

第 8 章 機械計測と標準

－ 計測技術の規格と産業の関わり －

本資料は、経済産業省委託事業である「平成17年度基準認証研究開発事業(標準化に関する研修・教育プログラムの開発)」の成果である。

制作日:2007年12月20日
制作:(財)機械振興協会 技術研究所
上野 滋

機械工業ではさまざまな分野で機械計測が行われているが、本章では精密計測に関する規格と産業の関わりの解説を通じて、規格の重要性を理解する。



1. 人間生活と標準
 2. 産業の発展と計測技術の発展
 3. 現場計測の課題
 4. 規格の課題 – 形状測定(表面粗さ)を例として
 5. 産業ニーズから国際規格への流れ
- まとめ

1. 人間生活と標準

■ 生活単位から誕生した標準

最も基本的な標準が

度量衡

- ものさし(長さの標準)…… 度
- ます(容積の標準) …… 量
- はかり(質量の標準) …… 衡

p. 4

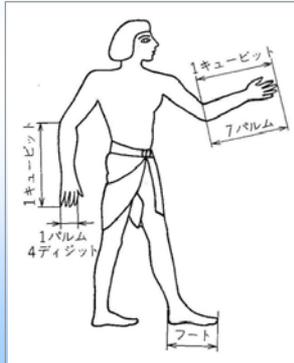
◆ 解説

人間生活に最も密着した計測技術、生活密着型の標準を度量衡という。度量衡の度は「目盛」を示し、すなわち「ものさし」の意味である。量とは「容積」、そして衡は「バランス」、すなわち「秤」の意で、質量測定である。

長さの単位と歴史の進化

■ 石器時代

- 石器を生み出し、動物の狩猟や植物の採集により生活
- 約100万年前:石器よりもより高度な道具(農具)を生み出す。



〔出所:小泉袈裟勝:単位のいま・むかし, 日本規格協会, 1992〕

石器時代の道具
〔図版掲載許諾申請中〕

■ 単位の誕生

- 最も身近な身体から「長さ」の単位が誕生

p. 5

◆ 解説

古代より人間生活にはいろいろな単位が必要とされていた。物々交換,あるいは徴税という行為の出現により,共通的な尺度,すなわち単位が必要となった。

長さの単位は,生活に密着し,かつすぐに手に入るものとして人体寸法を基準として誕生した。中でも手足の寸法は最もよく用いられた。

◆ 参考資料

- 1) 小泉袈裟勝;単位のいま・むかし 古代単位からSI単位まで, 日本規格協会, 1992.
- 2) 小泉袈裟勝・山本 弘;単位のおはなし 改訂版, 日本規格協会, 2002.

■ 長さ単位の基本として使われた人の足の長さ

〔図版掲載許諾申請中〕

p. 6

◆ 解説

この図は中世のドイツの例を示すものである。

休日に教会に集まった人々を16名抽出し、それを一列に並ばせる。そして、その全体の長さを紐の長さに写す。その紐を半分に折り、さらに半分、また半分と折っていくと最後に一人分の平均の足の長さを得ることができる。このような行為により平均値を得たのである。その他の例としては王侯貴族の体の寸法を基準長さとして採用した例もあった。

「長さ」標準の変遷 ①

■ 近代における「長さ」の定義

- 18世紀末：地球の子午線長さの4000万分の1を1mとする。
- ダンケルクーバルセロナ間の子午線を測量



メートル原器の形状と寸法
〔図版掲載許諾申請中〕

7

p. 7

◆ 解説

こうして各地、各国でばらばらに長さの基準が作られたが、交易の発展とともに万国共通の基準長さが必要となってきた。その最大の試みがフランスを中心として行われた基準づくりである。18世紀に行われたこのプロジェクトでは長さの基準を自然体から得ることが同意され、最終的に地球の大きさを基準とすることが決定された。そして、パリからスペインに至るまでの距離が実際に測量され、それから1mという長さが決定された。

そして、「メートル条約」という条約を批准した各国にメートル原器が配布された。この原器は熱膨張の少ない材料で製作され、かつ自重の影響でたわんで長さの変化が生じないような形状(トレスカのX)が採用された。

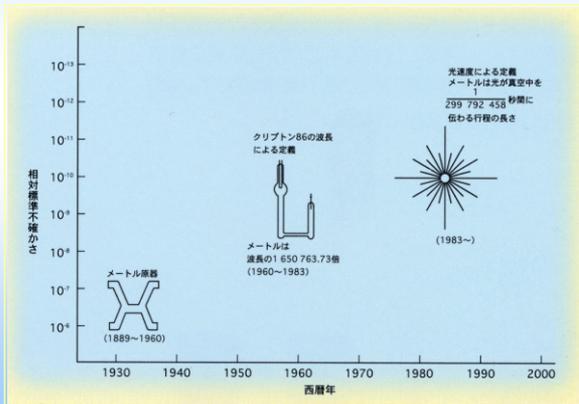
◆ 参考資料

- 1) 小泉袈裟勝;単位のいま・むかし 古代単位からSI単位まで, 日本規格協会, 1992.
- 2) 小泉袈裟勝・山本 弘;単位のおはなし 改訂版, 日本規格協会, 2002.

「長さ」標準の変遷 ②

計測技術の発展と「長さ」標準(定義)の変遷

- 1960年～：1メートルはクリプトン86が発する橙色のスペクトル線の真空中での波長の1 650 763.73倍
- 1983年～：1メートルは光(He-Neレーザー)が真空中を(1/299 792 458)秒間に伝わる行程の長さ



He-Neレーザー干渉測長器

[出所: (独) 産業技術総合研究所 計量標準総合センター]

8

p. 8

◆ 解説

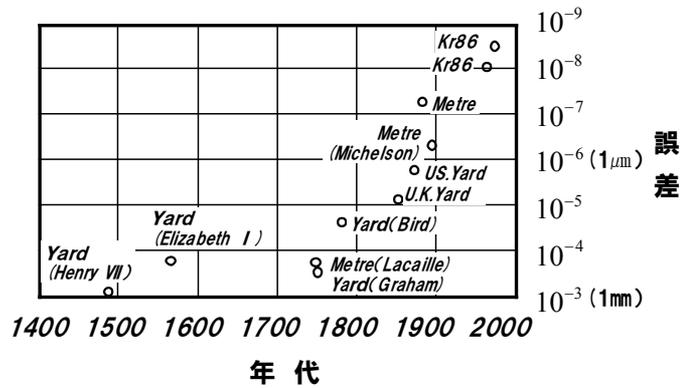
その後、メートル原器の経年変化を見るときにも、長さの単位は自然界に頼ることとなった。そして、光を基準とすることになり、1960年には特定のスペクトルの波長(クリプトン86が発する橙色のスペクトル線の真空中での波長の1 650 763.73倍)を採用した。そして、1983年には真空中を走る光の速さから計算される長さ[光が真空中を(1 / 299 792 458)秒間に伝わる行程の長さ]を基準とすることとなった。実用標準としては安定性が高いことが実証されたHe-Neレーザーを基準とすることとなった。このように身近な「長さ」標準(定義)も計測技術の発展とともに、より高精度なものに変遷している。

◆ 参考資料

1) (独)産業技術総合研究所 計量標準総合センター

<http://www.nmij.jp/kenkyu/baseunit/length.html>

「長さ」標準の変遷 ③



各時代における長さの定義の確かさ

(J.Loxham作成の図を元に一部追加。原典はMicrotec.Vol.21-5, p.501)

p.9

◆ 解説

15世紀ごろより始まった国としての長さの基準づくりは、時代とともにより高精度のものが要求され、19世紀より産業の発展とともに加速度的にその精度が向上した。

長さの測定精度向上の歩み

- Whitworthの百万分の一コンパレータ
- 精度検定結果

〔図版掲載許諾申請中〕

- H.Maudslayのベンチマイクロメータ
- 精度検定結果

〔図版掲載許諾申請中〕

- すでに19世紀に25nmを一目盛りとする測定器が出現

10

p. 10

◆ 解説

一方、機械産業の発展も著しく、19世紀には機械的なねじを用いた目盛の拡大技術により、25nm(ナノメートル)という現代でも通用するような最小目盛をもつ高精度のコンパレータ(比較測長器)が開発されている。しかしながらその長さの基準となる基準長さははるかに不確かなものだった。

生活実態に密着したもののさしの存在

- 産業別に種々の特別な目盛りを持ったものさしが使われてきた。そして今でも使われている。

朝日新聞

2006年2月11日

〔掲載許諾申請中〕

11

p. 11

◆ 解説

ものさしはいろいろな分野で用いられる。現代でも機械工業以外の分野では異なった基準をもつものさしが使われている。衣類では鯨尺(くじらじゃく)、鋳物では鋳物尺などである。

◆ 参考資料(引用資料)

- 1) 朝日新聞 2006年(平成18年)2月11日

国際単位系

国際単位系とは

- 次元的に独立であるとみなされる7つの量(長さ・質量・時間・物質質量・電流・光度・熱力学温度)について明確に定義された単位を基礎として組み立てられた一貫性のある単位系



- 7つの量の単位を**基本単位(base unit)**という。
- 国際単位系は、基本単位と、それから組み立てられる組立単位(後述), 及び10の整数乗倍の接頭語から形成
- **国際単位系** (International System of Units) (略称 **SI**)

12

p.12

◆解説

今日、世界共通の単位系として国際単位系 (International System of Units; 略称 SI) がある。この単位系の確立により、学術・研究開発はもとより産業活動、商業活動、そして私たちの生活に至るまで広く普及し、世界的な単位系の標準化が進んだ。

国際単位系の枠組みは基本単位 (base unit) とそれから組み立てられる組立単位 (後述), 及び10の整数乗倍の接頭語から形成される。基本単位とは、次元的に独立であるとみなされる7つの量 (長さ・質量・時間・物質質量・電流・光度・熱力学温度) の単位, すなわちメートル [m], キログラム [kg], 秒 [s], モル [mol], アンペア [A], カンデラ [cd], ケルビン [K] のことを指す。

この単位系は1960年に行われた第11回国際度量衡総会 (略称CGPM) で採択され、その後必要に応じて修正・拡大を経て今日に至っている。

◆参考資料

- 1) 国際度量衡局 <http://bipm/org/>
- 2) (独) 産業技術総合研究所 計量標準総合センター
<http://nmij.jp/kenkyu/baseunit.html>
- 3) 標準化教育プログラム 共通知識編 第12章 国際単位系のしくみと計量標準の役割

質量標準

■ 質量(キログラム)の定義の変遷

- 一辺が10cmの立方体の体積の、最大密度における蒸留水の質量



- 1889年 : 「国際キログラム原器」の質量に置き換え。

組成:白金90%、イリジウム10%の合金
形状:直径、高さとも約39mmの円柱形状



- 日本の質量標準: 「日本国キログラム原器」



国際キログラム原器
〔出所:国際度量衡局(BIPM)〕



日本国キログラム原器
〔出所:(独)産業技術総合研究所 計量標準総合センター〕

13

p. 13

◆ 解説

国際単位系の7つの基本単位のうち、質量のみが「国際キログラム原器」という人間が人工的に製作したものを基準として用いている。

日本における質量標準は「日本国キログラム原器」が標準となっている。これは、「国際キログラム原器」と同時に作られた、同じ形状材質のもので、1890年に日本に配布されたものである。

◆ 参考資料

- 1) 国際度量衡局 <http://bipm.org/>
- 2) (独)産業技術総合研究所 計量標準総合センター
<http://nmij.jp/kenkyu/baseunit.html>
- 3) 標準化教育プログラム 共通知識編 第12章 国際単位系のしくみと計量標準の役割

2. 産業の発展と計測技術の発展

■ 産業の発展と共に計測技術も発展

● 例:エンジン製造に関連するさまざまな計測

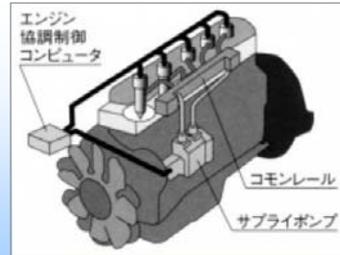
a) 寸法測定

- ・ シリンダブロックの寸法
- ・ カムリフトの寸法

b) 形状測定

- ・ シリンダ壁面の表面状態
- ・ ピストンの形状
- ・ クランクシャフトの軸心の正確さ
- ・ カムリフトの形状

〔図版掲載許諾申請中〕



14

p. 14

◆ 解説

計測技術は産業の発展とともに発展してきた。オートバイを始めとした輸送機器はその代表的な牽引役であった。例えば、エンジンなどの内燃機関の製作にあたっては多くの寸法測定、形状測定技術が使われてきた。生産現場の計測装置の大半はこれら輸送機器の(戦時中にあつては軍需物資としての船舶、車両、航空機)製造とともに発展してきた。

寸法測定に絡む定義と規格(標準)

- 長さの定義：光が真空中を(1/299 792 458)秒間に伝わる行程の長さ
 - この値を現実の世界へ移す手段としてレーザーの波長が**実用標準**として用いられている。
 - **これは規格ではなく決まり事(国際定義である)**

- 標準的な測定環境温度：20℃(これは国際規格…ISO 1 に規定)

15

p. 15

◆ 解説

現在、寸法測定にあっては標準と規格の両者があるが、全体のベースとして長さは次のように定義されている。

1メートルの定義 = 光が真空中を(1 / 299 792 458)秒間に伝わる行程の長さ
国際単位系では、p. で学習したように互いに独立であるとみなす7つの基本量(長さ、質量、時間、電流、温度、物質質量、光度)を定めており、寸法測定の基盤となる「長さ」も基本量の一つとなっている。すなわち、「長さ」の定義は国際的な定義であり、規格ではない。

一方、物質は温度によりその寸法が変化する。そこで標準的な測定環境温度が国際規格として規定されている。ISO 1:2002 では20℃となっている。

このように寸法測定という身近な測定をとっても、その取り決めが「定義」なのか、あるいは「規格(標準)」なのかを明確に認識することが大切であることが理解できる。

◆ 参考資料

- 1) (独)産業技術総合研究所 計量標準総合センター：基本単位の標準
<http://www.nmij.jp/kenkyu/baseunit.html>
- 2) ISO 1:2002 Geometrical Product Specifications (GPS) -- Standard reference temperature for geometrical product specification and verification
- 3) ISO 554:1976 Standard atmospheres for conditioning and/or testing -- Specifications

生産現場での機械計測

■ 寸法測定

■ 形状測定

- この2つの機械計測には長さの測定が必要
- 長さの測定, 変位の検出にもものさしと変位変換器(Transducer)が
用いられる。また, お互いの関係を定めるためのゲージも用いられる。
- これらの要素の検査規格が存在

p. 16

◆ 解説

生産現場での機械計測には寸法管理と形状管理がある。いずれも長さの計測が必要なものである。そのためにデジタルスケール, レーザ干渉測長器, 金属尺, ノギスなどのものさしと, ダイアルゲージ, 電気マイクロメータなどの変位検出器が用いられる。

さらに合格・不合格の検査のためにはリミットゲージなども用いられている。こうした計測要素の必要要求機能・精度に関しては規格が定められている。

機械部品の計測装置

■ 寸法測定

- 各種ゲージ(ねじゲージ, テーパーゲージ, 限界ゲージ)
- ノギス, マイクロメータ, ダイアルゲージ
- シリンダゲージ, ハイトゲージ
- 電気マイクロメータ, 空気マイクロメータ

■ 形状測定

- 触針式表面粗さ測定器
- 真円度測定器
- 各種基準ゲージ(直角ゲージ, 定盤)
- 水準器
- オートコリメータ
- Vブロック

p. 17

◆ 解説

機械部品の具体的な計測装置の中で、寸法測定及び形状測定に関わる代表的な測定装置を紹介する。

機械部品の計測装置 I

■ 寸法測定の代表的計測装置 …… デジタルマイクロメータ

・デジタルマイクロメータの内部構造

・センサ保持部断面図

・デジタルダイヤルゲージの内部構造

〔図版掲載許諾申請中〕

18

p. 18

◆ 解説

その代表的な例としてデジタルマイクロメータ、デジタルダイヤルゲージの内部構造を示す。いずれも機械的変位変換部分と、光－電子回路による変位－電気変換素子から構成される。

機械部品の計測装置

■ 形状測定の代表的計測装置 …… 表面粗さ測定器

・触針式表面粗さ測定器

・針の大きさと表面の関係

〔図版掲載許諾申請中〕

19

p. 19

◆ 解説

ここに示す測定器は触針式表面粗さ計で、部品の表面を針状になったセンサー先端でなぞり、その上下の変位を電気信号に変換、拡大して表面形状を観察するものである。しかしながら表面の微細な凹凸に比較してなぞる触針の大きさが大きいことから、その測定結果は真の表面形状ではないことに注意する必要がある。

機械部品の計測装置

■ 複合測定(三次元測定機)

- 「寸法測定」と「形状測定」が可能
- 三次元空間の位置を多数点計測
- その計測結果を数値処理して寸法、形状を評価

三次元測定機
〔図版掲載許諾申請中〕

20

p. 20

◆ 解説

寸法と形状の両者を一台の測定装置で実現するものが三次元測定機である。これはX,Y,Zの三つの直交座標軸と、その位置を検出するものさし、さらには空間内部の測定位置を確定するプローブとデータ処理装置から構成されるものである。多くの要素の集合体であることから精度の劣化要因も多数あり、評価に多くの課題を抱えている。この測定器に関する精度測定規格はJIS B 7440-2:2003として存在する。

◆ 参考資料

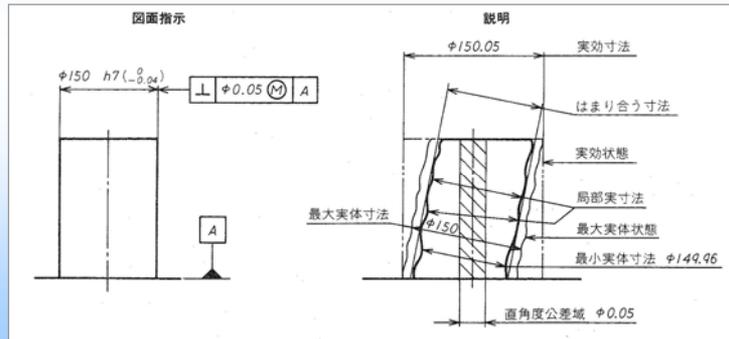
1) JIS B 7440-2:2003 製品の幾何特性仕様(GPS)－座標測定機(CMM)の受入検査及び定期検査－第2部:寸法測定

3. 現場計測の課題 ①

■ 寸法測定 of 課題

- 長さは国際な定義で定められている。
- その他の長さ(寸法)に関わる定義は個別の規格により定められている。

<例> 局部実寸法：形体の任意の断面における個々の距離，
すなわち、任意の相対する2点間で測定した寸法



[出所: JIS B 0023:1996 製図—幾何公差表示方式— 最大実体交差方式及び最小実体交差方式] 21

p. 21

◆ 解説

長さという基本的な定義に関しては国際な定義で定められている。一方、その他の長さ(寸法)に関わる定義は個別の規格により定められている。

例えば、JIS B 0023:1996では図のように、局部実寸法、はまり合う寸法、最大実体寸法、最小実体寸法などいろいろな条件に対して寸法が定義されている。実際の計測はこの個々の定義にならって評価しなければならない。

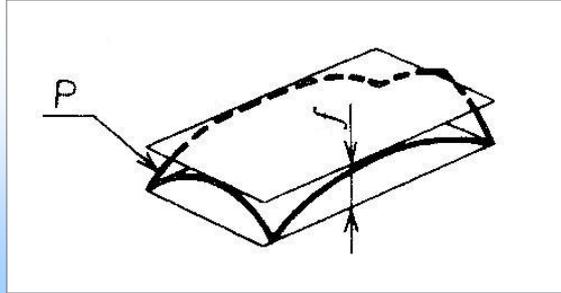
◆ 解説資料(引用資料)

1) JIS B 0023:1996 製図—幾何公差表示方式— 最大実体交差方式及び最小実体交差方式

3. 現場計測の課題 ②

■ 形状測定 of 課題

- 平面度(平たさ) の定義 : 平面形体(P)を幾何学的平行二平面で挟んだとき, 平行二平面の間隔が**最小となる場合**の二平面の間隔(f)で表し, 平面度__mm又は平面度__ μm を表示する。
- 課題 : 最小である保証はどのようにして得られるか?



【出所:JIS B 0621:1984 幾何偏差の定義及び表示】

22

p. 22

◆ 解説

同様に形状測定に関しても定義がなされている。しかしそこには理論的な解と現実的な測定方法の間に大きなギャップが存在する。例えば, 平面度という定義がある。この定義どおりに本当に測定できているかどうかの確証は現在のところない。

4. 規格の課題 ①

■ 規格による定義の変更と測定器の対応

- 戦前から表面評価の研究が行われ、その時々で要求で表面粗さの評価方法は変わってきた。
- <例> **最大高さ(R_y)**
 - ・ R_y は粗さ曲線からその平均線の方向に基準長さだけ抜き取り、この抜き取り部分の山頂線と谷底線との間隔を粗さ曲線の縦倍率方向に測定し、この値を μm であらわしたもの (JIS B 0601-2001)。
 - ・ 類似の過去の定義は**最大高さ(R_{max})** (JIS B 0601-1982)
 - ・ 最大高さとは断面曲線から基準長さだけを抜き取った部分の平均線に平行な2直線で抜き取り部分を挟んだとき、この2直線の間隔を断面曲線の縦倍率の方向に測定してこの値を μm で表したもの
- **定義と表示が変わり、古い測定器が使えない！**

23

p. 23

◆ 解説

このように測定規格には幾多の課題がある。別の例としては表面の凹凸の状態を示す表面粗さの測定がある。表面と機械部品の機能の間には密接な関係があり、1930年代より多くの研究がなされてきている。こうした研究成果を踏まえてパラメータという評価関数とその時々々の規格として定められてきた。

しかし、こうした表現方法、定義は状況によって変えられることが多く、ユーザにとって大きな混乱の原因となってきた。例えば、粗さの最大高さというパラメータでも定義、表現に使う記号などが幾度か変わっている。

4. 規格の課題 ②

■ 現在の表面粗さの定義

- 対象物の表面(対称面という)からランダムに抜き取った部分における、表面粗さを表す以下の6つのパラメータの算術平均値

- ① 算術平均粗さ(R_a)
- ② 最大高さ(R_y)
- ③ 十点平均粗さ(R_z)
- ④ 平均間隔(S_m)
- ⑤ 局部山頂の平均間隔(S)
- ⑥ 負荷長さ率(t_p)

(JIS B 0601, ISO 468-1982, ISO 3274-1975, ISO 4287/1,2-1984, ISO 4288-1985)

p. 24

◆ 解説

現在の表面粗さの定義には基本的な6個のパラメータがある。

現在の表面粗さの定義

■ 断面曲線・粗さ曲線

■ 山・谷

・表面粗さ関連の用語

[図版掲載許諾申請中]

25

p. 25

◆ 解説

(なし)

◆ 参考資料

1) 大西 清; JISにもとづく機械設計製図便覧(第10版), 理工学社, 2001.

ISOに規定された表面粗さのパタメータ

■ JIS0660にはISO4287-1-1984に規定された多数のパラメータ(総計27個)が導入

- 高さ方向パラメータ 11個
- 横方向の凸凹の特性に関するパラメータ 9個
- 粗さ曲線の凸凹形状に関するパラメータ 7個

これだけ多数のパラメータを誰が理解するか、
誰がどこで使うか
そして本当に必要か？
この修正はISOの場のみで可能

p. 26

◆ 解説

しかし、ISOにはさらに高さ方向で11個、縦方向の凹凸に関するもので9個、粗さ曲線の凸凹に関するもので7個のパラメータが決められており、研究者はもとより、一般の機械技術者にとっても難解で複雑な内容となっている。こうした決定は一部の研究者のみの議論によりISOの場で決定されてきたという経緯がある。

定義の種類

・幾何特性の評価方法

・基本的な形状とは

- ・真直ぐな直線
- ・平らな平面
- ・完全な真円
- ・完全な表面

これらがどこまで実現できるかで、測定器の性能、ひいては測定物の品位が決定される。

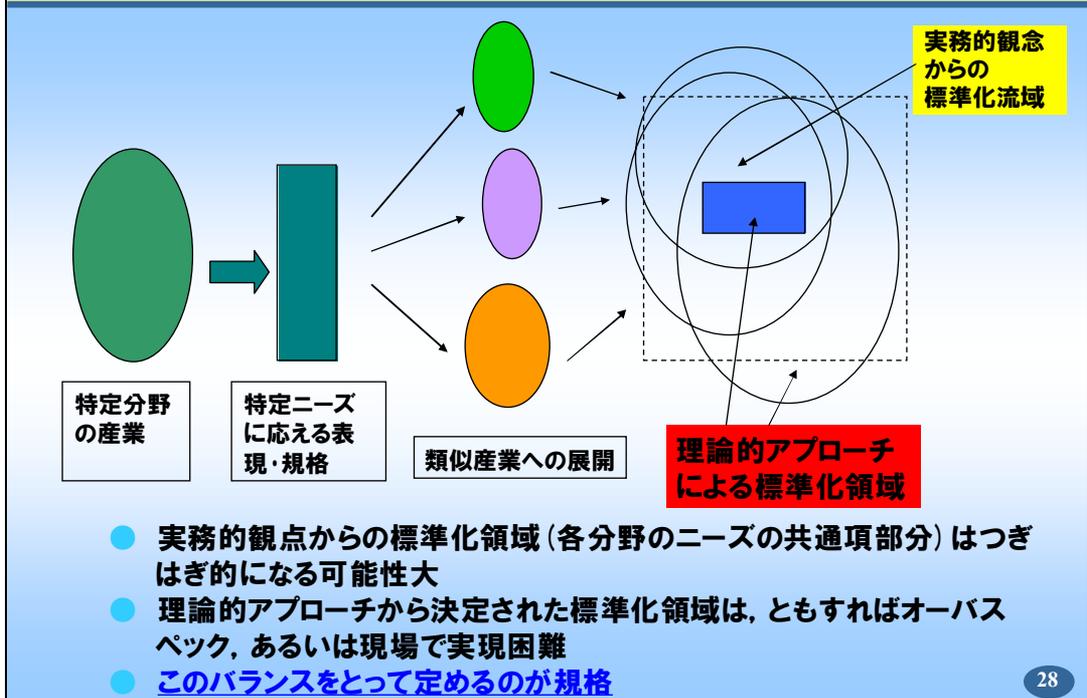


p. 27

◆ 解説

粗さの例で示したように測定に係る基本的な評価方法の定義の規格化には極めて重要な問題がある。基本的な形状の定義は、以前は現場で計測可能な立場から定められていたのが、理論的観点からの定義に変わり、どのように実現できるかが大きな課題として浮き上がってきている。この課題はひいては測定結果の差異にもなる要因である。

5. 産業ニーズから国際規格への流れ



p. 28

◆ 解説

歴史的な規格制定の流れを図示すると、過去においては特定分野のニーズに対応できるものが先ず規格化され、それが類似のニーズへ発展し、各々に対応できる最大公約数的なものを規格とする姿と、理論的にあるべき姿を定めるタイプとに分かれている。いずれも一長一短があり、十分に議論する必要がある。

機械部品計測装置の課題

- 測定結果の信頼性
 - 正確さ(トレーサブル)
 - 繰り返し性の高さ
 - 温度安定性
- 明確な定義の規定
- どの計測器でも同じ結果を示す性能の要求
- 規格先行による計測装置開発が後追いになる現実

p. 29

◆ 解説

機械部品の計測装置・計測方法に対する要求としては信頼性、正確さ、繰り返し性などがあるが、重要なことはどの計測器で測定しても同じ結果を示す、ということである。規格先行、あるいは特定企業の開発先行ではこの要求が満たされないことが多いことに注意する必要がある。

(1) 計測技術の規格-定義-

- この変更は個別部品規格変更よりも社会に大きな影響を与える。
- 制定には多くの分野の意見の集約が必要
- 現在は大学, あるいは計測器メーカーに一任
- ユーザーの立場が弱い。

(2) 計測器の開発

- 規格先が多く, 測定技術の現実性が問われることが多い。



p. 30

◆ 解説

計測技術はユーザが使うものである。この基本を忘れてはならない。