

二酸化塩素水によるRO膜および透析液供給システムの消毒に関する基礎的検討

松金 隆夫* 笠井 庸三**

* 帝京短期大学 ライフケア学科

** (株)ウォーターテクノカサイ

要 旨

透析液清浄化対策の一つとして透析液供給システムの消毒管理がある。本邦では次亜塩素酸ナトリウムによる消毒が主流である。二酸化塩素 (ClO_2) は、フリーラジカル的一种で強い酸化力を持つ。その殺菌力は塩素の2.6倍であり、反応速度は塩素の約3倍といわれている。本剤の透析液供給システムの消毒の応用として基礎的検討を行った。大腸菌、黄色ブドウ球菌、サルモネラ、レジオネラ、カンジタ、クロコウジカビ、枯草菌(芽胞)について、 ClO_2 濃度0.3, 1.0, 5.0, 10 ppm、 NaClO 300 ppmおよび緑膿菌 ClO_2 濃度1.0, 5.0, 10.0 ppmでの殺菌試験では大腸菌、黄色ブドウ球菌サルモネラ、レジオネラでは0.3 ppmで1~3分で<10個/ml(検出されず)であった。カンジタでは1.0 ppm、1分で<10個/ml(検出されず)であった。クロコウジカビでは、5 ppm、5分で<10個/ml(検出されず)であった。枯草菌(芽胞)では、10 ppm、30分で約50%減少した。また、緑膿菌では、 ClO_2 濃度1.0 ppm、1分で<10個/ml(検出されず)であった。

ステンレス鋼SUS304、SUS316での金属溶出試験では、 ClO_2 5 ppm、2週間浸漬においてFe、Ni、Crとも定量下限値(mg/Kg)未満であった。ROモジュールの劣化試験では、 ClO_2 総負荷量317 ppm/通水時間1057 hrの濾過において除去率の低下はみられなかった。透析監視装置に用いられる除水ポンプ、入口接手、ポペットバルブ、キャップシール、Oリング、ダイヤフラムに対して ClO_2 濃度10 ppm、0.3 ppm浸漬による腐食試験では、除水ポンプ接手、ポペットバルブ、キャップシール、Oリングでは変形はみられなかった。また、ダイヤフラムでは表面樹脂の剥離および金属部分に錆発生がみられた。また、重量変化では、変化率は-0.01~0.36%であった。個人用透析装置による水洗浄後の残留試験では、8~11 ppm消毒後に対し12時間後では4 ppm程度まで低下し、水洗30分、1時間後および放置30分後では、それぞれ測定限度以下であった。

以上から、低濃度による二酸化塩素消毒は、その有効性が確認され新たな消毒剤の一つとして期待された。

キーワード：二酸化塩素、透析液清浄化、透析液供給システム、RO膜、消毒剤

I 諸言

透析液汚染は、長期維持透析での合併症の誘因の一つとされている。透析液汚染は、透析液中のエンドトキシンのフラグメントや細菌のDNAフラグメントが逆拡散や逆濾過によって透析膜を介して血液中へ流入し、単球を活性化してIL-1、IL-6、IL-8、TNF等のサイトカインを放出する。これらの放出は、発熱等の急性反応や動脈硬化、骨障害、透析アミロイド症、栄養障害など慢性反応として長期維持透析での合併症へとつながる。このことから透析液の清浄化は、維持透析での合併症の発症や進展の抑制に不可欠であり、そのために透析液流路系(構造、還流方式)の改良や透析液供給システムの消毒の充実およびエンドトキシン捕捉フィルターの設置等が構築されている。現在、透析液供給システムの消毒剤としては次亜塩素酸ナトリウムが主流であり、その他過酢酸系、酸性電解水、熱

水、熱水クエン酸等が用いられている。現在、欧米等において水道水等の消毒に使用されている二酸化塩素水は、溶存ガスとして強い酸化力があり、次亜塩素酸ナトリウムと比較して殺菌能力、反応速度が高いことがあげられる。二酸化塩素水は、透析液供給システムの消毒剤として期待されるものである。

II 目的

本研究は、二酸化塩素水によるROモジュール消毒および透析液供給システムに対する消毒剤として、その効果について確認する。

III 方法

1. 二酸化塩素水の生成(図1)

二酸化塩素水生成装置の主な構成は、亜塩素酸ナト

リウム注入ポンプ、陽イオン交換樹脂カラム、触媒カラム、流量制御系等である。生成は、初めに活性炭処理した水道水に亜塩素酸ナトリウム液が注入され、水素型陽イオン交換樹脂と接触させることによりNaイオンをHイオンに代え平衡状態が変化し、酸化することで亜塩素酸が生成される。次に亜塩素酸が触媒物質と接触することで二酸化塩素水が生成される。触媒により酸化反応が完全になり純粋度95%以上の二酸化塩素水が生成される。以下に、その生成反応式を示す。

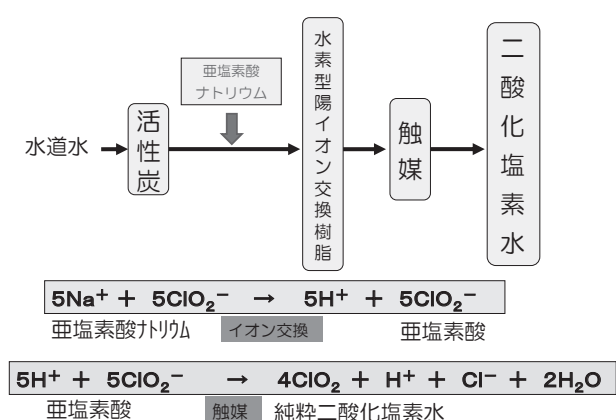
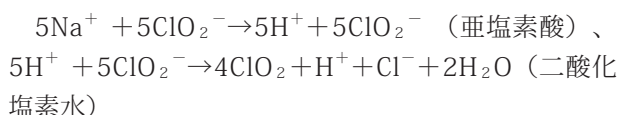


図1 二酸化塩素水の生成法

2. 試験項目と試験方法

(1) 殺菌試験

試験1：対照菌は大腸菌、黄色ブドウ球菌、サルモネラ、枯草菌（芽胞）、レジオネラ、カンジタ、クロコウジカビについて二酸化塩素濃度0.3、1.0、5.0、10.0 ppm、NaClO濃度300 ppmで行った。

試験2：緑膿菌について、二酸化塩素濃度1.0、5.0、10.0ppmで行った。保存温度は、室温とし、菌液接種直後の対照の生菌数を測定し、開始時とした。

(2) 金属溶出試験

透析監視装置の構成であるステンレス鋼SUS304（（オーステナイト系Ni（8～10.5%）、Cr（18～20%））、SUS316（（オーステナイト系Ni（10～14%）、Cr（16～18%）、Mo（2～3%））を用いて二酸化塩素5ppm、過酢酸10%、次亜塩素酸ナトリウム1000ppmの濃度下に2週間浸漬後、Fe、Ni、Crを測定した。測定は、誘導結合プラズマ発光分光分析法（ICP）である。

(3) ROモジュール耐性試験

ROモジュール耐性試験は、未使用のROモジュールを用いて次亜塩素酸ナトリウム（水道水、残留塩素

0.55ppm）および二酸化塩素水（濃度0.3ppm）による濾過試験を行い除去率（電導度）の変化を観察した。共に総濾過時間1000hrを目安とした。使用ROモジュールは、ポリアミド複合膜（ESPA-4021、スパイラル型、膜面積7.9㎡）である。

(4) 各種材料の腐食性試験

透析監視装置の構成である除水ポンプ入口接手（フッ素ゴム、ポリプロピレン）、ポペットバルブ（フッ素ゴム、ポリプロピレン）、キャップシール（フッ素ゴムとテフロンとカーボンの化合物）、Oリング（フッ素ゴム）、ダイヤフラム（フッ素ゴム、真鍮）について二酸化塩素水濃度10ppm、0.3ppm、浸漬温度：21℃±1℃、浸漬期間28日間実施した。観察項目は1）材料外観の目視確認（色調変化、錆発生）2）試験溶液の目視確認（色調変化、気体発生等）3）重量測定（1/100mgまで）とした。

(5) 水洗浄後の二酸化塩素の残留試験

個人用透析装置を用いて水洗浄後の残留試験を行った。測定は消毒後12時間滞留後、水洗浄30分、60分後、放置30分後である。なお、消毒濃度は、8～11 ppmである。

(6) 紫外線灯での減衰試験

減衰試験は、二酸化塩素濃度0.25ppmに調整し、紫外線灯波長186nm、254nmを用いて直列接続および単独で還流した。流量は、0.5L/min、1.0L/minとした。

IV 結果

1. 殺菌試験（図2・3・4・5）

大腸菌、黄色ブドウ球菌、サルモネラ、レジオネラでは、0.3 ppm、1～3分で<10個/ml（検出されず）であった。カンジタでは1.0 ppm、1分で<10個/ml（検出されず）であった。クロコウジカビでは、5 ppm、5分で<10個/ml（検出されず）であった。枯草菌（芽胞）では、10 ppm、30分で約50%減少した。カンジタ、クロコウジ、枯草菌（芽胞）の次亜塩素酸ナトリウムでの試験では、殺菌効果は低いことが示された。また、緑膿菌では、1.0 ppm、1分で<10個/ml（検出されず）であった。

2. 金属溶出試験（表1）

二酸化塩素水5ppm、過酢酸10%、次亜塩素酸ナトリウム1000ppmでのSUS304、SUS316の2週間浸漬での金属溶出試験結果を示す。二酸化塩素水では、2種類共にFe、Ni、Crとも各々定量下限値0.01 mg/Kg、0.1 mg/Kg、0.05 mg/Kg未満であった。過酢酸10%では、FeにおいてSUS304で0.13 mg/Kg、

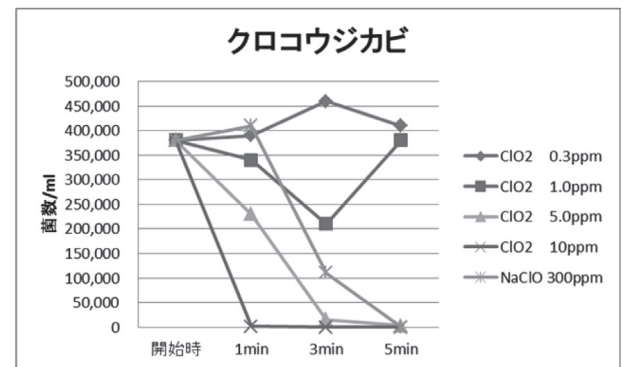
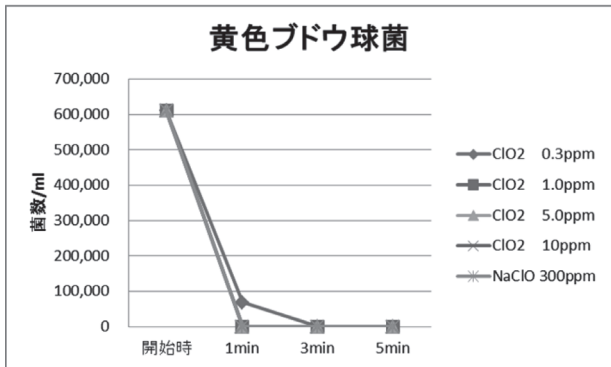
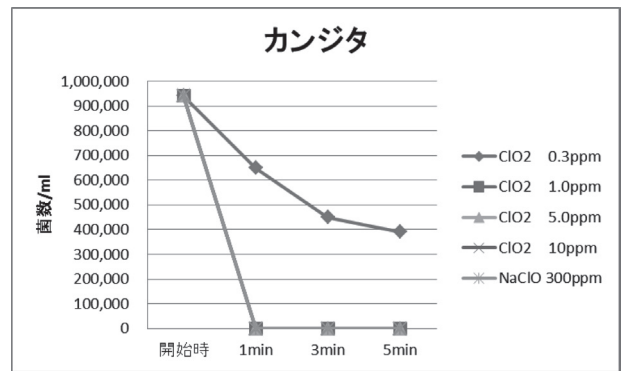
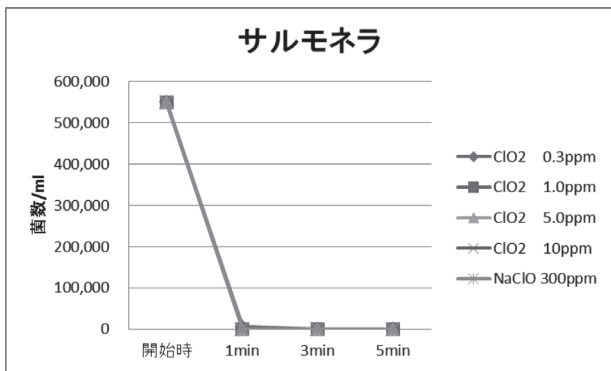


図2 殺菌試験1)

図4 殺菌試験3)

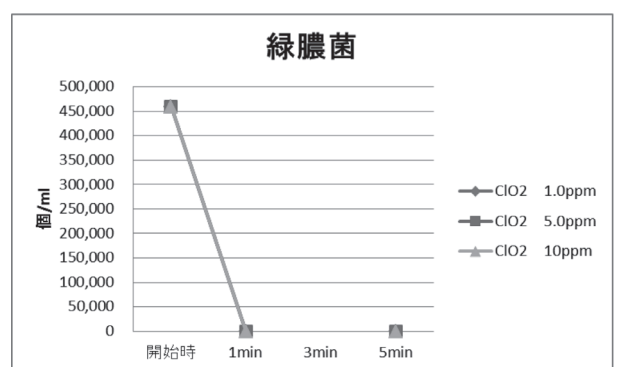
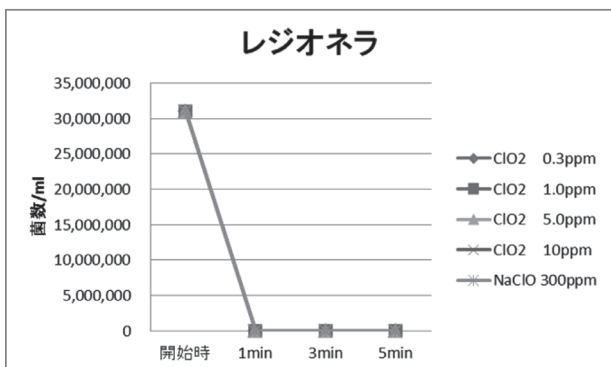
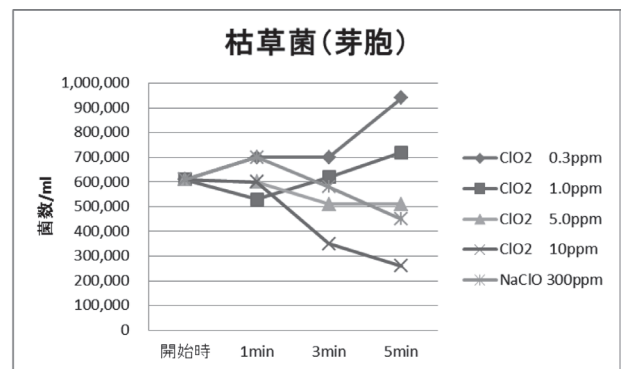
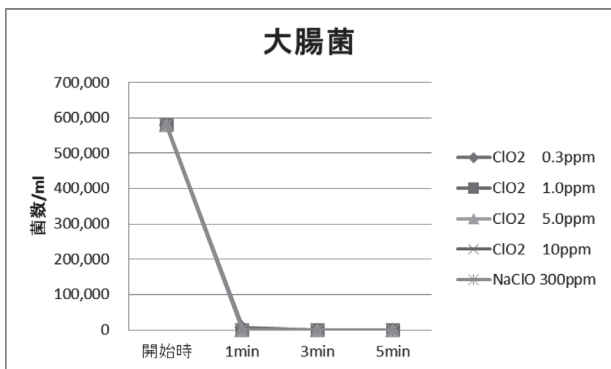


図3 殺菌試験2)

図5 殺菌試験4)

SUS316で0.06mg/kgの溶出を認めた。それ以外では定量下限値未満であった。また、次亜塩素酸ナトリウム1000ppmでは、全てにおいて定量下限値未満であった。

表1 金属溶出試験結果 2週間浸漬

| SUS304 | ClO ₂ 5ppm | 過酢酸10% | 次亜塩素酸ナトリウム1000ppm | 定量下限値 mg/kg |
|-------------|-----------------------|--------|-------------------|-------------|
| 鉄及びその化合物 | 0.01未満 | 0.13 | 0.01未満 | 0.01 |
| ニッケル及びその化合物 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1 |
| クロム | 0.05未満 | 0.05未満 | 0.05未満 | 0.05 |

| SUS316 | ClO ₂ 5ppm | 過酢酸10% | 次亜塩素酸ナトリウム1000ppm | 定量下限値 mg/kg |
|-------------|-----------------------|--------|-------------------|-------------|
| 鉄及びその化合物 | 0.01未満 | 0.06 | 0.01未満 | 0.01 |
| ニッケル及びその化合物 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1未満 | 0.1 |
| クロム | 0.05未満 | 0.05未満 | 0.05未満 | 0.05 |

3. ROモジュールの耐性試験 (図6)

水道水（次亜塩素酸ナトリウム残留塩素0.55ppm）による濾過試験では、総濾過時間705時間、総負荷濃度368 ppmにおいて試験開始前の除去率98.2%から試験終了時では94.6%に低下した。また、二酸化塩素水0.3ppmによる濾過試験では、総濾過時間1057時間、総負荷濃度317ppmにおいて試験開始前の除去率98.3%で試験終了時では98.1%で不変であった。

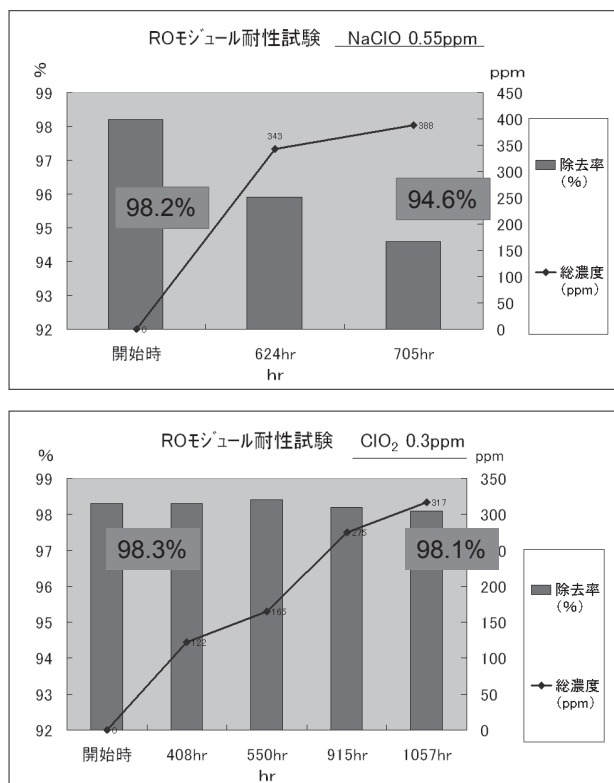


図6 ROモジュール耐性試験結果 (除去率の変化)

4. 各種材料の腐食性試験 (表2・3・4)

透析監視装置に用いられる除水ポンプ、入口接手、ポペットバルブ、キャップシール、Oリング、ダイヤフラムに対するClO₂濃度10 ppm、0.3 ppm浸漬による腐食試験では、除水ポンプ接手、ポペットバルブ、キャップシール、Oリングでは変形はみられなかった。また、ダイヤフラムでは表面樹脂の剥離および金属部分に錆発生がみられた。重量変化では、変化率は-0.01~0.36%であった。

表4 28日間浸漬後の各試験材料の重量 (平均値 n=3)

| 試験材料 | 二酸化塩素溶液10mg/L | | | | 二酸化塩素溶液3mg/L | | | |
|-----------|----------------------|----------------------|-------|-------|----------------------|----------------------|-------|------|
| | 浸漬前 mg | 浸漬後 mg | 変化量mg | 変化率% | 浸漬前 mg | 浸漬後 mg | 変化量mg | 変化率% |
| SMP 入口 接手 | 1613.91 | 1614.82 | 0.91 | 0.06 | 1612.31 | 1612.8 | 0.49 | 0.03 |
| ポペットバルブ | 993.89 | 995.48 | 1.59 | 0.16 | 999.13 | 1000.52 | 1.39 | 0.14 |
| キャップシール | 449.25 | 450.36 | 1.11 | 0.25 | 446.04 | 446.62 | 0.58 | 0.13 |
| Oリング | 173.18 | 173.81 | 0.63 | 0.36 | 173.31 | 173.55 | 0.24 | 0.14 |
| ダイヤフラム | 10354.2 ₁ | 10353.0 ₂ | -1.19 | -0.01 | 10336.9 ₄ | 10338.4 ₂ | 1.48 | 0.01 |

5. 紫外線灯による減衰試験 (図7)

紫外線灯186nm、254nm直列接続では、流量0.5L/minにおいて入口濃度/出口濃度で0.22 ± 0.001 ppm / 0.06 ± 0.001 ppmで減衰した。また、流量1.0L/minでは同様に0.20 ± 0.01 ppm / 0.08 ± 0.01 ppmで同様に減衰した。紫外線灯OFFでは、0.19 ppm / 0.20 ppmで変化なかった。さらに紫外線灯186nm単独では、0.19 ppm / 0.09 ppm、紫外線灯254nm単独では0.19 ppm / 0.15 ppmと186nmで減衰を示し、256nmでは減衰は少なかった。

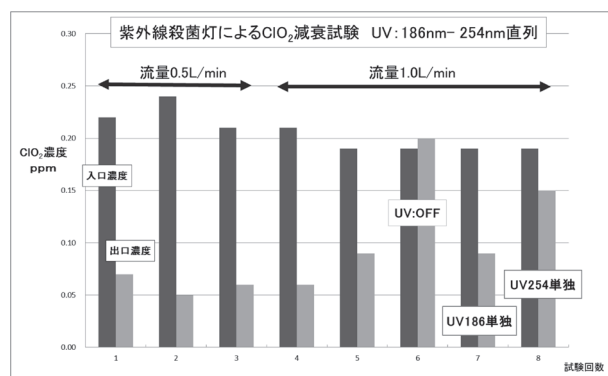


図7 紫外線灯による減衰試験

6. 水洗浄後の二酸化塩素の残留試験 (図8)

個人用透析装置を用いて消毒濃度（8~11ppm）後、12時間後の水洗開始前では4ppm程度まで低下していた。水洗30分で0.1ppm、1時間後および放置

表2 28日浸漬後の目視確認（材料および溶液）
除水ポンプ接手、ポペットバルブ、キャップシール

表1-1 試験時における試験管外側からの材料と溶液の目視確認結果

| 試験材料 | 観察対象 | ClO ₂ 濃度 | No. | 浸漬日数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------|---------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | | | | 1日後 | 2日後 | 3日後 | 4日後 | 7日後 | 8日後 | 9日後 | 10日後 | 11日後 | 14日後 | 15日後 | 16日後 | 17日後 | 18日後 | 21日後 | 22日後 | 23日後 | 24日後 | 25日後 | 28日後 | | | | | | | | |
| 除水ポンプ | 材料 | 0.3mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | 溶液 | 10mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| ポペットバルブ | 材料 | 0.3mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | 溶液 | 10mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| キャップシール | 材料 | 0.3mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | 溶液 | 10mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |

「-」は変化なしを表す

表3 28日浸漬後の目視確認（材料および溶液）
Oリング、ダイヤフラム

表1-2 試験時における試験管外側からの材料と溶液の目視確認結果

| 試験材料 | 観察対象 | ClO ₂ 濃度 | No. | 浸漬日数 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------|---------------------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | | | | 1日後 | 2日後 | 3日後 | 4日後 | 7日後 | 8日後 | 9日後 | 10日後 | 11日後 | 14日後 | 15日後 | 16日後 | 17日後 | 18日後 | 21日後 | 22日後 | 23日後 | 24日後 | 25日後 | 28日後 | | | | | | | | |
| Oリング | 材料 | 0.3mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | 溶液 | 10mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| ダイヤフラム | 材料 | 0.3mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | | 2 | 剥離 | 剥離 | 変色 | 変色 | 変色 | 変色 | 変色 | 変色 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | |
| | | | 3 | 剥離 | 剥離 | 変色 | 変色 | 変色 | 変色 | 変色 | 変色 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | |
| | 溶液 | 10mg/L | 1 | 剥離 | 剥離 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | | |
| | | | 2 | 剥離 | 剥離 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | |
| | | | 3 | 剥離 | 剥離 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 変色・錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | 錆 | |
| 溶液 | 0.3mg/L | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |
| | | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | |

「-」は変化なしを表す

ダイヤフラムの結果は、金属部分について記載した。フッ素ゴム部分については、すべて「-」であった

30分後では、それぞれ測定限界（0.05ppm）であった。

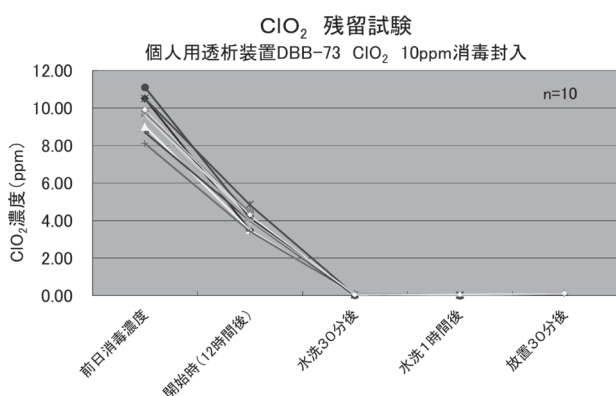


図8 水洗浄後の残留試験

V 考察

1. 二酸化塩素の殺菌性と安全性

二酸化塩素は、刺激性臭気を持つ気体であり、ガスは容易に水に溶け黄緑色を呈する。二酸化塩素の酸化還元電位（1.5volt）は塩素（1.36volt）や次亜塩素酸（1.49volt）より高く¹⁾、酸化力が大きい。二酸化塩素は、フリーラジカルによる特異的な酸化作用をもつ。

高山ら²⁾は、次亜塩素酸ナトリウムと二酸化塩素水の比較では大腸菌、黄色ブドウ菌の2.5分後での最小殺菌濃度は、次亜塩素酸ナトリウム10ppm、二酸化塩素1ppmであり、また枯草菌では次亜塩素酸ナトリウム1000ppm以上、二酸化塩素100ppmと報告している。また、磯部らは³⁾浮遊大腸菌に3.5ppmの二酸化塩素を作用させると1分以内に 10^{-8} に減少することを報告している。しかし、浮遊大腸菌と付着大腸菌では死滅時間は材料表面により異なることを報告している。

今回の殺菌試験においては、大腸菌、黄色ブドウ球菌、サルモネラ、レジオネラでは0.3 ppmで1～3分で殺菌され、また、カンジダでは1.0 ppm、1分で殺菌された。クロコウジカビでは、5 ppm、5分で殺菌された。また、枯草菌（芽胞）では、10 ppm、30分で約50%減少の結果であった。また、緑膿菌では、濃度1.0 ppm、1分で殺菌された。

これらから二酸化塩素は殺菌対象物質の範囲が次亜塩素酸ナトリウムより広いことが示された。また、二酸化塩素での消毒では、バイオフィルムに対して有効性が示されている。小出⁴⁾は、レジオネラ菌に対してバイオフィルムの不活化を理由に二酸化塩素水が望ましいことを報告している。バイオフィルムは、高密度の微生物集団単位であるコロニーと粘着性ポリマー

の細胞外多糖を主体とする基質から構成され、バイオフィルムは水と接する物体表面に形成される⁵⁾。バイオフィルムは、低流動性の中の表面停滞水の層であり、大腸菌、緑膿菌、レジオネラ菌など有害な菌が含まれる。次亜塩素酸ナトリウムによる消毒では、バイオフィルム表面は殺菌することが可能であるがフィルムを通流することはできないため層内の菌は生存することがいわれる。

二酸化塩素の金属に対する影響では溶出試験において二酸化塩素濃度5 ppmではSUS304、316ともに定量下限以下であり溶出は認められない。他の薬剤では過酢酸でFeの溶出が認められている。過酢酸に関しては、林ら⁶⁾の各過酢酸系除菌洗浄剤の報告の中で不純物試験では製剤によりCr、Feが検出されており製造中の水や過酸化水素・酢酸の純度、製造中の混入など要因としてあげていることから、その影響も考えられる。現在、透析監視装置の接液部分の9割以上がSUS316で作成されており耐腐食性では優れているが、金属腐食は人体への影響や装置異常など重大な問題となる。今回、二酸化塩素では2週間浸漬では溶出はないものの今後、長期的な観察が必要と考えられる。

医療材料への影響では試験結果から変形等は認められず、浸漬前後においても大きな変化は観察されなかった。一部、ダイヤフラムでの金属部分（真鍮）と樹脂に剥がれがみられたこと、さらに金属部分に錆が発生した。この部分は透析液や洗浄水など接液箇所ではないが今後、検討が必要である。

安全性に関して薬剤の残留の問題がある。今回の水洗後の残留試験から洗浄性、残留、リバウンド現象もないものと考えられた。二酸化塩素の経時的な減衰（12時間後50%低下）は、光による分解（亜塩素酸や塩素酸）或いはガス化によることが考えられた。更に二酸化塩素は紫外線灯試験による減衰も確認され、保存条件の考慮が必要とされる。現在、厚労省令による水道水の管理基準では、塩素酸（水質基準項目）および亜塩素酸に対する目標値（水質管理目標設定項目）ともに0.6mg/Lに設定されている⁷⁾。また、水質管理目標設定項目には、消毒剤区分として二酸化塩素が含まれ同様に0.6mg/L設定されている。また、内閣府の食品安全委員会⁸⁾において二酸化塩素の耐用一日摂取量（TDI：Tolerable Daily Intake）を0.029mg/kg体重/日と設定しており、このことは、二酸化塩素が加水分解し、主要な分子種が亜塩素酸イオンであることから二酸化塩素の評価は、亜塩素酸イオンの評価として設定された許容量を適用できることが記されている。

2. ROモジュールへの応用

本邦ではROモジュールの9割がポリアミド複合膜である。次亜塩素酸ナトリウムによる消毒は膜劣化を生じることから、消毒剤の選択としてはホルムアルデヒドやグルタルアルデヒドが優れているが毒性が強く膜から洗い出すことが困難である。今回の試験でのポリアミド複合膜では、次亜塩素酸ナトリウム（水道水、残留塩素0.55ppm）通水による膜劣化は、総通水時間750時間において約4%除去率の低下がみられた。ポリアミド膜は、水道水に含まれる塩素により機能層中のアミド結合が切断され、膜劣化を起こすことが云われている⁹⁾。

ポリアミド複合膜は、 $1,000\text{ppm} \cdot \text{hr}$ （残留塩素濃度（ppm） \times 運転時間（hr））までが限度とされる。さらに、Feを含む錆などが膜に付着すると触媒作用によりさらに劣化することがいわれており、ポリアミド複合膜は耐塩素性がないと考えられている。一方、二酸化塩素水では、約1,000時間の通水での除去率の低下はなく、安定した透過水量を確保することができた。

VI 結語

二酸化塩素は、有効性、安全性が確認され、透析液配管系の消毒剤の選択肢の一つとして期待される。

付記

二酸化塩素水の提供を(株)ウォーターテクノカサイより受けている。

文献

- 1) 藤田賢二 第2章水処理薬品の動き 水処理薬品ハンドブック 技報堂出版社, pp.72-73, (2008年)
- 2) 高山正彦・杉本浩子・水谷裕子他 二酸化塩素の殺菌性 *Journal of antibacterial and antifungal agents*, 23 (7), 401-406, (1995year)
- 3) 磯部賢治 微生物の生存戦略——固体表面への付着—— 表面科, 22 (10), 652-662, (2001year)
- 4) 小出道夫・藤田次郎 レジオネラによる院内感染と感染防止対策 環境感染誌, 24 (1), 1-8, (2009年)
- 5) 日本微生物生態学会バイオフィーム研究会 (編) I章バイオフィーム研究の現状と課題 バイオフィーム入門 日科技連, pp.1-15, (2005年)
- 6) 林 宏樹 新規過酢酸系除菌洗浄剤ミンケア・ネ

オの臨床評価 腎と透析別, 138-144, (2011年)

- 7) 厚生労働省 水質基準項目、水質管理目標設定項目 厚生労働省 Retrieved from <http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html> (2017年12月7日)
- 8) 内閣府食品安全委員会 清涼飲料水評価書 二酸化塩素 内閣府 Retrieved from http://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc7_kagaku_osen_clo2_200214.pdf (2008年6月)
- 9) 松山秀人 高い塩素耐性を有する新規な海水淡水化用逆浸透膜の設計開発 平成21年度助成研究報告書 (平成23年3月発行)

Fundamental Study on Disinfection Using Chlorine Dioxide Water (ClO₂) for RO Module and Dialysis Fluid Delivery System

Takao MATSUGANE * Tsunekazu KASAI **

* Department of Life Care, Teikyo Junior College ** Water Technokasai Co.,Ltd.

Abstract

This study confirms its effect as disinfectant for RO module disinfection and dialysis fluid delivery system with chlorine dioxide water.

In the bactericidal test, conditions were set for *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Legionella*, *Candida*, Blackcurrant and *Bacillus subtilis* (spores) at ClO₂ concentrations of 0.3, 1.0, 5.0, 10 ppm and NaClO 300 ppm. In *Pseudomonas aeruginosa*, the concentrations were 1.0, 5.0 and 10.0 ppm. The results were <10 cells / ml (not detected) at 0.3 ppm in *E. coli*, *S. aureus*, *Salmonella*, *Legionella* in 1 to 3 minutes. It was 1.0 ppm for *Candida* and <10 cells / ml for 1 minute (not detected). In blackcurrant, it was <5 ppm, <10 cells / ml (not detected) in 5 minutes. In *Bacillus subtilis* (spores), it decreased by 10 ppm and in about 30 minutes by about 50%. In *Pseudomonas aeruginosa*, the concentration was 1.0 / 1 minute, <10 cells / ml (not detected).

In the metal dissolution test, an immersion test of ClO₂ at 5 ppm for 2 weeks was performed using stainless steel SUS 304 and SUS 316. Both Fe, Ni and Cr were below the lower limit of quantification (mg / Kg).

In the deterioration test of the RO module, the removal rate by electric conductivity was not decreased in the filtration test with ClO₂ total load amount of 317 ppm / water flow time of 1057 hr.

In the immersion test at the ClO₂ concentration of 10 ppm and 0.3 ppm using the Ultrafiltration pump inlet joint, the poppet valve, the cap seal, the O ring and the diaphragm used for the dialysis device as the corrosion test, the Ultrafiltration pump inlet joint, the poppet valve, the cap No deformation was observed on the seal and O ring. In the diaphragm, peeling of the surface resin and occurrence of rust in the metal portion were observed. With weight change, the rate of change was -0.01 to 0.36%.

In the residual test of chlorine dioxide water by the personal dialyzer, it decreased to about 4 ppm at 12 hours after 8-11 ppm disinfection, and it was below the measurement limit at 30 minutes and 1 hour after washing with water. After that, it was below the measurement limit even after 30 minutes of standing.

The chlorine dioxide water is expected as a disinfectant for the dialysis fluid delivery system.

Keywords : ClO₂, RO module, dialysis fluid delivery system