

温度 ケルビン 単位記号 K

温度の基本単位ケルビンは、水の三重点の熱力学温度の $1/273.16$ であると定義されていましたが、今回の改定により、ボルツマン定数を用いて再定義されました。これにより、特定の温度域・温度計を使用しない熱力学温度測定が可能になり、水の三重点から離れた温度域での測定精度向上が期待されます。

温度：ケルビン(単位記号K)の国際度量衡総会(CGPM)での承認・改定決議の履歴

1948年
(昭和 23)
第 9回 CGPM

熱力学温度の参照点として
水の三重点を採択

1954年
(昭和 29)
第10回 CGPM

熱力学温度目盛の定義

「水の三重点は厳密に 273.16 K と定義。」

1967年
(昭和 42)
第13回 CGPM

熱力学温度ケルビンの名称と定義を採択

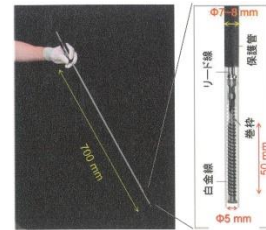
「熱力学温度の単位、ケルビンは、水の三重点の熱力学温度の $1/273.16$ である。」

水の三重点(1954~2019)

1954年、水の三重点は厳密に 273.16 K と定義され、1967/68年に熱力学温度の単位ケルビンは水の三重点の熱力学温度の 273.16 分の1倍と定義された。水の三重点は気相・液相・固相の三相が共存する状態であり、温度・圧力共に一意に決まるため温度の再現性に優れている。写真は、ガラスでできている容器に純水を密封し、その容器内で水の三重点を実現する、水の三重点セルである。容器中心軸上には、校正対象の温度計を挿入するためのガラス管を備えている。水の三重点温度の再現性は、 5×10^{-7} を下回っているが、ガラスからの溶出による不純物の影響などで長期的な安定性には課題があった。このため、熱力学温度の単位ケルビンは 2019年より、ボルツマン定数を用いた普遍的な定義に改定された。

1990年国際温度目盛(1990~)

熱力学温度の実現は、時間・労力が多大にかかるため、その最良近似である 1990年国際温度目盛(ITS-90)が実用的な温度標準として用いられている。定義改定後も、ITS-90は継続して用いられる。写真左は、1000℃付近の高温域までITS-90にしたがって高精度に温度計測を可能とすることを目的に、民間企業との連携で開発した白金抵抗温度計である(2016~)。写真右は、の最低温度域である3He蒸気圧温度目盛(0.65 K~3.2 K)を実現するために開発した装置(2002~)である。



2018年
(平成 30)
第26回 CGPM

ボルツマン定数によるケルビンの再定義

◆ 温度の新しい定義(2019年5月20日施行)

ケルビン(記号は K)は熱力学温度のSI単位であり、ボルツマン定数 k を単位 $J K^{-1}$ ($kg m^2 s^{-2} K^{-1}$ に等しい) で表したときに、その数値を $1.380 649 \times 10^{-23}$ と定めることによって定義される。ここで、キログラム、メートル、秒はそれぞれ h 、 c 、 $\Delta \nu_{Cs}$ を用いて定義される。

この定義は、 $k = 1.380 649 \times 10^{-23} kg m^2 s^{-2} K^{-1}$ という厳密な関係を示している。この式から定義定数 k 、 h 、 $\Delta \nu_{Cs}$ を用いてケルビンを以下のように厳密に表現することができる。

$$1 K = \left(\frac{1.380 649}{k} \right) \times 10^{-23} kg m^2 s^{-2} = \frac{1.380 649 \times 10^{-23}}{(6.626 070 15 \times 10^{-34})(9 192 631 770)} \frac{\Delta \nu_{Cs} h}{k} \approx 2.266 665 3 \frac{\Delta \nu_{Cs} h}{k}$$

この定義は、1ケルビンとは、 $1.380 649 \times 10^{-23} J$ の熱エネルギー kT の変化をもたらす熱力学温度の変化に等しいことを意味している。

※ 計量法計量単位令の定義(令和元年5月20日施行)

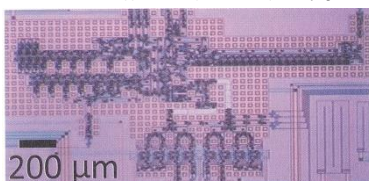
ボルツマン定数を 10 の 23 乗分の $1.380 649$ ジュール毎ケルビンとすることによって定まる温度

★ 物質から基礎物理定数へ

雑音温度計(2010~)

抵抗体が発生する熱雑音により熱力学温度を測定する温度計である。産総研では、2010年頃から、量子効果を利用した疑似ノイズ源を基準とし、温度 T におかれた抵抗体が発生する熱雑音を比較することで、熱力学温度を測定する雑音温度計の研究開発を行っている。

写真は、産総研が独自に開発した集積型量子電圧雑音源であり、ボルツマン定数の測定にも用いられた。



音響気体温度計(2013~)

アルゴンなど希ガスの音速から熱力学温度を測定する温度計である。音速は、形状寸法のわかった容器中の希ガスの音響共鳴周波数から求められる。不確かさの小さい測定が可能であるとともに、広い温度域において熱力学温度が測定できる。産総研では、2013年頃からその研究開発を行っている。写真は、産総研が開発した音響気体温度計であり、ボルツマン定数の測定にも用いられた。

今後、より広い温度域において、精密な熱力学温度の測定ができることを目指し、研究開発を継続している。



金属-炭素系高温定点(1998~)

金属と炭素の共晶合金、包晶合金の誘拐点による $1 100$ °C を超える温度定点が、1998年以降、産総研から数多く提案された。国際的にも実用化が進み、現在では $2 800$ °C に迫る温度域まで温度計の校正に用いられている。

ケルビンの定義改定を機に、これらの高温定点を用いることで、ITS-90 ではなく熱力学温度を測る動きが高温域で進むことになる。写真は、 $2 749$ °C の炭化タングステン-炭素包晶点を実現している高温定点炉である。

