

計量標準における本格研究

赤外線式体温計のための標準開発

計量標準における本格研究

計量標準分野では、“原子の遷移周波数による1秒の定義”や“プランク定数を精密決定する”といった物理学の基礎的な単位や定数に関する超精密計測技術の開発が行われますが、同時に、産業や社会に直接役立つ最新の“ものさし”を提供するための実用標準技術の開発も大切な役割のひとつであり、これら2つの研究が有機的に結びつくことが重要です。

実際、ヨーロッパを代表する標準研究所であるドイツ国立物理工学研究所（PTB）が19世紀末に創設されるに際し、当時大量生産が開始されたフィラメント電球の品質管理に必要な光の標準を開発するため、電球メーカーのオーナーであったシーメンス氏（現在のSiemens社）が私財を提供して標準研究所が設立されました。その後、有名なプランクの熱輻射則の実証実験など基礎研究分野においても優れた研究成果が生み出されました。このように、計量標準研究では、精密計測技術（第1種基礎研究）と標準技術（第2種基礎研究）のリンクによる製品の開発（基本単位の設定や標準の供給）が継続的に行われています。

第1種基礎研究による要素技術開発

私は、入所当時から常温域の赤外放

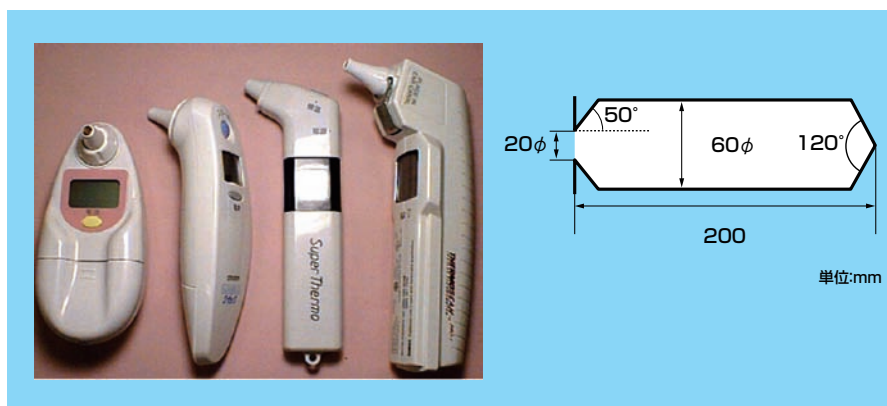


図 市販の赤外線式体温計（左）と開発した標準黒体炉の空洞部の断面図（右）

射温度計測技術と標準の開発に取り組んできました。放射温度計測では、プランクの法則に従って放射される熱輻射（黒体放射）を計測することにより放射源の温度を決定します。

この方法は従来、製鋼プロセスなど高温域の温度計測法として利用されてきましたが、近年では、高性能の赤外線センサが利用可能になって、室温以下－50℃付近まで測定可能な放射温度計やサーモグラフィ装置が開発されています。その結果実用的な非接触温度計として、工業プロセスモニタに加え、食品衛生管理、医用・生体計測などの幅広い分野で利用されています。

常温域の放射温度計測では、黒体輻射エネルギーの多くが波長3μmから12μmの熱赤外域に存在していて精密測定がむずかしいこと、さらに、測定

対象以外の、測定装置や観測者の体表面からもあまねく室温レベルの熱輻射が放射されており、それらの背景熱放射の影響を受けて測定精度が低下しやすいことなどが精密計測をさまたげる技術的課題となっています。

私たちはこれらの課題を解決し、高精度な放射温度標準を確立するため、世界的にもユニークなコンセプトである直流検出型の高精度赤外放射温度計の開発に取り組みました。通常、熱赤外センサでは、背景熱放射の混入を防ぐため、回転チョッパなどを用いた交流検出方式が採用されます。しかし、交流検出方式の場合、リファレンスとなる回転チョッパ表面の温度の精密評価が困難であり、最終的に得られる測定精度に一定の限界が生じてしまいます。

産総研では、独自の冷却放射シールド機構を考案し、従来、困難とされていた熱赤外波長域の直流検出型の赤外放射温度計を開発し、室温付近の黒体放射に対しても、1mKレベルの極めて高い温度分解能を持つ赤外放射温度計をつくることに成功しました。

これらの精密計測技術に加え、放射温度目盛の基準となる精密黒体炉システムの開発にも取り組んできました。常温域の黒体炉は、黒体空洞となる金属製キャビティの温度を恒温液槽によ



1996年 計量研究所入所。2001年より計測標準研究部門。常温付近の放射温度標準をはじめ、分光放射率計測、非接触測温技術などの開発を行っている。2002年から1年間、英国立物理学研究所(NPL)の客員研究員として、赤外測光標準の研究に従事。“熱と光”をキーワードとして、新たな計測技術や標準の研究に取り組んでいる。

石井 順太郎（いしい じゅんたろう）

計測標準研究部門
温度湿度科 放射温度標準研究室

り精密制御することで実現されます。構造は大変シンプルなものですが、このような黒体炉によって実現される黒体放射輝度の不確かさを定量評価するには、多くの技術的課題が存在します。産総研では、より高品質な黒体空洞をデザインし、その放射特性を評価するためモンテカルロ法による熱光学シミュレーション技術の開発を行いました。

これと併せて、赤外域の精密分光放射計測技術を開発し、熱光学物性（放射率）データを独自に収集し、シミュレーション評価の高精度化を図りました。さらに、前述の高精度赤外放射温度計を用いた実験的評価を含めて、世界的にも最高水準となる不確かさ50mKレベルの常温域放射温度標準を確立しました。

第2種基礎研究に向けて

体温計といえば、ガラス（水銀）体温計や電子式体温計が一般的ですが、近年、放射温度計の原理を利用した赤外線式（耳式）体温計が開発され、1996年頃より国内販売が開始されました。赤外線式体温計は、測定時間が1秒程度と短く、測定部位も耳孔を利用

するため、乳幼児の体温測定などにも適しています。販売開始数年後には、国内製造・販売量が年間およそ100万本と、急速に普及が進みました。既存のガラス体温計や電子体温計は、計量法で特定計量器に指定されており、適合性評価のための型式承認や検定が実施されてきました。しかし、赤外線式体温計については、測定原理を含めて新しい計量器であったため、適合性評価のための新たな技術基準の策定や校正・試験のための計量標準の整備が緊急の課題となりました。

国家標準の開発と標準化

体温計に対しては、国際勧告等により最大許容誤差0.2℃以内の精度確保が求められ、基準となる標準黒体炉には、概ね0.07℃以下の不確かさが要求されます。さらに、標準供給（トレーサビリティ）システムの整備にあたっては、体温計メーカーでの製造・試験において使えるようなシステムが求められます。つまり、“高精度”と“柔軟な現場適用性”という相反する要求を満足する技術が求められていました。

産総研では第1種基礎研究の成果である高精度な赤外放射温度計測技術を

活用して、0.03℃以下の不確かさをもつ体温計校正用の黒体炉を開発して国家標準としました。あわせて、一群の赤外線式体温計を用いた黒体炉の校正方法や試験方法の開発に取り組み、これらの成果をもとに、黒体炉の校正サービスを開始するとともに、赤外線式体温計に関する標準化（JIS規格の作成）を行いました。

標準が社会にもたらす効果

産総研では、赤外放射温度計測技術に関する基礎的な研究開発（第1種基礎研究）に取り組むとともに、そこで培われた精密計測技術を基盤として“新型体温計の普及拡大”という社会的ニーズに対応した計量標準の整備や標準化（第2種基礎研究）に取り組んできました。

赤外線式体温計が普及し始めた当時は、その測定精度や信頼性について、医療関係者やユーザーからも不満や疑問の声が多く寄せられていましたが、トレーサビリティ体系の整備や技術基準の作成（標準化）を通じて、赤外線式体温計の品質管理の向上や適合性評価の明確化が図られ、エンドユーザーにおける信頼性向上に貢献しました。

また、産総研における赤外線式体温計の校正・試験技術の開発は、世界的にも先導的な取り組みであったため、2003年にアジア地域でSARS（重症急性呼吸器症候群）が流行したとき、産総研の標準黒体炉が台湾とシンガポールの標準研究所へ緊急貸与され、空港や学校などさまざまな公共の場所における発熱患者のスクリーニングに役立ちました。



写真
標準黒体炉を用いた赤外線式体温計の校正の様子