

★熱エネルギーを利用する上で必要不可欠な、熱エネルギーの計測技術をやさしく解説。  
 ★新たに開発された様々な伝熱計測技術も加え、体系化を試みた「伝熱計測技術の集大成」！！



# 最新 伝熱計測技術ハンドブック

## Handbook of Thermal Transport Measurements Technology

### 監修

架谷 昌信 名古屋大学 名誉教授  
 愛知工業大学 工学部 教授 工学博士

◆発行 2011年9月19日発行  
 ◆体裁 B5判 一段組上製本 500頁  
 ◆価格 本体40,000円 (+税)  
 国内送料弊社負担  
 ◆発行 テクノシステム 978-4-924728-62-2 C3050

### 執筆者一覧 (50音順)

板谷 義紀 岐阜大学 工学部 機械システム工学科 教授 工学博士  
 窪田 光宏 名古屋大学 大学院工学研究科 エネルギー理工学専攻  
 助教 博士(工学)  
 汲田 幹夫 金沢大学 理工研究域 自然システム学系 准教授 博士(工学)  
 小林 潤 工学院大学 工学部 機械工学科 准教授 博士(工学)  
 小林 敬幸 名古屋大学 エコトピア科学研究所 エネルギー科学研究部門  
 准教授 博士(工学)  
 斎藤 純 株式会社チノー 久喜事業所 生産部 部長  
 高見 千保美 東邦ガス株式会社 技術研究所 研究サービスグループ  
 成瀬 一郎 名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻 教授  
 工学博士  
 西村 顕 三重大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 助教 博士(工学)  
 義家 亮 名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻 准教授  
 工学博士  
 渡邊 智秀 群馬大学 大学院工学研究科 社会環境デザイン工学専攻  
 教授 博士(工学)  
 渡邊 藤雄 愛知工業大学 工学部 教授 工学博士

### □■□主な目次□■□

第1章 温度計測(その1):接触法  
 第2章 温度計測(その2):非接触法  
 第3章 熱流および熱伝達係数の測定  
 第4章 熱量の測定  
 第5章 熱伝導度の測定  
 第6章 熱放射物性の測定  
 第7章 伝熱に関連する諸計測法  
 第8章 燃焼計測  
 付表  
 索引

★あらゆる産業分野に必要とされる熱エネルギーは、今日地球規模における各種の環境問題が顕在化する一方、マイクロ・ナノという極小スケールでは、さまざまな技術開発の進展が加速しつつある。こうした状況において、熱エネルギーの適切な計測、局所的・瞬時的かつ精密な温度計測と伝熱制御がますます求められている。

### 《申込方法》

◎本書籍は一般書店では取扱いをしておりません。下の申込用紙にご記入の上、FAXして下さい。書籍と共に納品書 請求書をご送付申し上げます。また試読をご希望の方は試読希望欄にレ印をお付け下さい。

「最新 伝熱計測技術ハンドブック」(7819) 申込書		<input type="checkbox"/> 申し込み 冊	<input type="checkbox"/> 試読希望	年 月 日
住所 〒	TEL			
会社 団体名	FAX			
所属	役職名			
(フリガナ) 氏名(フルネーム)	E-mail			



株式会社テクノシステム

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-16五十嵐ビル TEL. 03-3293-3105(代)

FAX. 03-3293-3874 E-Mail. info@techno-s.co.jp

# 第1章 温度計測(その1)：接触法

## 第1節 接触式温度計の特徴(種類 使用温度範囲 精度)

(板谷 義紀)

### 1. 温度目盛と各種温度センサの分類

- 1.1 国際温度目盛
- 1.2 温度センサの分類と各種温度センサの実用温度範囲
- 1.3 温度センサの必要要件
  - (1) 感度
  - (2) 分解能
  - (3) 許容差
  - (4)  $SV$ 比
  - (5) 応答性
  - (6) 直線性
  - (7) 有効測定範囲
  - (8) 安定性、再現性、ドリフト、経年変化
  - (9) 互換性、量産性
  - (10) インターフェイス

## 第2節 熱電対

### 1. 測定原理と特徴 (板谷 義紀)

### 2. JIS規格熱電対の種類と特徴 (板谷 義紀)

- (1) R、S熱電対
- (2) K熱電対
- (3) E、J、T熱電対

### 3. 特殊熱電対の種類と特徴 (斎藤 純)

4. 被覆熱電対の構造と特徴(保護管付き シース) (斎藤 純)
5. 補償導線、基準接点およびリニアライザ (斎藤 純)

## 第3節 抵抗式温度計

### 1. 測定原理と特徴 (板谷 義紀)

- 1.1 金属の電気抵抗の温度変化
- 1.2 半導体の電気抵抗の温度変化
- 1.3 測温抵抗体の要件
2. 白金抵抗式温度計 (斎藤 純)
3. サーミスタ温度計 (斎藤 純)
4. 使用上の注意[斎藤 純]

## 第4節 その他の温度計(機械式温度計、水晶、NQR、磁性、光ファイバ) (板谷 義紀)

### 1. 機械式温度計

- 1.1 充満式温度計
- 1.2 バイメタル式温度計

### 2. 光ファイバ温度計

### 3. 感温物質による温度計測

- 3.1 示温塗料
- 3.2 感温液晶

### 4. 特殊温度計

- 4.1 水晶温度計
- 4.2 NQR

### 5. ゼーゲルコーン

## 第5節 計測誤差と温度補正法 (板谷 義紀)

1. 輻射誤差
2. 熱伝導誤差
3. 応答遅れ誤差
4. 空力的誤差
5. 燃焼ガス温度測定
6. 表面 内部温度測定
7. その他の誤差

# 第2章 温度計測(その2)：非接触法

## 第1節 非接触式温度計の特徴 (義家 亮)

## 第2節 熱放射を利用した温度計測 (義家 亮)

1. 測定原理と特徴
2. 赤外線検出器の分類
3. 単色温度計
4. 全放射温度計(放射温度計)
5. 二色放射温度計

6. 赤外線サーモグラフィ
7. 使用上の注意

## 第3節 分光を利用した温度計測 (義家 亮)

1. スペクトル線反転法
2. 発光法
3. ラマン散乱による温度測

## 第4節 特殊な計測法 (義家 亮)

# 第3章 熱流および熱伝達係数の測定

## 第1節 熱流の測定 (小林 敬幸)

1. 間接法による熱流測定
  - 1.1 物体内部温度分布からの熱流計測
  - 1.2 熱収支(ヒートバランス)からの熱流計測
2. センサによる熱流の直接測定
  - 2.1 接触式熱流センサ(伝導熱流センサ)
    - 2.1.1 薄板型(ウェハ型)
    - 2.1.2 薄膜型(フォイルまたはフィルム型)
    - 2.1.3 蒸着膜型
    - 2.1.4 測温接点平面配列型
    - 2.1.5 測温抵抗体型
  - 2.2 輻射熱流センサ
    - 2.2.1 高負荷型
    - 2.2.2 低負荷型
  - 2.3 対流熱流センサ
  - 2.4 その他の特殊熱流センサ

3. 熱流センサの校正法
4. 市販熱流センサの比較と主な用途
  - 4.1 市販熱流センサの性能比較
  - 4.2 熱流センサの用途

## 第2節 熱伝達係数の測定 (小林 敬幸)

1. アナログ則に基づく測定
  - 1.1 熱伝達と物質伝達のアナログ則
  - 1.2 アナログ則の成立条件
  - 1.3 各種の測定法
    - (1) ナフタリン昇華法
    - (2) 恒率乾燥速度法
    - (3) その他の方法
2. 化学反応を利用した測定
  - 2.1 電極反応による測定
  - 2.2 電気化学発光による測定

# 第4章 熱量の測定

## 第1節 熱量計測の基礎 (窪田 光宏)

## 第2節 熱容量の測定 (窪田 光宏)

1. 断熱型熱量計による熱容量測定
  - 1.1 低温用断熱型熱量計
  - 1.2 中高温用断熱型熱量計
2. 非定常法による固体の熱容量測定
  - 2.1 レーザフラッシュ法
    - (1) ハーフタイム法
    - (2) 対数法
  - 2.2 AC カロリメトリー
3. 温度ジャンプカロリメトリー

- 3.1 水熱量計による方法
- 3.2 氷熱量計

## 第3節 発熱量の測定 (窪田 光宏)

1. 高位発熱量と低位発熱量
2. 固体燃料および液体燃料の発熱量測定
  - 2.1 等温壁型熱量計
  - 2.2 熱研式B型断熱熱量計
3. 気体の発熱量測定

## 第4節 示差熱分析および示差走査熱量測定 (窪田 光宏)

1. 示差熱分析
2. 示差走査熱量測定

# 第5章 熱伝導度の測定

## 第1節 熱伝導度の定義 (汲田 幹夫)

1. 熱伝導法則
2. 熱伝導度と熱拡散率

## 第2節 熱伝導度の測定法および装置 (汲田 幹夫)

1. 固体の熱伝導度測定法
  - 1.1 定常法
    - 1.1.1 原理
      - 1.1.1.1 平板直接法(平板絶対法、保護熱板法)
      - 1.1.1.2 熱流計法

- (a) 試験体1枚 熱流計2枚構成
- (b) 試験体2枚構成

### 1.1.4 水熱流計を用いる測定法

### 1.1.5 平板比較法

## 1.2 非定常細線加熱法

### 1.2.1 原理

### 1.2.2 測定装置および方法

### 1.2.3 非定常細線加熱法における端効果

## 1.3 パルス加熱法

- 1.3.1 原理
- 1.3.2 JIS C 2141に基づく測定法
- 1.3.3 パルス加熱法における測定誤差
- 1.4 ステップ加熱法
  - 1.4.1 原理
  - 1.4.2 測定装置および方法
- 1.5 周期加熱法
  - 1.5.1 原理
  - 1.5.2 測定装置および方法
- 1.6 任意加熱法(ラプラス変換法)
  - 1.6.1 原理
  - 1.6.2 測定装置および方法
- 1.7 通電直接加熱法(Kohlrausch法)
  - 1.7.1 原理
  - 1.7.2 測定装置および方法
- 1.8 その他の方法
  - 1.8.1 ベルチエ効果を利用する方法
  - 1.8.2 DTAを利用する方法

- 2. 流体の熱伝導度測定法
  - 2.1 定常法
    - 2.1.1 平行平板法
    - 2.1.2 同心円筒法
  - 2.2 非定常細線法
    - 2.2.1 原理
    - 2.2.2 絶縁物質の熱伝導度測定装置および方法
    - 2.2.3 導電性物質の測定装置および方法
  - 2.3 ステップ加熱法
    - 2.3.1 原理
    - 2.3.2 測定装置および方法
  - 2.4 その他の方法
    - 2.4.1 強制レイリー散乱法
    - 2.4.2 衝撃波法
- 第3節 代表的な物質の熱伝導度 (汲田 幹夫)
  - 1. 固体の熱伝導度
  - 2. 気体の熱伝導度
  - 3. 液体の熱伝導度

## 第6章 熱放射物性の測定

### 第1節 熱放射物性と基本的な熱放射理論 (板谷 義紀)

- 1. 物体の吸収、反射、透過
- 2. 放射熱平衡理論
- 3. 黒体放射理論
- 4. 面放射体の射出率(放射率)
  - 4.1 単色指向射出率
  - 4.2 単色半球射出率
  - 4.3 全指向射出率
  - 4.4 全射出率
  - 4.5 一様性と灰色体
- 5. 面放射体の吸収率
  - 5.1 単色指向吸収率
  - 5.2 単色半球吸収率
  - 5.3 全指向吸収率
  - 5.4 全吸収率
- 6. 面放射体の反射率
  - 6.1 単色2指向反射率
  - 6.2 単色指向半球反射率
  - 6.3 単色半球指向反射率
  - 6.4 単色半球反射率
  - 6.5 全反射率
  - 6.6 一様反射と鏡面反射
  - 6.7 射出率、吸収率、反射率の相互関係
- 7. 黒体面間の放射伝熱
- 8. 灰色体面間の放射伝熱
  - 8.1 二面間の放射伝熱
  - 8.2 射度 照度
- 9. 透過 吸収 射出物体の基礎
- 10. 透過 吸収 散乱 射出物体の輸送方程式
- 11. 各種放射特性値

### 第2節 面放射体の熱放射物性の測定 (板谷 義紀)

- 1. 測定装置
  - 1.1 光源
  - 1.2 検出器
  - 1.3 光学材料
  - 1.4 分光器
- 2. 射出率および反射率の測定法と特徴
- 3. 反射法による計測
  - 3.1 空洞加熱炉法
  - 3.2 積分球法
  - 3.3 積分鏡法
  - 3.4 多重鏡面反射法

- 3.5 角度反射法
- 4. 射出法による計測
- 5. 熱量法による測定
  - 5.1 定常法
  - 5.2 非定常法
- 6. 輝度温度による測定
- 7. 電磁理論による平滑面の射出率 反射率
  - 7.1 Fresnelの法則
  - 7.2 誘電体の反射率 射出率
  - 7.3 導電体の反射率 射出率

### 第3節 透過 吸収 散乱 射出物体の熱放射物性の測定 (板谷 義紀)

- 1. 多重反射する物体の反射率と吸収率
  - 1.1 垂直反射率と垂直射出率
  - 1.2 指向反射率と指向射出率
- 2. 気体の熱放射物性
  - 2.1 透過率 吸収率 射出率
  - 2.2 Hottel線図
  - 2.3 気体射出率のバンド吸収モデル
  - 2.4 Narrow band(狭域バンド)モデル
  - 2.5 Wide band(広域バンド)モデル
- 3. 気体の熱放射物性の測定
- 4. 固体 液体の熱放射物性の測定
- 5. 粒子群 多孔体の熱放射物性の測定

### 第4節 屈折率の測定 (板谷 義紀)

- 1. 屈折率の基礎
- 2. 測定法
  - 2.1 フラウンホーファー法
  - 2.2 コールラウシュ法
  - 2.3 プールフリッヒ法
  - 2.4 アップ屈折計
  - 2.5 ブルースター角法
  - 2.6 干渉計による方法

### 第5節 複素屈折率の測定 (板谷 義紀)

- 1. 均質体の複素屈折率
  - 1.1 反射率による方法
  - 1.2 反射率と透過率による方法
- 2. 粉粒体の複素屈折率
  - 2.1 粒子群の反射による方法
  - 2.2 粒子群の透過による方法
- 3. Kramers-Kronig(K-K)相関
  - 3.1 透過率計測法
  - 3.2 反射率計測法

## 第7章 伝熱に関連する諸計測法

### 第1節 密度の測定 (渡邊 智秀)

- 1. 密度の定義
- 2. 気体および液体の密度
- 3. 気体の密度の測定法
  - (1) 比重瓶法(Dumas法)
  - (2) ガス流出法
  - (3) 連通管による方法
  - (4) ガス天秤法
- 4. 液体の密度の測定法
  - (1) 浮ひょう法
  - (2) 比重瓶法
  - (3) 天秤法
  - (4) 振動式密度計法
  - (5) 放射線式密度計法
- 5. 蒸気の密度の測定法
  - (1) Mayer法
  - (2) Gay-Lussac-Hoffmann法
  - (3) 池田法
- 6. 固体の密度の測定法
  - (1) 天秤法

- (2) 比重瓶法
- (3) 密度勾配管法
- (4) ガス置換法
- (5) 空気比較式比重計
- 7. 多孔質固体の密度の測定
  - (1) 水銀置換法
  - (2) 空気比較法

### 第2節 熱膨張率 (小林 敬幸)

- 1. 膨張計による方法
  - (1) 光波干渉式熱膨張計
  - (2) 示差膨張計
  - (3) 直読式膨張計
- 2. 高温X線回折による方法

### 第3節 粘度の測定 (窪田 光宏)

- 1. 粘度 動粘度
  - 1.1 粘度 動粘度の定義
  - 1.2 粘度と温度 圧力の関係
    - 1.2.1 気体粘度の温度依存性
    - 1.2.2 液体粘度の温度 圧力依存性
- 2. 流動曲線

- 2.1 ニュートン流体と非ニュートン流体
  - (1) 指数則流体
  - (2) 塑性流体
  - (3) その他
- 3. 粘度計の分類
  - 3.1 毛細管(キャピラリー)粘度計
    - 3.1.1 ガラス製毛細管粘度計
      - (1) 測定原理
      - (2) 測定上の注意
    - 3.1.2 細管式粘度計
  - 3.2 落球粘度計
    - (1) 測定原理
    - (2) 測定上の注意
  - 3.3 回転粘度計
    - 3.3.1 共軸二重円筒形回転粘度計
      - (1) 測定原理
      - (2) 測定上の注意
    - 3.3.2 円錐-平板形回転粘度計
      - (1) 測定原理
  - 3.4 振動式粘度計
    - (1) 測定原理
- 第4節 拡散係数の測定 (小林 潤)
  - 1. 拡散係数の定義
  - 2. 気相の拡散係数
    - 2.1 非定常法
      - 2.1.1 Loschmidt 法
        - (1) 測定原理
        - (2) Loschmidt の測定装置
        - (3) Boyd らの測定装置
        - (4) Berry らの測定装置
      - 2.1.2 Taylor 分散法
        - (1) 測定原理
        - (2) 測定装置
    - 2.2 定常法(Stefan 法)
      - (1) 測定原理
      - (2) McMurtrie & Keyes の測定装置
      - (3) Kohnらの装置
    - 2.3 気相拡散係数の推算式
      - (1) Hirschfelder らの式
      - (2) Fuller らの式
  - 3. 液体の拡散係数
    - 3.1 ミクロ干渉法
      - (1) 測定原理
      - (2) ミクロ干渉計による測定
    - 3.2 スケール法
    - 3.3 ソーレー強制レイリー散乱法
      - (1) 測定原理
      - (2) Butenhoffらの測定
    - 3.4 蛍光相関分光法(FCS 法)
  - 4. 多孔質固体内の有効拡散係数
    - 4.1 定常法
    - 4.2 非定常法
    - 4.3 PFG-NMR 法
- 第5節 圧力測定 (西村 顕)
  - 1. 圧力表示の種類

- 2. 測定対象
- 3. 測定技術例
  - 3.1 弾性式
  - 3.2 非弾性式
  - 3.3 差圧伝送器
  - 3.4 真空計
- 第6節 蒸気圧の測定法 (小林 潤)
  - 1. 蒸気圧の定義
  - 2. 静止法
    - (1) 直接法
    - (2) 間接法
  - 3. 沸点法
  - 4. 流通法
  - 5. 気体分子運動論に基づく方法
    - (1) 分子流出法
    - (2) Knudsen 流出回転法
  - 6. 利用可能な蒸気圧データおよび測定装置
- 第7節 湿度測定 (渡邊 藤雄)
  - 1. 湿度の定義
    - 1.1 分圧と飽和蒸気圧
    - 1.2 絶対湿度
    - 1.3 関係湿度および飽和度
    - 1.4 湿度図表
      - 1.4.1 低湿度用湿度図表
        - (1) 絶対湿度対湿度
        - (2) 湿り比熱対湿度
        - (3) 湿り比容
        - (4) 水の蒸発潜熱
        - (5) 断熱冷却線
        - (6) 湿りエンタルピー
        - (7) 湿球温度
        - (8) 露点
      - 1.4.2 高湿度用湿度図表
  - 2. 測定法と特徴
    - 2.1 水蒸気吸収法
    - 2.2 熱力学的平衡湿度測定による方法
      - 2.2.1 鏡面冷却式露点計
        - (1) 肉眼判定式露点計
        - (2) 光学式露点計
      - 2.2.2 通風乾湿計(乾湿球温度計)
    - 2.3 空気の物性測定による方法
    - 2.4 吸湿物質の物性測定による方法
      - 2.4.1 電子式湿度計
        - (1) 電気抵抗式湿度計
        - (2) 電気容量式湿度計
      - 2.4.2 毛髪湿度計
- 第8節 流量流速の測定 (西村 顕)
  - 1. 流量測定技術の分類
  - 2. 流量測定技術例
    - 2.1 体積流量型
    - 2.2 質量流量型
    - 2.3 積算体積流量型
  - 3. 流速測定技術の分類
  - 4. 流速測定技術例

## 第8章 燃焼計測

### 第1節 ガス成分の計測 分析 (成瀬 一郎)

- 1. ガスクロマトグラフィ
  - (1) キャリアガス
  - (2) カラム
  - (3) 検出器
    - 1) 熱伝導度型検出器(TCD : Thermal Conductivity Detector)
    - 2) 水素炎イオン化型検出器(FID : Flame Ionization Detector)
    - 3) 電子捕獲型検出器(ECD : Electron Capture Detector)
    - 4) 炎光光度検出器(FPD : Flame Photometric Detector)
    - 5) 質量分析
- 2. 赤外線吸収法
- 3. 磁気式
- 4. 固体電解質式
- 5. 化学発光式
- 6. 光計測法
  - 6.1 発光光度法
  - 6.2 レーザ光の散乱を利用した計測法

### 第2節 液体成分の計測 分析 (成瀬 一郎)

- 1. 液体クロマトグラフィ
  - (1) 分配クロマトグラフィ
  - (2) 吸着クロマトグラフィ
  - (3) サイズ排除クロマトグラフィ(ゲルろ過)

- (4) イオン交換クロマトグラフィ
- (5) 分配クロマトグラフィ
- (6) 親水性相互作用クロマトグラフィ
- (7) アフィニティクロマトグラフィ
- 2. 液体クロマトグラフィの充填剤
- 3. 液体クロマトグラフィの検出器
  - (1) 紫外吸光度検出器
  - (2) 示差屈折率検出器
  - (3) 蛍光検出器
  - (4) 電気化学検出器
  - (5) 電気伝導度検出器

### 第3節 固体成分の計測 分析 (成瀬 一郎)

- 1. 工業および元素分析
- 2. 固体成分の分析 観察法
  - (1) 電子顕微鏡
  - (2) X線分析
  - (3) その他の分析法

### 第4節 燃焼速度の測定 (成瀬 一郎)

- 1. 気体燃料の燃焼速度の測定
- 2. 液体燃料の燃焼速度の測定
- 3. 固体燃料の燃焼速度の測定
  - (1) 熱天秤による燃焼速度計測
  - (2) 電気加熱式ドロップチューブ燃焼炉による燃焼速度計測

付表 (窪田 光宏、高見 千保美)

## 索引