

危機管理委員会報告

次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の誤混入による
塩素ガス発生事故に関する全国透析施設の実態調査報告

満生 浩司¹ 鶴屋 和彦² 田中 茂³ 山川 智之^{2,4}
安藤 亮一^{2,5} 本間 崇^{1,6} 安藤 勝信⁷ 村上 淳⁸
山家 敏彦^{1,9} 金山 由紀⁹ 友 雅司¹⁰

¹ 日本透析医学会医療安全対策小委員会 ² 日本透析医学会危機管理委員会

³ 九州大学大学院医学研究院附属総合コホートセンター

⁴ 日本透析医会会長 ⁵ 日本透析医会医療安全対策委員会

⁶ 日本臨床工学技士会理事長 ⁷ 日本臨床工学技士会血液浄化業務小委員会

⁸ 日本血液浄化技術学会理事長 ⁹ 日本血液浄化技術学会医療安全委員会

¹⁰ 日本透析医学会理事長

緒 言

透析装置の洗浄・消毒には主として次亜塩素酸ナトリウム溶液に代表される塩素系薬剤と酸性溶液が汎用されているが、両薬剤を誤混入すると塩素ガスが発生し、程度によっては人体に健康被害をもたらす事故につながる。また規模によっては作業者に限らず、近隣住民などにも被害が及ぶ公衆災害に至る可能性もある。決して透析施設に限定した事故ではなくさまざまな現場で発生しうるガス事故であり、平成16年には各都道府県労働局長あてに、厚生労働省労働基準局安全衛生部長より「次亜塩素酸塩溶液と酸性溶液との混触による塩素中毒災害の防止について」の通知もなされている¹⁾。最近、全国の透析施設において比較的大きな塩素ガス発生事故が2024年9月2日広島市、2025年3月26日北九州市、4月18日千歳市と短期間に相次いで発生した。そのため、本学会とともに関係学会である日本透析医会、日本臨床工学技士会、日本血液浄化技術学会からも透析用監視装置の洗浄・消毒に用いる薬液の取扱いに関する注意喚起が改めてなされたところである^{2~4)}。さらに今回前述4学会合同で、全国の透析施設を対象とした本案件に関する実態調査を行うこととなった。本稿ではその調査結果と、その防止策についての検討について報告する。

I. 調査および研究方法

1. 次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の誤混入による塩素ガス発生事故に関する全国透析施設の実態調査

2025年6月日本透析医学会会員所属施設4,163施設を対象として、質問紙による郵送調査およびWEB調査を実施し、各透析施設における次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の管理状況、塩素ガス発生事故の経験、および安全対策の実施状況について情報を収集した。3,371施設より回答があり、回収率は81.0%であった。

調査の内容としては、1) 事故の経験：誤混入による塩素ガス発生事故の経験の有無とその際の対応など、2) 施設特性：使用薬剤の種類、作業実施人数、両薬剤の補充頻度、作業の時間帯など、3) 工学的対策：タンクの設置場所、固定方法、形状、色、名称表記による識別、塩素ガス検知装置の設置など、4) 管理的対策・教育：作業マニュアル、対応マニュアルの有無、安全対策や安全教育の実施の有無など、5) 個人防護具・安全設備：作業時の防護具装着、中和剤の常備の有無など、とした。具体的な設問およびそれぞれに対する回答については表1に提示した。結果については、全回答数を分母として、各回答の割合を%で算出した。

表 1 全質問および回答

質問 1. 誤混入による塩素ガス発生事例を経験したことはありますか？（少量で塩素ガス発生までは確認していない事例も含みます）									
ある	ない	不明	無回答	無効回答					
21.52%	77.71%	0.65%	0.12%	0.00%					
質問 2. 質問 1 で「ある」と回答された方に質問です。事故発生時の対応はどうされましたか？									
自施設の職員のみで対応できた	自施設の職員による対応が困難で救急・消防依頼を行った	その他	無回答	無効回答					
94.21%	2.34%	2.90%	0.14%	0.41%					
質問 3. 質問 1 で「ある」と回答された方に質問です。そのインシデントレベルはいくらでしたか？									
1	2	3a	3b	4 以上	無回答	無効回答			
94.76%	3.17%	0.97%	0.55%	0.00%	0.41%	0.14%			
質問 4. 質問 1 で「ある」と回答された方に質問です。その事例分析はしましたか？									
した	していない	無回答	無効回答						
69.52%	30.34%	0.14%	0.00%						
質問 5. 質問 4 で「した」と回答された方に質問です。背景因子を次から選んでください。 ※複数回答可（回答率は回答数合計を分母として算出）									
マニュアルがなかった	マニュアルがあったが異なる手順で行った	マニュアル通りに行ったが、違うタンクに液を投入した	各薬剤の保管場所から間違った薬剤を取り出して用意した	薬液タンクの設置場所が近接していた	薬液タンクの識別がラベル、色などで適切に行われていなかった	教育を受けていない職員が行った	その他	無回答	
21.89%	6.82%	12.65%	6.93%	30.47%	10.12%	1.98%	9.13%	0.00%	
質問 6. 洗浄・消毒に用いる薬剤は 1 剤のみですか、または 2 剤ですか？									
1 剤	次亜塩素酸溶液と酸性溶液の 2 剤	装置により「1 剤」または「次亜塩素酸溶液と酸性溶液の 2 剤」を使用	無回答	無効回答					
1.96%	94.60%	2.58%	0.83%	0.03%					
質問 7. 各薬剤購入後に一旦タンクなどへ入れ替え・貯留する作業がありますか？									
2 剤ともタンクに入れ貯留	いずれか 1 剤のみタンクに入れ替え	入れ替えず、2 剤とも購入した容器から直接接続	無回答	無効回答					
91.33%	2.11%	6.20%	0.21%	0.15%					
質問 8. 両薬剤タンクの設置場所についての質問です。									
No	項目	同室内で近接	同室内で離れている	別部屋	その他	無回答	無効回答		
1	多人数用透析液供給装置に接続されたものの場合	42.82%	47.07%	4.45%	1.96%	3.53%	0.16%		
2	個人用透析装置の場合	63.65%	3.89%	8.17%	0.00%	24.19%	0.10%		
質問 9. 両薬剤タンクの設置場所は換気可能ですか？									
換気装置が稼働している	換気装置がない、または稼働していない	作業時に窓を開放	換気できない	その他	無回答	無効回答			
70.32%	6.51%	10.40%	5.82%	3.40%	0.49%	3.07%			
質問 10. 両薬剤タンクは床に固定されていますか？									
固定	非固定	その他	無回答	無効回答					
12.95%	82.18%	4.64%	0.16%	0.07%					
質問 11. 両薬剤タンクの形状は同一ですか？									
同一	異なる	その他	無回答	無効回答					
92.15%	6.73%	0.82%	0.13%	0.16%					
質問 12. 両薬剤タンクは色による識別がなされていますか？									
同一	異なる	その他	無回答	無効回答					
54.59%	39.49%	5.66%	0.10%	0.16%					
質問 13. 両薬剤タンクに薬剤の名称は表記されていますか？									
両方表記されている	片方だけ表記されている	両方表記されていない	無回答	無効回答					
97.16%	1.60%	1.21%	0.03%	0.00%					
質問 14. 名称を表記している場合、タンクのどの部位に表示されていますか？ ※複数回答可（回答率は回答数合計を分母として算出）									
注入口近傍	タンクの蓋	タンクの側面	その他	無回答	無効回答				
22.85%	59.24%	80.84%	3.07%	0.62%	0.00%				
質問 15. 名称を表記している場合、文字や表記ラベルの色は変えていますか？									
同じ色	異なる色	その他	無回答	無効回答					
9.64%	88.04%	1.18%	1.11%	0.03%					
質問 16. 1 回の洗浄・消毒に要する使用量はおおむねどれぐらいですか？（多人数用透析液供給装置に接続されたもので個人用透析装置は除く）									
No	項目	2 L 以下	3~5 L	6~10 L	11~20 L	21 L 以上	無回答	無効回答	
1	次亜塩素酸溶液	30.08%	41.58%	16.61%	5.66%	1.44%	4.64%	0.00%	
2	酸性溶液	27.39%	40.54%	18.86%	6.80%	1.54%	4.87%	0.00%	

表 1 つづき

質問 17. 薬剤補充作業の主な実施者の職種は？						
臨床工学技士	看護師	医師	その他	無回答	無効回答	
96.67%	2.09%	0.03%	0.23%	0.07%	0.92%	
質問 18. 薬剤補充作業を実施する人数は？						
1人	2人	その他	無回答	無効回答		
65.05%	31.09%	3.40%	0.20%	0.26%		
質問 19. 次亜塩素酸水溶液補充作業の頻度はおおむねどれぐらいですか？						
毎日	週 2~3 回程度	週 1 回程度	2 週に 1 回程度	その他	無回答	無効回答
6.44%	32.89%	41.71%	14.97%	3.47%	0.42%	0.10%
質問 20. 酸性溶液補充作業の頻度はおおむねどれぐらいですか？						
毎日	週 2~3 回程度	週 1 回程度	2 週に 1 回程度	その他	無回答	無効回答
2.12%	30.43%	39.69%	21.38%	6.05%	0.23%	0.10%
質問 21. 両薬剤を同時に補充作業することはありますか？						
いつも	時々	ない	無回答	無効回答		
9.61%	50.21%	39.95%	0.16%	0.07%		
質問 22. 両薬剤の保管場所についての質問です。						
隣接して保管	可能な限り離して保管	その他	無回答	無効回答		
39.03%	51.03%	9.51%	0.23%	0.20%		
質問 23. 薬剤補充作業を行う時間帯はいつですか？						
治療後全患者の退室後	患者の退室にかかわらず実施	その他	無回答	無効回答		
39.03%	51.03%	9.51%	0.23%	0.20%		
質問 24. 薬剤補充作業時に防護具は装着していますか？						
装着している	装着していない	無回答	無効回答			
61.03%	38.87%	0.07%	0.03%			
質問 25. 質問 24 で「装着している」と回答された方に質問です。装着している防護具を次から選んでください。 ※複数回答可（回答率は回答数合計を分母として算出）						
保護手袋	袖付きエプロン	サージカルマスク	防護メガネ	長靴またはシューズカバー	その他	無回答
38.55%	6.73%	31.30%	20.25%	0.19%	2.98%	0.00%
質問 26. 塩素ガス発生に備えて常置している個人防護具はありますか？						
ある	ない	無回答	無効回答			
20.73%	78.72%	0.56%	0.00%			
質問 27. 質問 26 で「ある」と回答された方に質問です。常置している個人防護具を次から選んでください。 ※複数回答可（回答率は回答数合計を分母として算出）						
防毒マスク	防毒マスク吸引缶（ハロゲンガス用、塩素ガス専用）	耐薬品ゴム手袋	ゴム長靴	ガウン	その他	無回答
33.20%	23.27%	16.47%	3.20%	18.00%	5.87%	0.00%
質問 28. 塩素ガス発生時の中和剤を常備していますか？						
常備している	常備していない	無回答	無効回答			
31.74%	68.00%	0.26%	0.00%			
質問 29. 薬剤補充作業時の作業マニュアルはありますか？						
ある	ない	その他	無回答	無効回答		
39.28%	57.06%	3.27%	0.34%	0.06%		
質問 30. 塩素ガス発生時の対応マニュアルはありますか？						
ある	ない	その他	無回答	無効回答		
29.23%	66.00%	4.48%	0.26%	0.03%		
質問 31. 薬剤補充作業時にダブルチェックなどの安全対策は実施していますか？						
実施している	実施していない	その他	無回答	無効回答		
40.96%	57.04%	1.73%	0.16%	0.10%		
質問 32. 塩素ガス検知装置を設置していますか？						
設置している	設置していない	無回答	無効回答			
1.54%	98.40%	0.07%	0.00%			
質問 33. 塩素ガスの発生を想定した安全教育を実施していますか？						
定期的実施	不定期だが実施	実施していない	無回答	無効回答		
2.81%	32.63%	64.40%	0.16%	0.00%		

2. 透析施設における塩素ガス発生事故の要因に関する横断研究

さらに、前述の全国実態調査の結果を用いて塩素ガ

ス発生事故の要因に関して横断研究を行ったが、その詳細については後述する。

II. 調査結果

全質問に対する回答結果を表1に提示する。

1. 事故の経験

次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の誤混入による塩素ガス発生事故の経験がある施設は21.52%で、経験がない施設は77.71%であった。事故経験のある施設に限定して事故発生時の対応について質問したところ、大部分(94.21%)は自施設の職員のみで対応可能であったが、2.34%で自施設の職員による対応が困難であったため救急や消防依頼が行われていた。またその際のインシデントレベルは94.76%が1であったが、2が3.17%、3aが0.97%、3bが0.55%で、4以上の事例はなく、事故発生後に事例分析が実施されたのは69.52%であった。

2. 施設特性

洗浄・消毒に用いる薬剤は次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の2剤か、あるいは1剤のみかの質問に対しては、大部分の94.60%で2剤を使用しており、1剤のみの施設は1.96%であった。各薬剤購入後に一旦タンクなどへ入れ替え・貯留する作業については、多くの施設(91.33%)で2剤ともタンクに入れ替えが必要であった。なお、2剤とも入れ替え不要で購入した容器に直接接続している施設が6.20%認められ、いずれか1剤のみ入れ替えしている施設も2.11%のみであった。薬剤補充作業の主な実施者は臨床工学技士で96.67%、看護師による実施は2.09%であった。実施の際の人数は1人が65.05%と最も多く、2人の施設は31.09%であった。次亜塩素酸ナトリウム溶液補充作業の頻度は週1回程度が最も多く41.71%、次いで週2~3回程度が32.89%、2週に1回程度が14.97%、毎日という施設が6.44%であった。また酸性溶液補充作業の頻度についても週1回程度が最も多く39.69%、次いで週2~3回程度で30.43%、2週に1回程度が21.38%で、毎日という施設は2.12%であった。薬剤補充作業を行う時間帯については、患者の退室にかかわらず実施している施設が51.03%と最も多く、全患者の退室後に実施している施設は39.03%であった。

3. 工学的対策

タンクの設置場所については、多人数用透析液供給装置の場合で、89.89%と多くは同室内で、その内訳としてタンク同士が近接しているものが42.82%、離れ

ているものが47.07%であった。また別部屋に設置されている施設は4.45%で、多人数用透析液供給装置がないなどのその他の回答が1.96%であった。設置場所の換気が可能かどうかについては、換気装置が稼働している施設が最も多く70.32%、作業時に窓を開放しているというのが10.40%であったが、換気装置がない、または稼働していないが6.51%、換気できないという施設も5.82%にみられた。薬剤タンクの固定については、大部分が非固定(82.18%)で、固定は12.95%であった。また、両薬剤タンクの形状が同一である施設は92.15%で、異なる施設は6.73%であった。タンクの色による識別については、色が同一である施設は54.59%で、異なる施設は39.49%であった。またタンクの色は同一だが、シールなどで識別しているなどのその他の回答も5.66%みられた。薬剤タンクに薬剤の名称が表記されているかについては、97.16%で両方表記であったが、両方とも名称表記されていない施設が1.21%みられた。塩素ガス検知装置については、大部分の施設(98.40%)で設置されていなかったが、1.54%の施設では設置されていた。

4. 管理的対策・教育

薬剤補充作業時の作業マニュアルについては、あると回答した施設は39.28%で、ない施設が57.06%であった。塩素ガス発生時の対応マニュアルについては、あると回答した施設は29.23%で、ない施設が66.00%だった。薬剤補充作業時にダブルチェックなどの安全対策を実施しているかの質問に対しては、実施している施設は40.96%で、していない施設が57.04%であった。塩素ガス発生を想定した安全教育実施の有無については、実施していない施設が64.40%と最も多かったが、不定期でも実施している施設が32.63%みられ、2.81%の施設では定期的実施されていた。また、両薬剤同時の補充作業の頻度についての質問には、時々という回答が50.21%と最も多く、同時にすることはないという施設は39.95%であったが、いつも同時に補充している施設が9.61%みられた。

5. 個人防護具・安全設備

薬剤補充作業時の防護具装着の有無については、装着している施設が61.03%、装着していない施設は38.87%であった。また、その際の防護具の種類については、最も多かったのが保護手袋で38.55%、次いでサージカルマスク31.30%、防護メガネ20.25%、袖付きエプロン6.73%、長靴またはシューズカバー0.19%であった(複数回答可)。さらに、塩素ガス発生に備え

て常置している個人防護具の有無について質問したところ、78.72%と多くないと回答したが、20.73%では常置されているとのことであった。その個人防護具の種類については、防毒マスクが最も多く33.20%、次いで防毒マスク吸引缶（ハロゲンガス用、塩素ガス専用）23.27%、ガウン18.00%、耐薬品ゴム手袋16.47%、ゴム長靴3.20%であった（複数回答可）。塩素ガス発生時の中和剤については、68.00%の施設で常備はなく、常備されているのは31.74%であった。

Ⅲ. 透析施設における塩素ガス発生事故の要因に関する横断研究

【方法】

1. 研究デザインと対象

本研究は、日本国内の透析施設を対象とした横断研究である。2025年に実施した次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の誤混入による塩素ガス発生事故に関する全国透析施設の実態調査に回答した3,371施設を対象とした。

2. データ収集

前述のように、次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の誤混入による塩素ガス発生事故に関する全国透析施設の実態調査より情報を収集した。

3. 変数

3.1) アウトカム変数

塩素ガス発生事例の経験の有無を主要アウトカムとした。「あり」を1、「なし」を0とし、「不明」と回答した施設は除外した。

3.2) 説明変数

以下の26の説明変数を設定した。

各変数のカテゴリは以下の通りである。

1) 施設特性 (9変数):

- ・使用薬剤の種類: 1剤のみ/2剤 (次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液)/装置により1または2
- ・使用タンクの種類: 2剤ともタンク入れ替え/いずれか1剤のみ入れ替え/入れ替えず直接接続
- ・作業実施人数: 1人/2人/その他
- ・両薬剤の保管場所: 隣接して保管/可能な限り離して保管/その他
- ・次亜塩素酸ナトリウム溶液補充頻度: 毎日/週2~3回程度/週1回程度/2週に1回程度/その他
- ・酸性溶液補充頻度: 毎日/週2~3回程度/週1回程度/2週に1回程度/その他

- ・次亜塩素酸溶液の1回使用量: 2L以下/3~5L/6~10L/11~20L/21L以上
- ・酸性溶液の1回使用量: 2L以下/3~5L/6~10L/11~20L/21L以上
- ・作業時間帯: 治療後全患者の退室後/患者の退室にかかわらず実施/その他

2) 工学的対策 (9変数)

- ・多人数用装置のタンク設置場所: 同室内で近接/同室内で離れている/別部屋/その他
- ・個人用装置のタンク設置場所: 並べて近接/装置を間に入れ離している/その他
- ・タンク設置場所の換気: 換気装置が稼働/換気装置がない、または稼働していない/作業時に窓を開放/換気できない/その他
- ・タンクの固定: 固定/非固定/その他
- ・タンクの形状による識別: 同一/異なる/その他
- ・タンクの色による識別: 同じ色/異なる色/その他 (シールなどで識別)
- ・タンクへの薬剤名称表記: 両方表記/片方表記/両方ともなし
- ・表記ラベルの色: 同じ色/異なる色/その他
- ・塩素ガス検知装置の設置: 設置していない/設置している

3) 管理的対策・教育 (5変数)

- ・作業マニュアル: ある/ない/その他
- ・対応マニュアル: ある/ない/その他
- ・安全教育: 定期的実施/不定期に実施/実施していない
- ・ダブルチェックなどの安全対策: 実施している/実施していない/その他
- ・両薬剤の同時補充の頻度: ない (同時補充することはない)/時々/いつも

4) 個人防護具・安全設備 (3変数)

- ・作業時の防護具装着: 装着していない/装着している
- ・塩素ガス用防護具の常置: ない/ある
- ・中和剤の常備: 常備していない/常備している

4. データクリーニング

以下の基準に該当する施設を除外した。

- 1) 主要変数に誤値 (正值範囲外の値) がある施設 (147施設)
 - 2) アウトカム変数が「不明」の施設 (20施設)
 - 3) アウトカム変数が欠損している施設 (3施設)
- 総除外施設数は170施設 (5.0%) であり、最終的に3,201施設を解析対象とした。

5. 統計解析

5.1) 記述統計

全クリーニング済みデータ (N=3,201) を用いて、塩素ガス発生事故の有無別に施設特性を集計した。カテゴリ変数は度数と割合で示し、群間比較には χ^2 検定またはFisher正確検定を用いた。

5.2) 多変量ロジスティック回帰分析

変数減少法 (Backward elimination) により最終モデルを構築した。具体的には、全26変数を初期モデルに投入し、 p 値が0.10を超える変数を段階的に除外した。最終モデルに選定された11変数について欠損値がある施設を除外し、Complete Case Analysis (N=2,766) で最終モデルを再推定した。モデルの妥当性評価として events per variable (EPV) を算出した。EPVはイベント数 (塩素ガス発生事故あり) を投入した変数の数で除した値であり、10以上が推奨される。調整済みオッズ比 (OR) と95%信頼区間を算出し、 $p < 0.05$ を統計学的に有意とした。

5.3) 時間的前後関係の不確定性の検討

安全対策変数 (中和剤の常備、塩素ガス用防護具の常置) について、事故の経験の有無別および事故重症度別の保有率を算出し、逆因果関係 (事故後の対策強化) の可能性を検討した。

5.4) 統計ソフトウェア

すべての統計解析にはPython 3.13 (pandas 2.2.3, scipy 1.14.1, statsmodels 0.14.4) を使用した。

【結果】

1. 対象施設の特性

総回答施設3,371施設のうち、データクリーニングの結果170施設 (5.0%) が除外され、3,201施設を解析対象とした。このうち、塩素ガス発生事故を経験した施設は690施設 (21.6%)、経験していない施設は2,511施設 (78.4%) であった。事故経験の有無別の対象施設の特性を表2に示す。

事故経験の有無別の特性を比較すると、以下の特徴が認められた。施設特性では、次亜塩素酸ナトリウム溶液の補充頻度が毎日の施設は事故経験群で8.2%、非経験群で6.0%、両薬剤をいつも同時に補充する施設は14.1% vs 8.6%であり、事故経験群で高かった ($p = 0.0001$)。工学的対策では、タンクを異なる色で識別する施設が45.5% vs 37.9% ($p < 0.0001$)、タンク設置場所の換気装置が稼働していない施設が7.0% vs 6.6%と事故経験群でやや高い傾向を示した。管理的対策では、塩素ガス発生時の対応マニュアルがある施設が35.4% vs 27.5% ($p = 0.0004$) で、事故経験群で有

意に高かった。個人防護具・安全設備では、塩素ガス用防護具の常置 (28.8% vs 18.3%) および中和剤の常備 (41.5% vs 29.1%) が事故経験群で有意に高かった (両者とも $p < 0.0001$)。

2. 多変量解析結果

2.1) 最終モデルの特性

Backward elimination により、11変数 (カテゴリ変数のダミー展開後は12ダミー変数) が最終モデルに選定された。最終モデルの11変数について欠損値のない施設 (Complete Case) は2,766施設であり、このうち塩素ガス発生事故ありが603施設 (21.8%)、なしが2,163施設 (78.2%) であった。EPVは54.8であり、推奨基準 (≥ 10) を大きく上回った。

2.2) 保護因子 (リスク低減要因)

多変量ロジスティック回帰分析の結果、以下の要因が塩素ガス発生事故のリスク低減と有意に関連していた (表3)。

- 1) 次亜塩素酸ナトリウム溶液補充頻度: 毎日補充する施設と比較して、週1回~2週1回程度の補充頻度で38~42%のリスク低減が認められた。
- 2) 両薬剤の同時補充頻度: いつも同時に補充する施設と比較して、時々同時補充する施設で38%のリスク低減が認められた。
- 3) タンクの形状による識別: 同じ形状である施設と比較して、異なる形状である施設で有意ではないがリスクが軽減される傾向がみられた。

2.3) リスク因子 (リスク増加要因)

以下の要因が塩素ガス発生事故のリスク増加と有意に関連していた (表3)。

- 1) タンクの色による識別: 同じ色のタンクを使用する施設と比較して、異なる色で識別する施設で51%、その他 (シールなどで識別) の施設で83%のリスク増加が認められた。
- 2) 作業時間帯: 全患者退室後に作業を行う施設と比較して、患者在室中に作業を行う施設で28%のリスク増加が認められた。
- 3) タンク設置場所の換気: 換気装置が稼働している施設と比較して、換気できない場所にタンクを設置している施設で54%のリスク増加が認められた。
- 4) 多人数用透析液供給装置のタンク設置場所: 同室内近接して設置している施設と比較して、その他 (多人数用透析液供給装置がないなど) の施設で81%のリスク増加が認められた。

表 2 塩素ガス発生事故経験の有無別にみた対象施設の特性のベースライン比較

塩素ガス発生事例 サンプルサイズ	経験あり N=690	経験なし N=2,511	p 値	塩素ガス発生事例 サンプルサイズ	経験あり N=690	経験なし N=2,511	p 値
1) 施設特性							
使用薬剤の種類			0.018	作業時に窓を開放	11.7	10.2	
1 剤のみ	0.7	2.5		換気できない	8.7	5.3	
次亜塩素酸ナトリウム溶液と酸性溶液の 2 剤	96.8	94.9		その他	4.2	3.3	
装置により 1 または 2 を使用	2.5	2.7		タンクの固定			0.1283
使用タンクの種類			0.4255	固定	11.2	13.8	
2 剤ともタンクに入れ替え	91.1	91.6		非固定	83.4	81.9	
いずれか 1 剤のみタンクに入れ替え	2.8	2		その他	5.4	4.3	
入れ替えず、2 剤とも購入した容器ごと直接接続	6.1	6.4		タンクの形状による識別			0.1054
作業実施人数			0.7018	同一	93.5	92	
1 人	67	65.3		異なる	5.3	7.3	
2 人	29.7	31.4		その他	1.2	0.7	
その他	3.3	3.3		タンクの色による識別			<0.0001
次亜塩素酸溶液補充頻度			<0.0001	同じ色	46.7	57.1	
毎日	8.2	6		異なる色	45.5	37.9	
週 2~3 回程度	41.1	31.1		その他 (シール等で識別)	7.7	5	
週 1 回程度	35.6	43.6		タンクへの薬剤名称表記			0.2503
2 週に 1 回程度	11.7	16		両方表記されている	97.7	97	
その他	3.4	3.3		片方だけ表記されている	1.7	1.6	
酸性溶液補充頻度			0.0115	両方表記されていない	0.6	1.4	
毎日	2.5	2.1		表記ラベルの色			0.1014
週 2~3 回程度	34.8	29.3		同じ色	7.8	10.2	
週 1 回程度	39.3	39.9		異なる色	90.6	88.7	
2 週に 1 回程度	17.1	22.7		その他	1.6	1	
その他	6.4	6		塩素ガス検知装置			0.0958
次亜塩素酸溶液の 1 回使用量			0.0034	設置していない	97.7	98.7	
2 L 以下	27.5	33.3		設置している	2.3	1.3	
3~5 L	42.9	42.8		3) 管理的対策・教育			
6~10 L	22.3	16.4		作業マニュアル			0.0781
11~20 L	5.4	6.1		ある	43.1	38.4	
21 L 以上	2	1.5		ない	53.7	58.4	
酸性溶液の 1 回使用量			0.0278	その他	3.2	3.2	
2 L 以下	25.8	30.1		対応マニュアル			0.0004
3~5 L	41	42.6		ある	35.4	27.5	
6~10 L	24	18.6		ない	60.7	68	
11~20 L	7.7	7		その他	3.8	4.5	
21 L 以上	1.5	1.6		安全教育			0.6802
両薬剤の保管場所			0.5163	定期的に実施	3.2	2.6	
隣接して保管	41.1	40.9		不定期だが実施	33	32.5	
可能な限り離して保管	56.1	57		実施していない	63.7	64.9	
その他	2.8	2.1		ダブルチェック等の安全対策			0.6001
作業時間帯			0.0234	実施している	39.4	41.2	
治療後全患者の退室後	34.8	40.7		実施していない	58.6	57.2	
患者の退室にかかわらず実施	54.9	50.2		その他	2	1.6	
その他	10.4	9.1		両薬剤の同時補充			0.0001
2) 工学的対策							
多人数用装置のタンク設置場所			0.0233	ない (同時補充することはない)	36.3	41	
同室内で近接	41	45.8		時々	49.6	50.5	
同室内で離れている	51.7	48		いつも	14.1	8.6	
別部屋	4	4.5		4) 個人防護具・安全装置			
その他	3.2	1.7		作業時の防護具装着			0.7295
個人用装置のタンク設置場所			0.5923	装着していない	40	39.2	
並べて近接	85.2	83.6		装着している	60	60.8	
装置を間に入れ離している	5.2	5.2		塩素ガス用防護具の常置			<0.0001
その他	9.6	11.1		ない	71.2	81.7	
タンク設置場所の換気			0.0067	ある	28.8	18.3	
換気装置が稼働している	68.4	74.5		中和剤の常備			<0.0001
換気装置がない、または稼働していない	7	6.6		常備していない	58.5	70.9	
				常備している	41.5	29.1	

該当カテゴリーの割合を%で示した。

p 値は χ^2 検定または Fisher 正確検定により算出し、 $p < 0.05$ を統計的に有意とした。

2.4) 中和剤と防護具の扱いについて

多変量解析において、中和剤の常備 (調整済み OR 1.49) および塩素ガス用防護具の常置 (調整済み OR

1.42) が解析上リスク増加要因として検出された(表 3)。中和剤の常備率は、事故経験のある施設で 41.5%、経験のない施設で 29.1%であり、事故経験施設で有意に

表 3 塩素ガス発生事故に関連する要因の検討：横断研究における多変量ロジスティック回帰分析

変数	調整済み OR	95%CI	p 値
保護因子			
次亜塩素酸ナトリウム溶液補充頻度：週 1 回 vs 毎日	0.62	0.50-0.75	<0.0001
次亜塩素酸ナトリウム溶液補充頻度：2 週 1 回 vs 毎日	0.58	0.43-0.77	0.0002
両薬剤の同時補充：時々 vs いつも	0.62	0.46-0.83	0.0011
タンクの形状：異なる vs 同じ	0.68	0.45-1.01	0.053
リスク因子			
タンクの色：異なる vs 同じ	1.51	1.24-1.84	<0.0001
タンクの色：その他（シールなど）vs 同じ	1.83	1.26-2.67	0.0015
作業時間帯：患者在室中 vs 退室後	1.28	1.06-1.54	0.010
換気：できない vs 稼働中	1.54	1.08-2.20	0.018
多人数用透析液供給装置設置場所：その他（多人数用なしなど）vs 同室内近接	1.81	1.02-3.23	0.044
時間的前後関係の可能性			
中和剤の常備	1.49	1.19-1.87	0.0005
塩素ガス用防護具の常置	1.42	1.11-1.82	0.005

Complete Case Analysis (N=2,766, イベント数 603, EPV=54.8), Backward elimination ($p>0.10$ で除外) により変数を選定。
OR：オッズ比, CI：信頼区間

高かった ($p<0.0001$)。同様に、塩素ガス用防護具の常置率は、事故経験のある施設で 28.8%、経験のない施設で 18.3% であり、事故経験施設で有意に高かった ($p<0.0001$) (表 2)。さらに、事故経験施設のみを対象とした事故の重症度（インシデントレベル）別の解析では、塩素ガス用防護具の常置率は事故の重症度と正の相関を示した（Spearman 相関係数 $r=0.098$, $p=0.013$ ）。

2.5) ダブルチェックなどの安全対策について

ダブルチェック実施率は、事故を経験のある施設：41.2%、経験のない施設：39.4% で、両施設間で有意差は認めなかった (χ^2 検定： $p=0.6001$)。多変量解析において、ダブルチェックなどの安全対策を初期モデルに含めたが、Backward elimination の過程で除外された（単変量：未調整 OR 0.934, 95% CI: 0.781-1.117, $p=0.455$; 多変量：調整済み OR 0.908, 95% CI: 0.742-1.111, $p=0.350$ ）。

【横断研究に関する知見と考察】

1. 主要な知見

1.1) 補充頻度の最適化

本研究の最も重要な知見は、次亜塩素酸ナトリウム溶液の補充頻度の最適化が塩素ガス発生事故の強力な予防因子であることが明らかになった点である。毎日補充する施設と比較して、週 1 回～2 週 1 回程度の補充頻度で 38～42% のリスク低減が認められた。この知見は、頻繁な補充作業が作業機会の増加を通じて

ヒューマンエラーのリスクを高めることを示唆しており、ただちに実践可能な予防策として極めて有用である。

1.2) 両薬剤の補充時間の分離

両薬剤をいつも同時に補充する施設と比較して、時々同時補充する施設で 38% のリスク低減が認められた。補充時間を意図的にずらすことで、薬剤の取り違いリスクを低減できる可能性が示された。

1.3) タンクの色による識別の限界

直感に反する結果として、タンクを異なる色で識別する施設で 51%、その他（シールなどで識別）の施設で 83% のリスク増加が認められた。この結果は、色のみによる識別システムでは不十分であり、むしろ色に頼り過ぎることで他の確認作業がおろそかになる可能性を示唆している。複合的な識別システム（色 + 形状 + ラベル + 配置など）の必要性が示された。

2. 時間的前後関係の不確定性に関する考察

中和剤の常備および塩素ガス用防護具の常置がリスク増加要因として検出されたが、本研究は横断研究であるため、中和剤・防護具の常備が事故前から存在していたのか、事故後に導入されたのかを区別することができない。事故経験施設での保有率が有意に高く（中和剤：41.5% vs 29.1%、防護具：28.8% vs 18.3%、いずれも $p<0.0001$ ）、とくに防護具の保有率は事故重症度と正の相関を示した ($r=0.098$, $p=0.013$) ことから、これらは事故予防策というよりも、事故経験後に導入された二次予防・被害軽減策を反映している可能

性が示唆される。したがって、多変量解析で検出されたオッズ比の増加は、真のリスク因子ではなく、事故経験による対策導入という「逆の因果の方向性」を示している可能性が高い。

ダブルチェックなどの安全対策実施の有無は、単変量・多変量いずれでも統計学的に有意な関連を認めなかった ($p>0.10$)。横断研究の限界として、これらの対策の導入時期と事故の前後関係を確定できないため、対策の予防効果を本研究から結論づけることはできない。ただし、これらは事故発生時の被害軽減に有効であることから、万が一の事故への備えとして依然として推奨される。

3. 臨床的意義

本研究で同定された保護因子（補充頻度の最適化、両薬剤の補充時間の分離）は、いずれも低コストで即座に実践可能な対策と考える。これらは設備などの変更ではなく、運用ルールの改変のみでも実施できる点から、大多数の透析施設での導入も極めて容易である。一方、タンクの色のみ依存した識別システムは逆効果となる可能性も示唆され、形状、ラベル、配置などさまざまな要素を組み合わせた複合的な識別システムへの転換が必要と考えられた。

4. 研究の限界

本研究は横断研究であるため、因果関係の方向性を確定することはできない。とくに中和剤・防護具については逆因果関係の可能性が高く、前向き研究による検証が必要である。またアンケート調査による自己申告であるため、記憶バイアスや社会的望ましきバイアスの影響を受けている可能性がある。

IV. 日本臨床工学技士会からの意見

本調査の分析結果から日本臨床工学技士会（以下、当会）として対策について意見を述べる。血液の体外循環治療を行う透析用監視装置では、タンパク除去や殺菌のために次亜塩素酸ナトリウムなどのアルカリ性の消毒薬による洗浄消毒を毎日行う。また、炭酸カルシウムなどにより配管にスケールが析出するため、週に1回以上の酢酸などの酸による配管洗浄も実施している。これらの原液薬剤は、作業の効率化の面から定期的に消毒用タンクに補充されているが、思い込みからこの補充操作を誤り、「入れ間違え」というヒューマンエラーで有毒な塩素ガスが発生したと考える⁵⁾。このような事故の対策として多くの施設で本研究が示す

ように、1) 工学的対策、2) 管理的対策・教育、3) 個人防護具・安全設備などを実施している。

また、多変量解析結果においてリスク低減要因として、以下の解析結果が得られた。

- 1) 次亜塩素酸ナトリウム溶液補充頻度において、毎日補充する施設と比較して、週1回～2週1回程度の補充頻度でリスク低減が認められた。
- 2) 両薬剤の同時補充頻度において、いつも同時に補充する施設と比較して、時々同時補充する施設でリスク低減が認められた。
- 3) タンクの形状による識別では、同じ形状である施設と比較して、異なる形状である施設で有意ではないがリスクが軽減される傾向がみられた。

次にリスク増加要因として、以下の解析結果が得られた。

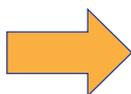
- 1) タンクの色による識別では、同じ色のタンクを使用する施設と比較して、異なる色で識別する施設や、その他（シールなどで識別）の施設でリスク増加が認められた。
- 2) 作業時間帯では、全患者退室後に作業を行う施設と比較して、患者在室中に作業を行う施設でリスク増加が認められた。
- 3) タンク設置場所の換気については、換気装置が稼働している施設と比較して、換気できない場所にタンクを設置している施設でリスク増加が認められた。
- 4) 多人数用透析液供給装置のタンク設置場所については、同室内近接して設置している施設と比較して、その他（多人数用透析液供給装置がないなど）の施設でリスク増加が認められた。

本調査において、透析施設における洗浄薬剤の管理や使用状況が把握され、複合的な要因によって事故が発生している状況を把握することができた。これらの結果から6つの対策が提案されたが、どの対策も事故防止においては、重要な事項であるが、いずれにしても業務を実施しているのは、人間（臨床工学技士）である。

当会として、現状で行われている対策に加え、人間の行動に着目した対策を立てることが重要であると考えられる。この一連の事故への対策として、すでに厚生労働省は、2004年11月に基安発第1102003号で、「次亜塩素酸塩溶液と酸性溶液との混触による塩素中毒災害の防止について」¹⁾を発信している。当会では、臨床工学技士に対し2024年9月に「透析用監視装置の洗浄に用いる薬液の取扱いについて（注意喚起）第1報」を発信した。また、第2報として一般社団法人日本血液



原液を各タンクに補充する。タンクに原液を入れる際に、思い込みで入れ間違いが起きると事故になる。



取付け間違い防止のためキャップ径の異なるものを使用。

原液薬剤タンクに入れられないようにキャップを固定する。

酢酸と次亜塩素酸ナトリウムの原液薬剤を人間の手で各タンクに移さず、原液薬剤容器から原液タンクに落差圧で薬剤を移すことで、入れ間違いがなくなり、事故防止できる。

図 1 洗浄薬剤混合防止対策

浄化技術学会との共同で、2025年3月に「透析関連装置の洗浄・消毒に用いる薬液の取扱いについて—塩素ガス発生予防及び発生時の対応—⁴⁾」を発信した。しかしながら、防止策を徹底しても事故は起きる。この事故の原因として、ヒューマンエラーが考えられることから従事者への教育・訓練を行った上で、誤混入を起こさない対策を考える必要がある。ヒューマンエラーは、人間の行動や判断のミスによって発生するエラーのことである。これは、さまざまな分野で見られるものであり、あらゆる場面で問題を引き起こす可能性がある。

ヒューマンエラーには、注意不足、知識不足、判断ミス、疲労やストレスによる影響など、さまざまな要因があり、これらは①個人的要因、②環境的要因、③組織的要因の3つに大きく分けられる。個人的要因には、作業者の経験不足や認知の限界、環境的要因には、騒音や照明などの職場環境、組織的要因には、不適切な手順や業務の過負荷が含まれる⁶⁾。ヒューマンエラーを防ぐためには、教育・訓練を徹底し、作業環境を整えることが重要で、マニュアルの整備、チェックリストの活用、休息の確保などの対策が有効であり、エラーが発生した際には、その原因を分析し、再発防止策を講じることが求められる。またヒューマンエラーを発生させない設計にする「フルプルーフ」の考え方が必要である。

塩素ガス発生事故に対する「フルプルーフ」の考え方を取り入れた具体的な対策としては、酢酸と次亜塩素酸ナトリウム（溶液）をタンクに直接投入せず、各薬剤容器のキャップなどを物理的に接続できなくなる形状とし、さらにキャップなどに投入用のラインを

接続し、落差圧などでタンクに投入させることで、業務を単純化し、事故を防ぐことが可能となると考える（図1）。今回の実態調査および横断研究の結果からは、複合的識別システムの導入が提言されているが、すでに多くの施設でさまざまな形で取り組まれているのが現状であり、それでも事故発生は続いている。そこで、将来的には抜本的な対応策として、ヒューマンエラーを極力回避可能な「フルプルーフ」が望ましいと考える。しかし現時点としては、本調査報告を参考として各透析施設で再発防止に向けた防止策をまずは検討していただきたい。

V. 実践的推奨事項

今回の4学会合同実態調査の結果に基づいて、透析施設での対策として以下の点を提案する。

- 1) 補充頻度を週1回～2週1回程度に最適化する。
- 2) 両薬剤の補充時間を明確に分離（例：次亜塩素酸ナトリウム溶液は月曜日、酸性液は水曜日など）。
- 3) 複合的識別システムの導入（色のみ依存しない）。
- 4) 全患者退室後の作業実施を原則化。
- 5) 換気設備の整備と稼働確認。
- 6) 中和剤と防護具の常備（万が一の事故への備えとして）。

これらは、塩素ガス発生事故の予防において統計学的に有意な対策であると考えられ、透析施設の安全性向上に寄与することが期待される。

文献

- 1) 厚生労働省. 次亜塩素酸塩溶液と酸性溶液との混触に

- よる塩素中毒災害の防止について。
https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=00tb2236&dataType=1&pageNo=1 (参照 2026-02-18).
- 2) 日本透析医学会. 塩素ガス注意喚起について.
<https://www.jsdt.or.jp/info/4483.html> (参照 2026-02-18).
- 3) 日本透析医会. 透析医療における医療安全のための提言.
https://touseki-ikai.or.jp/touseki/wp-content/uploads/2025/04/2025_0430_iryouanzen_teigen.pdf (参照 2026-02-18).
- 4) 日本臨床工学技士会, 日本血液浄化技術学会. 透析関連装置の洗浄・消毒に用いる薬液の取扱いについて—塩素ガス発生予防及び発生時の対応—. <https://jstb.jp/public/info202503301212510.pdf> (参照 2026-02-18).
- 5) 本間崇. 人または機器に起因するトラブル. 基礎からわかる透析療法パーフェクトガイド 改訂第3版. 東京: Gakken, 2024; 171-2.
- 6) 河野龍太郎. ヒューマンエラー発生のメカニズムとその防止対策. 日透析医会誌 2004; 19: 463-7.