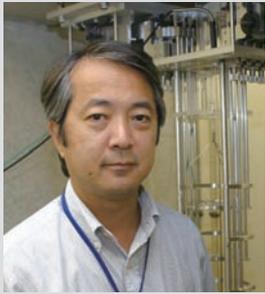


# 本格的測定を開始したアボガドロ国際プロジェクト

## $^{28}\text{Si}$ によるキログラムの再定義



藤井 賢一

ふじいけんいち

fujii.kenichi@aist.go.jp

計測標準研究部門  
物性統計科  
流体標準研究室長  
(つくばセンター)

1984年、計量研究所に入所し密度と音速の精密計測などに関する研究を行ってきました。1994年から2年間、米国NISTの客員研究員としてワットバランス法によるプランク定数の測定に関する研究に従事し、帰国後は密度、粘度、屈折率などの物性標準を国内のユーザーに供給するとともに、アボガドロ国際プロジェクトのコーディネーターとしてアボガドロ定数の精密計測に関する研究を推進してきました。国際度量衡委員会 (GIPM) 質量関連量諮問委員会 (CCM) 密度作業部会 (WG Density) の議長、単位諮問委員会 (CCU) や CODATA 基礎定数作業部会の委員として SI 単位の再定義や計量標準の普及に貢献したいと考えています。

### 関連情報：

#### ● 共同研究者

早稲田 篤、倉本 直樹、藤本 弘之、水島 茂喜、藤本 俊幸、東 康史、豊島 安健 (産総研)

#### ● 参考文献

[1] K. Fujii et al.: *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 54, 854-859 (2005) .

[2] *AIST Today*, 6 (8), 14-15 (2006) .

[3] *AIST Today*, 7(3), 30 (2007) .

[4] *AIST Today*, 8(4), 30, (2008) .

[5] きちんとわかる計量標準, 223-248 (2007) .

### 人工原器に頼る唯一のSI基本単位

国際単位系 (SI) には7つの基本単位がありますが、キログラムだけは今でも原器によって定義される唯一のSI基本単位です。1889年に開催された第1回国際度量衡総会 (CGPM) において国際キログラム原器が質量の単位として承認されて以来、その定義は変わっていません。近年、普遍的な物理定数を使ってキログラムを定義し直すことが検討されるようになり、2007年に開催された第23回CGPMではキログラム再定義を実現するための研究を世界各国の計量標準研究機関が協力して行うことなどが勧告されています。

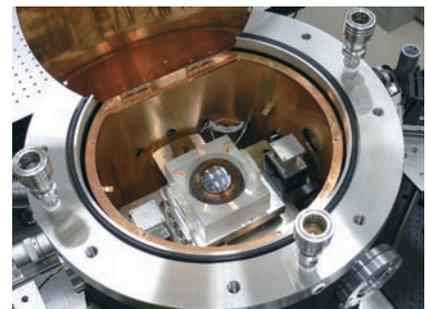
### 国際プロジェクトの概要

アボガドロ定数はシリコン単結晶の格子定数、密度、モル質量から求められる基礎物理定数です。産総研ではアボガドロ定数を測定して原子の数からキログラムを再定義するための研究を行ってきました。2003年にはEUの標準物質計測研究所 (IRMM) との協力によりアボガドロ定数を  $2 \times 10^{-7}$  という最も小さい不確かさで測定することに成功しましたが、自然界のシリコンには3種類の安定同位体  $^{28}\text{Si}$ 、 $^{29}\text{Si}$ 、 $^{30}\text{Si}$  が存在するため、モル質量 (同位体存在比) の測定精度が制約となり、それ以上の精度は得られませんでした。この問題を解決するために産総研の計量標準総合センター (NMIJ)、IRMM、ドイツ物理工学研究所 (PTB)、イタリア計量研究所 (INRIM)、オーストラリア計量研究所 (NMIA)、国際度量衡局 (BIPM)、米国標準技術研究所 (NIST)、英国物理研究所 (NPL) など世界の8研究機関が協力して、

$^{28}\text{Si}$ だけを濃縮した結晶からアボガドロ定数を決めるための国際プロジェクトを開始しました。原料となる  $\text{SiF}_4$  をロシアの遠心分離技術で99.99%まで濃縮するのに2年を要し、化学精製、多結晶化などを経て2007年5月には5kgの $^{28}\text{Si}$ 単結晶が完成しました (写真左)。この結晶から直径94mm、真球度7nm、質量1kgの球がオーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO) で2個研磨されました。世界で最も丸い貴重な球と言えるでしょう。そのうちの1つが2008年4月に産総研に運ばれてきました。私たちは新たに開発したレーザー干渉計 (写真右) を使って、数百方向からの直径測定からその体積を求め、質量測定の結果などから結晶の密度を精密に求めています。

### 今後の計画

現在、もう1つのシリコン球の密度はドイツで測定されています。オーストラリアでも密度測定を行った後に球を交換し、3研究機関でそれぞれ独立して密度を測定して値が正しいかどうかを確かめます。格子定数とモル質量についても複数の研究機関で測定を行います。このほかに表面、格子欠陥、純度など数多くの評価を終えてアボガドロ定数を決めることができるのは2010年の予定です。この国際プロジェクトの目標はキログラムを再定義するのに十分な  $2 \times 10^{-8}$  の精度でアボガドロ定数を決めることです。現在、この目標精度での測定結果が得られつつあり、2011年秋に開催される第24回CGPMで再定義を行うかどうか審議されることになるでしょう。



浮遊帯域 (FZ) 法で引き上げられた濃縮度99.99%、質量5kgの $^{28}\text{Si}$ 単結晶 (左) と、この結晶から作成した1kgのシリコン球の直径を測るレーザー干渉計 (右)。放射シールドによって精密に温度制御された真空中でシリコン球の直径をサブナノメートルの精度で測定します。