

★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

◆発刊 2011年9月19日発刊
◆体裁 B5判 一段組上製本 約500頁
◆定価 本体40,000円(+税)
(42,000円)
◆発行 テクノシステム

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。

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) SN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

1.1.2 平板直接法(平板絶対法、保護熱板法)

1.1.3 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 ベルチェ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 プェルフリッヒ法
 - 2.4 アッペ屈折計
 - 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 低温度用湿度図表
 - (1) 絶対湿度対温度
 - (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 高温度用湿度図表
 - 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