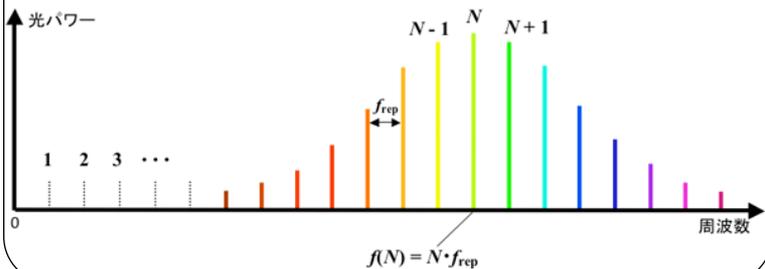


# 1. 光周波数標準の活用事例

## ■ 光周波数コムとは

モード同期レーザーと呼ばれる超短光パルスレーザから出力される、広帯域かつ櫛状のスペクトルを持つ光のこと。このスペクトルの形状がくし(comb)に似ていることから「光周波数コム(comb)」と呼ばれる。繰り返し周波数 $f_{rep}$ を、協定世界時に同期すれば、光周波数コムを使って光の振動を数えることができる。



## ■ 光周波数標準の開発・整備・供給

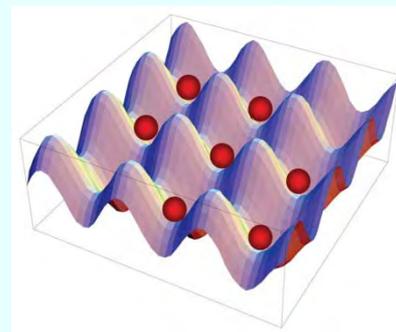
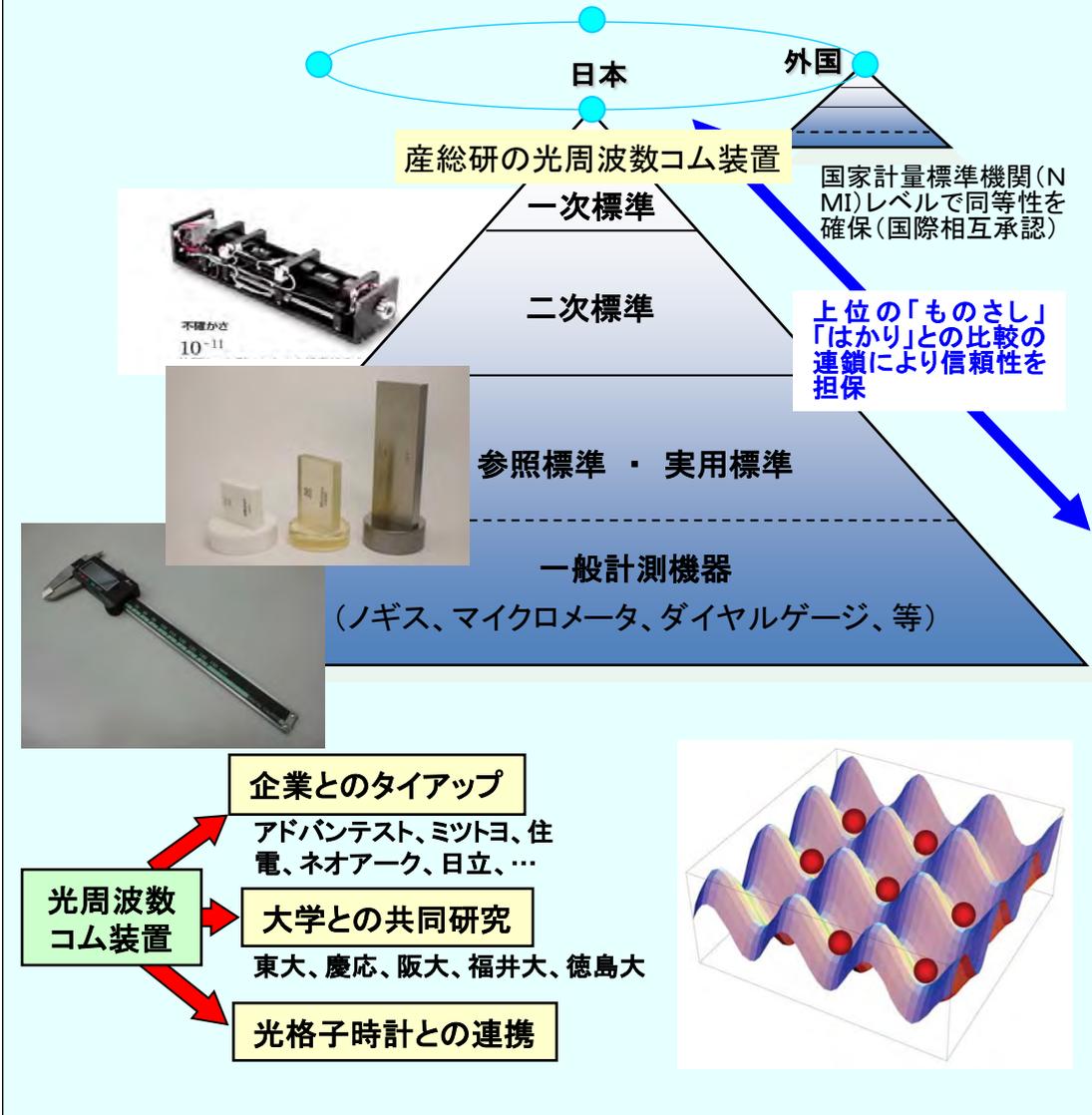


- 自ら開発し、低価格・小型化可能
- 1週間以上の連続運転が可能
- 狭線幅化など高性能化を実現
- 産総研所有の「光周波数コム装置」が長さの国家標準
- ファイバコム技術は常に世界でリード

### 産業界のニーズ

- 光周波数コムの更なる小型化・低価格化
- 波長領域を真空紫外からテラヘルツまでカバー

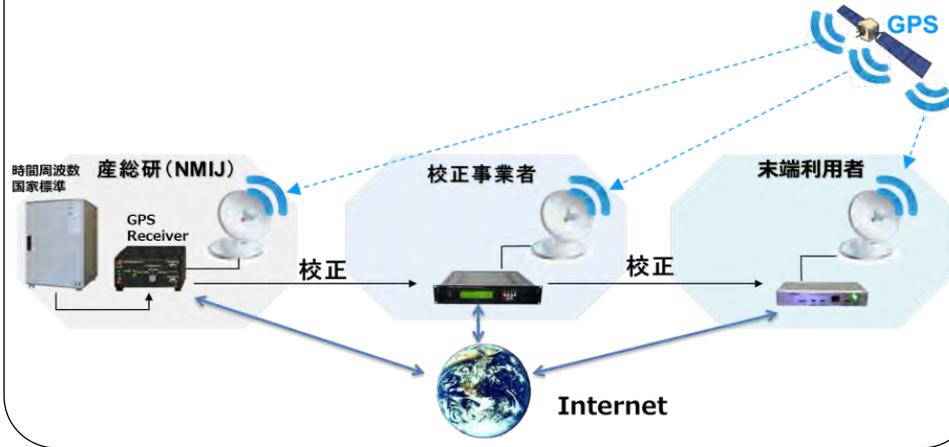
## 光のものをさしでものづくりを高精度化



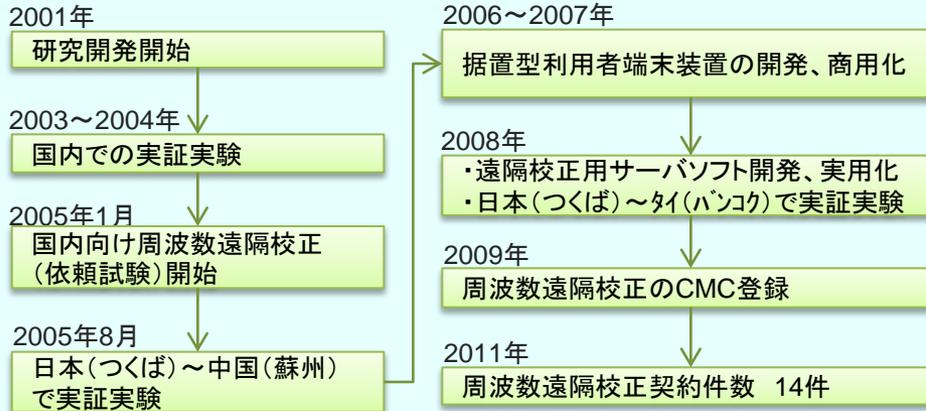
## 2. 周波数遠隔校正技術の活用事例

### ■ 周波数遠隔校正技術とは

周波数遠隔校正技術は、GPS衛星、インターネットを利用し、遠方の発振器、測定器等の校正器物を移送なしに産総研の国家標準により校正できる技術である。



### ■ 周波数遠隔校正の開発・整備・供給



#### 産業界のニーズ

- 測位、科学、通信等の幅広い分野で利用者数が増加しており、その対応が必要である。

### グローバルな企業展開を支える周波数遠隔校正

従来方法(持込み校正)では;

- ① 使用不可期間(1ヶ月) 管理費用増加!
- ② 輸送事故等危険性
- ③ 校正値の同一性 校正不確かさ(精度)悪化!



遠隔校正技術により;  
最新情報通信技術を駆使して標準供給を速く、安く、正確に行えるようになった。



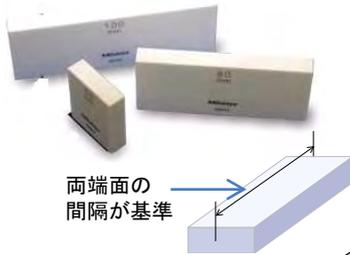
#### 現在の利用状況

- 国内の校正事業者、測定器メーカー等12社が利用しており、年々増加傾向にある。
- 海外の2拠点(中国)に遠隔校正サービスを提供中である。

# 3. 長さ標準(ブロックゲージ)の活用事例

## ■ ブロックゲージとは

ブロックゲージは、3次元測定器と呼ばれる高精度形状測定器から、ノギスやマイクロメータといった汎用的な寸法計測器まで、あらゆる寸法計測器の基準となるもの。



## ■ ブロックゲージの開発・整備・供給

・ブロックゲージの高精度な校正技術は、ものづくりにおいて欠くことのできない重要な基盤技術。

・産総研は短尺ブロックゲージ(0.5 mm~250 mm)及び長尺ブロックゲージ(200 mm~1000 mm)用に、2台のブロックゲージ校正装置を開発し、校正サービスを実施。



長尺ブロックゲージ校正装置 (レーザー干渉計)

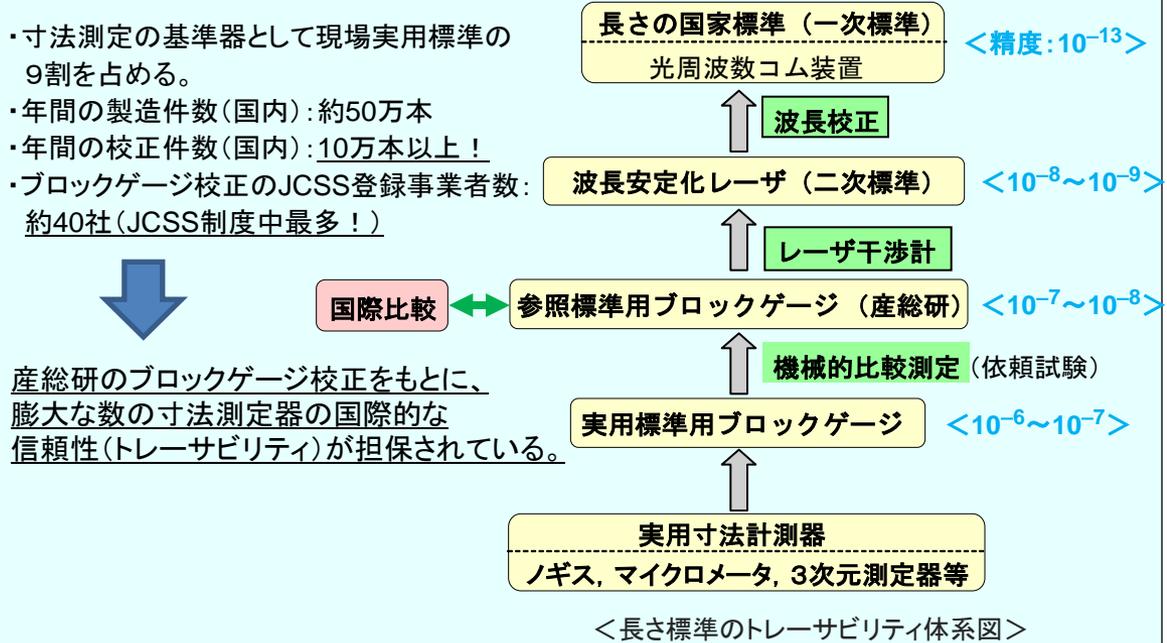
- ◇ 独自開発のレーザー光源と信号解析装置を使用。同様の装置を保有しているのは、ドイツの標準研のみ
- ◇ アジア諸国(タイ等)の国家標準ブロックゲージも校正
- ◇ 国際比較の幹事国も担当

### 産業界のニーズ

- 新規材料(低熱膨張材料)のブロックゲージが開発されてきているが、材料の特性評価(熱膨張率や安定性)が不十分

## あらゆる製造現場で利用される寸法測定の基本

- ・寸法測定の基準器として現場実用標準の9割を占める。
- ・年間の製造件数(国内): 約50万本
- ・年間の校正件数(国内): 10万本以上!
- ・ブロックゲージ校正のJCSS登録事業者数: 約40社(JCSS制度中最多!)

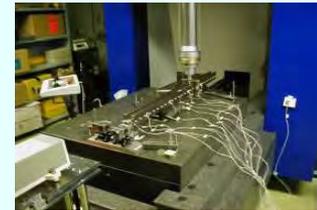


<長さ標準のトレーサビリティ体系図>

## ブロックゲージを基準とする寸法測定器の例



ノギス、マイクロメータ



3次元測定器

# 4. ナノスケール標準の活用事例

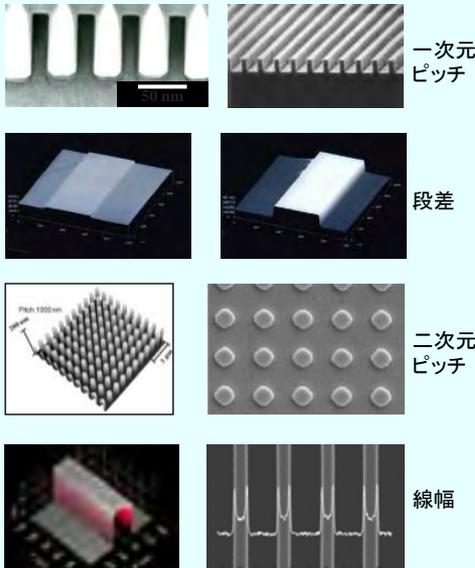
## ■ ナノスケール標準とは

- ・超高密度半導体回路の製造工程・検査時等に測定の基本となるもの。
- ・小さく高密度な電子部品の寸法測定が可能となり、安定して高品質な製品の製造ができるようになる。

## ■ ナノスケール標準の開発・整備・供給

- SI単位にトレーサブルなナノ標準が実現することにより、ナノレベルものづくり産業に革新。半導体を含め少なくとも国内数兆円、海外数十兆円規模の市場に貢献、国際競争力確保
- 検査・計測装置メーカー、校正サービス機関との緊密な対話を通じ、ニーズに合った校正システムを構築
- 次世代半導体回路の超微細構造の寸法を保証し管理することが可能
- 日本の計測技術が世界をリード、世界の半導体産業を下支え

ナノスケール標準



### 産業界のニーズ

- 最先端集積回路の最小加工寸法は2013年に18ナノメートル、2020年には10ナノメートルになると予想。急速に進化する産業界からの要請に対応するために、更なる微細化を目指した研究開発が必要。

## 微細なものさしで高品質なものづくりを支援

2011年

校正事業者による25 nm 校正サービスを開始(X線回折式)

◆ナノテク産業の国際競争力を強化  
半導体産業国内市場規模：2兆円

2008年

25 nm ナノスケール開発

◆世界に先駆け、原子層成長を用いた超格子構造により世界最小目盛り25 nmの面内方向スケールを開発。

※半導体工場向け電子顕微鏡  
日本が世界シェア8割（年間200台）

2006年

校正事業者による100 nm 校正サービス開始(深紫外レーザー回折式)

※最新CPU(22 nmプロセス)は、21mm角に22億7000万個のトランジスタを集積。

2005年

深紫外レーザーの回折現象を利用し、世界最小97 nmのピッチ校正装置を開発



レーザー干渉計搭載型原子間力顕微鏡(AFM)

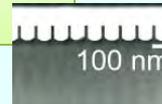
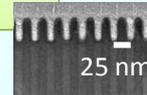


深紫外レーザー回折式ピッチ校正装置

2001年

レーザー干渉計搭載型AFMを開発、校正サービス開始  
世界最高分解能:0.04 nm

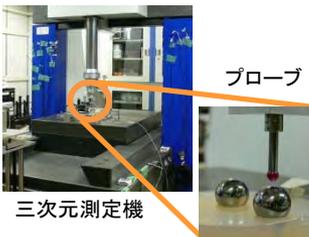
◆集積化が進むにつれ、半導体メーカーはさらに信頼性の高い検査・計測装置を求め、精度を確保するための基準となるナノスケールのニーズが高まった。



# 5. 三次元測定標準の活用事例

## ■ 三次元測定機とは

先端にルビー球がついたプローブを移動して測定対象物に接触させ、そのX、Y、Z座標値をデジタル記録することで対象物の三次元形状を測る装置。加工・組立品の検査・計測など、あらゆる生産・開発現場で利用され、点群データとしてCAD設計図面との連携も図られている。光を使った非接触式もある。



三次元測定機

プローブ

## ■ 三次元測定標準の開発・整備・供給

- 座標値のトレーサビリティ確保
  - 不確かさ解析技術
  - 依頼校正サービスの提供(7品目)
  - 国際比較への参加、企画、幹事国業務
- 各種基準器(ゲージ)の開発と供給
  - ユーザの三次元測定機を精密に校正・検査
  - ユーザ基準器の値付け
- 評価手法の標準化への取り組み
  - 測定機や基準器の校正手順の確立と規格化



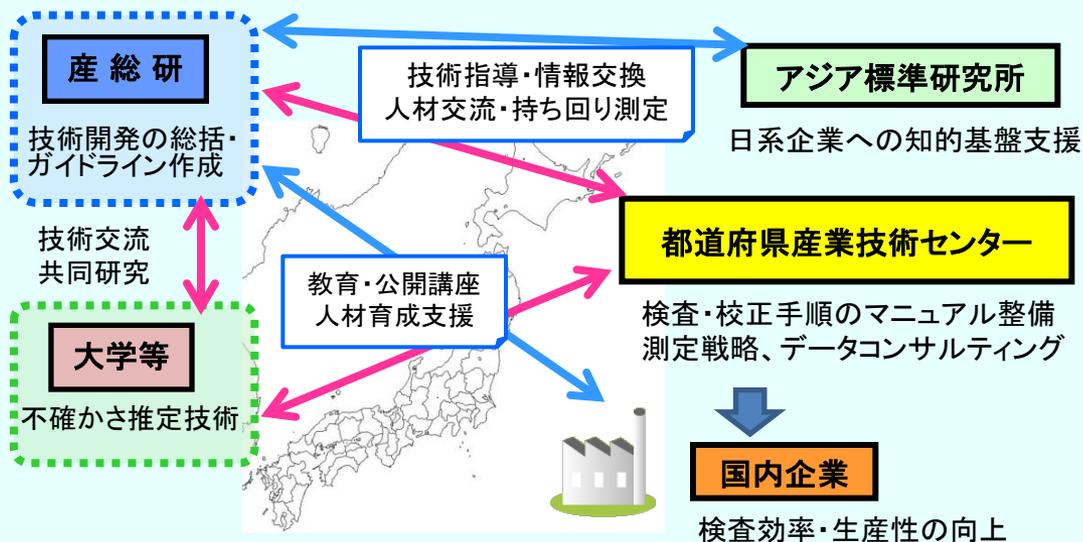
ボールプレート ボールステップゲージ 簡易検査ゲージ

### 産業界のニーズ

- 測定された多数の点群データと実際の表面形状との対応において、信頼性を評価するための手法を確立する。

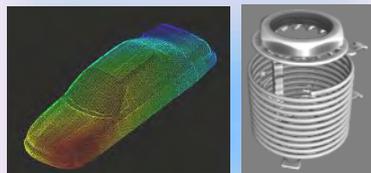
## 三次元の「形」をすべてデジタル化、ものづくり産業を支援

### ◆ 計量標準技術の供給と普及体制の構築



- 産総研を中核とし、公設試経由で三次元測定技術の産業界への普及・定着を推進。
- 国内持ち回り測定、国際比較を通し、検査・評価手順の標準化を推進

### 点測定から面測定、内部測定へ展開



- 非接触測定コンソーシアム活動
- X線CTによる持ち回り測定、専門委員会活動

### 信頼性評価技術の教育・普及・人材育成



地域セミナー2011 茨城

APMP2011 神戸

# 6. 角度標準の活用事例

## ■ 角度測定機器とは

**ロータリエンコーダ:** ロボット腕間接や工作機器の回転テーブルに内蔵され360°の広範囲の角度測定する機器



ネミコン(株)

**オートコリメータ:** 望遠鏡の様な形をしており平面鏡などの微小な角度の差や振れ、傾きなどを測定する光学機器



**ポリゴン鏡:** 円柱状の多面体鏡。12面の場合には面間角度が30°の角度標準として使用



MOLLER-WEDEL OPTICAL GmbH

**水準器:** 地面にたいする傾斜角度を計測する機器



(株)大菱計器製作所

**トータルステーション:** ロータリエンコーダを内蔵し角度等を計測する測量機器



**プロトラクタ:** 分度器



丸井計器(株)

## ■ 角度標準の供給

日本発の2つの角度校正原理を用いて世界最高精度の角度校正装置を開発。

1. 等分割平均法(EDA-method)
2. 自己校正機能付角度検出器(SelfA)



角度の特定標準器

JCSS: ロータリエンコーダ

依頼試験: オートコリメータ、ポリゴン鏡

産業界のニーズ

- 角度測定機器ごとに校正装置が異なるため、中小企業や発展途上国には設備投資が負担となり、角度標準の普及が遅れている。オートコリメータ、ポリゴン鏡、水準器等のトレーサビリティ体系の確立が必須。
- 相互承認に欠かせない国際比較がポリゴン鏡のみであり、国際比較の種類拡大が必須である。

## 日本発の角度校正技術で、ものづくり産業を支援



角度の特定標準器  
等分割平均法  
(EDA-method)

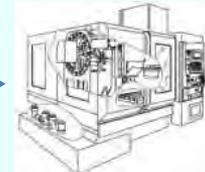
小型化  
汎用性



汎用型角度標準器  
自己校正機能付  
角度検出器(SelfA)  
日本・タイ・インドネシア  
韓国・中国が導入

### ① 角度標準の確立

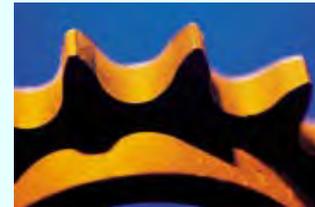
- ・ロータリエンコーダ
- ・オートコリメータ
- ・ポリゴン鏡



工作機械・ロボットの角度検出、  
制御精度の向上

### ② 新規計量標準への貢献

- ・歯車形状の標準(極座標の角度)



自動車  
燃費の向上  
静粛化

- ・密度・屈折率の標準  
(屈折角度)



風力発電  
回転効率の向上

### ③ 研究開発支援やイノベーション

- ・ジャイロ姿勢センサ校正技術  
(角速度、角加速度)
- ・X線回折装置の高精度化(角度)
- ・回転軸ぶれ検出技術(回転角度の変位)



(株)アタゴ  
屈折率を応用した  
濃度計  
糖度計

### ④ 国際対応(アジア展開)

- ・タイ、インドネシア: 汎用型角度標準器の共同開発
- ・韓国、中国、ベトナム、ドイツ: 技術移転
- ・日本企業: 技術移転

例: ロータリエンコーダ角度校正技術保有数(2012年)  
アジア: 5カ国、6研究機関、9企業(全て日本)  
ヨーロッパ: 1カ国、1研究機関、2企業

# 7. 質量標準の活用事例

## ■ 質量とは

質量は、物体の動きにくさ・止まりにくさ(慣性質量)と地球など他の物体に万有引力により引き付けられる強さ(重力質量)という物体の二つの性質を表す。

質量の単位 "キログラム (kg)" は、国際単位系(SI)では基本単位の一つになっている。

## ■ 質量標準の開発・整備・供給



日本国キログラム原器



1 mg~5000 kg  
の標準分銅

1 kg(キログラム原器)を起点として、1 mgから5000 kgまでの標準分銅を産総研内で校正し、質量の標準器として設定・維持している。そして、これらの標準分銅を参照して、法規制のための基準分銅や校正事業者が使う参照分銅を校正することにより、標準を供給している。

### 産業界のニーズ

- 現在標準を供給している1ミリグラムより更に小さい微小な質量の範囲で、質量計測の信頼性向上が求められている。
- 既存の1 mgから5000 kgの範囲においても、質量計測の一般ユーザから、より高精度な標準供給のニーズがある。

## 医薬品開発や環境分析に不可欠な正確な質量計測

- ◆ 医薬品の開発や製造においては、試料の調製などのために、ミリグラムあるいはそれ以下の小さい質量を高精度に計測することが不可欠である。
- ◆ 環境分析においても、分析装置の校正・点検用の標準ガスなどの標準試料を調製するために、質量標準にトレーサブルでかつ高精度な質量計測が不可欠である。
- ◆ このほか、法規制に用いられる基準分銅を検査するため、並びに圧力・密度・力・トルク・液体流量など産業上重要な量の標準を設定・維持するためにも必要とされている。



(イメージ)

薬品の開発・製造過程における試料の質量測定



力標準機(力の国家計量標準)の重錘の質量調整と校正



環境分析装置のための標準ガスの調製  
(写真: 産総研NMIJ 有機分析科 ガス標準研究室)

# 8. アボガドロ定数測定による質量標準の高度化

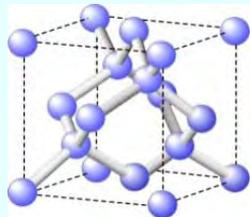
## ■ アボガドロ定数とは

巨視的世界の「物質」と微視的世界の「粒子」の物理量の橋渡しを行う基礎物理定数であり、物質1モル中の要素粒子(分子、原子など)の数を示す。光速、プランク定数などとならぶ最も重要な基礎物理定数の一つ。この定数を高精度測定し、将来、質量の単位であるキログラムを基礎物理定数を用いて定義する国際的合意が得られている。

## ■ 高精度密度標準設定技術を用いたアボガドロ定数決定



シリコン単結晶球体



シリコン結晶構造

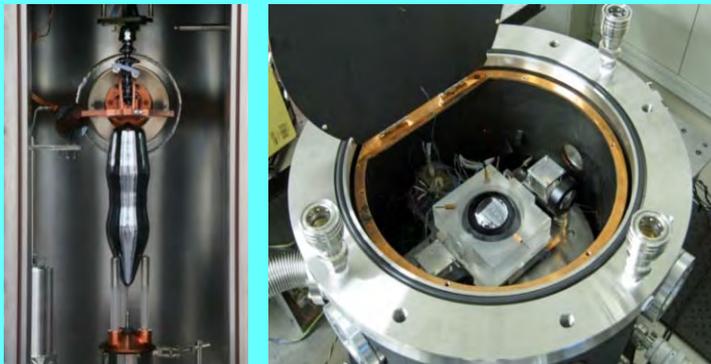
密度の国家標準はシリコン単結晶球体であり、その質量と体積を測定することにより実現。体積測定には高精度レーザー干渉計を用いる。シリコン球体の格子定数、モル質量を密度と組み合わせ、シリコン球体中の原子の数からアボガドロ定数を決定する。産総研は7つの計量標準研究機関との国際研究協力により、アボガドロ定数を $3 \times 10^{-8}$ の世界最高精度で決定している。

### 産業界のニーズ

- 国際キログラム原器の質量の長期安定性が問題になる中、アボガドロ定数高精度化による対応

## 基礎物理定数による質量標準の実現に貢献

### $^{28}\text{Si}$ 同位体濃縮結晶によるアボガドロ定数高精度化



$^{28}\text{Si}$ 同位体濃縮結晶 シリコン球体直径測定用レーザー干渉計

産総研 日本



PTB ドイツ



INRIM イタリア



国際度量衡局



NMIA オーストラリア



アボガドロ定数高精度化のための国際研究協力(2012-)  
(アボガドロ国際プロジェクト)



国際キログラム原器  
(現在の質量標準)

歴史上初めての基礎物理定数による質量標準

- ◆ 高精度密度標準設定技術を利用し、より高い精度( $2 \times 10^{-8}$ )でのアボガドロ定数決定に貢献
- ◆ 国際キログラム原器により定義されているキログラムの基礎物理定数による再定義に貢献

# 9. トルク標準の活用事例

## ■トルクとは

トルクは、いわば「ねじる力の強さ」であり、トルク標準は質量・長さ・重力加速度の標準から組み立てられる。



キログラム原器



絶対重力計

## ■トルク標準の開発・整備・供給

トルク標準機は、質量を精密に調整したおもり・精密に長さを測定した梁（モーメントアーム）・設置場所の重力加速度の測定値から組み立てて、基準となるトルクを発生させる装置である。



開発した1 kN・mトルク標準機

産業界からのニーズが高かった中容量(5 N・m~1 kN・m)と大容量(1 kN・m~20 kN・m)のトルク範囲において、世界トップクラスの性能を有するトルク標準機を開発し、既に標準供給を行っている。更に小容量(0.01 N・m~5 N・m)の範囲でも、トルク標準機の開発を進めている。

### 産業界のニーズ

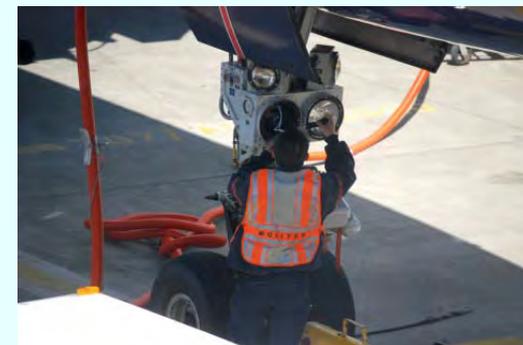
- トルク標準の更なる範囲の拡大が求められている。
- 時間とともに変動する動的トルクの計測の信頼性向上

## 正確なトルク計測で締結部の信頼性向上と省エネに貢献

◆航空機の整備に使われるトルクレンチが、当MIJのトルク標準にトレーサブルであることにより、米国NISTの標準にトレーサブルであることと同等であると米国の航空当局 (FAA)により認められ、国内の航空機整備事業者の負担が軽減された。

◆航空機に限らず自動車など機械全般の製造や保守、またプラントの保守などにおいてはネジ・ボルトの締め付けトルクの管理が不可欠で、使用するトルクレンチやトルクドライバの校正に標準が活用されている

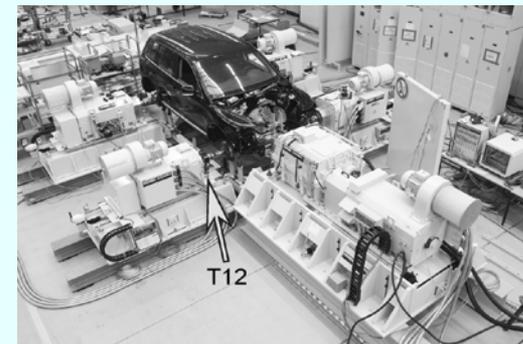
◆自動車のエンジン及びOA機器から電車まで各種のモータの出力を評価し性能を証明し、省エネルギーな国産製品の普及を図るためにも、正確なトルクの計測が必要で、当該分野でも標準が必要とされている。



航空機の整備



航空機の整備に使用されるトルクレンチ



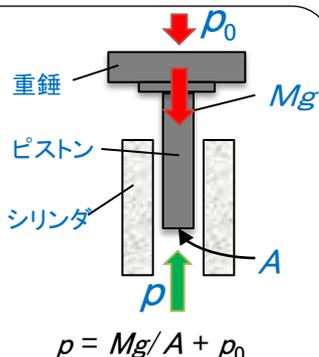
自動車の駆動系計測システム (HORIBA Europe GmbH製)

出典: S.Kuhn, Proc. XIX IMEKO World Congress, pp.351-355, Lisbon, Portugal, 2009.

# 10. 圧力標準の活用事例

## ■ 圧力標準とは

圧力は、単位面積あたりに働く法線方向の力の大きさを定義される測定量である。  
産総研では、定義をそのままに実現する「重錘形圧力天びん」及び「液柱形圧力計」とよばれる装置を高精度に維持・管理し、それをを用いて標準供給を行っている。



重錘形圧力天びんの原理図

## ■ 圧力標準の開発・整備・供給

種類：ゲージ圧力  
絶対圧力  
差圧  
媒体：気体、液体  
圧力標準の範囲：  
1 Pa ~ 1 GPa (10<sup>9</sup> Pa)



高圧標準を実現するための大型の重錘形圧力天びん

広範囲で高精度の  
圧力標準を実現

産業界のニーズ

- ユーザー負担の少ない校正および標準供給の手法
- 産業現場での圧力計測の効率的な信頼性確保

広い圧力範囲で高精度の圧力標準を供給、  
信頼性の高い圧力計測に貢献

## ◆ 圧力の国内標準供給体系

産業技術総合研究所

圧力の国家標準

光波干渉式標準圧力計 (液柱形圧力計)  
ピストン式一次圧力標準器群 (重錘形圧力天びん)

JCSS校正事業者 ↓ jcss JCSS, AIST校正

国家標準により校正された圧力標準器  
重錘形圧力天びん

JCSS校正事業者 ↓ JCSS JCSS

JCSS校正された圧力標準器  
重錘形圧力天びん、液柱形圧力計、  
デジタル圧力計、機械式圧力計

ユーザー ↓ JCSS

現場における一般圧力計測機器  
重錘形圧力天びん、液柱形圧力計、  
デジタル圧力計、機械式圧力計

各種圧力計の信頼性確保



重錘形圧力天びん



デジタル圧力計



機械式圧力計



液柱形圧力計

