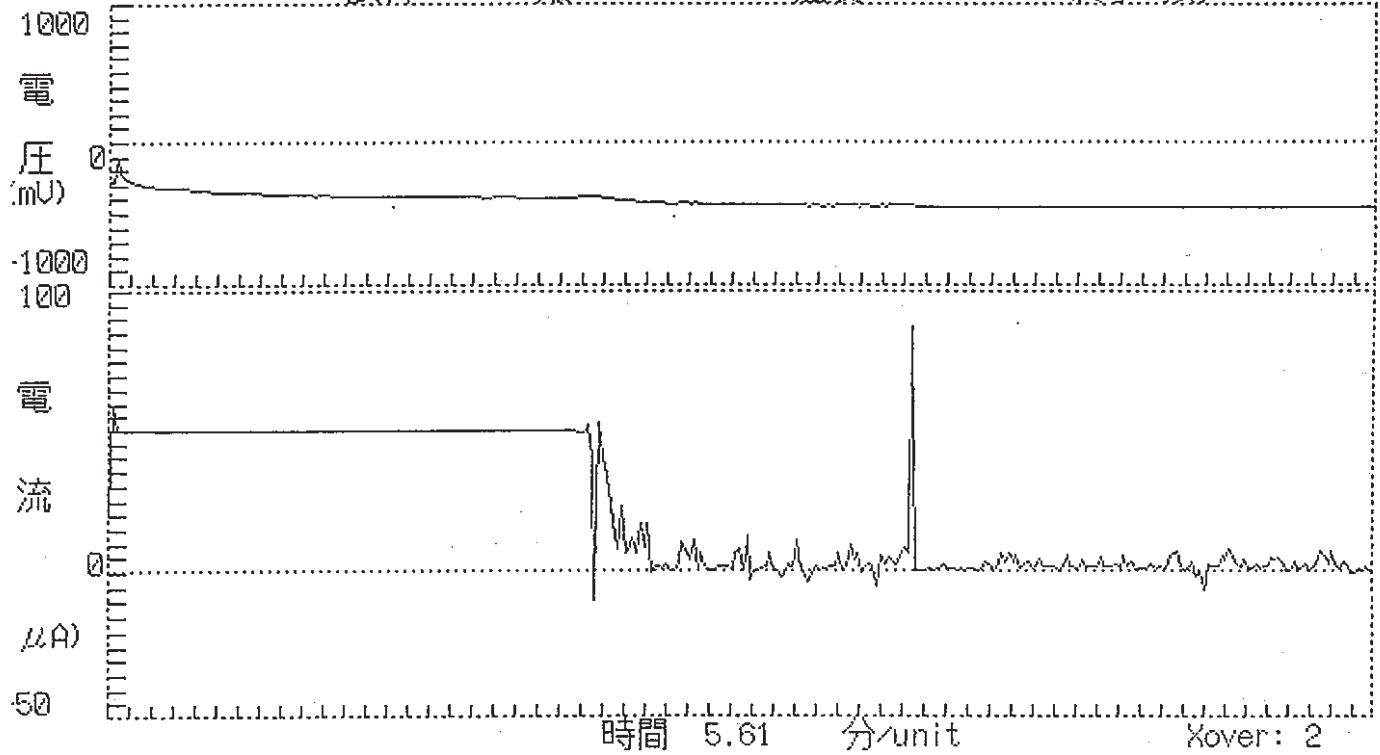
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| CI <sup>-</sup> -7 |

ER 電位: -451 mV  
自然電位: -280 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/26  
開始時刻: 15:20:49  
終了時刻: 20:47:58

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -279 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -386 mV  
ER 電位 : -451 mV

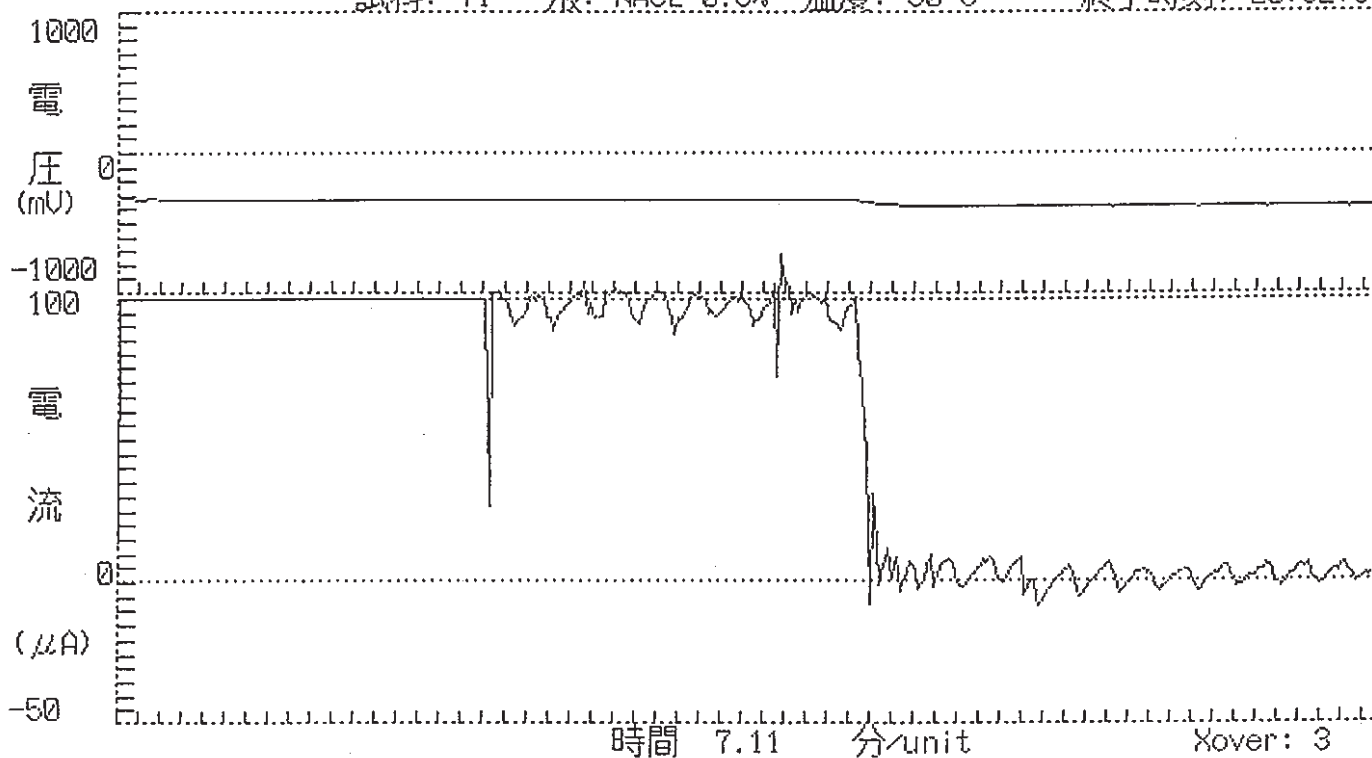
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| CI <sup>-</sup> -8 |

E<sub>r</sub> 電位: -386 mV  
自然電位: -338 mV

【ER 測定】

日付: 95/09/21  
開始時刻: 13:36:38  
終了時刻: 20:32:38

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -318 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -331 mV  
ER 電位 : -386 mV

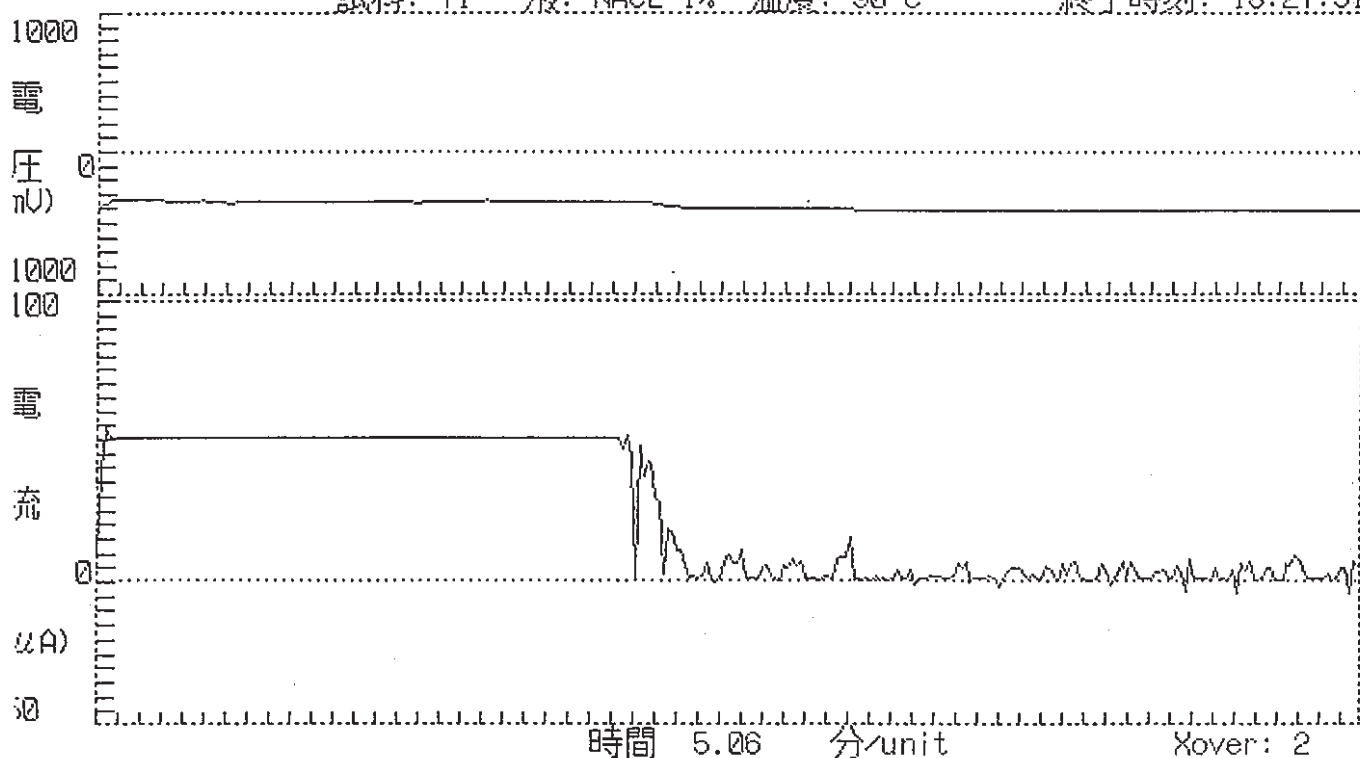
|                    |
|--------------------|
| 試験番号               |
| Cl <sup>-</sup> -9 |

平衡電位: -405 mV  
自然電位: -391 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/18  
開始時刻: 13:33:19  
終了時刻: 18:27:51

試料: TI- 液: NaCl-1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -358 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -346 mV  
ER 電位 : -405 mV



試驗番号

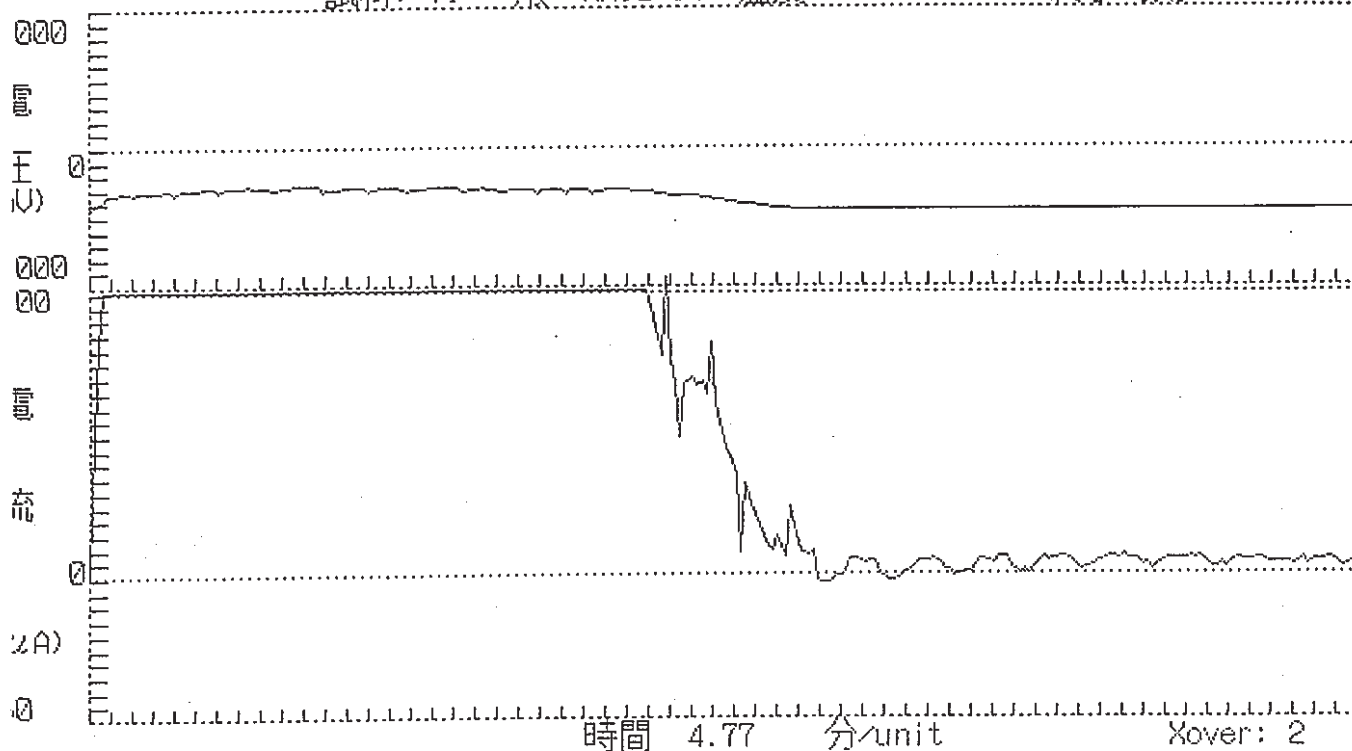
CI--10

r 電位: -458 mV  
然電位: -441 mV

【ER 測定】

日付: 95/09/21  
開始時刻: 15:03:53  
終了時刻: 19:41:07

試料: TI- 液: NaCl-1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -381 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -348 mV  
ER 電位 : -458 mV

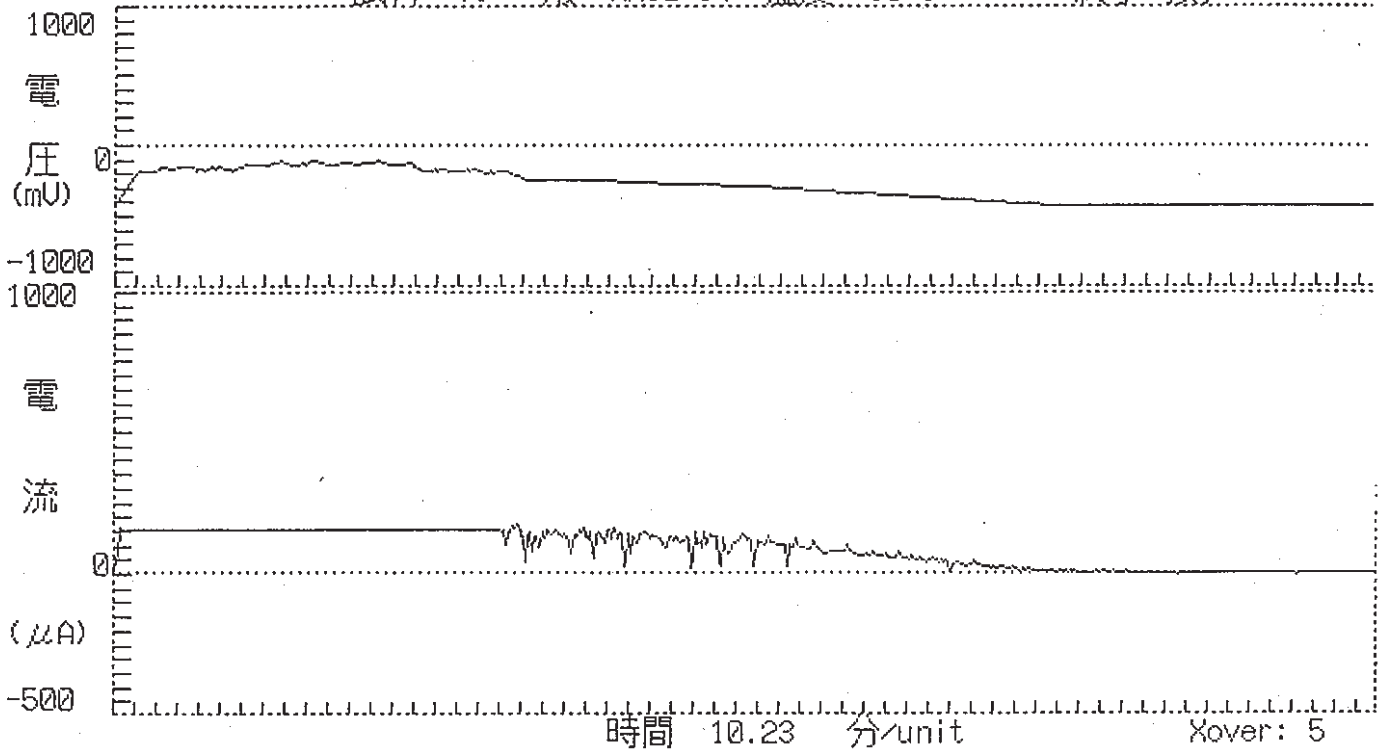
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-11 |

Er 電位: -429 mV  
自然電位: -417 mV

【ER 測定】

日付: 95/09/14  
開始時刻: 16:20:10  
終了時刻: 02:20:00

試料: TI- 液: NaCl-1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -346 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -237 mV  
ER 電位 : -429 mV

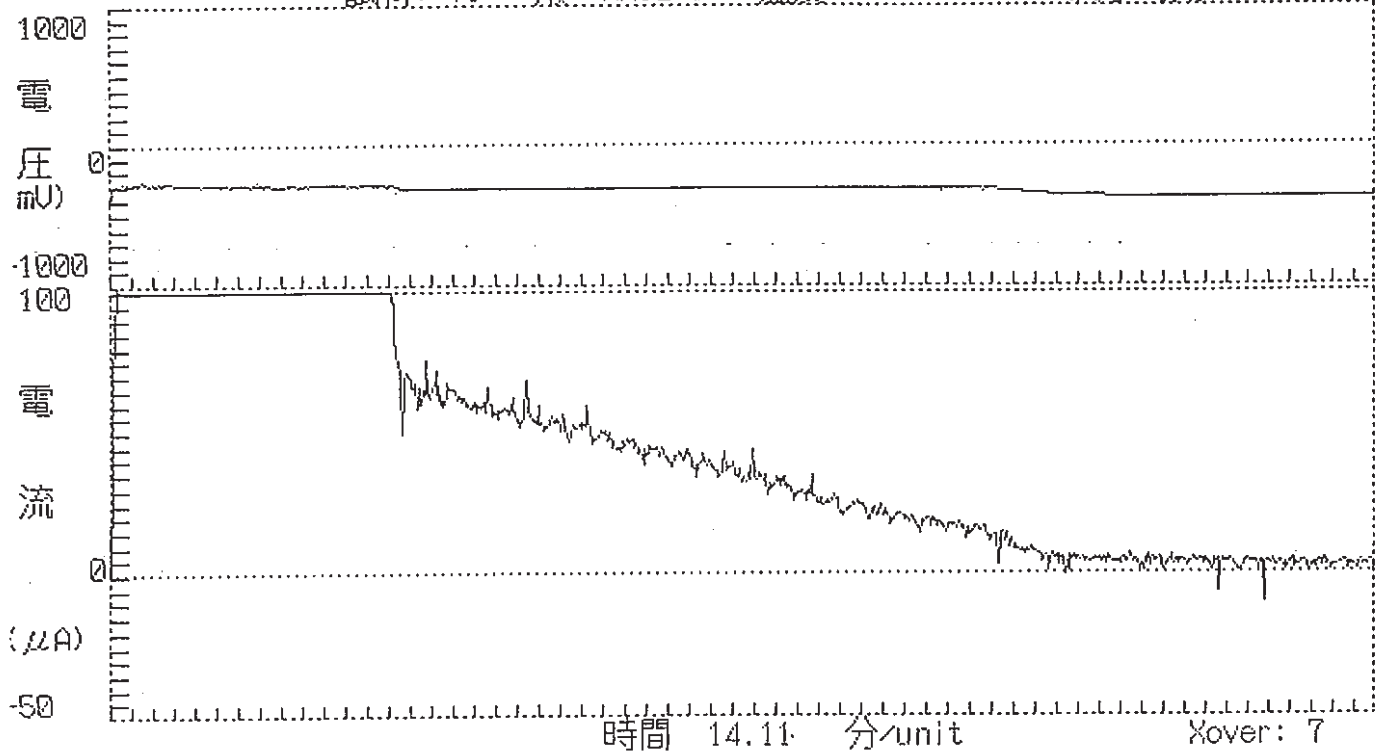
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-12 |

Er 電位: -380 mV  
自然電位: -381 mV

【ER 測定】

日付: 95/09/13  
開始時刻: 17:02:30  
終了時刻: 06:51:20

試料: TI- 液: NaCl-1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -285 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -317 mV  
ER 電位 : -380 mV

試験番号

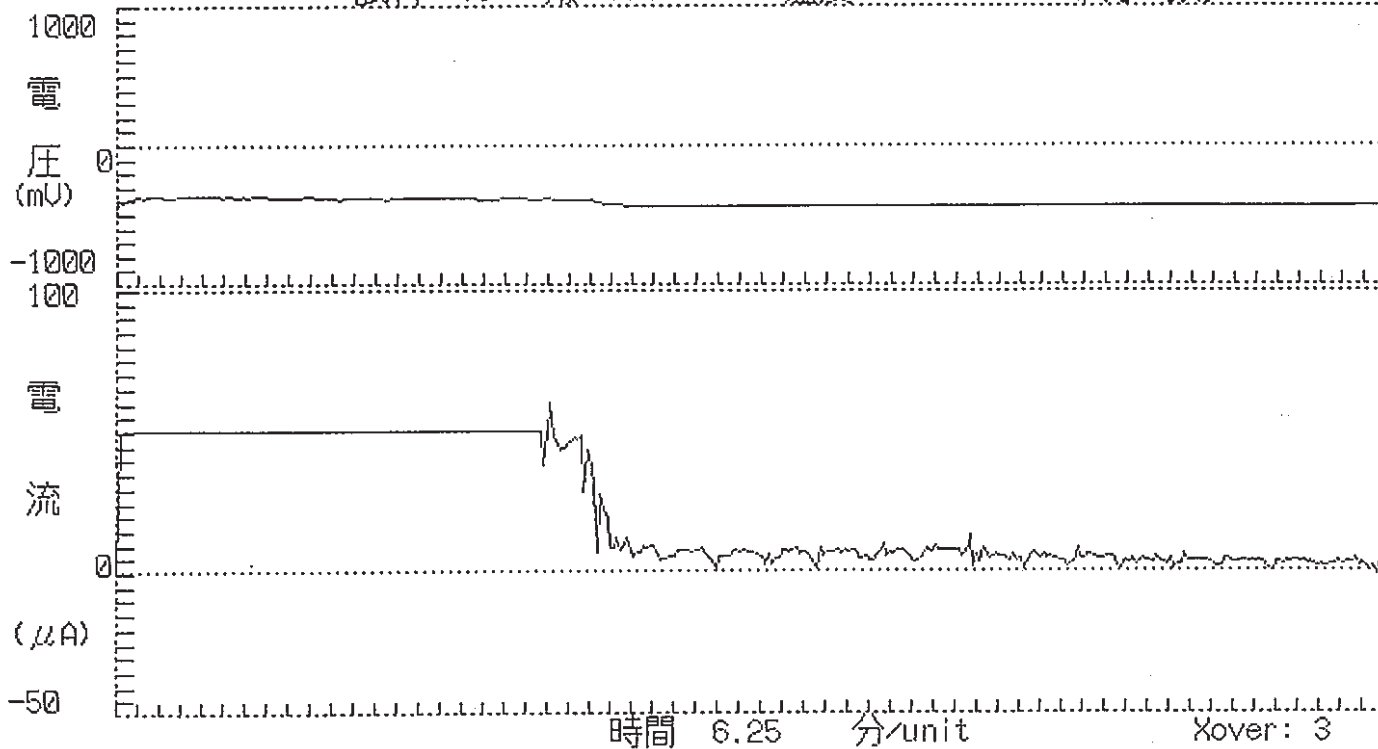
CI<sup>-</sup>-13

E<sub>r</sub> 電位: -441 mV  
自然電位: -437 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/17  
開始時刻: 13:23:51  
終了時刻: 19:28:19

試料: TI- 液: NaCl-10% 温度: 90°C



時間 6.25 分/unit Xover: 3  
PHASE II START POTENTIAL: -405 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -386 mV  
ER 電位 : -441 mV

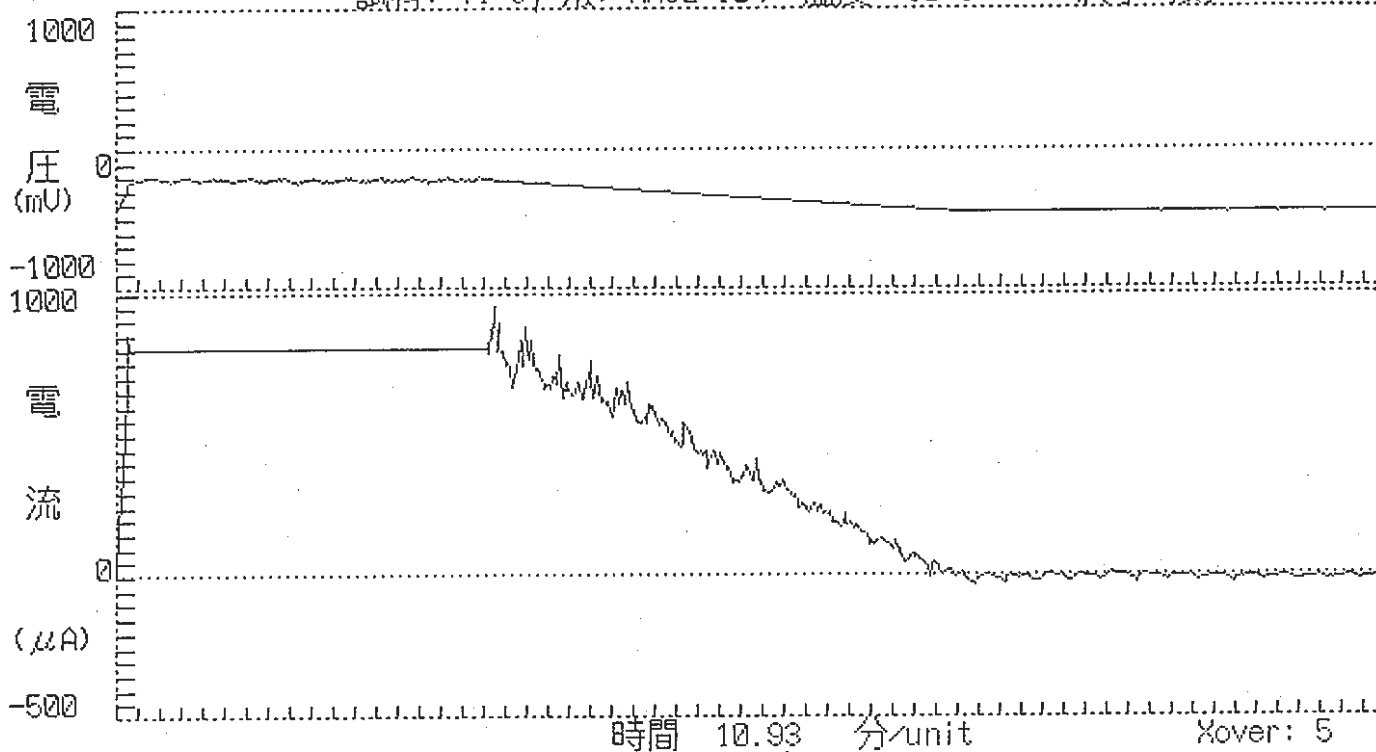
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-14 |

Er 電位: -462 mV  
自然電位: -420 mV

【ER 測定】

日付: 95/09/01  
開始時刻: 14:43:44  
終了時刻: 01:25:27

試料: TI-44 液: NaCl-10% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -243 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -428 mV  
ER 電位 : -462 mV

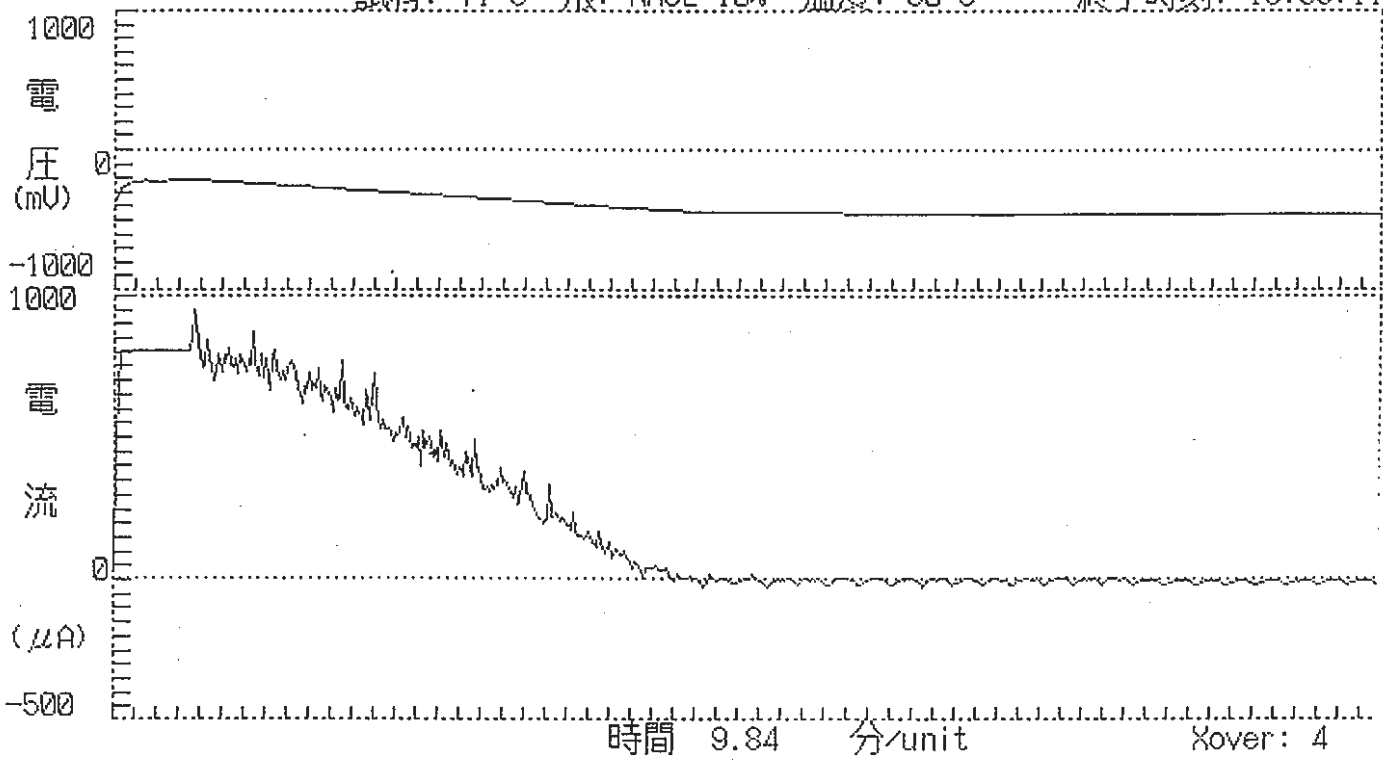
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-15 |

E<sub>r</sub> 電位: -456 mV  
自然電位: -359 mV

【ER 測定】

日付: 95/08/30  
開始時刻: 09:16:15  
終了時刻: 18:53:11

試料: TI-3 液: NaCl-10% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -280 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -413 mV  
E R 電位 : -456 mV

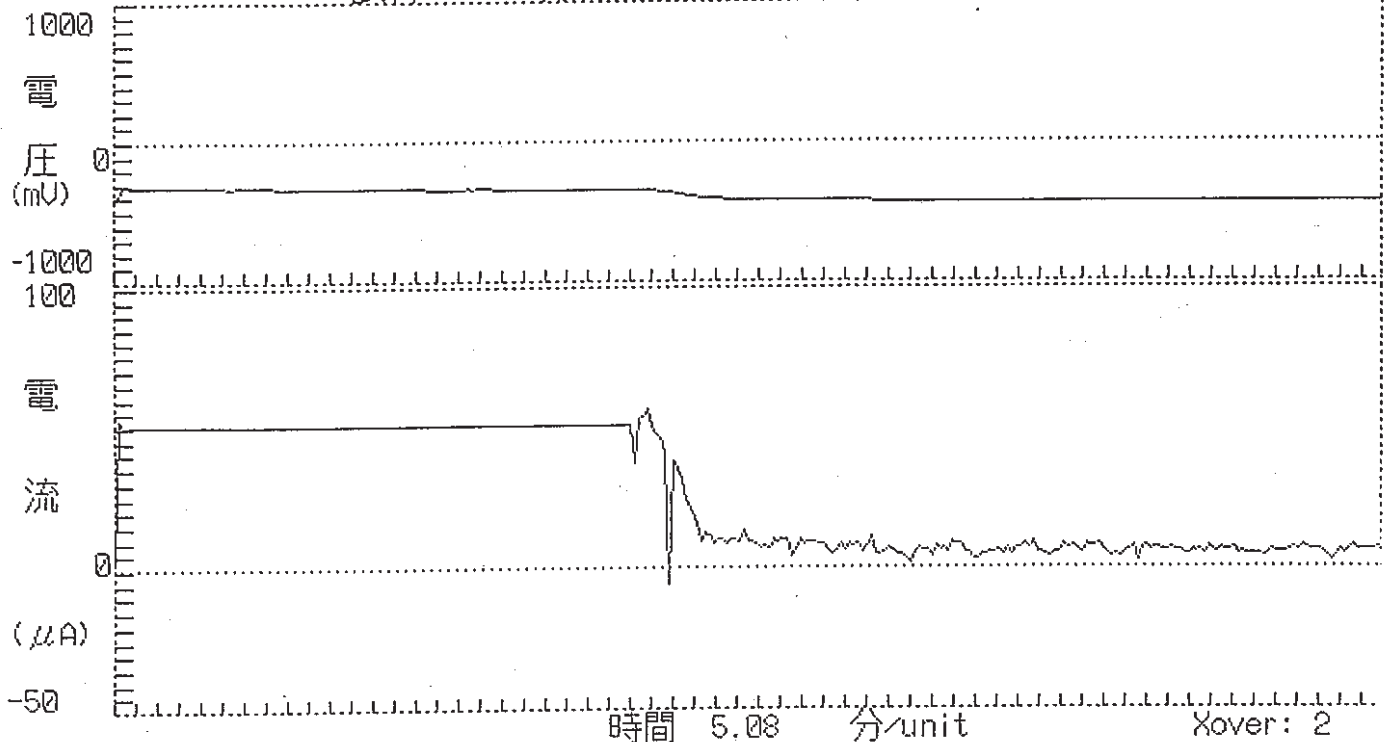
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-16 |

Er 電位: -434 mV  
自然電位: -387 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/13  
開始時刻: 16:17:37  
終了時刻: 21:13:15

試料: TI- 液: NAACL-25% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -380 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -344 mV  
ER 電位 : -434 mV

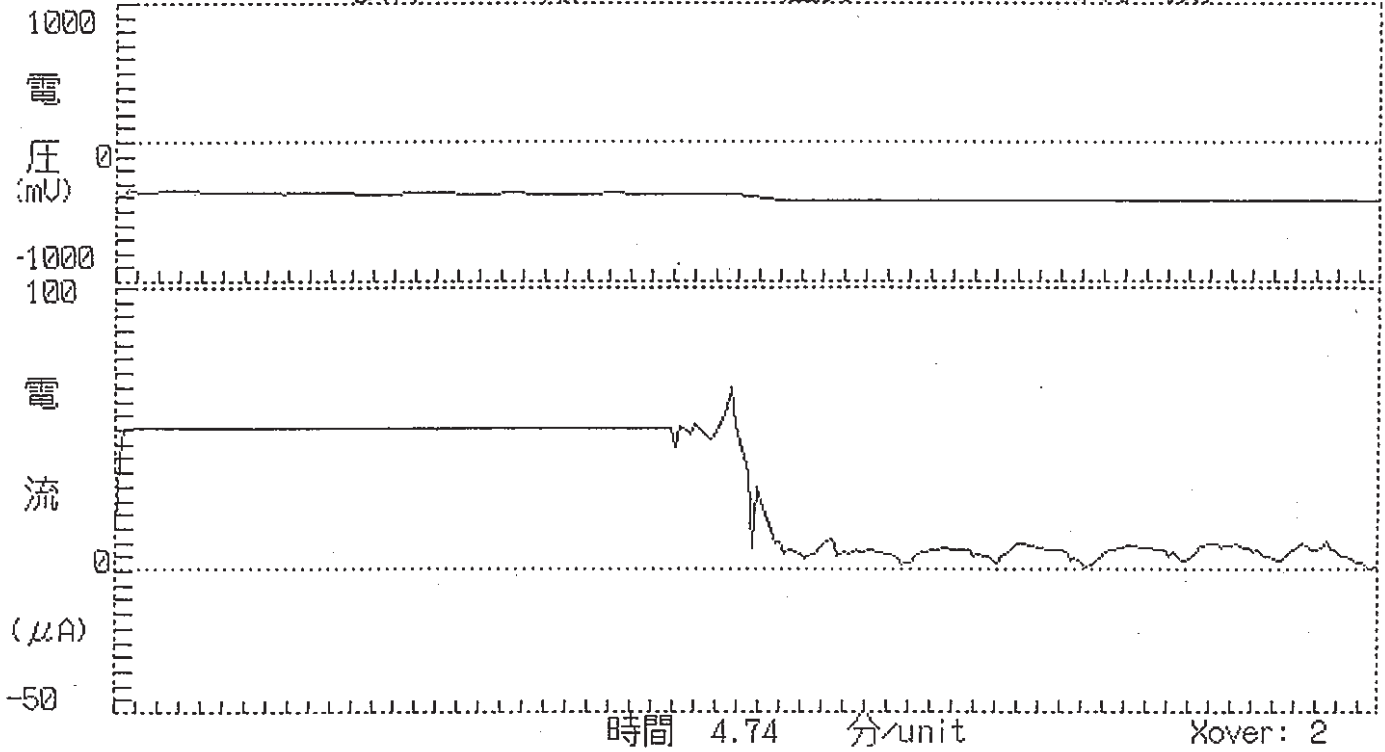
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-17 |

E<sub>r</sub> 電位: -429 mV  
自然電位: -401 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/12  
開始時刻: 11:37:25  
終了時刻: 16:12:44

試料: TI- 液: NaCl-25% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -372 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -374 mV  
ER 電位 : -429 mV



試驗番号

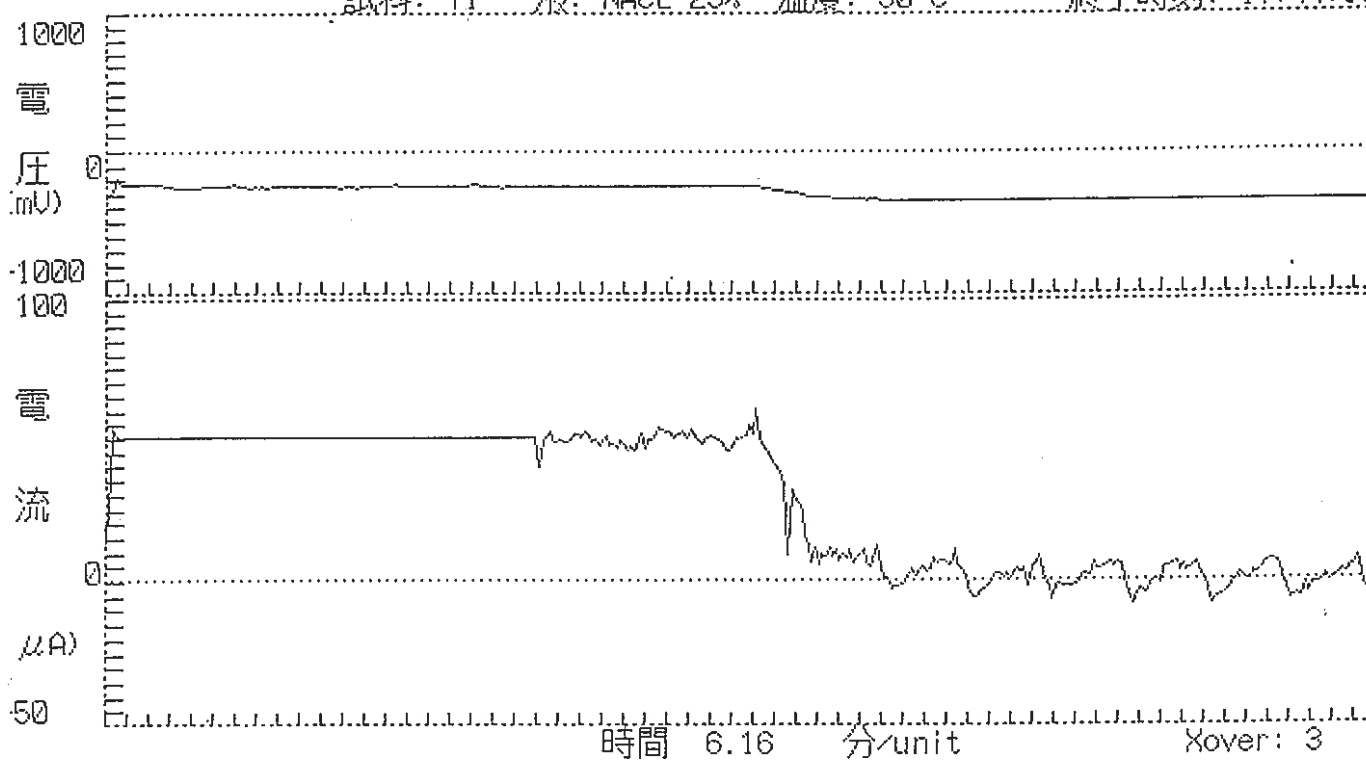
CI-18

Er 電位: -351 mV  
自然電位: -312 mV

【ER 測定】

日付: 95/10/06  
開始時刻: 11:45:27  
終了時刻: 17:44:53

試料: TI- 液: NAACL-25% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -280 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -240 mV  
ER 電位 : -351 mV

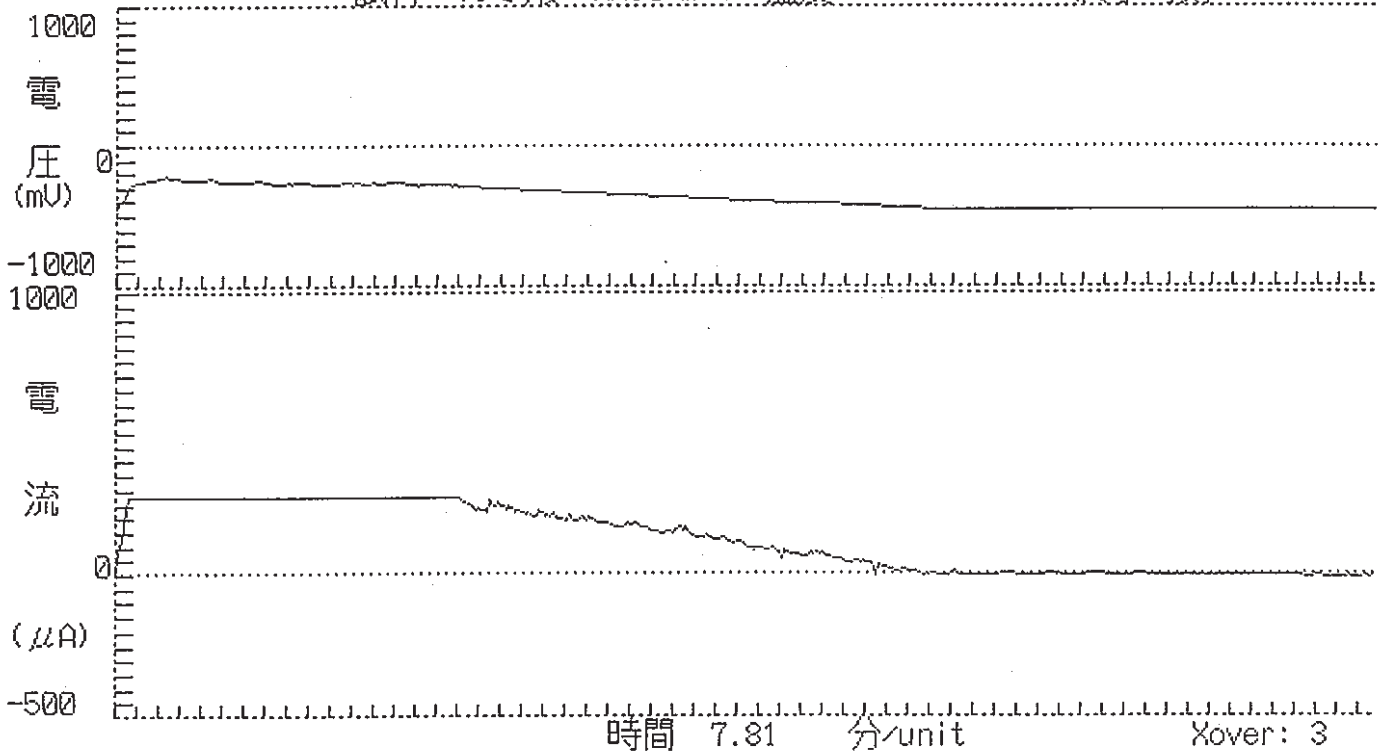
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-19 |

Er 電位: -451 mV  
自然電位: -432 mV

【ER 測定】

日付: 95/08/25  
開始時刻: 16:48:16  
終了時刻: 00:25:42

試料: TI-2 液: NaCl-25% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -292 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -406 mV  
ER 電位 : -451 mV

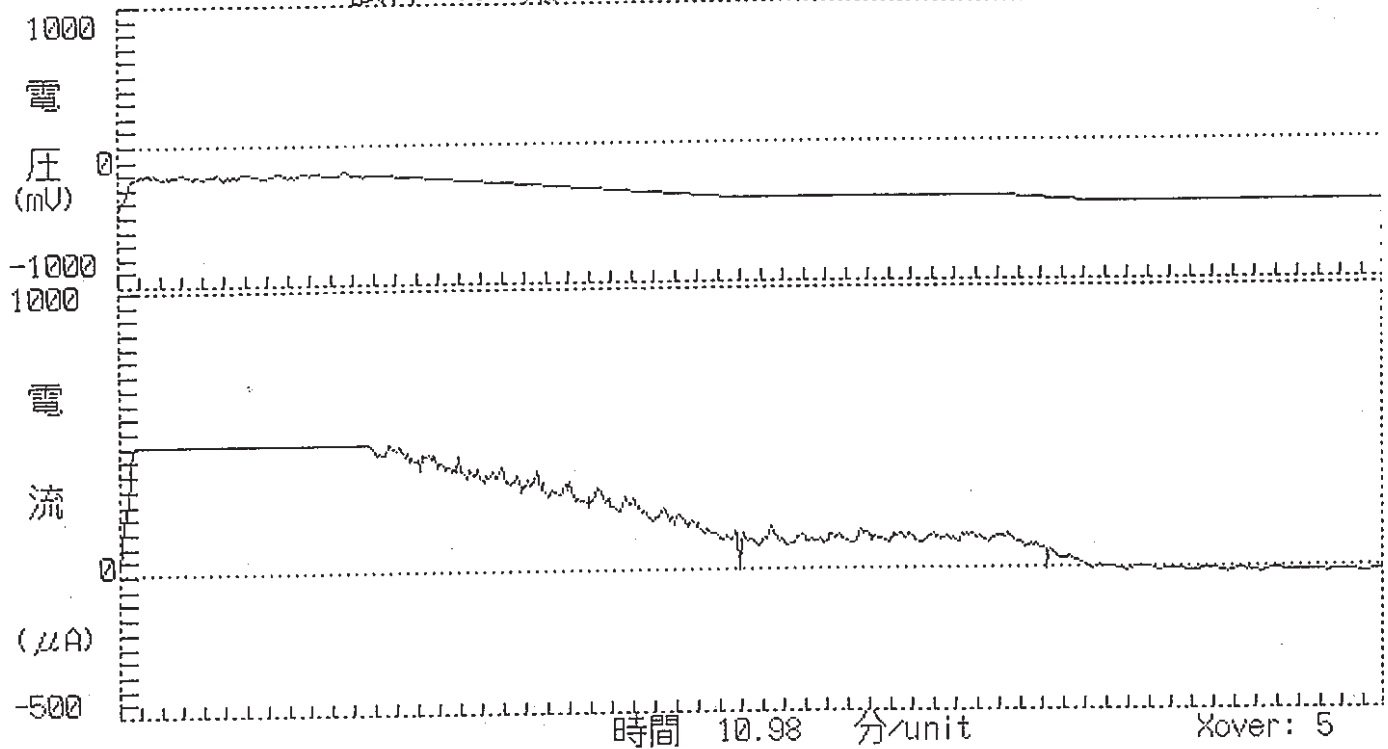
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-20 |

E<sub>r</sub> 電位: -443 mV  
自然電位: -442 mV

【ER 測定】

日付: 95/08/24  
開始時刻: 16:52:54  
終了時刻: 03:36:17

試料: TI-1 液: NaCl-25% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -230 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -394 mV  
ER 電位 : -443 mV

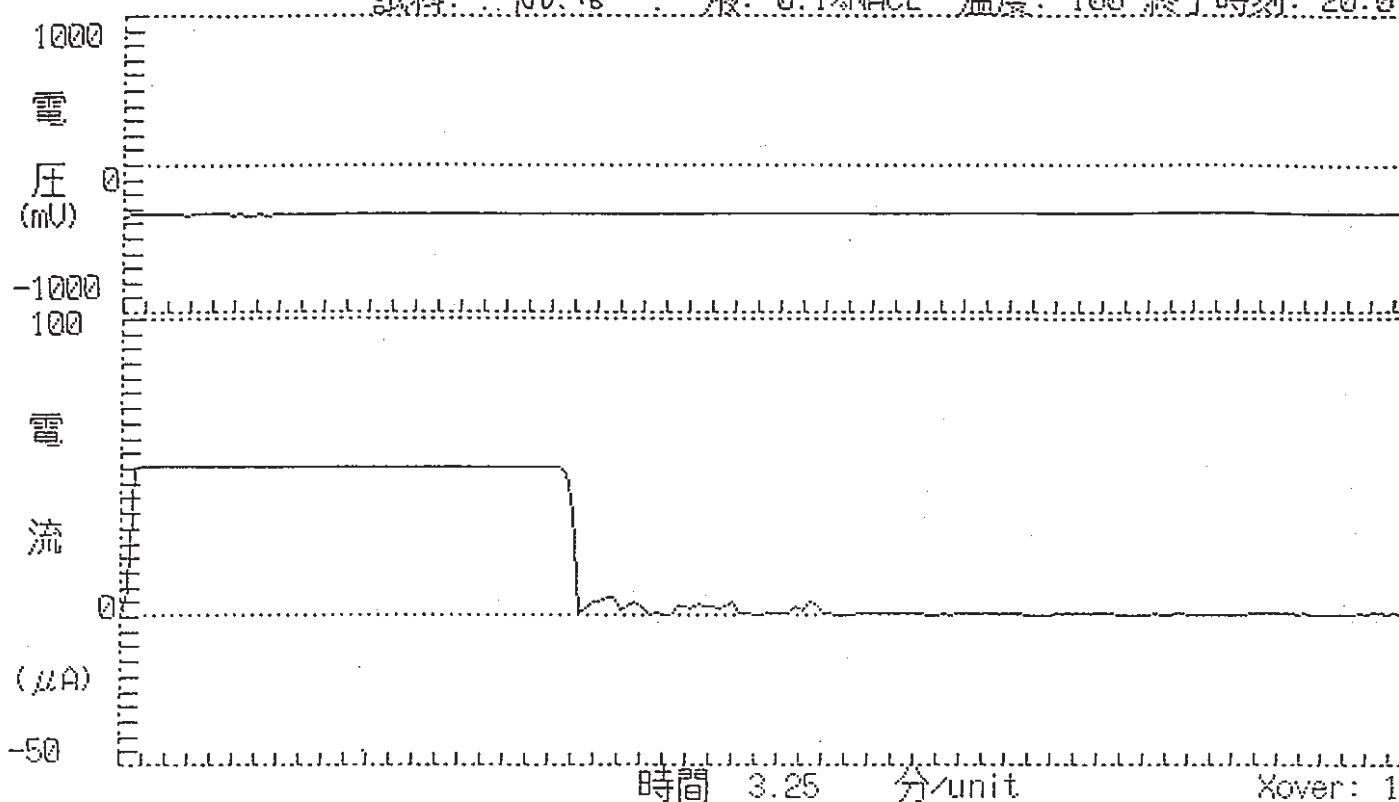
|                     |
|---------------------|
| 試験番号                |
| Cl <sup>-</sup> -21 |

E<sub>r</sub> 電位: -330 mV  
自然電位: -361 mV

【ER 測定】

日付: 95/8  
開始時刻: 16:5  
終了時刻: 20:0

試料: No. 16 液: 0.1%NaCl 温度: 100°



PHASE II START POTENTIAL: -330 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -330 mV  
ER 電位 : -330 mV

試驗番号

Cl<sup>-</sup> -22

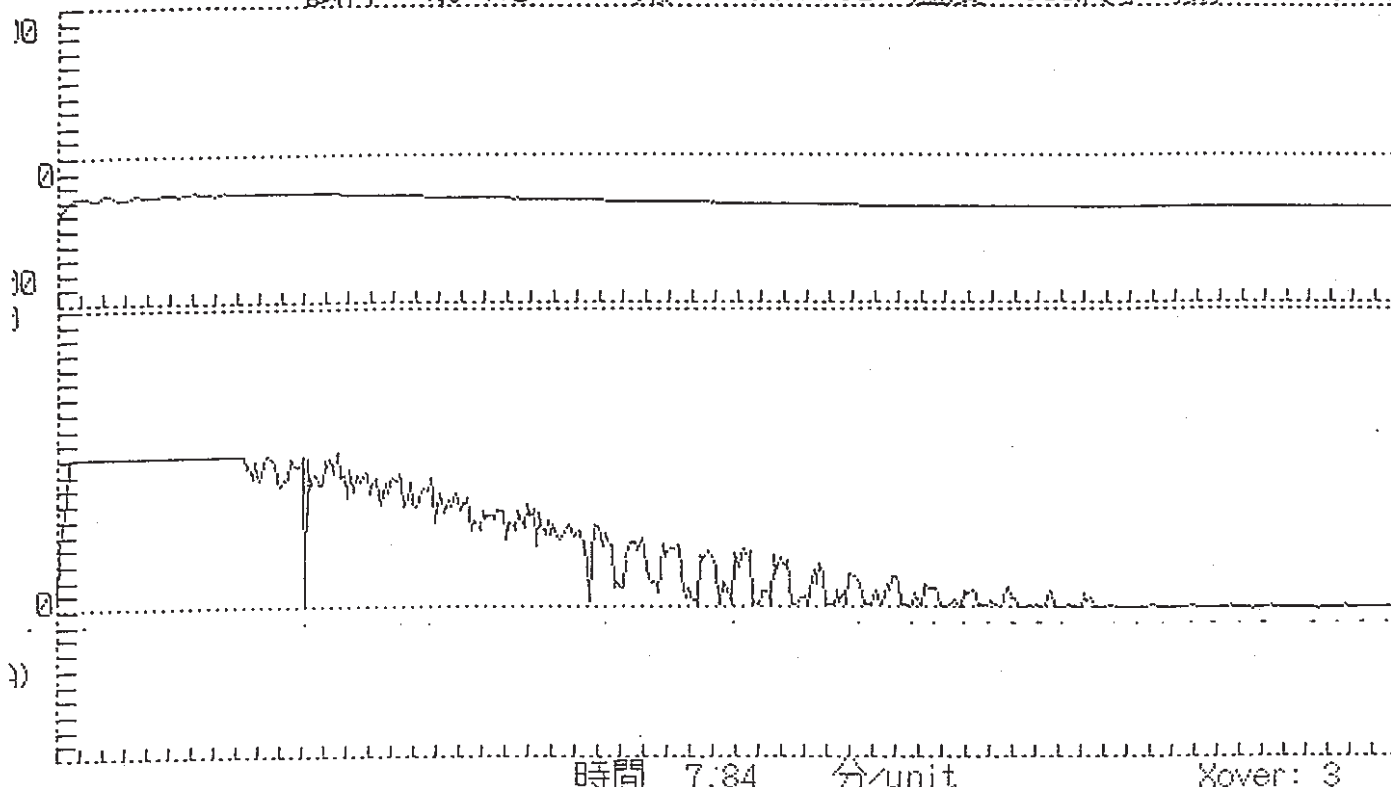
電位: -350 mV  
電位: -395 mV

【ER 測定】

日付: 95/03/16

開始時刻: 17:07:37

試料: No.15 液: 0.1% NaCl 温度: 100 終了時刻: 00:46:13



時間 7.84 分/unit Xover: 3

PHASE II START POTENTIAL: -294 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -260 mV  
ER 電位 : -350 mV

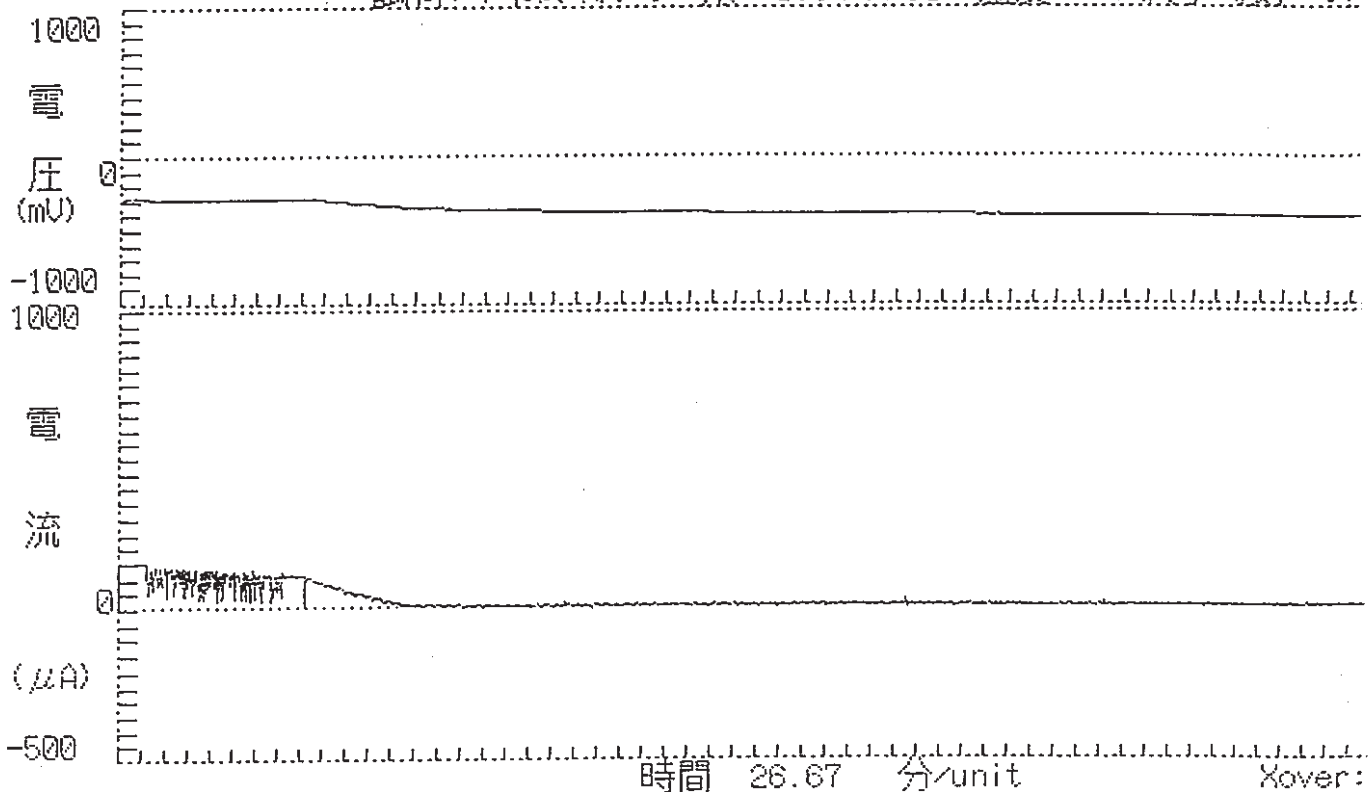
|                     |
|---------------------|
| 試験番号                |
| Cl <sup>-</sup> -23 |

E<sub>r</sub> 電位: -415 mV  
自然電位: -310 mV

【ER 測定】

日付: 95  
開始時刻: 15  
終了時刻: 17

試料: No. 14 液: 0.5% NaCl 温度: 100



PHASE II START POTENTIAL: -282 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -282 mV  
ER 電位 : -415 mV

試験番号

Cl<sup>-</sup> -24

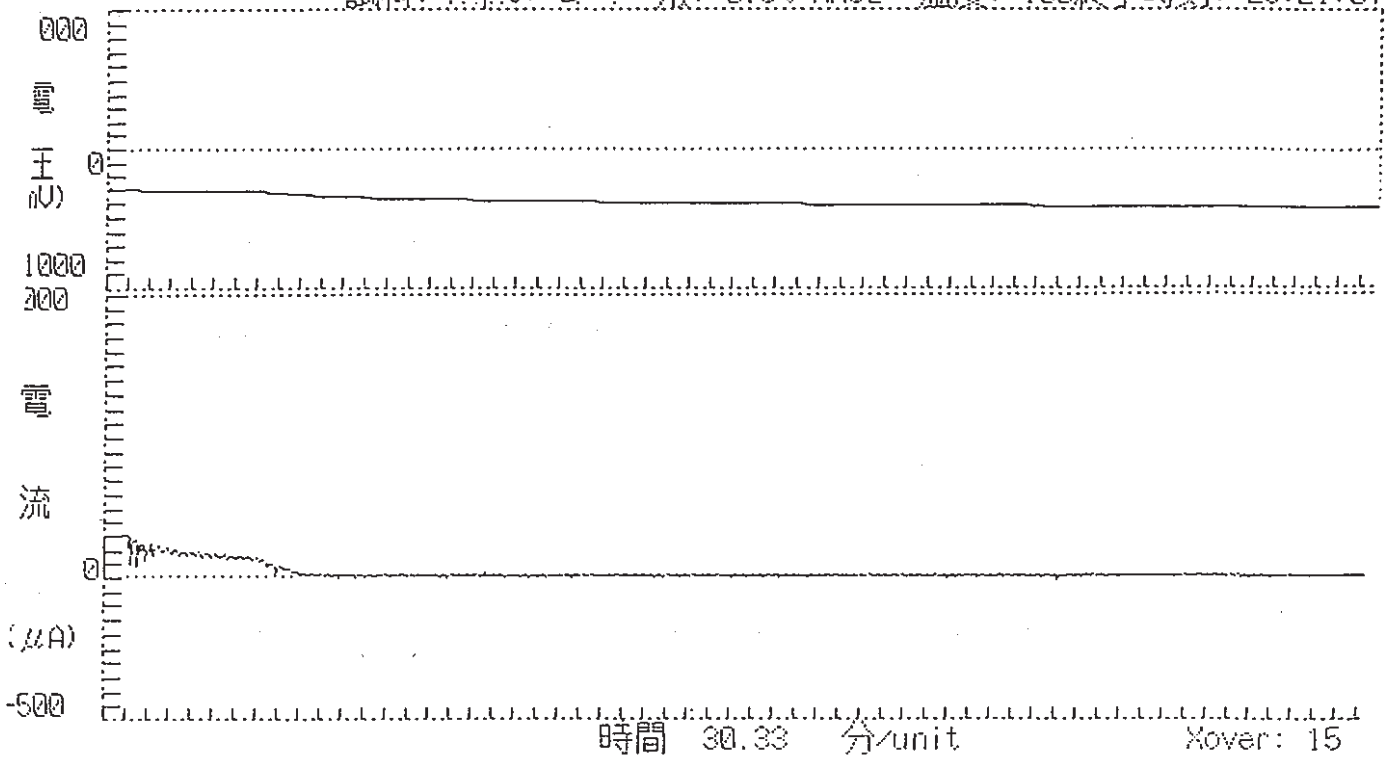
r 電位: -425 mV  
然電位: -310 mV

【ER 測定】

日付: 95/03/08

開始時刻: 17:34:06

試料: No. 13 液: 0.5% NaCl 温度: 100 終了時刻: 23:21:07



PHASE II START POTENTIAL: -286 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -292 mV  
ER 電位 : -425 mV

試驗番号

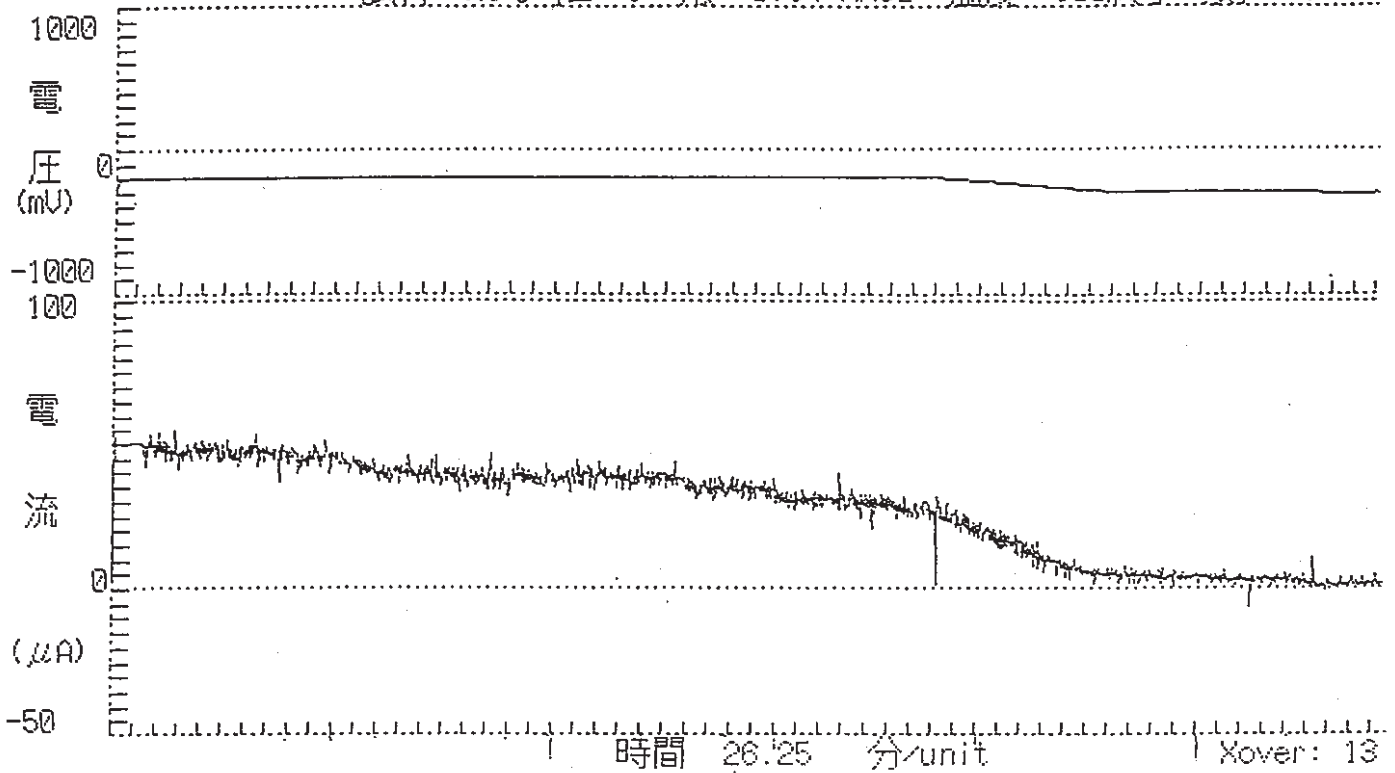
Cl<sup>-</sup> -25

Er 電位: -311 mV  
自然電位: -280 mV

【ER 測定】

日付: 95/03  
開始時刻: 09:24  
終了時刻: 11:08

試料: No. 12 液: 0.5% NaCl 温度: 100



PHASE II START POTENTIAL: -239 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -196 mV  
ER 電位 : -311 mV



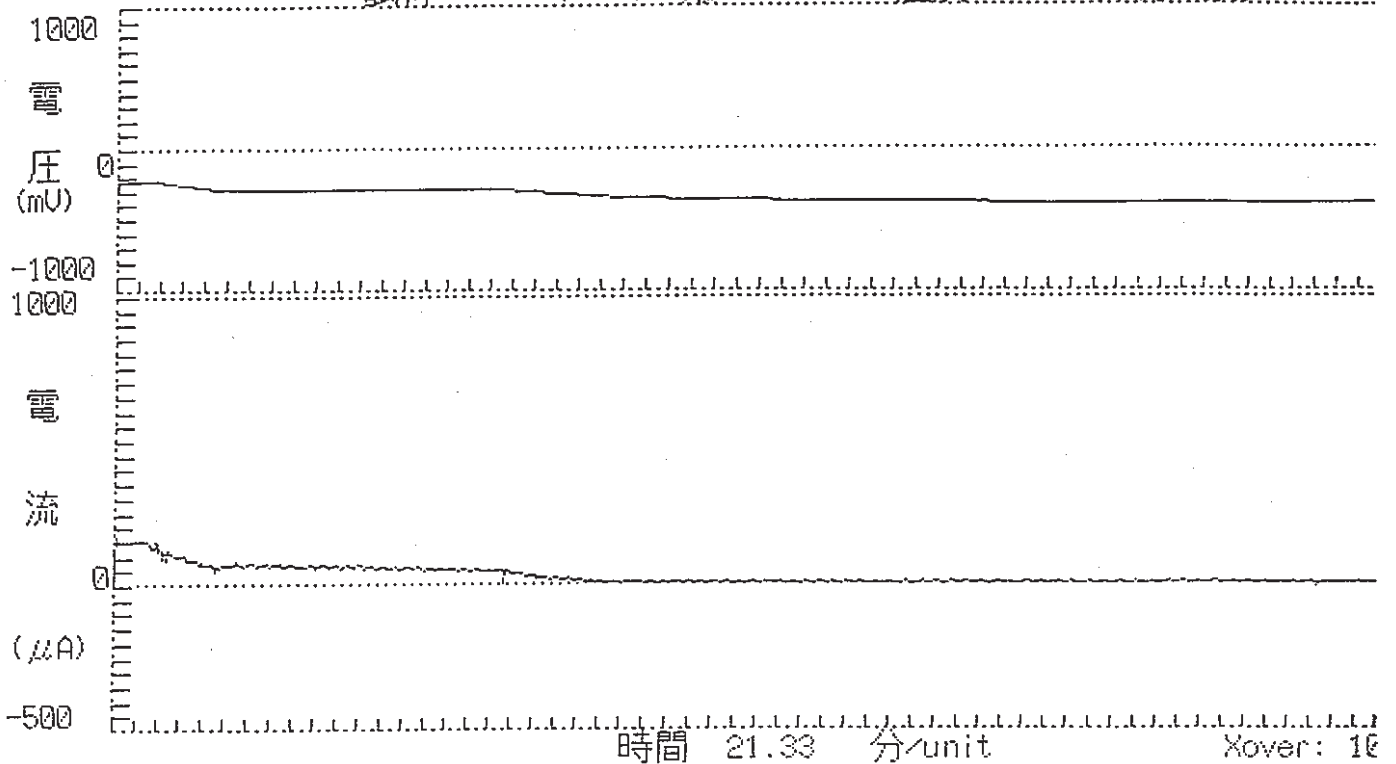
|                     |
|---------------------|
| 試験番号                |
| Cl <sup>-</sup> -26 |

E<sub>r</sub> 電位: -395 mV  
自然電位: -283 mV

【ER 測定】

日付: 95/02  
開始時刻: 10:10  
終了時刻: 07:06

試料: No. 11 液: 1%NaCl 温度: 100°C



PHASE II START POTENTIAL: -236 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -289 mV  
ER 電位 : -395 mV

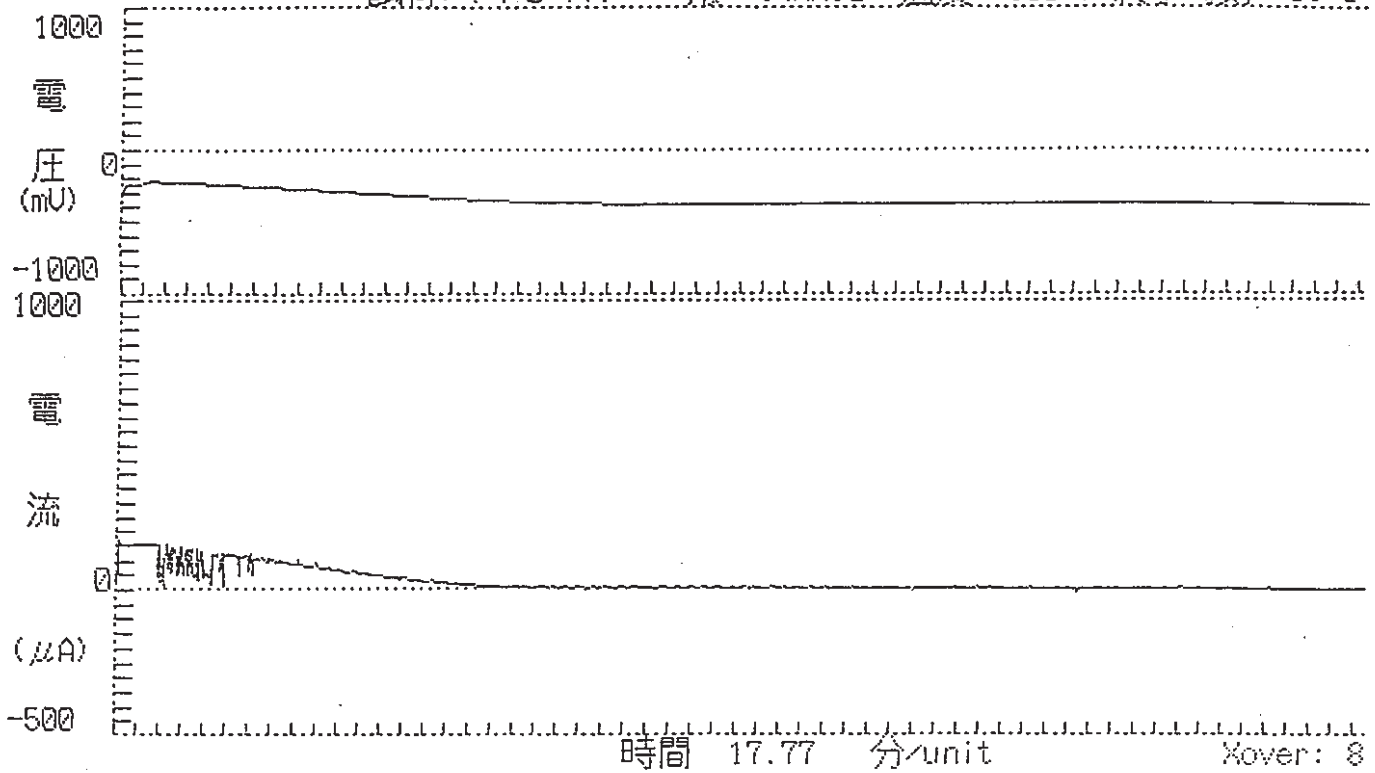
|                     |
|---------------------|
| 試験番号                |
| Cl <sup>-</sup> -27 |

E<sub>r</sub> 電位: -383 mV  
自然電位: -317 mV

【ER 測定】

日付: 95/02  
開始時刻: 09:30  
終了時刻: 03:04

試料: No. 10 液: 1%NaCl 温度: 100°C



PHASE II START POTENTIAL: -264 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -220 mV  
ER 電位 : -383 mV

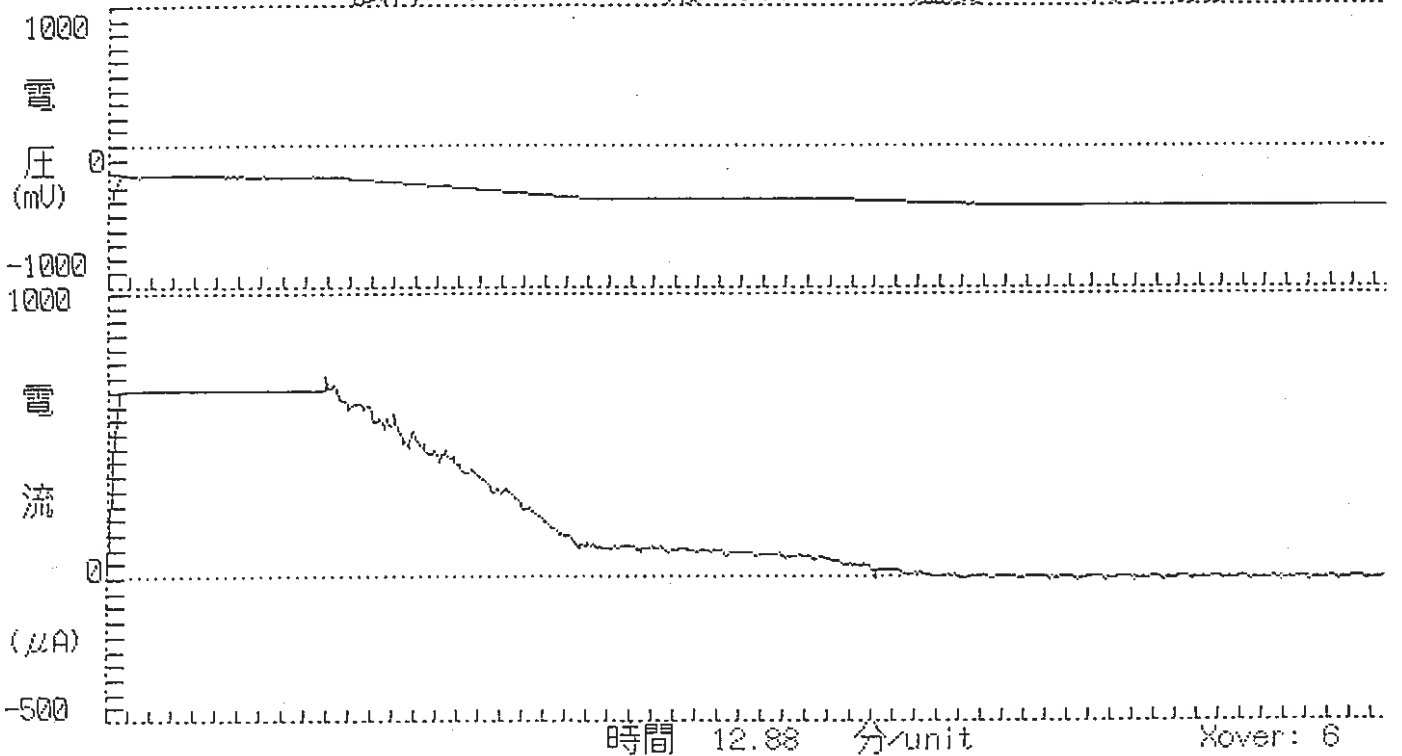
|                     |
|---------------------|
| 試験番号                |
| Cl <sup>-</sup> -29 |

E<sub>r</sub> 電位: -427 mV  
自然電位: -400 mV

【ER 測定】

日付: 95/02/06  
開始時刻: 17:21:30  
終了時刻: 05:58:05

試料: Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 液: 10% NaCl 温度: 100°



PHASE II START POTENTIAL: -229 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -372 mV  
ER 電位 : -427 mV

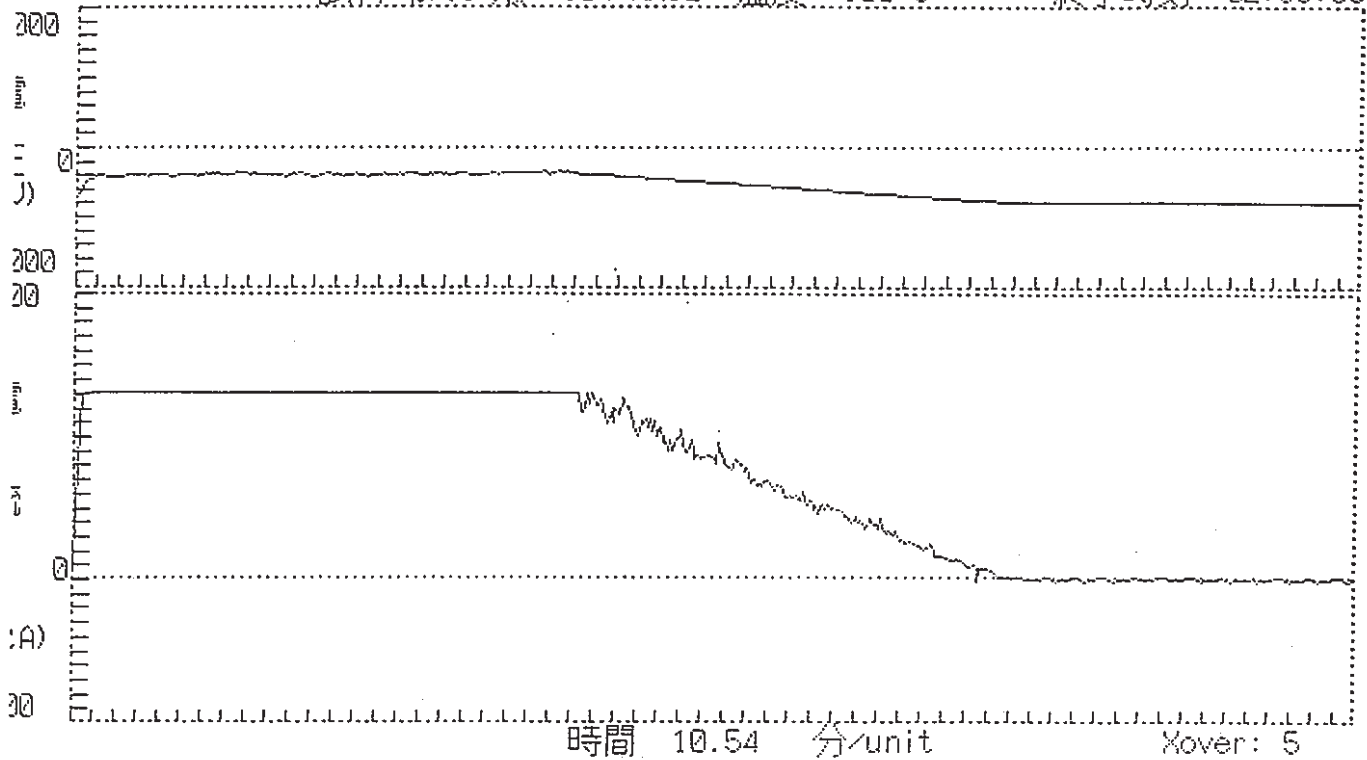
|       |
|-------|
| 試験番号  |
| CI-31 |

r 電位: -395 mV  
燃 電位: -358 mV

【ER 測定】

日付: 95/02/08  
開始時刻: 16:38:32  
終了時刻: 02:56:35

試料: No. 6 液: 10% NaCl 温度: 100°C



PHASE II START POTENTIAL: -239 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -356 mV  
ER 電位 : -395 mV

試験番号

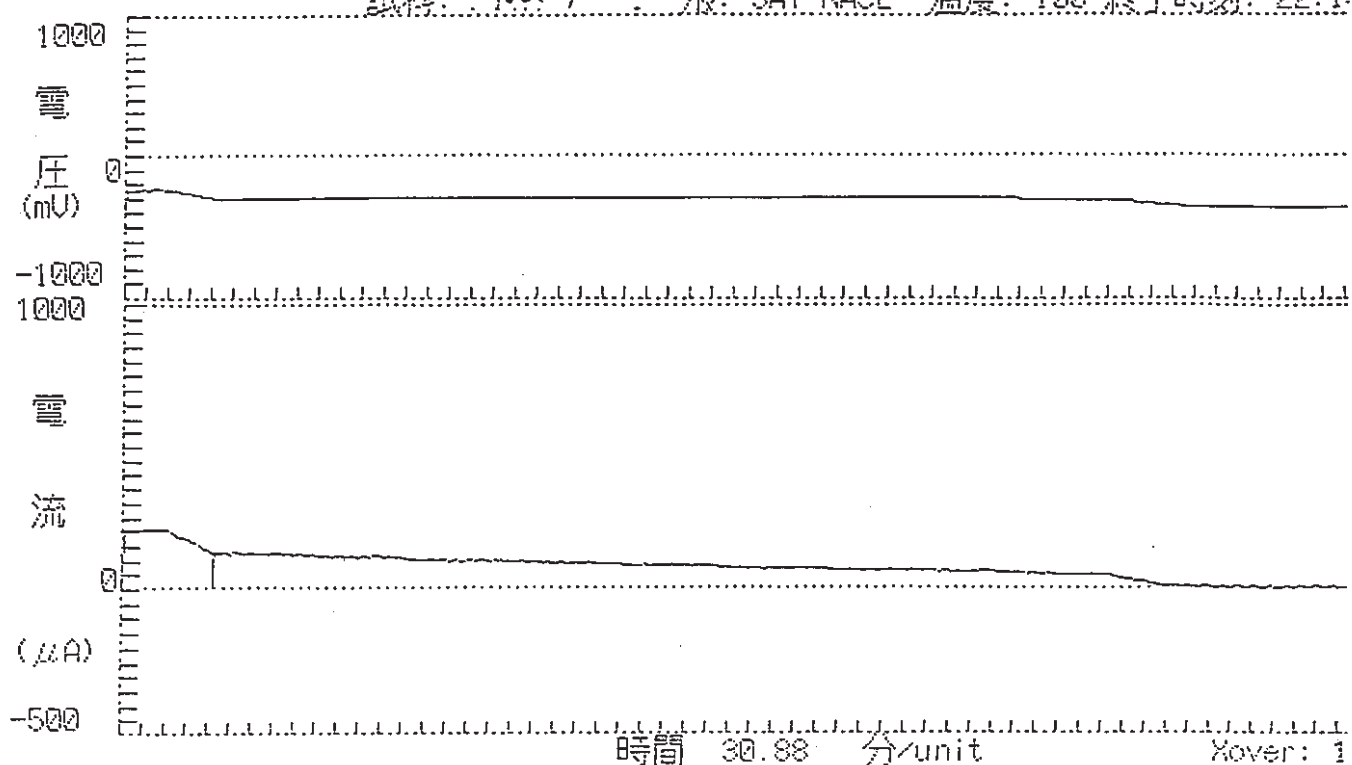
CI-33

Er 電位: -370 mV  
 自然電位: -352 mV

【ER 測定】

試料: No. 4 液: SAT NaCl 温度: 100°

日付: 95/0  
 開始時刻: 15:5  
 終了時刻: 22:1



PHASE II START POTENTIAL: -271 mV  
 PHASE IV START POTENTIAL: -300 mV  
 ER 電位 : -370 mV

試験番号

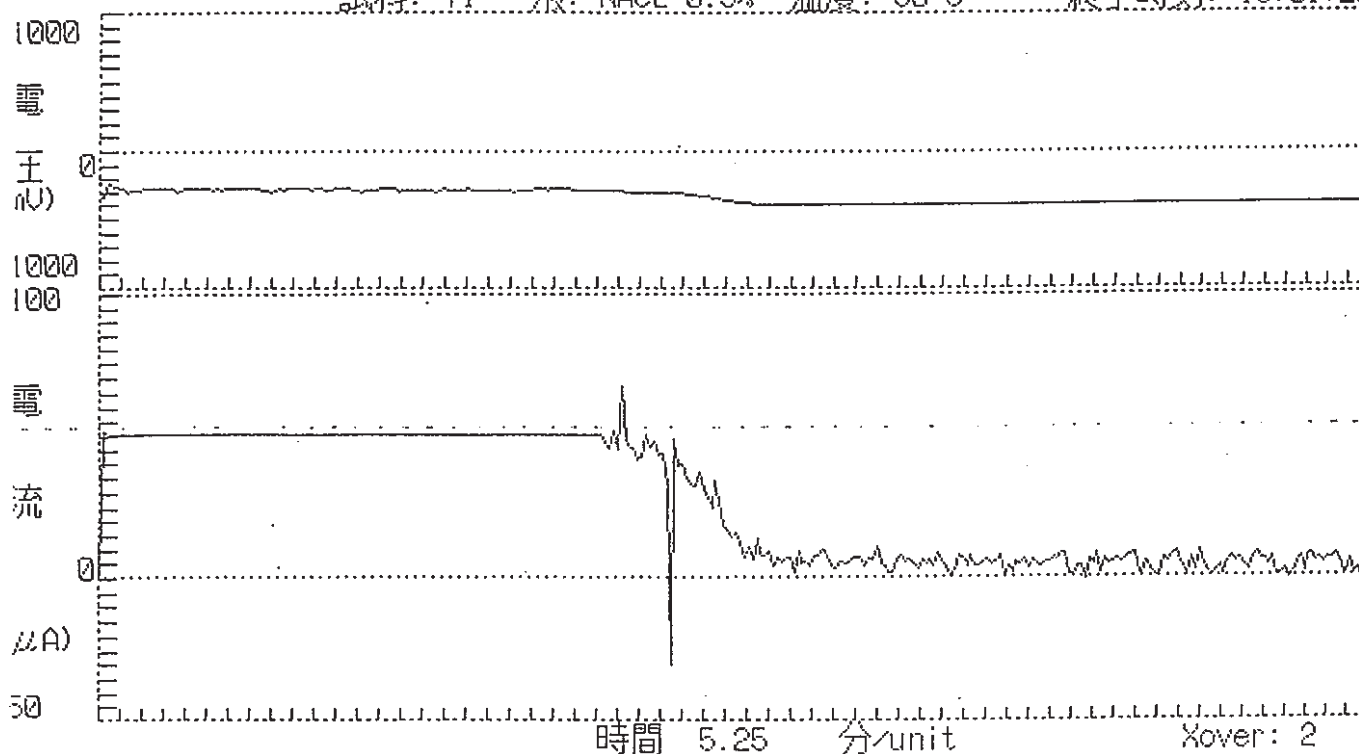
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-1

平衡電位: -399 mV  
自然電位: -344 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/02  
開始時刻: 13:55:25  
終了時刻: 19:01:20

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -329 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -293 mV  
ER 電位 : -399 mV

試験番号

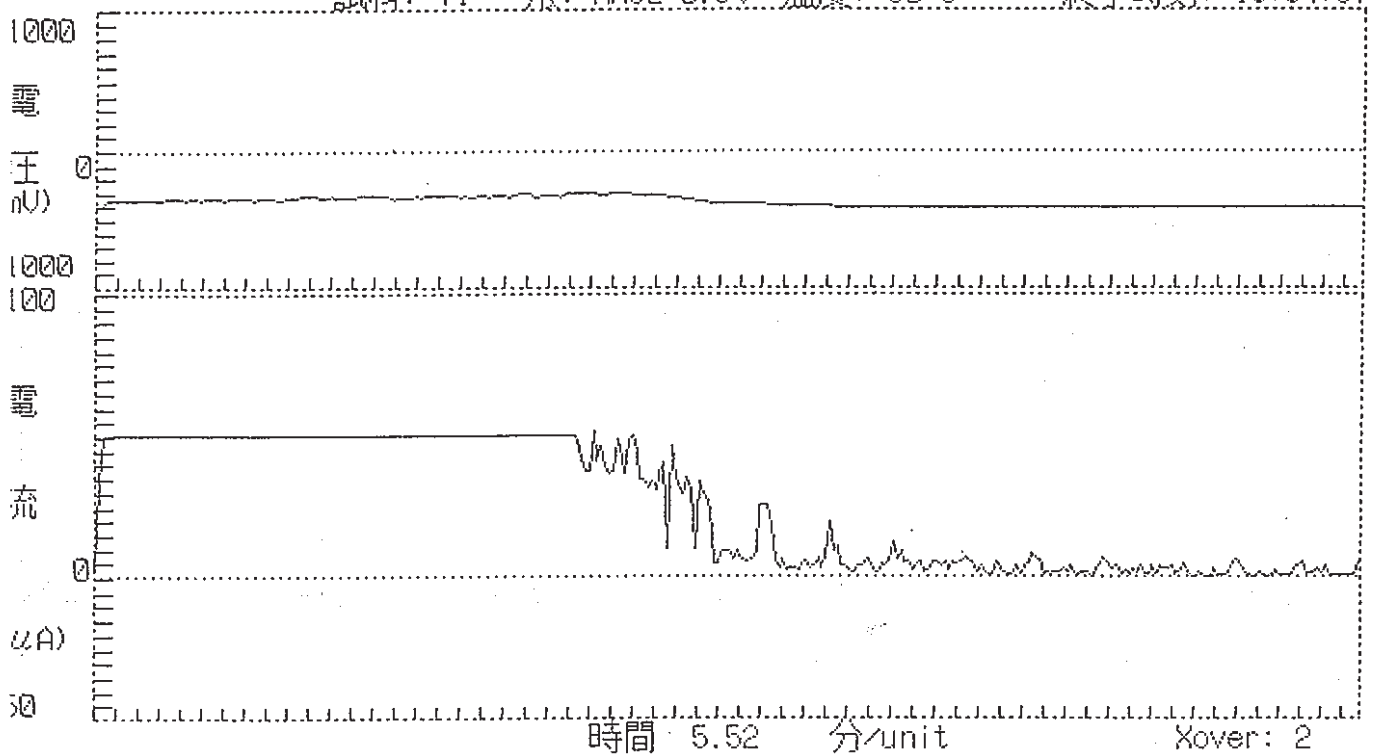
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-2

Ir 電位: -415 mV  
自然電位: -417 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/07  
開始時刻: 13:12:53  
終了時刻: 18:34:57

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -363 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -305 mV  
ER 電位 : -415 mV

試験番号

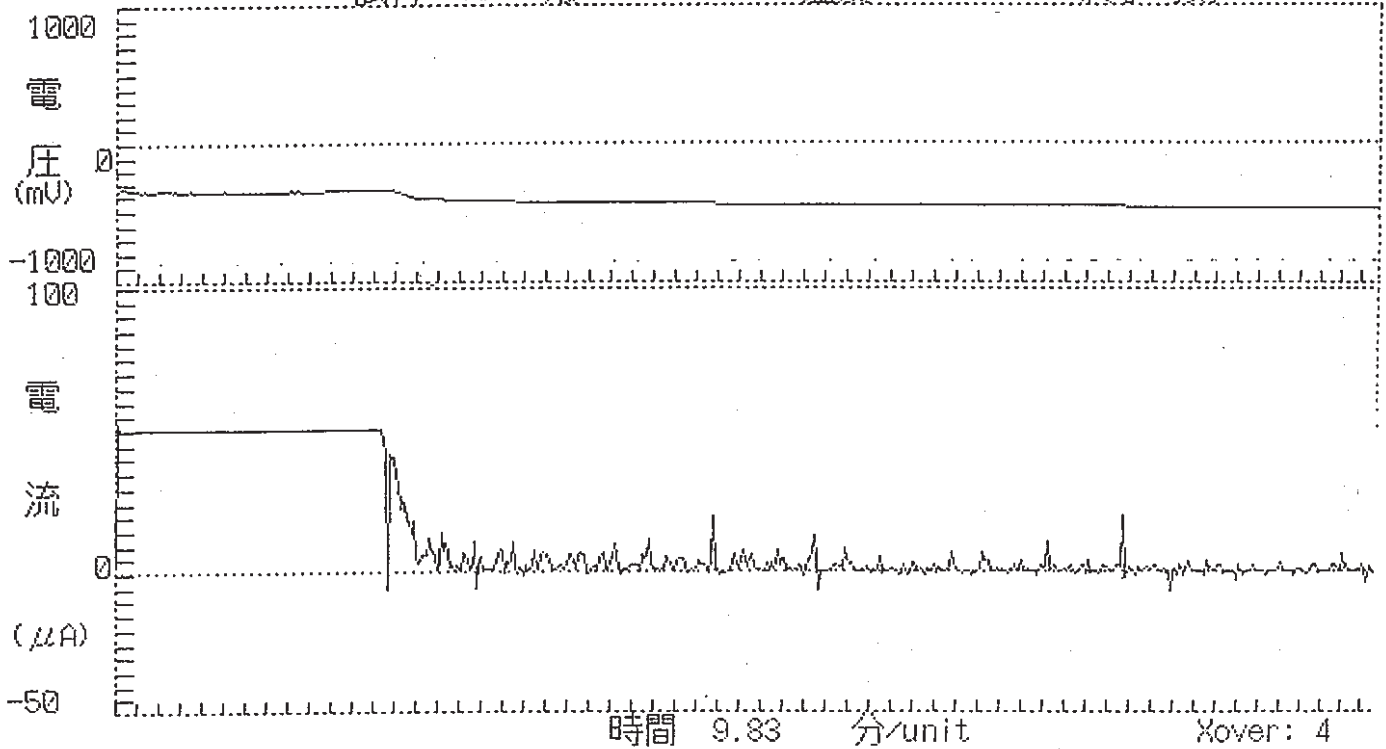
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-3

E<sub>r</sub> 電位: -464 mV  
自然電位: -358 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/08  
開始時刻: 11:40:10  
終了時刻: 21:16:09

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -343 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -348 mV  
ER 電位 : -464 mV



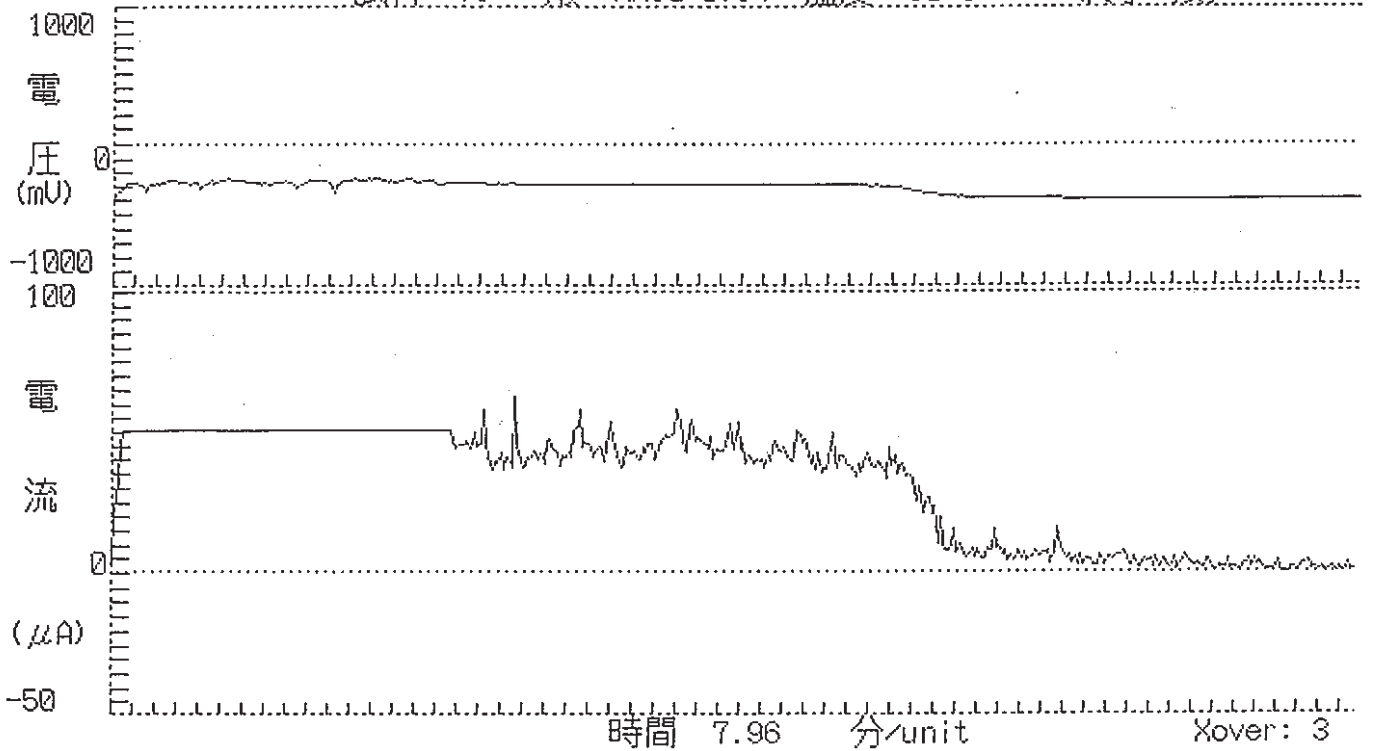
|                                  |
|----------------------------------|
| 試験番号                             |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -4 |

Er 電位: -392 mV  
自然電位: -384 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/1  
開始時刻: 17:48:1  
終了時刻: 01:33:3

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -296 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -276 mV  
ER 電位 : -392 mV

試験番号

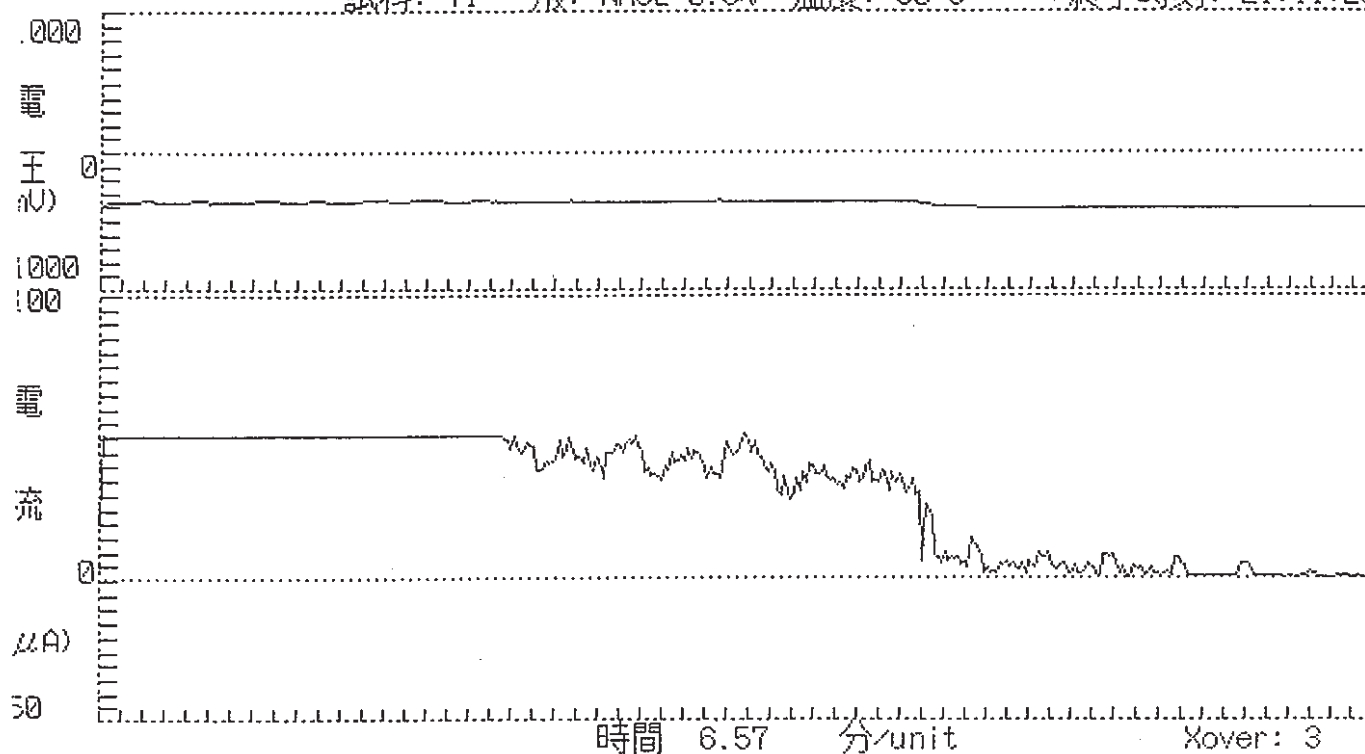
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-5

r 電位: -408 mV  
自然電位: -402 mV

【ER 測定】

日付: 96/01/26  
開始時刻: 14:47:42  
終了時刻: 21:11:29

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -386 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -357 mV  
ER 電位 : -408 mV

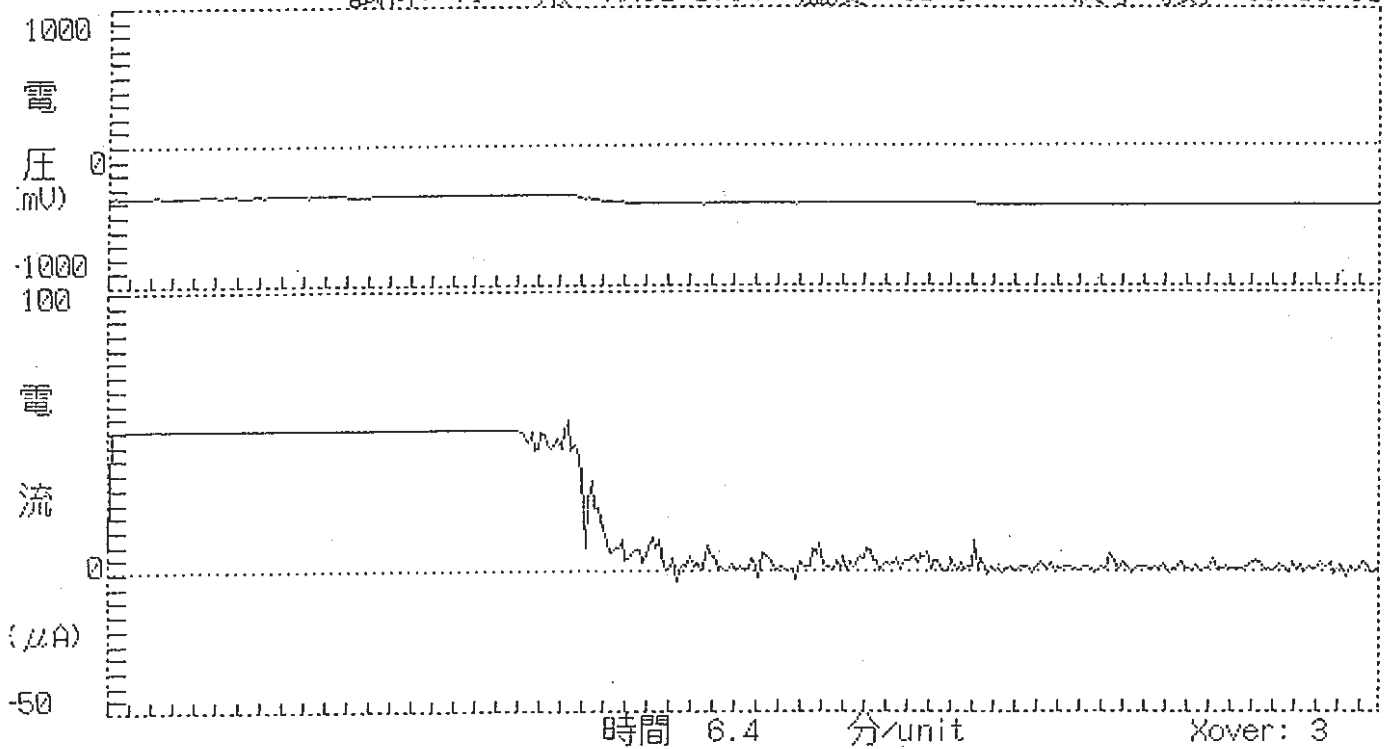
|                                  |
|----------------------------------|
| 試験番号                             |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -6 |

ER 電位: -421 mV  
自然電位: -382 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/01  
開始時刻: 11:47:04  
終了時刻: 18:01:50

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -361 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -351 mV  
ER 電位 : -421 mV

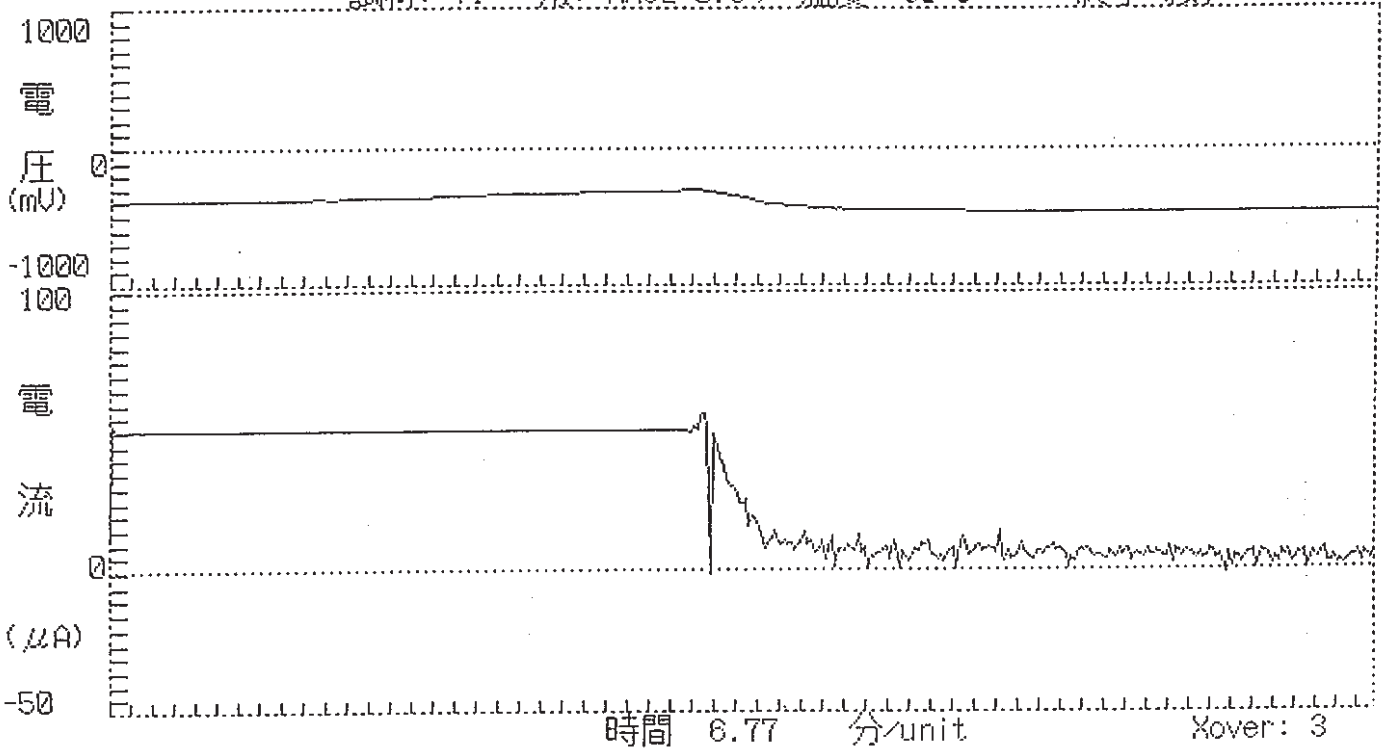
|                                  |
|----------------------------------|
| 試験番号                             |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -7 |

Er 電位: -472 mV  
自然電位: -392 mV

【ER 測定】

日付: 96/01/24  
開始時刻: 11:42:51  
終了時刻: 18:18:26

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -384 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -306 mV  
ER 電位 : -472 mV

試験番号

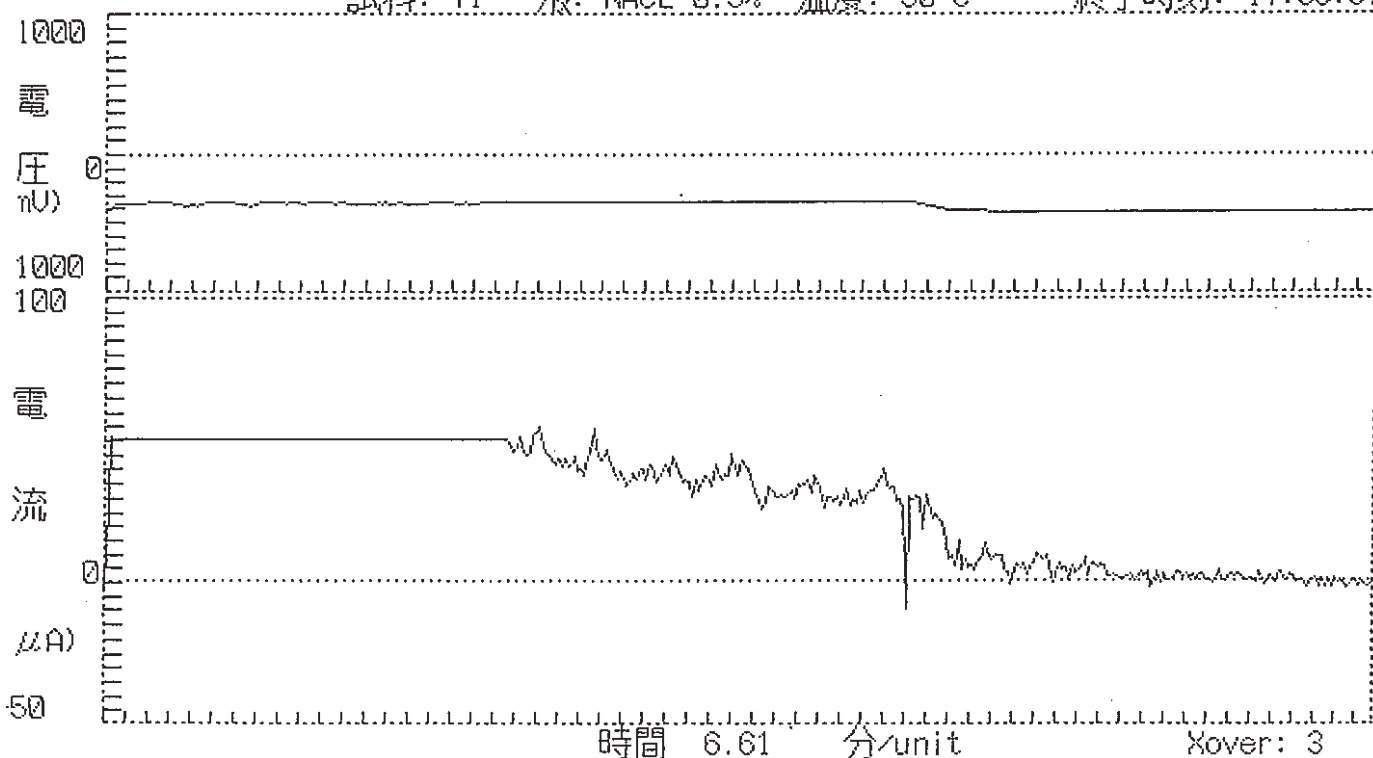
HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-8

ER 電位: -421 mV  
自然電位: -432 mV

【ER 測定】

日付: 96/01/25  
開始時刻: 11:30:09  
終了時刻: 17:56:37

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -376 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -346 mV  
ER 電位 : -421 mV

試験番号

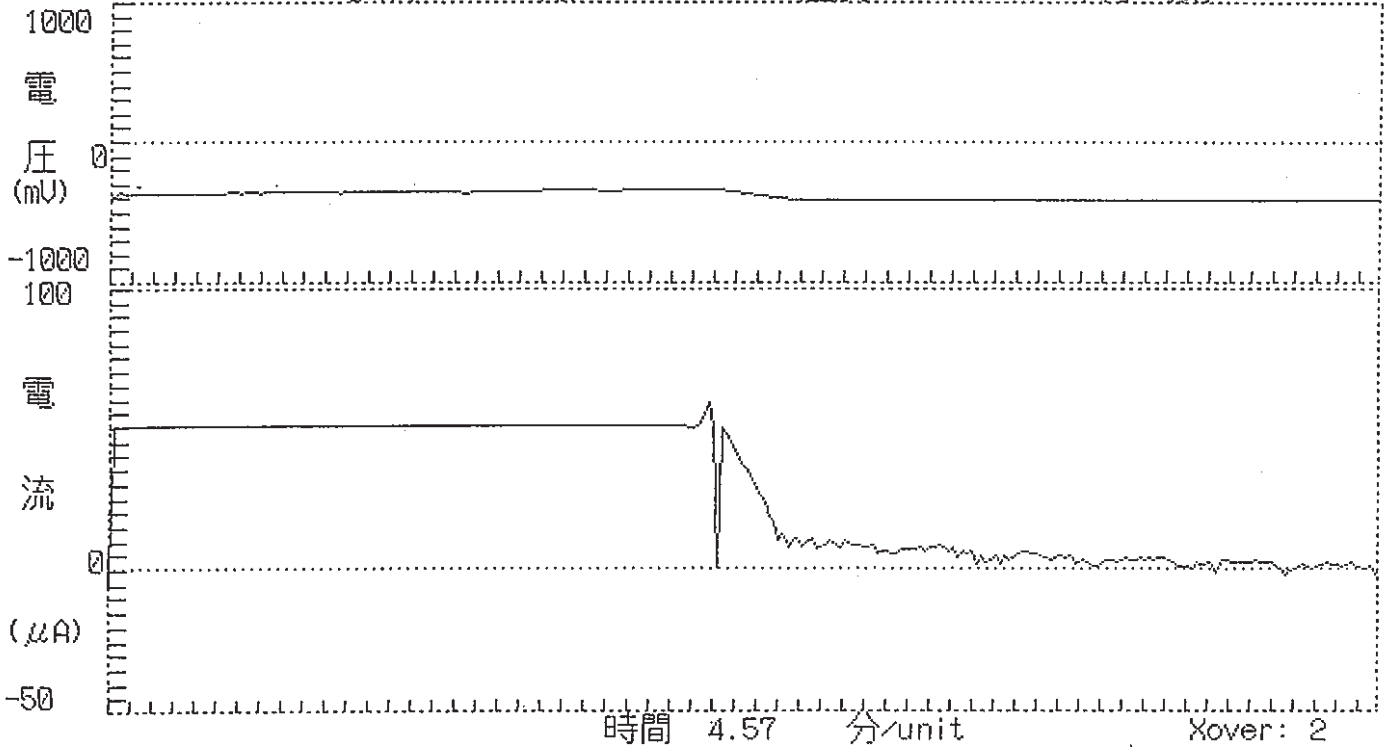
S0.2<sup>-1</sup>

E<sub>r</sub> 電位: -415 mV  
自然電位: -396 mV

【ER 測定】

日付: 96/03/12  
開始時刻: 14:09:53  
終了時刻: 18:36:13

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -378 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -334 mV  
ER 電位 : -415 mV

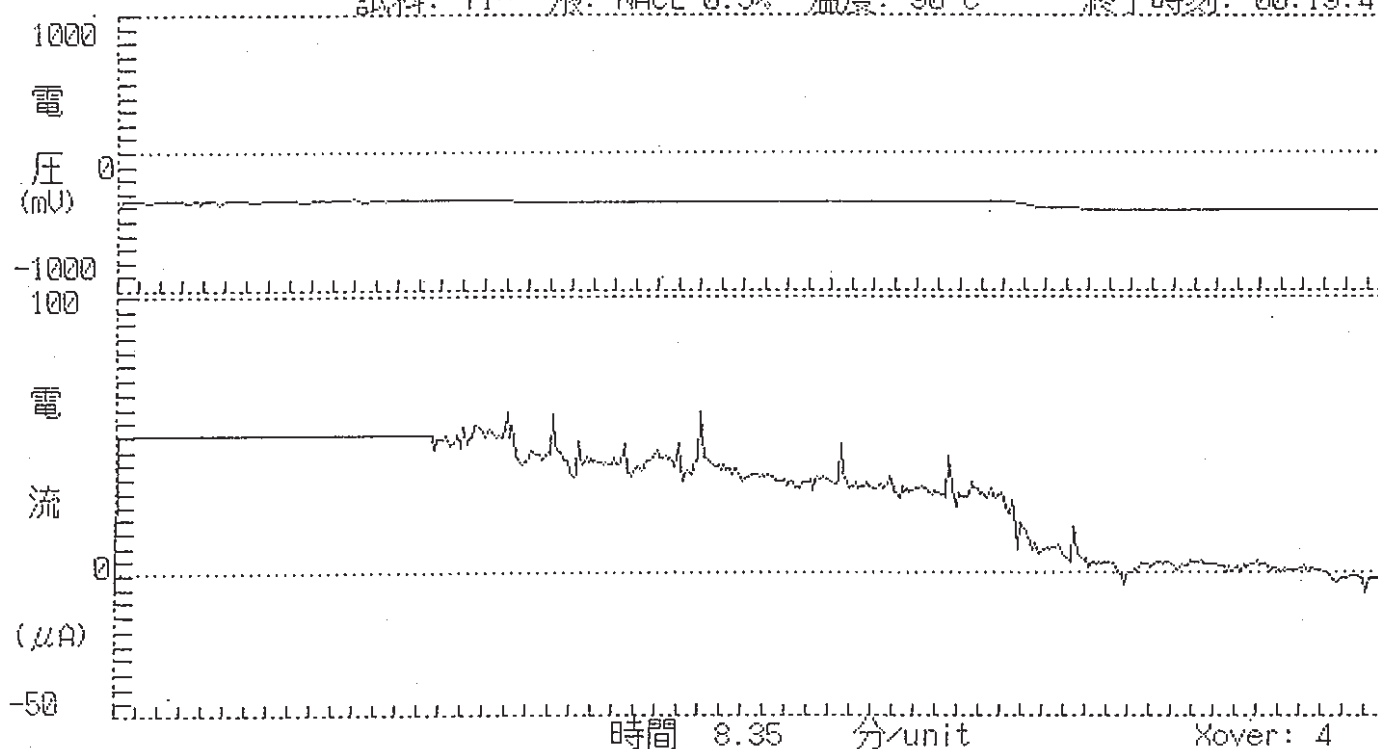
|          |
|----------|
| 試驗番号     |
| S0, 2--2 |

Er 電位: -420 mV  
自然電位: -412 mV

【ER 測定】

日付: 96/03/11  
開始時刻: 16:10:20  
終了時刻: 00:19:40

試料: TI- 液: NAACL-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -386 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -350 mV  
ER 電位 : -420 mV

試験番号

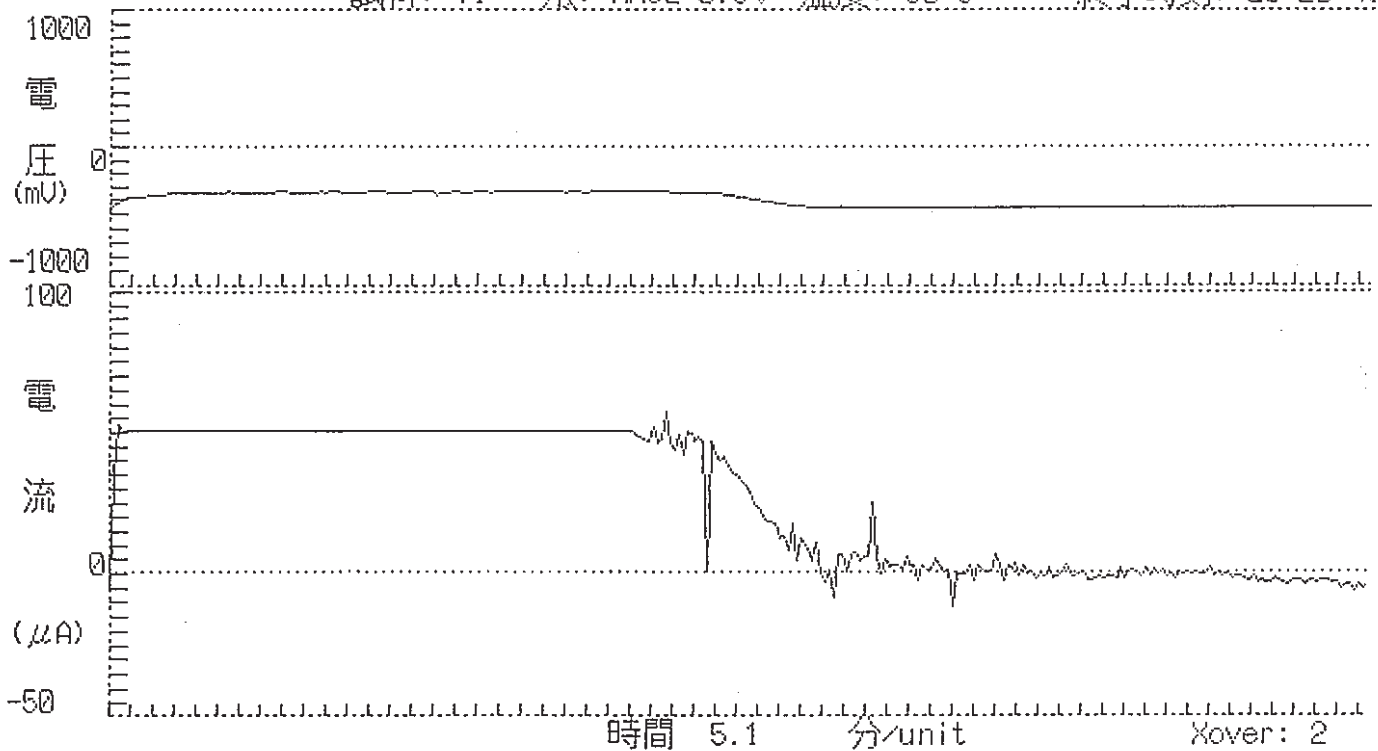
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-3

Er 電位: -458 mV  
自然電位: -454 mV

【ER 測定】

日付: 96/03/06  
開始時刻: 15:24:14  
終了時刻: 20:20:46

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -423 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -338 mV  
ER 電位 : -458 mV



試験番号

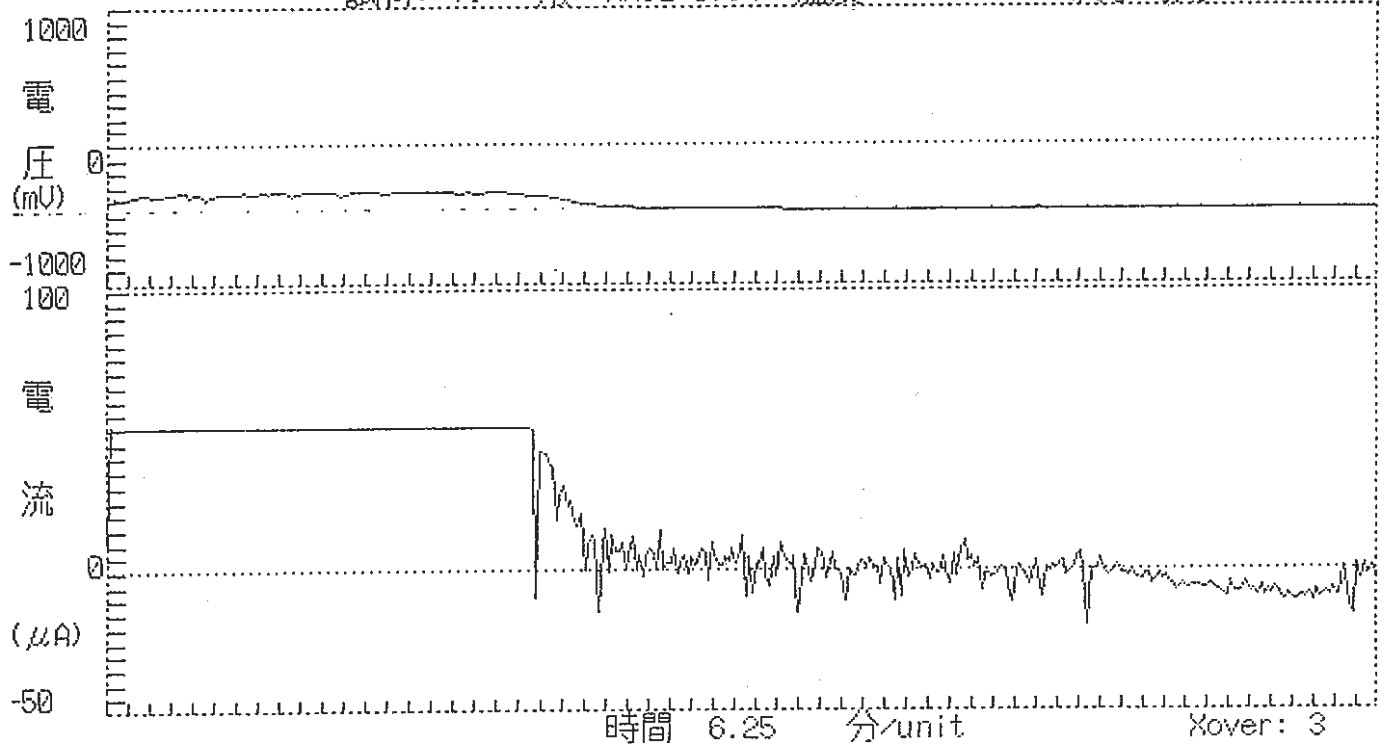
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-4

E<sub>r</sub> 電位: -470 mV  
自然電位: -408 mV

【ER 測定】

日付: 96/03/07  
開始時刻: 15:42:37  
終了時刻: 21:48:28

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -390 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -359 mV  
ER 電位 : -470 mV

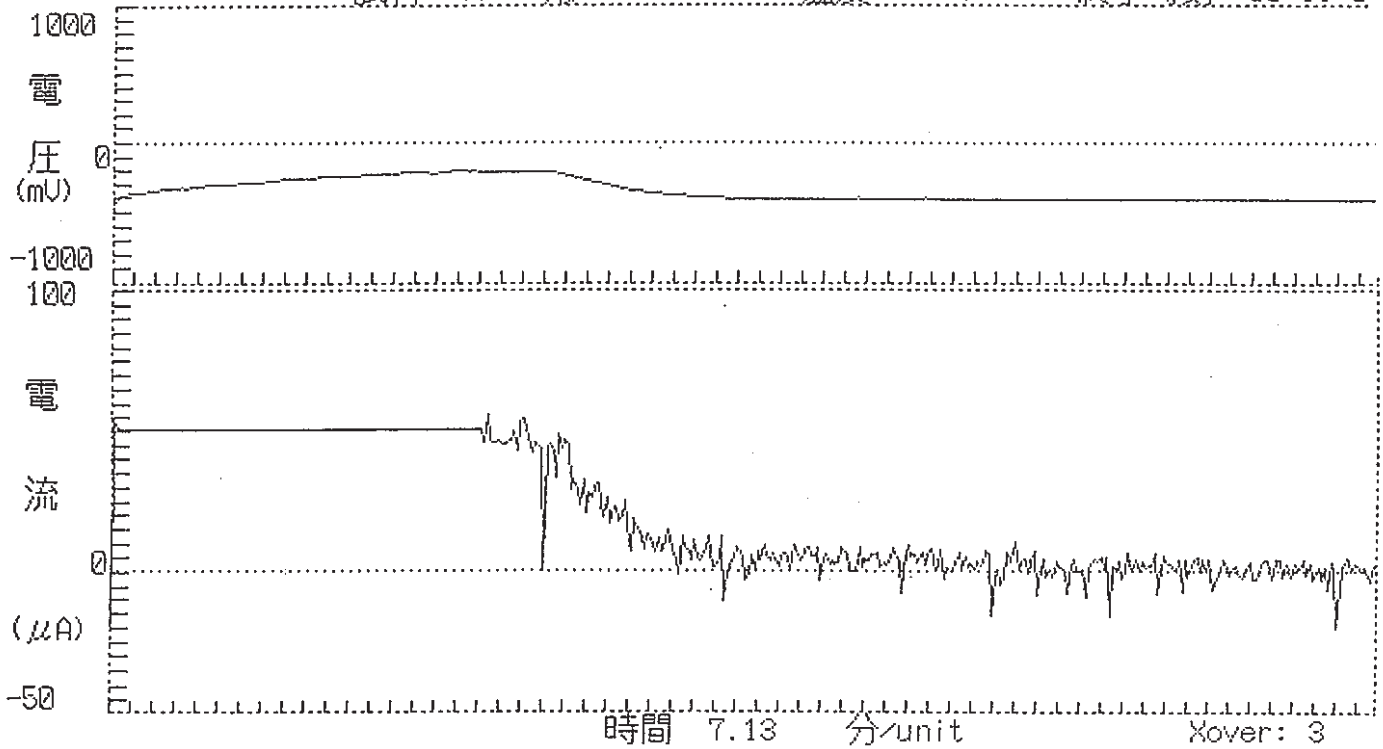
|                                  |
|----------------------------------|
| 試験番号                             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -5 |

Er 電位: -407 mV  
自然電位: -436 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/2  
開始時刻: 17:21:3  
終了時刻: 00:19:0

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -417 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -206 mV  
ER 電位 : -407 mV

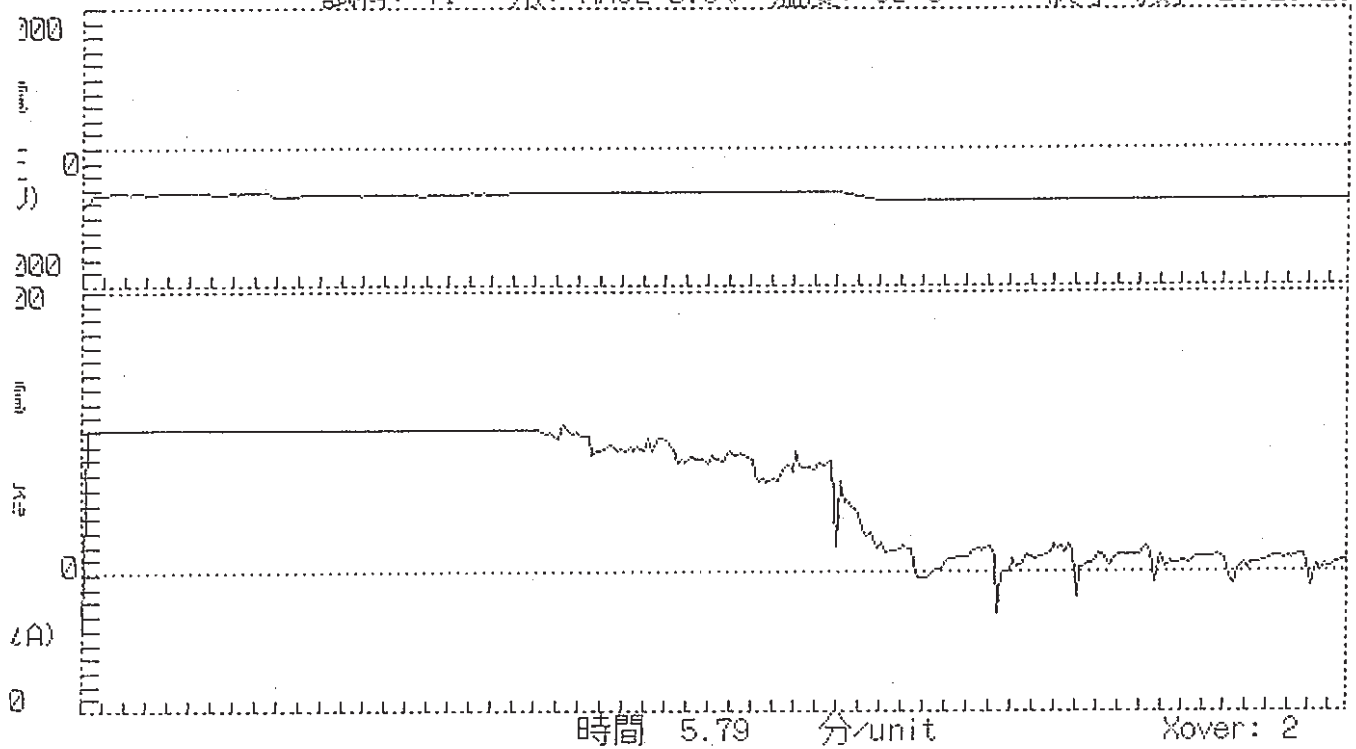
|                                  |
|----------------------------------|
| 試験番号                             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -6 |

r 電位: -382 mV  
然電位: -418 mV

【ER 測定】

日付: 96/03/01  
開始時刻: 15:51:25  
終了時刻: 21:29:29

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -382 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -322 mV  
ER 電位 : -382 mV

試験番号

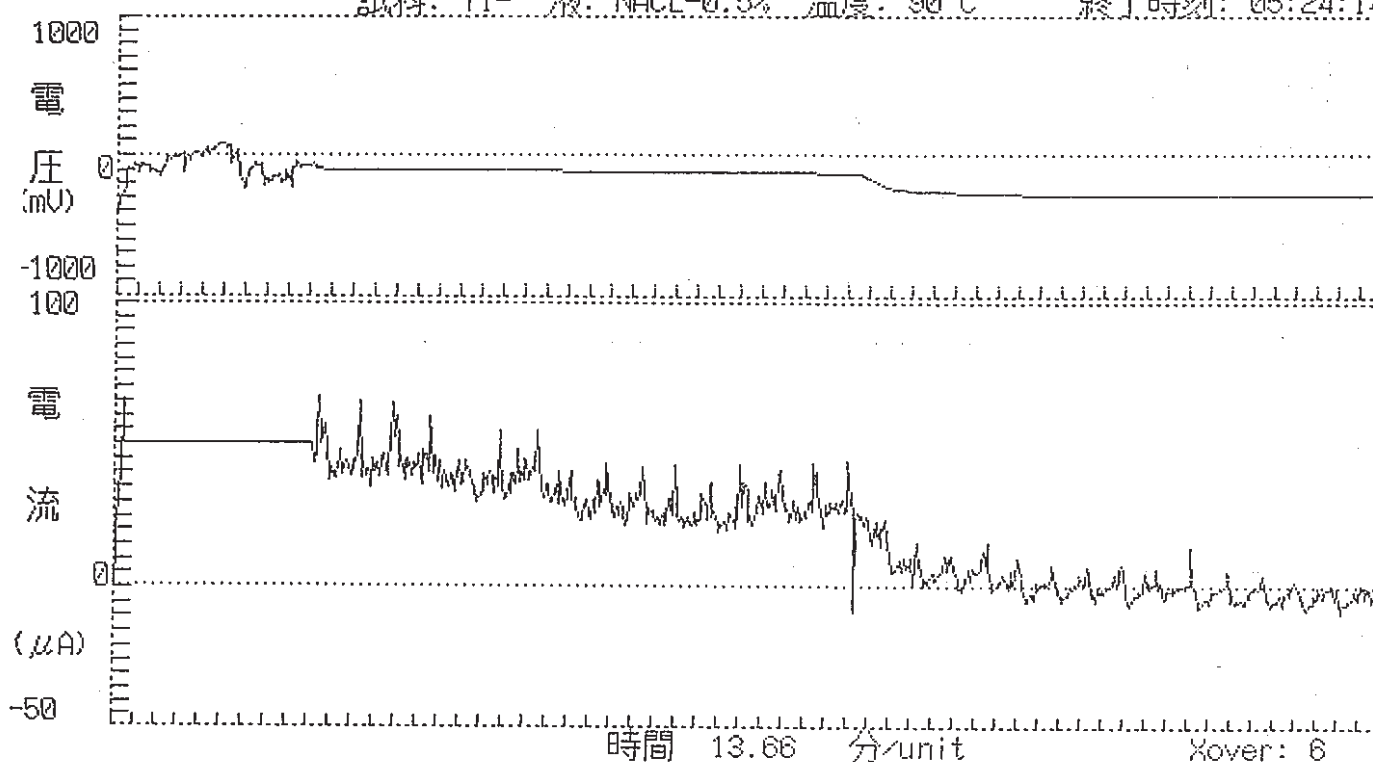
S04<sup>2-</sup>-7

Er 電位: -290 mV  
自然電位: -373 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/16  
開始時刻: 16:02:23  
終了時刻: 05:24:14

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



時間 13.66 分/unit Xover: 6  
PHASE II START POTENTIAL: -241 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -89.6 mV  
ER 電位 : -290 mV

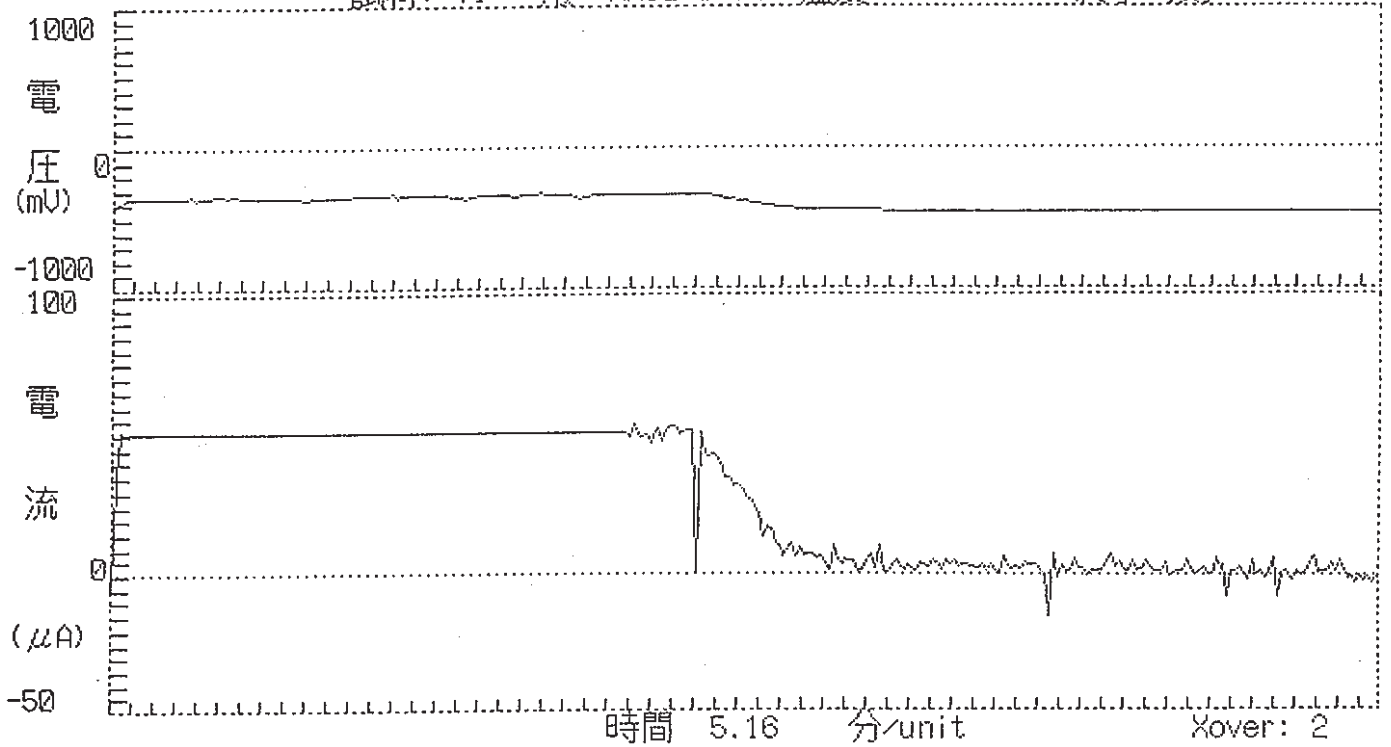
|                                  |
|----------------------------------|
| 試験番号                             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -8 |

Er 電位: -450 mV  
自然電位: -410 mV

【ER 測定】

日付: 96/02/27  
開始時刻: 16:07:23  
終了時刻: 21:08:11

試料: TI- 液: NaCl-0.5% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -376 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -329 mV  
ER 電位 : -450 mV

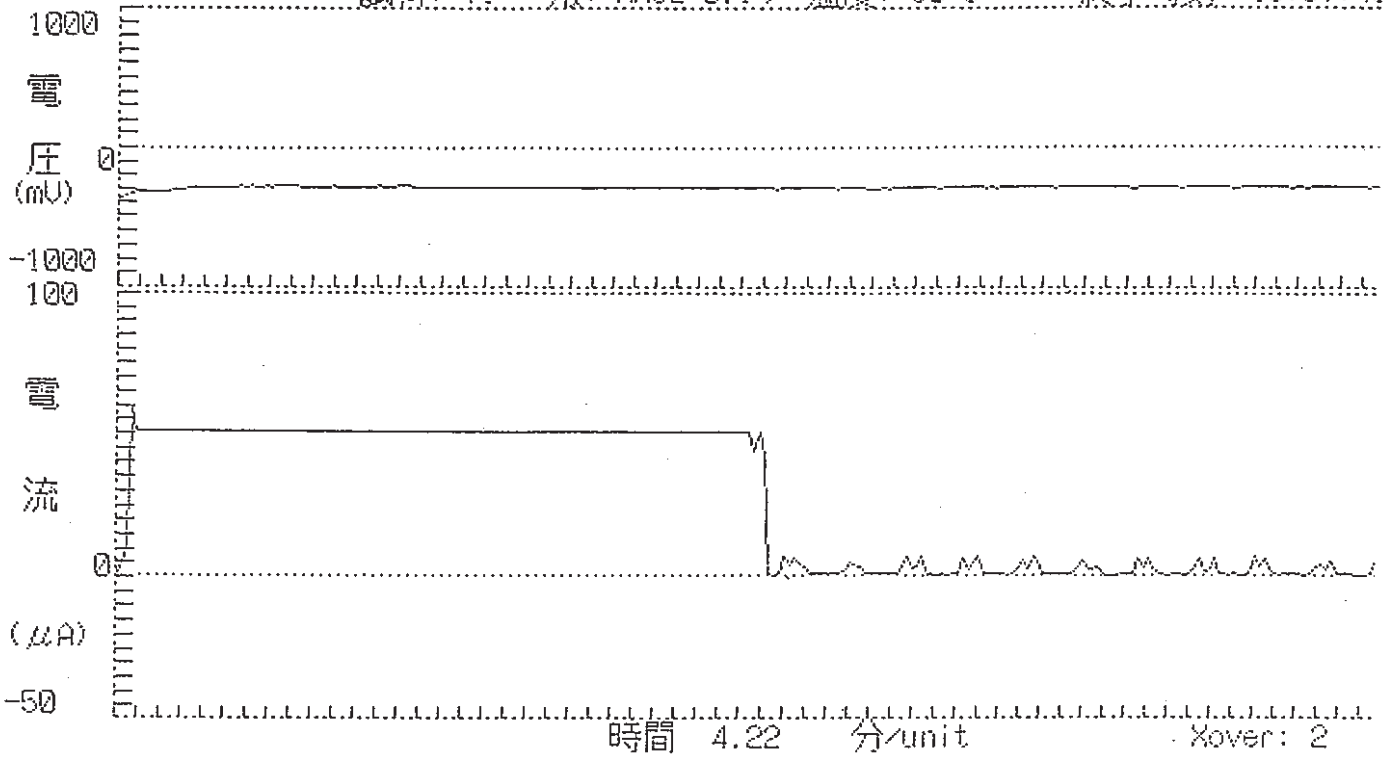
|      |
|------|
| 試験番号 |
| pH-1 |

Er 電位: -294 mV  
自然電位: -387 mV

【ER 測定】

日付: 95/11/16  
開始時刻: 11:53:29  
終了時刻: 15:57:49

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -326 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -283 mV  
ER 電位 : -294 mV

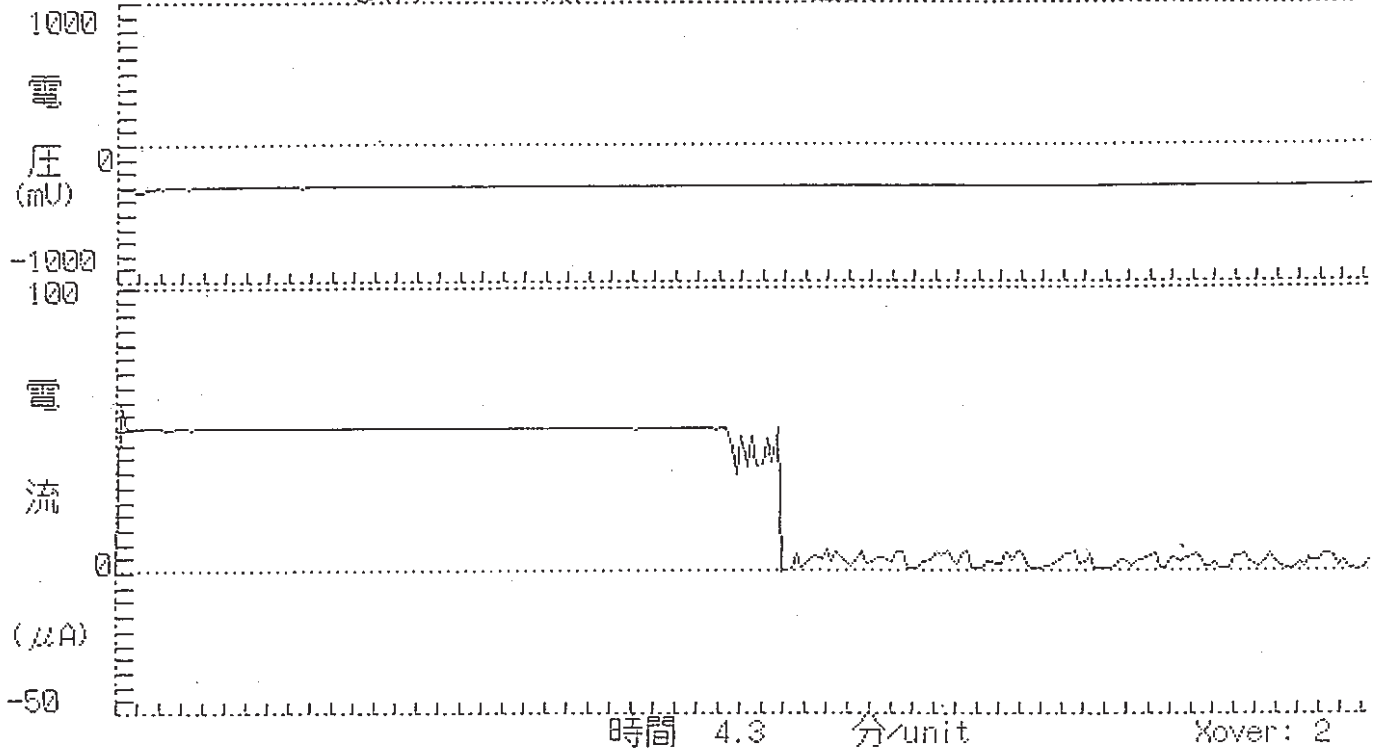
|      |
|------|
| 試験番号 |
| pH-2 |

Er 電位: -303 mV  
自然電位: -330 mV

【ER 測定】

日付: 95/11/0  
開始時刻: 14:57:3  
終了時刻: 19:07:4

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -311 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -298 mV  
ER 電位 : -303 mV

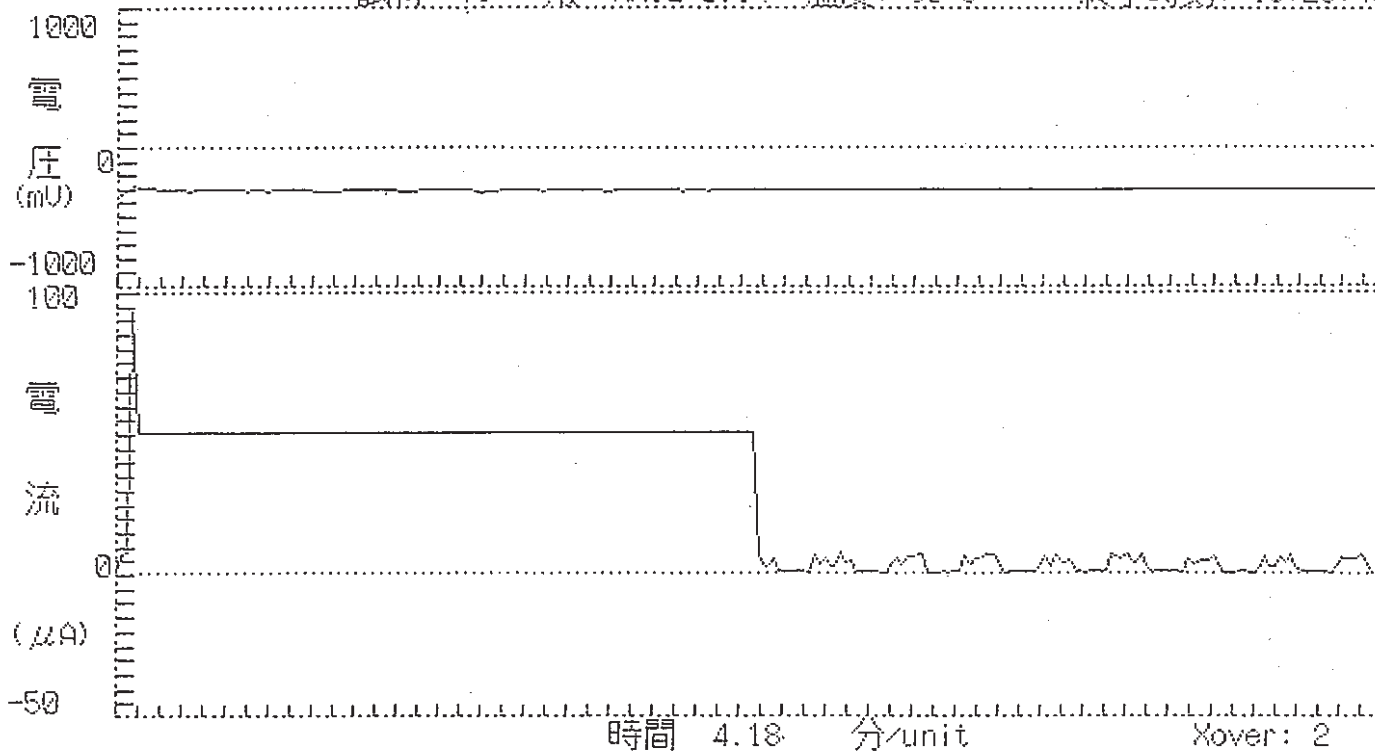
|      |
|------|
| 試驗番号 |
| pH-3 |

Er 電位: -300 mV  
自然電位: -355 mV

【ER 測定】

已付: 95/11/18  
開始時刻: 15:20:11  
終了時刻: 19:23:48

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 溫度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -269 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -302 mV  
ER 電位 : -300 mV



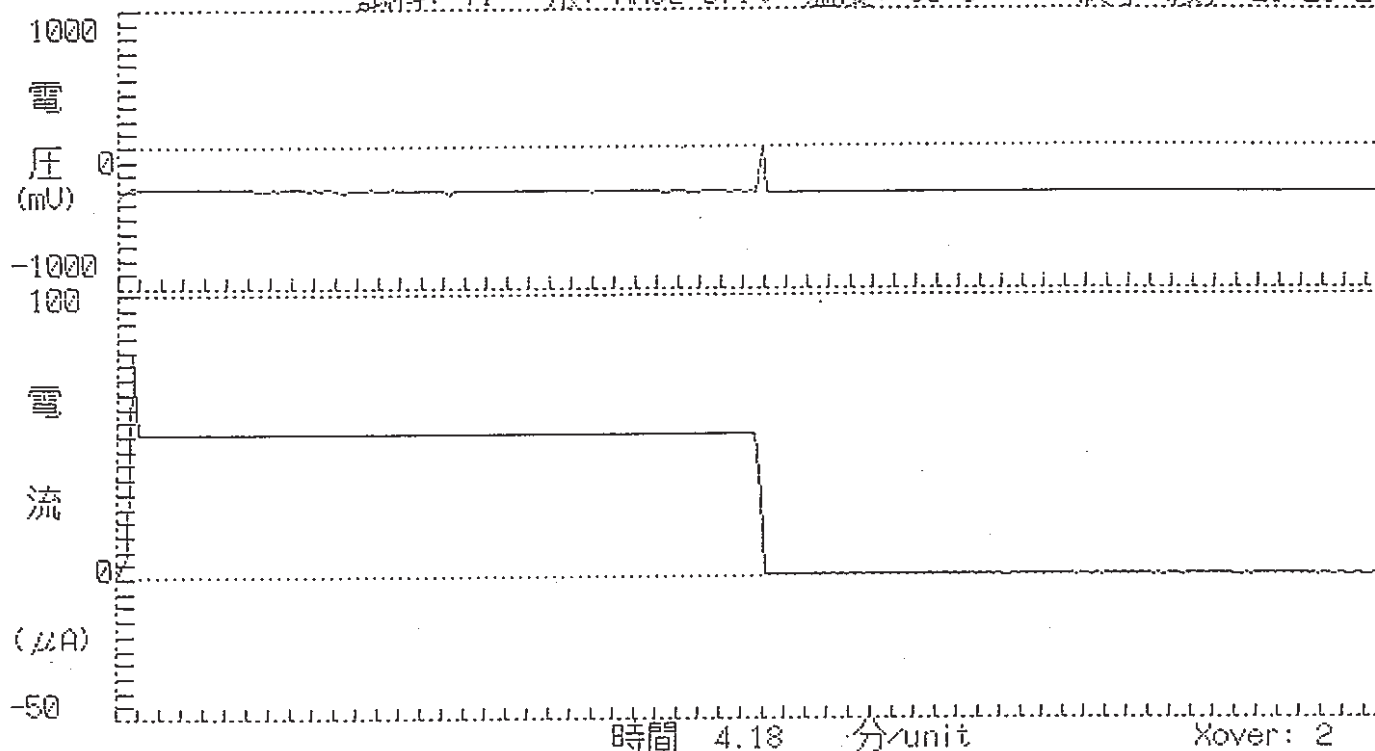
|      |
|------|
| 試験番号 |
| pH-4 |

E<sub>r</sub> 電位: -317 mV  
自然電位: -347 mV

【ER 測定】

日付: 95/11/1  
開始時刻: 17:23:11  
終了時刻: 21:26:21

試料: II- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -270 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: 0 mV  
ER 電位 : -317 mV

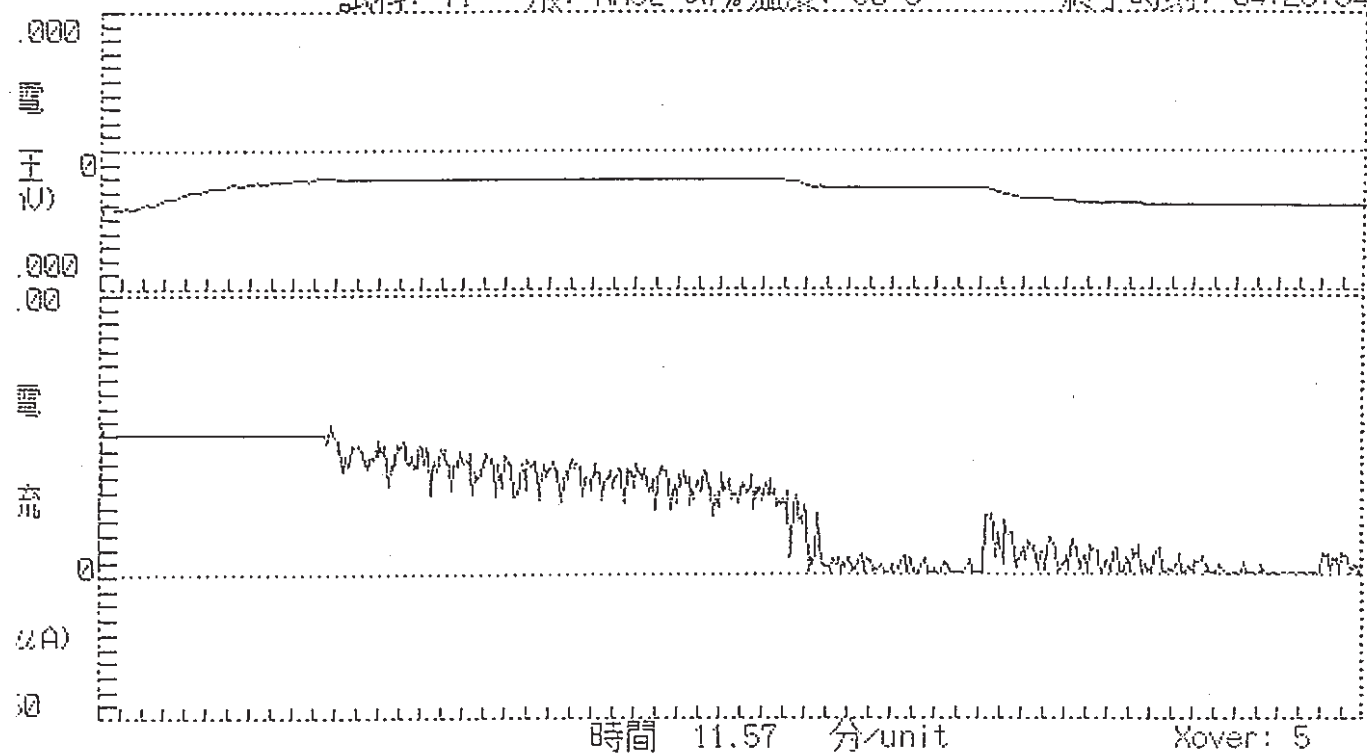
|      |
|------|
| 試験番号 |
| pH-5 |

r 電位: -391 mV  
燃電位: -465 mV

【ER 測定】

日付: 95/11/02  
開始時刻: 17:09:24  
終了時刻: 04:28:34

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -438 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -196 mV  
ER 電位 : -391 mV

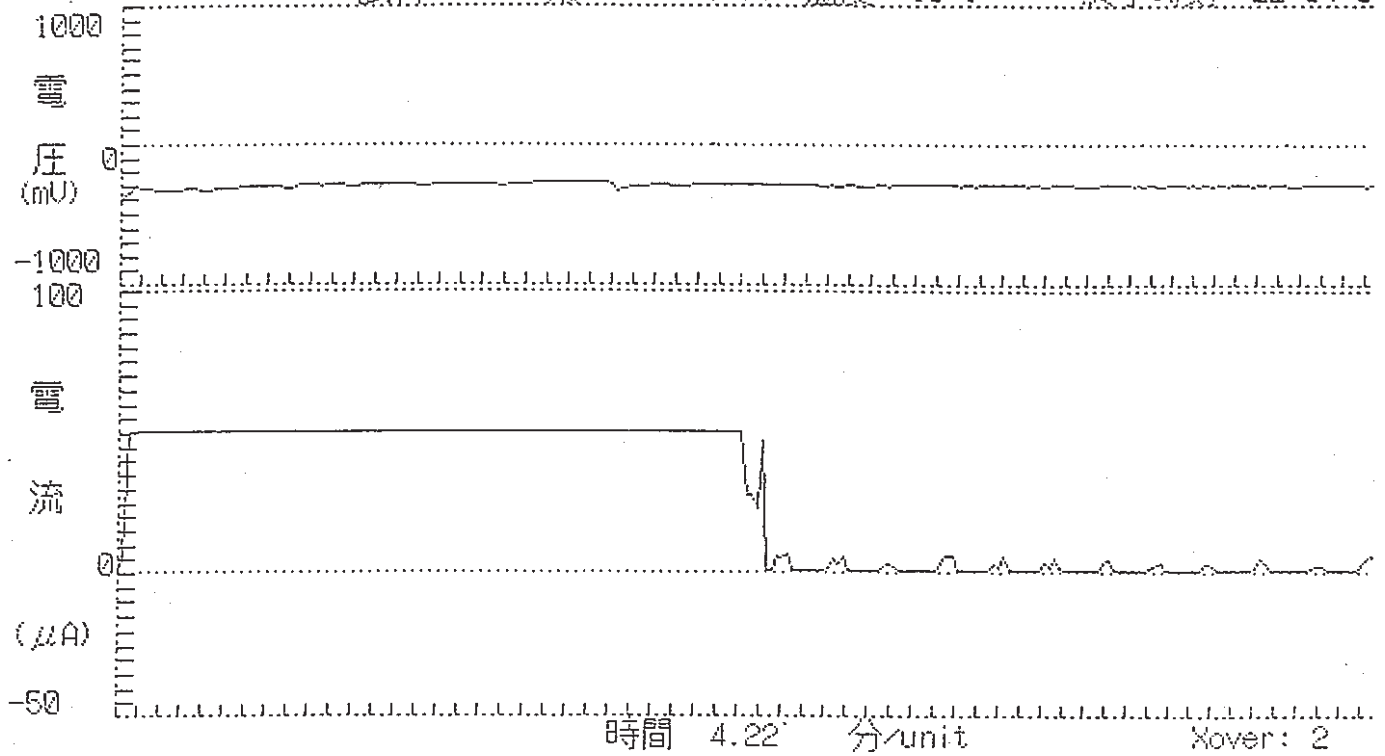
|      |
|------|
| 試驗番号 |
| pH-6 |

Er 電位: -296 mV  
自然電位: -391 mV

【ER 測定】

日付: 95/11/1  
開始時刻: 17:58:5  
終了時刻: 22:04:0

試料: TI- 液: NaCl-0.1% 温度: 90°C



PHASE II START POTENTIAL: -340 mV  
PHASE IV START POTENTIAL: -290 mV  
ER 電位 : -296 mV