

# 目 次

## 序 章

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 〔1〕 赤外線の歴史               | 2 |
| 〔2〕 赤外領域の定義              | 3 |
| 〔3〕 分光学的定義               | 4 |
| 〔4〕 パッシブ分野およびアクティブ分野での定義 | 6 |
| 〔5〕 エネルギー応用              | 6 |
| 参考文献                     | 8 |

## 1章 放射の理論

|                    |    |
|--------------------|----|
| 1・1 黒体放射           | 11 |
| 〔1〕 プランクの分布則       | 11 |
| 〔2〕 ステファン-ボルツマンの法則 | 12 |
| 〔3〕 ウィーンの変位則       | 12 |
| 〔4〕 放射光量子に関する式     | 13 |
| 1・2 放射量の計算         | 13 |
| 1・3 放射率, 反射率と透過率   | 19 |
| 〔1〕 放射率            | 19 |
| 〔2〕 反射率と透過率        | 20 |
| 参考文献               | 22 |

## 2章 赤外放射源

|          |    |
|----------|----|
| 2・1 黒体炉  | 23 |
| 2・2 熱放射源 | 25 |

|     |                           |    |
|-----|---------------------------|----|
| 〔1〕 | ネルンストグローワ (Nernst glower) | 25 |
| 〔2〕 | グローバ                      | 26 |
| 〔3〕 | アーク放電                     | 26 |
| 〔4〕 | タングステンランプ                 | 26 |
| 〔5〕 | 高圧水銀ランプ                   | 26 |
| 2・3 | 天然放射体                     | 27 |
| 〔1〕 | 太陽                        | 27 |
| 〔2〕 | 星                         | 27 |
| 〔3〕 | 人                         | 28 |
| 〔4〕 | 地球                        | 28 |
| 2・4 | シンクロトロン放射光                | 29 |
| 2・5 | レーザ                       | 30 |
| 〔1〕 | 炭酸ガスレーザ                   | 32 |
| 〔2〕 | HF レーザ                    | 32 |
| 〔3〕 | 自由電子レーザ                   | 32 |
| 〔4〕 | 波長可変赤外半導体レーザ              | 33 |
|     | 参考文献                      | 38 |

### 3章 赤外スペクトルと分光

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 3・1 | 物質とスペクトル     | 41 |
| 〔1〕 | 原子スペクトル      | 41 |
| 〔2〕 | 分子スペクトル      | 42 |
| 〔3〕 | 固体のスペクトル     | 50 |
| 3・2 | 赤外分光法        | 54 |
| 〔1〕 | プリズム分光法      | 54 |
| 〔2〕 | 回折格子分光法      | 58 |
| 〔3〕 | フーリエ分光法      | 61 |
| 〔4〕 | ファブリー-ペロー干渉計 | 67 |
| 〔5〕 | ヘテロダイン分光法    | 69 |

|            |    |
|------------|----|
| 〔6〕 レーザ分光法 | 74 |
| 参考文献       | 77 |

## 4章 大気の透過特性と背景放射

|                     |    |
|---------------------|----|
| 4・1 大気の吸収           | 81 |
| 4・2 大気の散乱           | 84 |
| 4・3 背景放射の分類         | 85 |
| 4・4 背景放射の分光分布特性     | 87 |
| 〔1〕 天空背景放射          | 87 |
| 〔2〕 地表からの背景放射       | 88 |
| 4・5 背景放射の空間分布特性     | 89 |
| 〔1〕 等方性背景放射         | 89 |
| 〔2〕 海面の水平線付近の背景放射特性 | 92 |
| 参考文献                | 93 |

## 5章 赤外光学材料と光学素子

|             |     |
|-------------|-----|
| 5・1 光学材料    | 95  |
| 〔1〕 光学的性質   | 95  |
| 〔2〕 種々の光学材料 | 99  |
| 5・2 光学素子    | 102 |
| 〔1〕 レンズ     | 102 |
| 〔2〕 鏡       | 103 |
| 〔3〕 プリズム    | 104 |
| 〔4〕 回折格子    | 105 |
| 〔5〕 窓板      | 106 |
| 〔6〕 フィルタ    | 107 |
| 〔7〕 偏光素子    | 108 |
| 〔8〕 赤外光ファイバ | 110 |
| 参考文献        | 111 |

## 6章 赤外線センサ

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 6・1 赤外線を検出法                             | 115 |
| 6・2 赤外線センサの評価方法                         | 116 |
| 〔1〕 感度 (responsivity)                   | 116 |
| 〔2〕 検出能 (detectivity)                   | 117 |
| 〔3〕 雑音等価入射束 (NEP)                       | 117 |
| 〔4〕 比検出能 (specific detectivity, $D^*$ ) | 118 |
| 〔5〕 雑音                                  | 118 |
| 6・3 光伝導センサ                              | 119 |
| 〔1〕 光伝導現象                               | 120 |
| 〔2〕 光伝導のメカニズム                           | 122 |
| 〔3〕 背景雑音制限比検出能 (BLIP- $D^*$ )           | 123 |
| 6・4 光起電力センサ                             | 124 |
| 〔1〕 光電流の発生                              | 125 |
| 〔2〕 InSb センサ (中赤外線用)                    | 126 |
| 〔3〕 HgCdTe センサ (遠赤外線用)                  | 128 |
| 6・5 熱型センサ                               | 129 |
| 〔1〕 熱電対                                 | 129 |
| 〔2〕 ボロメータ                               | 131 |
| 〔3〕 極低温ボロメータ                            | 131 |
| 6・6 焦電センサ                               | 132 |
| 〔1〕 動作原理                                | 132 |
| 〔2〕 感度の周波数特性                            | 133 |
| 〔3〕 雑音                                  | 135 |
| 〔4〕 センサ材料と性能                            | 136 |
| 6・7 赤外線撮像デバイス                           | 137 |
| 〔1〕 デバイスの構成                             | 137 |
| 〔2〕 焦電ビジコン                              | 138 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 〔3〕 Pt-pSi ショットキー障壁型 IRCCD ..... | 140 |
| 〔4〕 SPRITE センサ .....             | 141 |
| 〔5〕 ハイブリッド型撮像デバイス .....          | 142 |
| 6・8 超伝導センサ .....                 | 145 |
| 〔1〕 超伝導ボロメータ .....               | 145 |
| 〔2〕 超伝導接合型センサ .....              | 147 |
| 参考文献 .....                       | 153 |

## 7章 冷 却

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 7・1 センサの冷却と冷却の方式 ..... | 155 |
| 7・2 ジュール・トムソン冷却 .....  | 156 |
| 7・3 放射冷却 .....         | 158 |
| 7・4 機械式冷却 .....        | 162 |
| 〔1〕 冷却機の基本構成 .....     | 162 |
| 〔2〕 冷却機の冷凍サイクル .....   | 163 |
| 参考文献 .....             | 170 |

## 8章 赤外線システム

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 8・1 システムの構成 .....        | 171 |
| 8・2 システム設計と評価 .....      | 177 |
| 〔1〕 光学系の設計と評価 .....      | 177 |
| 〔2〕 変調機構と空間フィルタリング ..... | 178 |
| 〔3〕 システムの解析と評価 .....     | 182 |
| 8・3 信号処理 .....           | 185 |
| 〔1〕 信号処理の必要性 .....       | 185 |
| 〔2〕 信号処理の方式 .....        | 186 |
| 参考文献 .....               | 190 |

## 9章 赤外線応用技術

|     |                      |     |
|-----|----------------------|-----|
| 9・1 | 放射温度計測               | 193 |
| 〔1〕 | 放射温度測定の概要            | 193 |
| 〔2〕 | トレーサビリティ             | 196 |
| 〔3〕 | 点温度測定                | 197 |
| 〔4〕 | 温度分布測定               | 198 |
| 〔5〕 | プラズマ温度測定             | 200 |
| 9・2 | ホームエレクトロニクス          | 207 |
| 〔1〕 | ホームエレクトロニクスに用いられるセンサ | 208 |
| 〔2〕 | 温度センサ付電子レンジ          | 209 |
| 〔3〕 | 来客報知センサ              | 210 |
| 〔4〕 | エレベータ用モニタリング         | 213 |
| 9・3 | 赤外線リモートセンシング         | 216 |
| 〔1〕 | 原理                   | 216 |
| 〔2〕 | 方式                   | 224 |
| 〔3〕 | 赤外線リモートセンシングの応用      | 228 |
| 9・4 | 放射の応用                | 232 |
| 〔1〕 | 加熱・乾燥                | 232 |
| 〔2〕 | 加工                   | 240 |
| 9・5 | 赤外通信                 | 245 |
| 〔1〕 | 長波長帯の開拓              | 246 |
| 〔2〕 | 光通信の特徴と構成            | 247 |
| 〔3〕 | 通信用光ファイバの開発          | 249 |
| 9・6 | 材料の分析・評価             | 255 |
| 〔1〕 | GaAs中の炭素の定量          | 255 |
| 〔2〕 | Si中軽元素不純物の定量         | 256 |
| 〔3〕 | ダイヤモンド状炭素膜の赤外吸収スペクトル | 259 |
| 〔4〕 | シリコン酸化被膜の分析          | 262 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 〔5〕 シリコン単結晶表面の酸化過程の分析 ..... | 263 |
| 参考文献 .....                  | 266 |

## 付 録

|                  |     |
|------------------|-----|
| 1. 物理定数 .....    | 273 |
| 2. 赤外線技術用語 ..... | 274 |
| 3. 用語の説明 .....   | 275 |
| 索引 .....         | 277 |