

## 1 2.51 導電率測定法

### 2 以下のように改める。

3 本試験法は、三薬局方での調和合意に基づき規定した試験法であ  
4 る。

5 なお、三薬局方で調和されていない部分のうち、調和合意におい  
6 て、調和の対象とされた項中非調和となっている項の該当箇所は「<sup>◆</sup>  
7 ◆」で、調和の対象とされた項以外に日本薬局方が独自に規定するこ  
8 ととした項は「<sup>◇</sup> ◇」で囲むことにより示す。

9 本試験法では、純液体も含む溶液の導電率測定法の適用方法  
10 を記載する。

11 本試験法では、溶液のイオン特性を知り管理する必要がある  
12 場合に、導電率が溶液の分注、化学的純度、イオン濃度等の測  
13 定、モニター、コントロールのために適用される場合の方法に  
14 ついて示す。

15 適用範囲には、これだけに限定しないが、定置洗浄、クロマ  
16 トグラフィにおける検出、イオン性溶液の調製、終点の検出、  
17 投薬、発酵、緩衝液の調製などにおける溶液が含まれる。

18 また、アルコールやグリコール類のような純粋な有機液体に  
19 は弱い導電率シグナルが存在しており、水や塩の混入によりシ  
20 グナルを著しく増強可能なため、純粋な有機液体にも導電率測  
21 定を適用可能である。

22 導電率測定法は、溶液が化学イオン種により電気を通す能力  
23 を測定する。イオンの導電能力はそのイオンの移動度と直接関  
24 連している。導電率 $\kappa$ は、式(1)に示すように溶液中のイオン  
25 の濃度に比例する。

$$26 \kappa = 1000 \sum_i^{all\ ions} C_i \lambda_i \quad (1)$$

27  $\kappa$  = 導電率(S/cm)

28  $C_i$  = イオン $i$ の濃度(mol/L)

29  $\lambda_i$  = イオン $i$ のモル導電率(S・cm<sup>2</sup>/mol)

30 SI単位であるS/mは、導電率に適切なSI単位であるが、歴史  
31 的に産業界ではS/cmは許容できる単位として用いられている。

32 式(1)によると、導電率にはイオン選択性はなく、すべての  
33 イオン種にตอบสนองする。さらに、それぞれのイオンに特有のモル  
34 導電率は異なる。したがって、溶液中のイオン種の組成比が一  
35 定であるか、既知でなければ、導電率から正確なイオン種の濃  
36 度は求められない。

37 しかし、単一の塩、酸、塩基の溶液、例えば洗浄に用いるアル  
38 カリ溶液などでは、正確な濃度を直接求めることができる。

39 導電率は、イオン選択性はないものの、式(1)に示すように、  
40 希釈液の全イオン種(アニオン及びカチオン)の濃度の和に比例  
41 するので、試験室や製造現場における全イオン量の測定及び管  
42 理に重要なツールである。高濃度における導電率測定は、濃度  
43 に対して完全な直線性を示さない。導電率測定法は、固体や気  
44 体には適用できないが、濃縮ガスには適用可能である。

45 導電率測定に影響するもう一つの要因は、液体の温度である。  
46 液体の温度が上昇するに従い、イオン伝導度は増加し、この物  
47 理化学的現象が導電性液体の測定時に温度補償が必要となる主  
48 な理由である。

49 導電率 $\kappa$ は、式(2)に示すように二つの電極間の液体の電気

50 伝導度 $G$ (S)に比例する。

$$51 \kappa = G \times (d/A) = G \times K \quad (2)$$

52  $\kappa$  = 導電率(S/cm)

53  $G$  = 電気伝導度(S)

54  $d$  = 二つの電極間の距離(cm)

55  $A$  = 電極の表面積(cm<sup>2</sup>)

56  $K$  = セル定数(cm<sup>-1</sup>)、これは比 $d/A$ に等しい。

57 液体の比抵抗 $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )は、式(3)に示すようにその定義から、  
58 導電率の逆数である。

$$59 \rho = 1/\kappa = 1/(G \times K) = R/K \quad (3)$$

60  $\rho$  = 比抵抗( $\Omega \cdot \text{cm}$ )

61  $\kappa$  = 導電率(S/cm)

62  $G$  = 電気伝導度(S)

63  $K$  = セル定数(cm<sup>-1</sup>)

64  $R$  = 抵抗( $\Omega$ )、これは電気伝導度、 $G$ の逆数である。

### 65 1. 装置

66 導電率測定では、導電率測定用セルの電極間の溶液の電気抵  
67 抗を測定する。基本的な装置として、抵抗測定回路と導電率測  
68 定用セルがある。また、導電率測定用セルとユーザーインター  
69 フェースが分かれている場合は、これらは、通常ケーブルで接  
70 続されている。

71 抵抗は、電極に交流電圧(又は交流電流)、すなわち電気の荷  
72 電が周期的に逆転する電圧(又は電流)を与え、電流(又は電圧)  
73 を測定し、オームの法則により抵抗値を算出する。交流電源は、  
74 電極の分極(イオンの集積)を防ぐために利用する。装置によっ  
75 て、測定システムの測定周波数は、装置の測定条件により自動  
76 的に調整される。複線式の抵抗測定回路が測定システムに組み  
77 込まれている装置がある。抵抗測定回路は、トランスミッタ又  
78 は導電率測定用セルに組み込まれているものがある。

79 導電率測定用セルには、少なくとも二つの固定されたサイズ、  
80 形状の導電体があり、それらは、電気絶縁体によって分離され  
81 ている。電極、絶縁体及びその他接液した器具は、液体に接触  
82 することがあるため、液体に対し不活性な物質で構成されてい  
83 る。また、導電率測定用セルは、環境条件(工程又は周辺の温  
84 度、圧力、洗浄適用)に耐性がなければならない。

85 多くの導電率測定用セルには、白金抵抗温度検出器(RTD)又  
86 は負温度係数(NTC)サーミスタのような温度測定器が組み込ま  
87 れている。外部の温度測定器の利用も可能である。これらの温  
88 度測定器は、導電率の温度補償のために必要である。

### 89 2. セル定数の決定

90 導電率測定用セルのセル定数により、導電率又は抵抗値にお  
91 いて、二つの電極の幾何学的構造の違いを標準化することがで  
92 きる。

93 セル定数は、導電率既知の溶液に導電率測定用セルを浸し測  
94 定する。

95 導電率既知の溶液は、国家が認証した規定の組成の混合溶液  
96 を調製するか、あるいは、認証されたトレーサブルな市販の標  
97 準溶液の購入により得ることができる。

98 これらの規定の組成の混合溶液や、認証された溶液には、求  
99 められる精度に応じて5 ~ 200000  $\mu\text{S/cm}$ の範囲のものがある。

100 別法として、セル定数は、認証された校正を受けた参照導電率

101 測定システムとの比較により測定できる(注：導電率測定は、  
102 濃度に対し完全な直線性を有しない。)

103 測定された導電率測定用セルのセル定数は、別に規定される  
104 場合を除き、測定用セルの証明書に示された公称値の5%以内  
105 でなければならない。

106 導電率測定用セルは、通常、耐用期間中にセル定数を変更す  
107 る必要はない。校正により、セル定数の変化が認められた場合  
108 には、機器の製造業者の推奨する方法で導電率測定用セルを洗  
109 浄する。その後、校正操作を再度行う必要がある。時として、  
110 検出部が十分洗浄できていない場合、特に高濃度から低濃度の  
111 溶液に移した場合、メモリー効果がみられる場合がある。

### 112 3. 温度の校正

113 導電率測定用セルのセル定数の検証に加えて、内蔵温度測定  
114 装置(又は外付けの温度測定装置)も適切に校正し、正確に温度  
115 補正ができるようにしておく必要がある。求める温度の精度は  
116 適用する測定の要求精度にもよるが、一般に±1℃で十分であ  
117 る。

### 118 4. 測定電子装置の校正

119 システムの測定回路は基本的には交流電流抵抗測定器である。  
120 アナログケーブルを介した信号伝達を行う測定システムは、適  
121 切に検証又は校正をしておく必要がある。それには導電率測定  
122 用セルを測定回路から取り外し、測定システムのケーブル及び  
123 既知の抵抗値も持ったトレーサブルな抵抗を取り付けて測定し  
124 た抵抗値が規定の抵抗値と一致することで確認できる。判定基  
125 準は、一般的には抵抗値の真度が100オームより大きい場合で  
126 2%未満、それより低い抵抗値の場合は5%未満と大きくでき  
127 るが、最終的には測定の要求精度により真度の判定基準を決め  
128 る。

129 導電率測定用セルを測定回路から取り外すことができない装  
130 置(測定回路と電極が一体化されているもの等)では、調整又は  
131 回路を直接検証するのが困難な場合がある。その場合は測定装  
132 置の完全性検証の代替法として、使用する回路においてセル定  
133 数の決定手順に従いシステム校正を行うこともできる。

134 導電率測定用セルのセル定数、温度測定装置及び測定回路の  
135 検証/校正を同じ手法で定期的に行っている場合は、先ず測定  
136 回路を検証し、次に温度測定装置、最後にセル定数を検証する。  
137 最新の電子装置や安定したセンサーを有する機器については、  
138 これらの項目は安定しており、頻繁に校正する必要はない。適  
139 格性が示された装置と比較することも校正の一つである。校正  
140 は、品質管理システムにおいて決められた適切な間隔で実施す  
141 る。

### 142 5. 温度補償

143 液体の導電率は、温度に依存するため、導電率の測定には、  
144 別に規定される場合を除き、通常、温度補償が必要である。適  
145 切な温度補償アルゴリズムにより、導電率の変化は、温度変化  
146 ではなく濃度変化に起因するとみなすことができる。導電率測  
147 定は、通常25℃で行う。一般的な形式の温度補償(線形)には、  
148 式(4)が用いられる。

$$149 \kappa_{25} = \frac{\kappa_T}{1 + \alpha(T - 25)} \quad (4)$$

150  $\kappa_{25}$  = 25℃の導電率

151  $\kappa_T$  = T℃の導電率

152  $\alpha$  = 導電率の温度係数

153 T= 測定温度

154 多くの塩溶液には、一般的に2.1%/℃の温度係数が用いら  
155 れる。ほとんどの塩水溶液の温度係数の範囲は、1.9 ~ 2.2%  
156 /℃である。液体試料により、他の温度補償方式が適切な場合  
157 がある。◇非線形の温度補償は、装置のあらかじめプログラム  
158 されたデータを用いて行う。様々な溶液の非線形の温度補償デ  
159 ータは、天然水、微量のアンモニアを含む超純水等に広く利  
160 用可能である。◇

161 精製水のような導電率が低い(10 µS/cm未満)場合には、二重  
162 温度補償が必要である。一つは、水の固有の導電率のために、  
163 他方は、水に含まれる他のイオン種のためのものである。これ  
164 らの補償は、通常、マイクロプロセッサで制御された導電率測  
165 定機器では、常時連動し、組込まれている。これは、全ての導  
166 電率測定技術で提供されてはいない。

### 167 6. 溶液の測定

168 オフライン測定の場合、洗浄した導電率測定用セルを測定す  
169 る溶液ですすぐ。次に導電率測定用セルを測定する溶液に掛け、  
170 温度及び温度補正した導電率を記録する。電極の構造によっ  
171 ては、容器の壁が導電率の測定値に影響する場合があるため、容  
172 器内の導電率測定用セルの位置が導電率の測定値に影響がない  
173 かを確かめておく。

174 オンライン又はアットラインによる連続測定の場合、洗浄し  
175 た導電率測定用セルをパイプ、タンク又は容器ベッセルに組み  
176 込み、必要に応じて洗浄する。組込む際にあらかじめ電極の間  
177 に泡やゴミが入らないようになっていることを確認する。電極  
178 の構造によっては、パイプ又はタンクの表面が、導電率の測定  
179 値に影響する場合があるために、それらと導電率測定用セルの  
180 位置が導電率の測定値に影響しないか確認する。

181 温度及び温度補正した導電率を記録する。

182 試験を繰り返すか連続的に測定する場合、導電率測定用セル  
183 の接液部の部品が試料溶液及び測定温度に適合性が良いことを  
184 確認する。

185