

# 目次

刊行のことば *i*

まえがき *iii*

## Chapter 1 序論 *1*

---

1.1 元素分析 *2*

1.2 原子スペクトル分析 *3*

## Chapter 2 誘導結合プラズマの特性—その生成, 構造と測定方法 *7*

---

2.1 プラズマとは *8*

2.1.1 誘導結合プラズマ (ICP) *9*

2.1.2 高周波電源 *10*

2.1.3 高周波整合器 *11*

2.2 プラズマ中の原子・分子の挙動 *12*

2.2.1 電子のエネルギー分布 *12*

2.2.2 解離 *12*

2.2.3 励起 *13*

2.2.4 発光 (緩和) *14*

2.2.5 吸光 *14*

2.2.6 電離 (イオン化) *15*

2.2.7 再結合 *16*

2.2.8 準安定原子とベニングイオン化 *16*

2.3 微量元素分析用プラズマ源の励起機構 *18*

|            |                  |    |
|------------|------------------|----|
| 2.3.1      | ペニングイオン化による励起機構  | 19 |
| 2.3.2      | 再結合による励起機構       | 20 |
| <b>コラム</b> | さわれるプラズマ??       | 21 |
| 2.4        | プラズマ特性の測定        | 22 |
| 2.4.1      | 熱平衡プラズマ          | 22 |
| 2.4.2      | 分光法による温度測定法      | 23 |
| 2.4.3      | その他の大気圧プラズマの特性測定 | 29 |

## Chapter 3 ICP 発光分析装置

33

---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | ICP 発光分析装置の構成と種類                               | 34 |
| 3.2   | ICP 励起源  | 36 |
| 3.2.1 | キャリアーガス  | 38 |
| 3.2.2 | 補助ガス   | 38 |
| 3.2.3 | プラズマガス (冷却ガス)                                  | 38 |
| 3.3   | 試料導入システム                                       | 39 |
| 3.4   | 分光システム   | 42 |
| 3.4.1 | モノクロメータ  | 42 |
| 3.4.2 | エシェル (Echelle) 分光器                             | 46 |
| 3.4.3 | ポリクロメータ 凹面回折格子を用いるパッシェンールンゲ<br>(Paschen-Runge) | 47 |
| 3.5   | 検出器  | 49 |
| 3.6   | プラズマの測光  | 50 |
| 3.7   | ICP 発光分析装置の感度と干渉                               | 52 |

## Chapter 4 分析上の課題と波長の選択

57

---

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 4.1   | はじめに               | 58 |
| 4.1.1 | バックグラウンド等価濃度 (BEC) | 58 |
| 4.1.2 | 短時間安定性             | 59 |
| 4.1.3 | 長時間安定性             | 59 |
| 4.1.4 | 装置検出下限             | 59 |

- 4.1.5 方法定量下限 59
- 4.2 物理干渉とネブライザーにまつわる問題 60
  - 4.2.1 ネブライザー 60
  - 4.2.2 ネブライザーのつまり 62
  - 4.2.3 スプレーチャンバー 64
- 4.3 化学干渉 65
- 4.4 イオン化干渉 66
  - 4.4.1 イオン化干渉発生の機構 66
  - 4.4.2 中性原子線とイオン線の区別について 68
  - 4.4.3 アルカリ金属測定時のイオン化干渉 68
  - 4.4.4 軸方向測光とイオン化干渉 70
  - 4.4.5 内標準法によるイオン化干渉の補正 70
  - コラム** 原子吸光分析法での干渉 71
- 4.5 分光干渉 72
  - 4.5.1 マトリックスによってバックグラウンドが上昇する場合 72
  - 4.5.2 近接線が存在する場合 72
  - 4.5.3 完全にピークが重なる場合 74
- 4.6 ICP 発光分析の測定手法 77
  - 4.6.1 検量線法（マトリックス合わせなし） 77
  - 4.6.2 検量線法（マトリックス合わせをする場合）；マトリックスマッチング 79
  - 4.6.3 標準添加法 79
  - 4.6.4 内標準補正法（強度比法） 83
- 4.7 分析線波長の選択 89
  - 4.7.1 分析線波長選択の手順 89
  - 4.7.2 分光干渉の事例 92
  - コラム** 波長表 94
- 4.8 分析条件の最適化 95
  - 4.8.1 水溶液測定の基本条件 95
  - 4.8.2 ICP 発光分析での有機溶媒測定について 97

---

Chapter 5 試料導入法 105

|       |                              |     |
|-------|------------------------------|-----|
| 5.1   | はじめに                         | 106 |
| 5.2   | 水素化物導入／ICP-AES               | 107 |
| 5.3   | 加熱気化導入／ICP-AES               | 116 |
| 5.4   | その他の方法                       | 118 |
| 5.4.1 | 連続噴霧法                        | 118 |
| 5.4.2 | レーザー気化導入法                    | 120 |
| 5.4.3 | クロマトグラフィーまたはフローインジェクション法との結合 | 123 |
| 5.4.4 | 試料導入法の違いによる ICP-AES のデータ処理   | 125 |

---

Chapter 6 試料の前処理 131

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 6.1   | 試料分解法              | 132 |
| 6.1.1 | 開放系酸分解法            | 134 |
| 6.1.2 | 圧力容器法（マイクロ波加熱酸分解法） | 137 |
| 6.1.3 | アルカリ融解法            | 140 |
| 6.2   | 分離・濃縮法             | 142 |
| 6.2.1 | 溶媒抽出法              | 142 |
| 6.2.2 | 固相抽出法              | 145 |
| 6.2.3 | 共沈・沈殿分離法           | 150 |

---

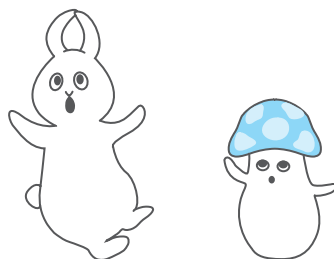
Chapter 7 応用例 155

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 7.1   | 鉄鋼材料         | 156 |
| 7.1.1 | はじめに         | 156 |
| 7.1.2 | 鉄鋼分析の流れ      | 160 |
| 7.1.3 | サンプリング，および洗浄 | 160 |
| 7.1.4 | 秤量           | 161 |
| 7.1.5 | 分解           | 162 |

|        |                                |     |
|--------|--------------------------------|-----|
| 7.1.6  | 鑄鉄の分解                          | 170 |
| 7.1.7  | 測定                             | 170 |
| 7.2    | 非鉄材料                           | 172 |
| 7.2.1  | はじめに                           | 172 |
| 7.2.2  | 非鉄分析の流れ                        | 172 |
| 7.2.3  | 銅                              | 174 |
| 7.2.4  | ニッケル                           | 175 |
| 7.2.5  | アルミニウム                         | 176 |
| 7.2.6  | マグネシウム                         | 180 |
| 7.2.7  | チタン                            | 181 |
| 7.2.8  | 亜鉛                             | 182 |
| 7.2.9  | タンゲステン                         | 182 |
| 7.2.10 | ジルコニウム                         | 183 |
| 7.2.11 | タンタル                           | 184 |
| 7.2.12 | ホワイトメタル (軸受合金), およびはんだ (低融点合金) | 184 |
|        | <b>コラム</b> 鉛フリーはんだ             | 185 |
| 7.3    | セラミックス材料                       | 186 |
| 7.3.1  | はじめに                           | 186 |
| 7.3.2  | セラミックス分析の流れ                    | 186 |
| 7.3.3  | 開放系酸分解法                        | 189 |
| 7.3.4  | 加圧分解法                          | 190 |
| 7.3.5  | アルカリ融解法                        | 192 |
| 7.3.6  | 二硫酸塩による融解法                     | 195 |
| 7.4    | 有機材料                           | 197 |
| 7.4.1  | はじめに                           | 197 |
| 7.4.2  | 有機材料分析の流れ                      | 198 |
| 7.4.3  | 乾式灰化法                          | 199 |
| 7.4.4  | 湿式による分解                        | 200 |
| 7.4.5  | ICP-AESによる有機物の直接測定             | 204 |
|        | <b>コラム</b> RoHS 指令             | 205 |

|       |                             |     |
|-------|-----------------------------|-----|
| 7.5   | 土壌・底質                       | 206 |
| 7.5.1 | はじめに                        | 206 |
| 7.5.2 | 土壌の分析                       | 206 |
| 7.5.3 | 底質の分析                       | 212 |
| 7.5.4 | 土壌および底質の多元素同時分析             | 215 |
| 7.6   | 廃棄物・焼却灰                     | 217 |
| 7.6.1 | 廃棄物の溶出試験                    | 217 |
| 7.6.2 | ICP-AESを用いるばいじん溶出液の分析とその注意点 | 221 |
| 7.6.3 | 産業廃棄物焼却灰中貴金属類の分析            | 225 |

|    |     |
|----|-----|
| 索引 | 231 |
|----|-----|



イラスト/いさかめぐみ