

精密測定01d

端度器，ブロックゲージ

2022年4月21日

高増計測工学研究所

東京大学 名誉教授 高増潔

<https://www.takamasu-lab.org/>



利用上の注意

- このファイルの内容, 表現, 図 (高増潔が作成したもの : ©takamasu-lab) は自由に使ってください
 - 改変, コピーなどは自由です
 - 特に許可, コピーライトの表示などは不要です
- 引用している図については, 引用元の規則に従ってください
 - 講義での資料としては, 自由に使えると思います
 - wikipedia関係は, パブリックドメインになっているものは自由に使えます
 - フリー素材は, フリーです
 - それ以外は, 引用元の提示が必要になります
- もしも, お気づきの点, 間違い, 感想などがあれば, 以下にメールしてください. 対応するかは, 状況によります.
 - takamasu@pe.t.u-tokyo.ac.jp



端度器

ゲージング

限界ゲージ

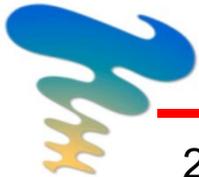
テーラーの原理



メモ：端度器

■ 端度器

- 両端の面間距離によって規定の寸法を表す長さ標準器
 - 大量生産品の互換性や検査を（測定機器に比べて）低価格，短時間で実施できる
- 限界ゲージ：止まり側と通り側の検査
 - テーラーの原理
 - はめあいの保証には，ゲージが有利
- ブロックゲージ
 - 標準ゲージの代表，精度がよいが安価，トレーサビリティが確立できる
 - ブロックゲージの寸法：2つ以上の波長のレーザによる干渉計
 - ブロックゲージによる測定：比較測定の基準として使用する



端度器と線度器

- 測定の基準となる標準器には、**端度器と線度器**がある
 - 端度器：両端の面間距離によって規定の寸法を表す長さの標準器
 - **端**が目盛りとなるものさし（**度器**）
 - 標準ゲージ：ブロックゲージ，すきまゲージ
 - 限界ゲージ：プラグゲージ，リングゲージ
 - 線度器：線度器平面上に刻まれた目盛線間の距離によって規定の寸法を表す長さの標準器
 - **線**が目盛りとなるものさし（**度器**）
 - ノギス，マイクロメータ，ダイヤルゲージ



端度器

- 端度器：端が目盛りの基準
- **ゲーシング**
 - 工業部品の合否を検査すること
 - 検査の方法：ゲージ（端度器：標準ゲージ，限界ゲージ）を使う
- **標準ゲージ**
 - 検査および比較測定の基準に使用する
 - プラグゲージ：穴の検査
 - リングゲージ：軸の検査
 - 針金ゲージ，すきまゲージ
- **限界ゲージ**
 - 公差に対して合否を検査する
 - 通り側と止まり側がある
 - JIS B7420 限界プレーンゲージ

すきまゲージ



新潟精機ホームページ：すきまゲージ
<https://www.sokutei-gijyutu.com/>

プラグゲージ，リングゲージ



OSGホームページ：プラグゲージ，リングゲージ
<https://www.osg.co.jp/products/gauge/>



限界ゲージ

- 限界ゲージ：仕様書に適合するすべての部品にOK，適合しないすべての部品にNGになるゲージ
 - 「はめあい (fit)」を保証する→はめあいは工業標準化の柱，大量生産に不可欠
 - 例：軸と穴，ボルトとナット，銃と弾丸，ピストンとシリンダー
 - 実際には難しい→テラーの原理参照
- 限界ゲージの使い方
 - 止まり側：通ったら不合格，通らなければよい
 - 通り側：通らなかったら不合格，通ればよい
 - 可能なかぎりよい精度で作る→実際には誤差がある，摩耗する→摩耗の影響をどう考えるかが問題となる
 - 穴用のゲージ：プラグゲージおよび棒ゲージ（止まり側），プラグゲージ（通り側）
 - 軸用のゲージ：リングゲージおよびはさみゲージ（止まり側），リングゲージ（通り側）

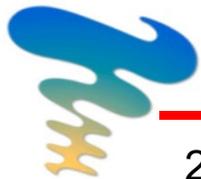


メモ：プラグゲージの例

- プラグゲージの例
 - 穴で寸法が25H7（25.000 mm～25.021 mm）の検査用プラグゲージ
 - 止まり側（右側）の寸法：25.021 mm
 - 通り側（左側）の寸法：25.000 mm
 - 右側が入らず，左側が入れば合格
- プラグゲージ，リングゲージとかは安価なので実物を見せるとよい

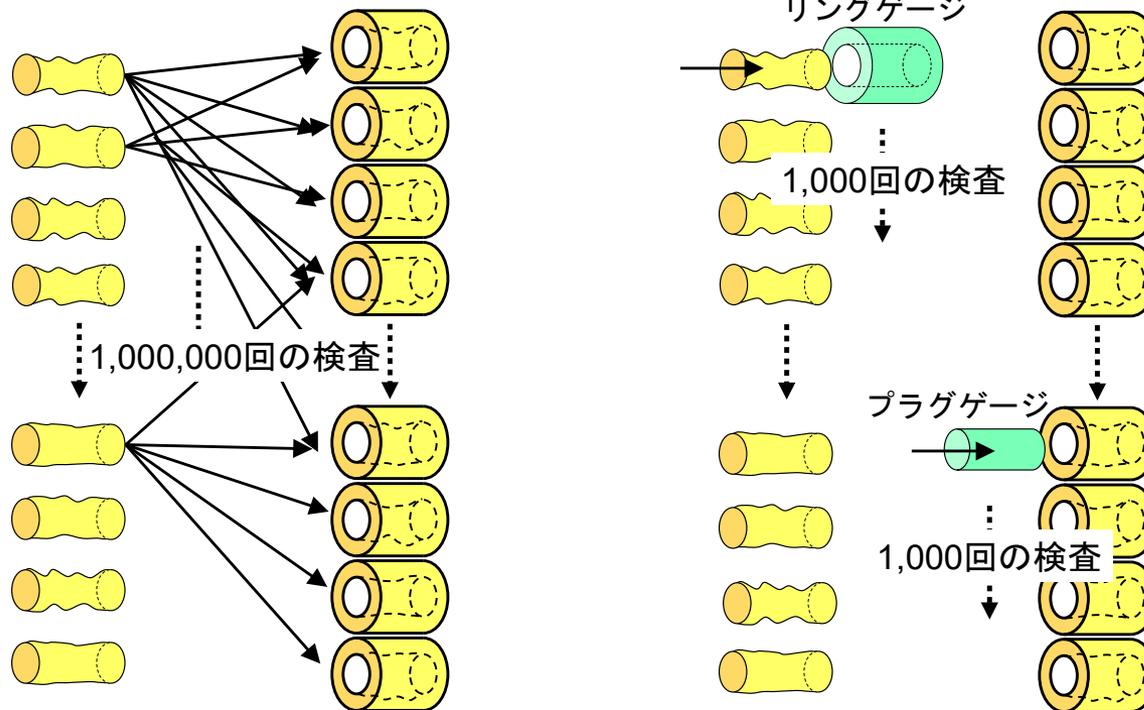


測範社ホームページ：<http://www.sokuhansha.co.jp/product51.html>



はめあいの保証（通り側）

- 1,000個の軸と1,000個の穴がどの組合せでも使えることを保証
 - それぞれの軸と穴の組合せで、全て検査する→1,000,000回の検査が必要，軸と穴を同じ場所に持ってこないと検査できない
 - プラグゲージが入ることを1,000個の穴で検査，リングゲージに入ることを1,000個の軸で検査→2,000回の検査で済む，軸と穴は別々の場所で検査できる



高増潔作成©takamasu-lab



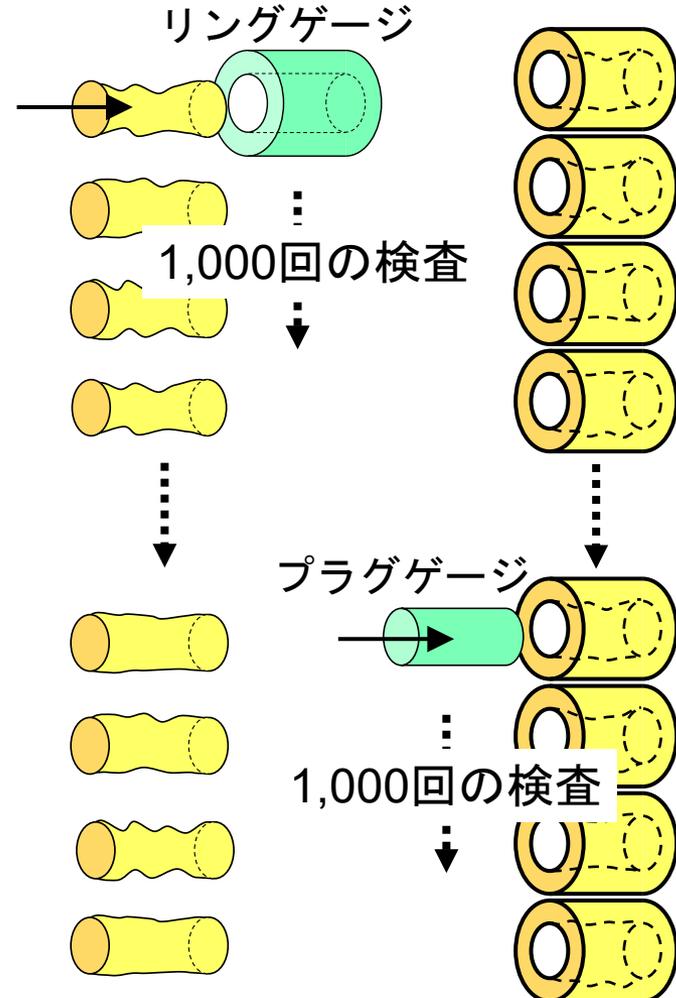
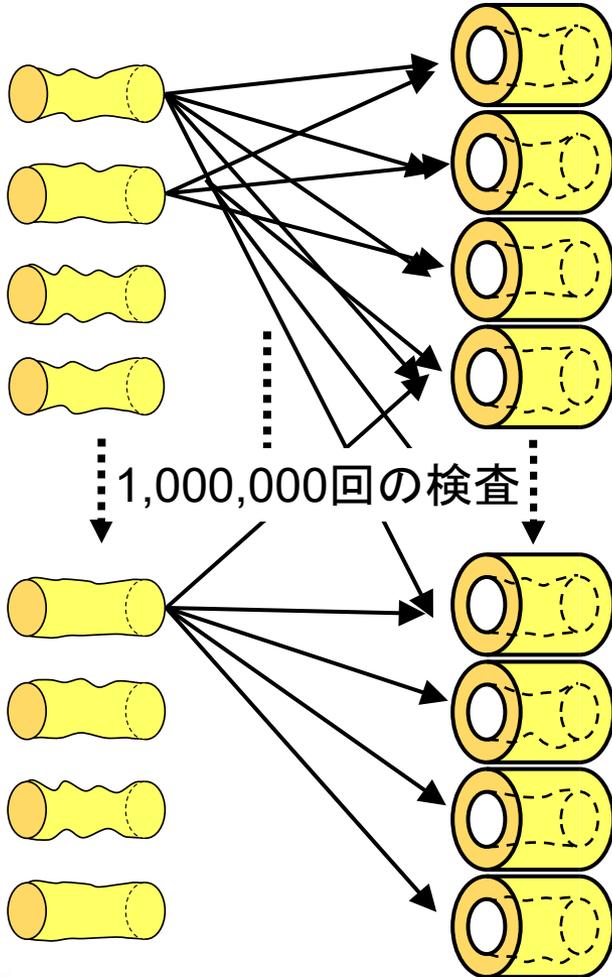
はめあいを保証：百万回の検査と二千回の検査

1,000個の軸

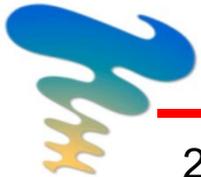
1,000個の穴

1,000個の軸

1,000個の穴

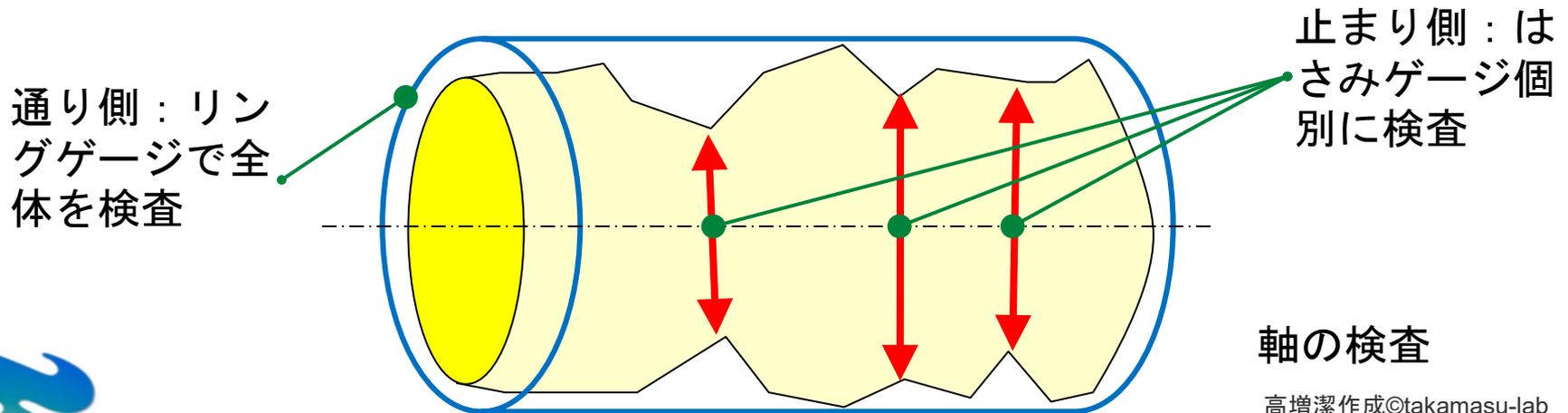


高増潔作成©takamasu-lab



テーラーの原理：通り側と止まり側の検査方法

- 通り側ではすべての寸法または決定量が同時に検査され，止まり側では各寸法が別々に検査されなければならない
 - 1905年 W. Taylor（英国）がねじゲージに関する特許として登録
 - 通り側：仮想の円筒面（軸ならリングゲージ，穴ならプラグゲージ）で全体を一度に検査する→はめあいを保証できる
 - 止まり側：全ての箇所寸法を検査する（すべて通らなければ合格）→内側の細いところは個別でしか検査できない
 - テーラーの原理を守らなくてもいい場合
 - 軸方向のまがりがない→軸方向の一箇所でもいい
 - 軸断面でのゆがみがない→各断面は一箇所でもいい。



高増潔作成©takamasu-lab



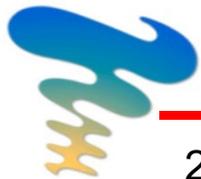
ブロックゲージ

- ブロックゲージの使い方
- ブロックゲージの寸法測定
- ブロックゲージによる比較測定



メモ：ブロックゲージ

- ブロックゲージは、長さ測定の基準となる
 - 高精度，低価格→価格が高い三次元測定機より精度は高い
 - トレーサビリティが確保されている
 - ブロックゲージの寸法は、光干渉で絶対測定される
 - 使用するレーザの波長が校正されている
 - 種々の寸法をリングングで作れる
 - ブロックゲージを使って、測定機器の校正，比較測定による高精度寸法測定が可能となる



ブロックゲージ

ブロックゲージのセット

■ 標準ゲージの代表

- 精密測定の大発明の1つ：1896年スウェーデンのヨハンソンが発明
- 材料：鋼（一般的），セラミック（錆びない，使いやすい），ネクセラ（低熱膨張）
- ヨハンソン形：103個セット
 - 1.005 mm
 - 1.01 mm - 1.49 mm（0.01 mm おき）
 - 0.5 mm - 24.5 mm（0.5 mm おき）
 - 25 mm - 100 mm（25 mm おき）

■ 等級

- 4つの級：K級，0級，1級，2級
- 参照用：K級，0級
- 標準用：0級，1級
- 検査用：1級，2級



ミットヨホームページ：ブロックゲージ
<https://www.mitutoyo.co.jp/products/>

種々のブロックゲージ



ミットヨホームページ：ブロックゲージ
<https://www.mitutoyo.co.jp/products/>



ブロックゲージの使い方

■ ブロックゲージ

- K級, 0級はレーザ干渉計（方法は後で説明）で値が付けられている→**身近に使えるものの中では最高に精度がよい**
 - 100 mmのK級ブロックゲージの寸法許容値差は70 nmで、寸法と誤差の比は 10^{-6} 以上ある
- 1級, 2級でも高精度で、比較測定における基準や測定機器の校正に使われる
 - **精度がよいが安価**：10 mmで2級で3千円, 100 mmで0級で2万円程度, 0級の103個セットで40万円程度
- **リングング**：複数のブロックゲージを密着されて自由な寸法を作る→参考の動画に方法がある（リングングによる誤差は無視できるほど小さい）

■ ブロックゲージを利用した校正, 測定

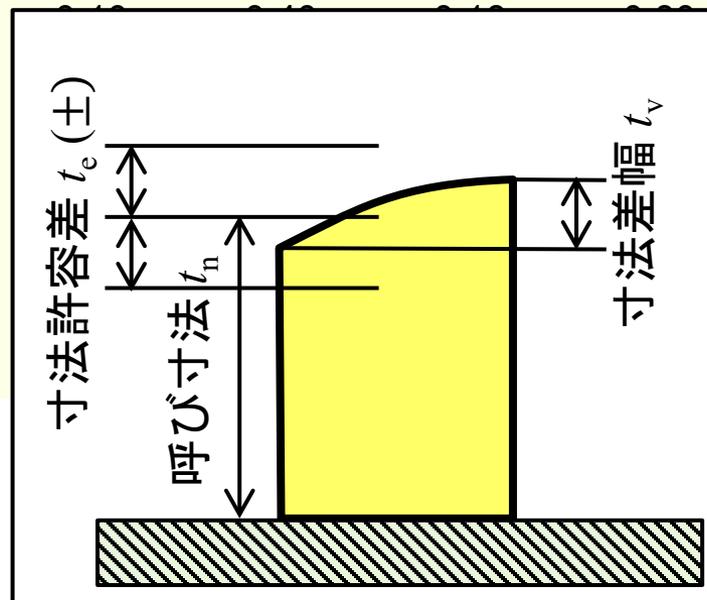
- ブロックゲージを利用して測定機器の校正を行う：マイクロメータ, ノギス, ダイヤルゲージから三次元測定機まで利用される
- ブロックゲージと測定対象を比較測定する（比較測定の方法は後で説明）



JIS B7506 ブロックゲージ：寸法許容差幅

- 呼び寸法 (mm), 寸法許容差 (μm) と寸法許容差幅 (μm)
 - 寸法は寸法許容差に入っている必要がある
 - 寸法差は寸法許容差幅に入っている必要がある

呼び寸法 l_n (mm)		K級		0級		1級		2級	
を超え	以下	寸法許容差 $t_e(\pm)$	寸法許容差幅 t_v						
0.5	10	0.20	0.05	0.12	0.10	0.20	0.16	0.45	0.30
10	25	0.30	0.05	0.14	0.10	0.30	0.16	0.60	0.30
25	50	0.40	0.06	0.20					0.30
50	75	0.50	0.06	0.25					0.35
75	100	0.60	0.07	0.30					0.35
100	150	0.80	0.08	0.40					0.40
150	200	1.00	0.09	0.50					0.40
200	250	1.20	0.10	0.60					0.45
250	300	1.40	0.10	0.70					0.50
300	400	1.80	0.12	0.90					0.50



100 mmのK級ブロックゲージ
寸法許容差幅：70 nm

JIS B7506

ブロックゲージの寸法の測定（K級，0級）

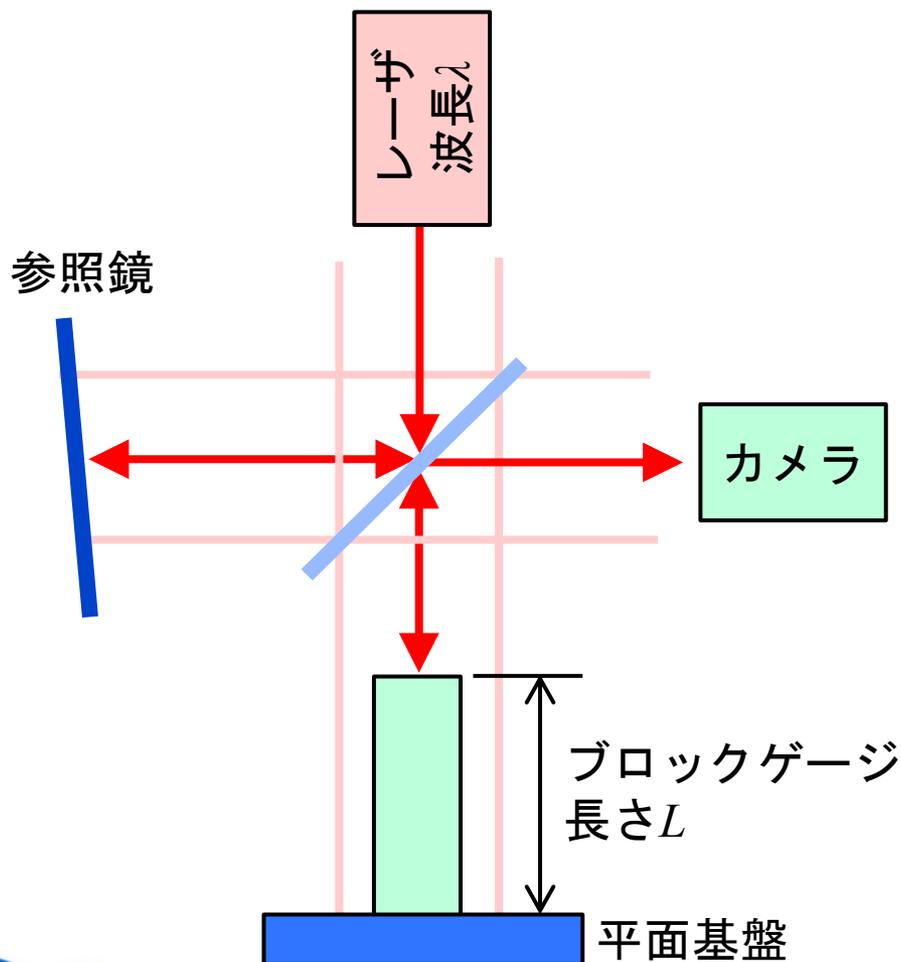
- 光波干渉により**ブロックゲージ寸法の絶対測定**が可能
 - 2つ以上の波長の光を使う（合成波長）
 - 1つの波長だと波長の何倍かが分からない
 - 2つ以上の波長を使うと→ブロックゲージの寸法は，マイクロメートルオーダーまで分かっているのので，一致する値が分かる（式で N は整数， ε は測定できる， λ は決まっている→一致する L が決まる）
 - 光の波長を目盛にする→**トレーサビリティが確立できる**：使用するレーザの波長がトレーサブルになっている
 - 波長が（ λ ） $0.6\ \mu\text{m}$ だと $\lambda/2$ が $0.3\ \mu\text{m}$ で ε を $1/100$ まで読むと $3\ \text{nm}$ まで測定できる
- 例：2つの波長で寸法を測定
 - $\lambda_1: 0.6\ \mu\text{m}$, $\lambda_2: 0.5\ \mu\text{m}$ ：合成波長は $3\ \mu\text{m}$
 - $\varepsilon_1: 0.78$, $\varepsilon_2: 0.14$
 - この条件で N を決め， L を求める
 - L は $1.5\ \mu\text{m}$ ごとに決まる
 - 例えば： $L = 1.200535\ \text{mm}$

$$L = (N_i + \varepsilon_i) \frac{\lambda_i}{2}$$



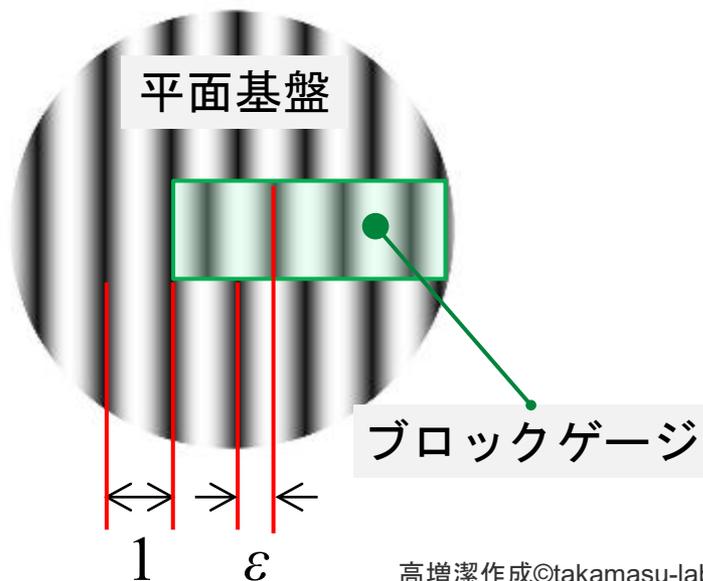
ブラックゲージの測定：干渉計

ブロックゲージ干渉計の構成

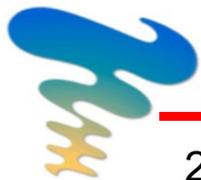


高増潔作成©takamasu-lab

干渉計のカメラ画像 ε を求める

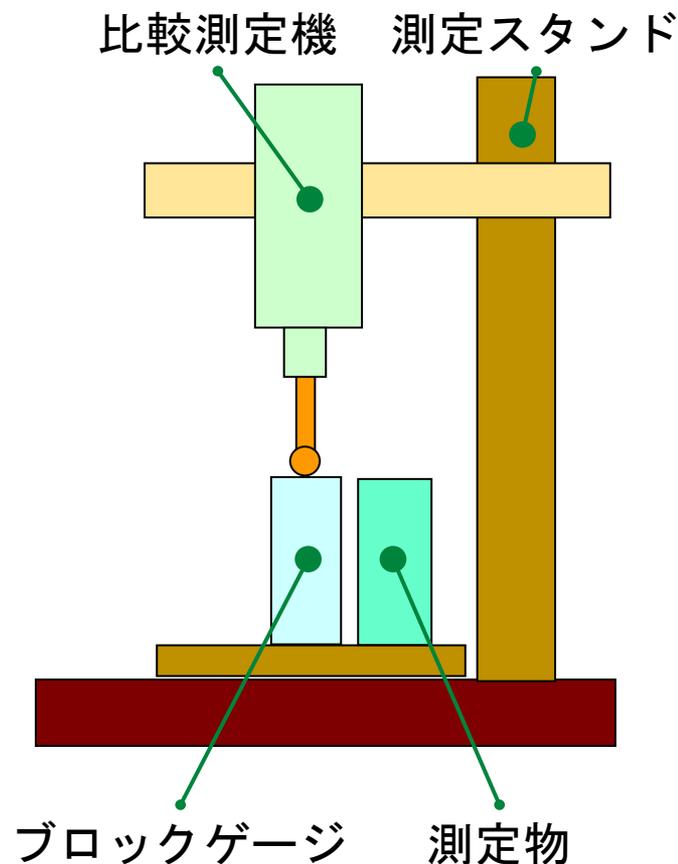


$$L = (N_i + \varepsilon_i) \frac{\lambda_i}{2}$$



ブロックゲージによる比較測定

- ブロックゲージを利用した比較測定
 - 比較測定機
 - 比較測定機は、測定範囲が狭くてよい
 - ダイヤルゲージ
 - 電気マイクロメータ
 - 空気式マイクロメータ
 - 光波干渉式コンパレータ
 - ブロックゲージと測定対象を比較測定する測定物の寸法と近い寸法のブロックゲージと比較する
 - 測定値の差をブロックゲージの寸法に足して測定値を求める
 - ブロックゲージによる比較測定を利用した精密寸法測定については、「精密測定の3大発明」を参照



高増潔作成©takamasu-lab



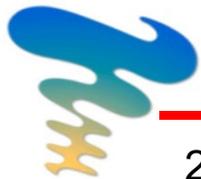
端度器，ブロックゲージのまとめ

- 端度器：両端の面間距離によって規定の寸法を表す長さ標準器
 - 端が目盛りとなるものさし（度器）
 - 標準ゲージ：ブロックゲージ，すきまゲージ
 - 限界ゲージ：プラグゲージ，リングゲージ
- 限界ゲージ：止まり側と通り側の検査
 - テーラーの原理
 - はめあいの保証には，ゲージが有利
- ブロックゲージ
 - 標準ゲージの代表
 - 精度がよいが安価，トレーサビリティが確立できる
 - リンギング：複数のブロックゲージを密着されて自由な寸法を作る
 - ブロックゲージの寸法：2つ以上の波長のレーザによる干渉計
 - ブロックゲージによる測定：比較測定の基準として使用する
 - ブロックゲージによる校正：寸法測定器の校正に使用する



メモ：ブロックゲージの使い方の動画例

- 【HOW TO】 ブロックゲージの使い方
 - <https://www.youtube.com/watch?v=zUqIUANF-w>
- プロが教えるブロックゲージの使い方
 - <https://www.youtube.com/watch?v=M2ujv8--nGM>
- ブロックゲージは安価なので、いくつかを見せるのがよい
 - 余裕があれば、ノギスやマイクロメータで測定したり、リングングを試すこともできる



メモ作図：干渉縞画像のための下書き

