

光分岐方式の小型高機能レーザー墨出し器

Beam-Split Type Compact High-Functionality Laser Level

中村 国法* ・ 寺裏 浩一* ・ 山口 博章** ・ 傘谷 正人*** ・ 松田 正則*** ・ 齊藤 公昭****
 Kuninori Nakamura Koichi Teraura Hiroaki Yamaguchi Masato Kasaya Masanori Matsuda Masaaki Saito

レーザー墨出し器において、単一のレーザー光源から発せられる光ビームを複数の基準線に同時に変換する分岐光学系を考案し、またミラーやレンズなどの光学部品の取付け面とレーザー光軸との角度を筐体の塑性変形を利用して微調整可能な光軸調整機構を開発した。さらに、緩衝構造を設けて、光学系に加わる衝撃力を緩和させ、粗雑に扱われがちな建築工事現場での使用にも十分に耐え得る構造とした。

これらの開発により、携帯性の良い小型構造と、建築工事現場で求められる高精度を同時に満たす光分岐方式の小型高機能レーザー墨出し器を実現した。

In a laser level instrument, beam-splitting optics have been devised for simultaneously generating multiple reference lines from a single laser beam source, along with an optical axis adjustment mechanism for enabling fine adjustment of the angle between the mounting surface of a mirror or lens and the laser beam axis by using plastic deformation. In addition, a cushioning structure has been added for reducing the impact on the optics system, thereby making the instrument sufficiently sturdy against rough handling in construction sites.

These developments resulted in a compact and high-functionality laser level that meets the need for easy portability and high accuracy required in construction sites.

1. ま え が き

建築工事現場において、工事の水平・鉛直の基準出し作業に半導体レーザー（Laser Diode：以下、LDと記す）を内蔵したレーザー墨出し器（以下、墨出し器と記す）が用いられることが多い。たとえば、電気工事では照明器具取付けの位置決め、内装工事では建具据付けの基準出しや壁ボードの位置決め、建築工事では鉄骨据付けの基準出しや窓枠取付けの位置決めなどである。

従来の墨出し器は、図1に示すように、基準となるベース上に基準線を照射する光学系部品（光源ユニット）が複数配置されているため外形が大きいのが多く、携帯性が良くないという欠点がある。持運びが不便なため、作業現場に常時放置することが多く、盗難被害に遭うケースも少なくない。従来から墨出し器には、作業中は常備でき、作業完了後は携帯したいという要望が多かった。

当社は、2005年2月から墨出し器としては業界最小の

「墨出し名人ケータイ」を販売してきた。この製品が表示できる線種は、図2に示すように、基準線として正面方向

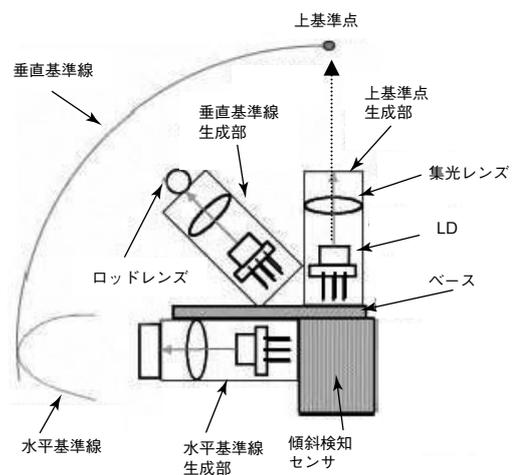


図1 従来品の光学系構造

* 情報機器事業本部 情報機器R&Dセンター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

** パナソニック電工尾張株式会社 Panasonic Electric Works Owari Co., Ltd.

*** パナソニック電工電路株式会社 Panasonic Electric Works Denro Co., Ltd.

**** 先行技術開発研究所 Advanced Technologies Development Laboratory

に照射される水平基準線と垂直基準線、鉛直上下方向に射出される上基準点と下基準点である¹⁾。このうち上基準点は、天井にアンカボルトを打つ作業が多い電気工事業者には好評を得ている。

しかし、壁面の建付工事の多い建築工事業者にはかね基準線が不可欠であることから、今回の開発では図3に示すように上基準点に替えてかね基準線を垂直基準線と天井面で直交交差するように照射し、この交点を上基準点としても利用できる方式を検討する。

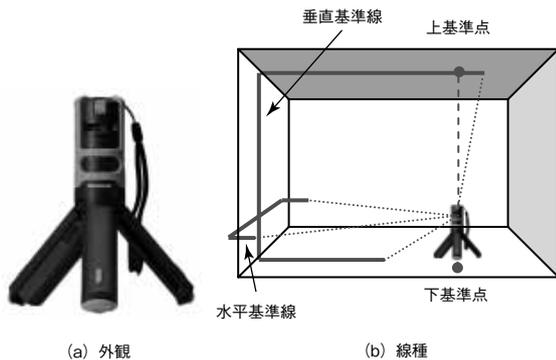


図2 「墨出し名人ケータイ」

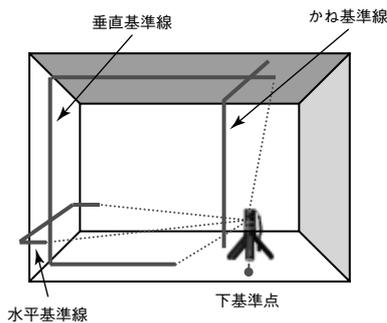


図3 開発品の線種

そこで筆者らは、光分岐方式によりかね基準線の照射機能を付加するとともに、光学ブロックの塑性変形による精密な光軸調整機構を組み込んで当社従来品より指示精度を3倍向上させることで、電気工事業者だけでなく、建築・内装工事業者が要求する仕様にも応えられるものを開発した。また、機器内部に緩衝構造を採り入れることで現場での粗雑な取扱いに対しても耐久性をもたせ、携帯性の維持も実現した。

本稿では、小型化を実現した光学系、および光学ブロックの塑性変形による高精度調整機構について報告する。

2. 開発品の仕様と特徴

開発した墨出し器の仕様を表1に示す。可視光LDを用い、線状光となる各基準線と床面に基準点となる点状光を照射する。

また、墨出し器における水準機構を図4に示す。基準線を出す光学ブロックは、十字状に配置された2本の軸A、

軸Bに懸架されてX-Y面内に自由に揺動できる構造になっている。軸A、軸Bの端点は、それぞれハウジングおよび本体に軸受を介して固定されている。光学ブロックは、ハウジングと一体化してX軸回りに揺動し、本体はY軸回りに揺動する。その結果、本体がX-Y平面内のどの方向に傾斜しても、光学ブロックはつねに鉛直方向を向くようになっている²⁾。

表1 開発仕様

線種	垂直, 水平, かね, 下基準点
製品寸法	外径 35 mm×長さ160 mm
指示精度	±0.5 mm/5 m
レーザークラス	1 M (明るさ当社従来品の2倍)
電源	単三乾電池 1本

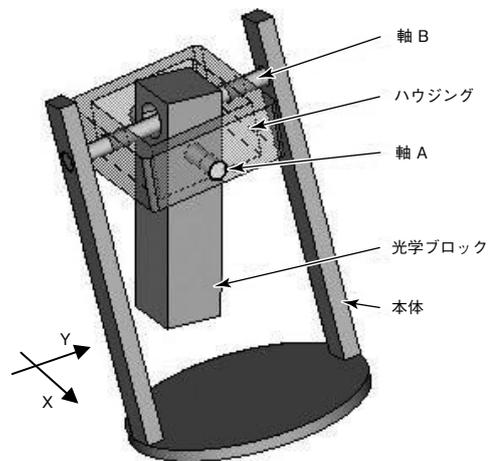


図4 水準機構

3. 緩衝構造

3.1 緩衝構造の原理と設計

3.1.1 緩衝について

図5に緩衝機構の部品の配置を示す。墨出し器は精密機器であるにもかかわらず作業現場で使用されるため、落下や転倒など粗雑に扱われることが多い。機器が過大な衝撃力を受けると基準線の指示精度に狂いが生じたり、場合によっては水準機構部の軸や軸受が破損することがある。このため、緩衝エラストマ(緩衝材AおよびB)を用いて、高さ1.5 mからコンクリート床面へ落したときでも、機器内部の光学系の精度に影響がないようにしている。ここでは筆者らの評価結果から光学系に対する許容衝撃加速度は、 $2.0 \times 10^4 \text{ m/s}^2$ を上限値として目標設定している。

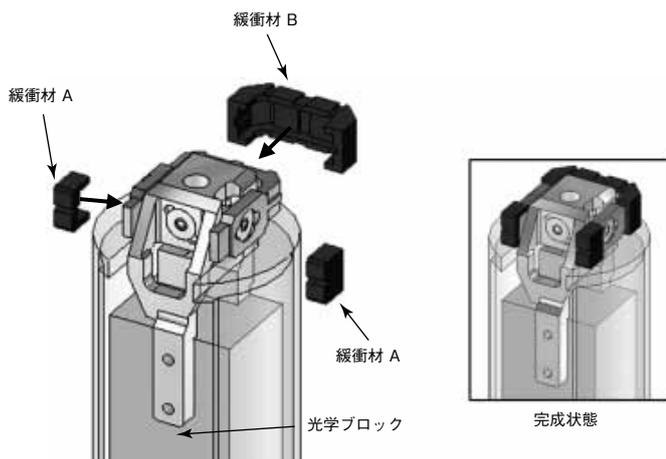


図5 緩衝構造

3.1.2 衝撃緩衝の原理

運動中の物体が、その運動速度を急激に変化させた場合、物体は衝撃力を受ける。この場合、物体の質量を m 、衝撃力を P 、衝撃力の作用時間を Δt 、物体の速度変化 Δv とすれば、これらの関係は式 (1) で表される³⁾。

$$m\Delta v = \int_0^{\Delta t} P dt \quad (1)$$

この式は、同じ速度変化であっても作用時間 Δt が短ければ瞬間的に大きな衝撃力 P が発生し、逆にゴムのようなダンパ効果を有する構造であれば作用時間 Δt は長くなって衝撃力は小さく抑えられることを意味している。

図6は、緩衝材なしでコンクリートの床面へ高さ0.2 mから落下させたときにジンバル機構部に作用する衝撃波形を表したもので、そのときの衝撃加速度は $2.0 \times 10^4 \text{ m/s}^2$ である。

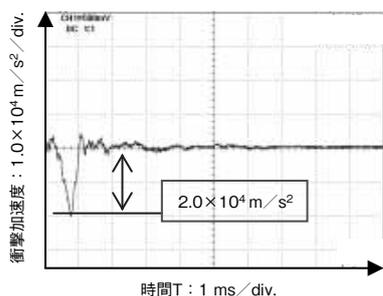


図6 ジンバル機構に作用する衝撃値(緩衝材なし)

一般に衝撃加速度は、高さの平方根に比例して増加するので、高さ1.5 mから落下させた場合、式(2)のように換算できる。

$$2.0 \times 10^4 \times (1.5 / 0.2)^{1/2} = 5.5 \times 10^4 \text{ (m/s}^2\text{)} \quad (2)$$

この衝撃加速度を、どの方向から落しても目標値以下に

抑えることが必要である。また、ジンバル機構部には基準線の光路が集中しているため、緩衝材にはこれを遮らない小型形状が必要となる。

3.1.3 緩衝構造の設計

ゴムの圧縮理論式から、ゴムのばね定数 k と見掛けの縦弾性係数 E_{ap} は式 (3) と (4) で与えられる。

$$k = E_{ap} (A_L / h) \quad (3)$$

$$E_{ap} / G = 4 + (\pi^2 / 3) S^2 \quad (4)$$

ただし、 A_L ：断面積、 h ：ゴム厚み、 G ：横弾性係数、 S ：形状率 = A_L / A_F 、 A_F ：自由表面積である。

前項の実験結果から、目標となる衝撃加速度まで下げるには、緩衝材の弾性係数を36%以下にする必要がある。見掛けの弾性係数を下げる方法としては緩衝材の厚みを増やす、もしくは形状率を下げるのが有効である。ここでは、寸法上の制約から厚みは一定のまま、緩衝材の表面に凹凸を設けて自由表面積を増やしている。これは、緩衝材に縮み代を増やし、たわみやすくすることに相当する。開発品では、緩衝材の厚みを1.5 mm、面積をジンバル機構部に敷設可能な面積の62%とすれば、式(3)から衝撃加速度が36%以下に抑えられる。

3.2 緩衝構造の有効性の検証

図7に、ジンバル機構部の周囲に緩衝材を設置し、1.5 mの高さからコンクリートの床面に落下させたときの衝撃波形を示す。このときの衝撃加速度は $1.1 \times 10^4 \text{ m/s}^2$ で目標値を満たしており、緩衝材の敷設が有効であることがわかる。

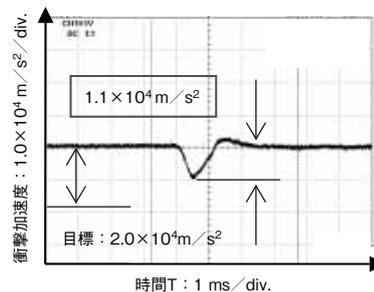


図7 ジンバル機構に作用する衝撃値(緩衝材あり)

また、このとき機器内部の光学系ブロックの指示精度に劣化はみられず、ジンバル機構部も破損しないことを確認している。

4. 分岐光学系

図8に開発した墨出し器の光学系部品の配置を示す。垂直水平光学系は単一のLDから出射されたビームを投

光レンズで平行光に変換し、ハーフミラーによって分岐して水平および垂直の基準線を生成し、正面方向に照射する。また、かね基準線を生成するかね光学系は垂直基準線が照射される方向に対して90°の角度を成して照射されるものである。

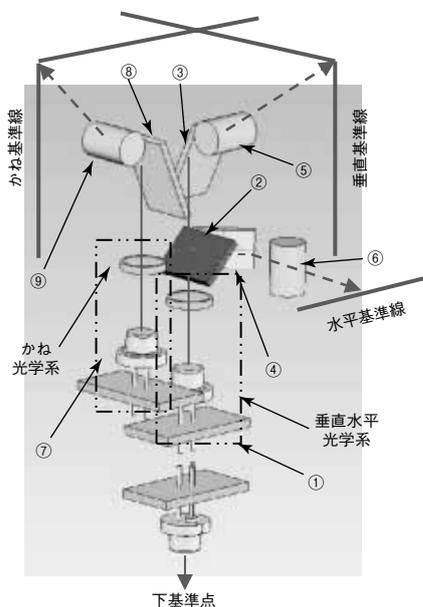


図8 開発品の部品配置

光学系本体の部品と機能を以下に示す。

- ① LD ブロック 1：スポット光を照射するもので、LD と投光レンズから構成される。
- ② ハーフミラー：スポット光を水平基準線用全反射ミラーと垂直基準線用全反射ミラーへと分岐する。
- ③ 全反射ミラー 1：垂直基準線用ビームをロッドレンズ 1 へ反射させる。
- ④ 全反射ミラー 2：水平基準線用ビームをロッドレンズ 2 へ反射させる。
- ⑤ ロッドレンズ 1：垂直基準線を生成する。
- ⑥ ロッドレンズ 2：水平基準線を生成する。
- ⑦ LD ブロック 2：LD ブロック 1 と同様、スポット光を照射する。
- ⑧ 全反射ミラー 3：かね基準線用ビームをロッドレンズ 3 へ入射する。
- ⑨ ロッドレンズ 3：かね基準線を生成する。

従来品は、LD ブロック 1 とロッドレンズ 1 とが一体構造となっており、基準線の数だけ LD ブロックが機器内部に配置されていたので、サイズが大きくなっていた。

これに対して開発品では、ロッドレンズと LD ブロックとの間にハーフミラーを介在させることで 1 個の光源から 2 本の基準線を生成している。また、LD ブロック 1 および 2 を並行に配置して鉛直上向きにビームを照射させ、同

時に全反射ミラーで光軸を 40° の仰角に偏向させて LD ブロック間の互いの距離を最小にすることにより、従来の同等性能品と比較して体積を 1/10 に小型化している。

5. 光軸調整機構

LD ブロックの構成を図 9 に示す。光源から発せられたビームは、投光レンズで平行光に変換された後、ロッドレンズに入射する。Y 方向に相当するビーム径は図 9 (a) のように屈折されずに径はそのまま保たれるが、X 方向に相当するビーム径は図 9 (b) のようにロッドレンズで屈折され X 軸方向に線状の光線となる。

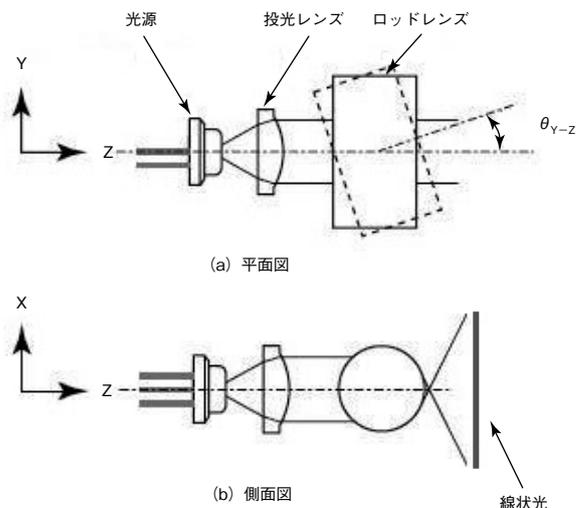


図9 LDブロックの構成

また、ロッドレンズの調整方向としては、図 10 (a) のようにロッドレンズの中心軸を Y-Z 平面内に θ_{Y-Z} 傾けることにより基準線の直線性（湾曲）を調整する方向と、図 10 (b) のように X-Y 平面内に θ_{X-Y} 傾けることにより基準線の傾きを調整する方向がある。指示精度が 0.5 mm / 5 m であるということは、5 m 先方で線状光が絶対基準（図 10 における絶対水平面）に対して Y 方向に ± 0.5 mm の範囲に入ることである。この範囲内に線状光を収めるためには、レーザー光軸に対するロッドレンズの中心軸の倒れ θ_{Y-Z} 、 θ_{X-Y} は、図 11 (a) と (b) に記載の光線追跡シミュレーション結果から、式 (5) と (6) 以下の範囲に収める必要がある。

$$\theta_{Y-Z} < 0.01^\circ \quad (5)$$

$$\theta_{X-Y} < 0.005^\circ \quad (6)$$

このように、垂直、水平、およびかね基準線は互いに $\pm 0.01^\circ$ 以下の高い角度精度が求められるため、サブミクロンレベルの光軸調整が必要になる。ところが従来は、調整ねじを用いて光学部品の角度を調整した後、固定ねじを使って光学部品を固定するものが多い。しかし、一般的な

ねじでは高分解能な調整は困難であったり、光学系全体が大型化する欠点があった。これに対して塑性変形を利用する調整では、マイクロメータの微小送り機構を有する調整装置を使って外力を与えながら変形させていくので固定用のねじは不要となり小型化が可能である。一方この方法では、ねじ調整の場合とは異なり、スプリングバックやクリープの影響を考慮する必要がある。そこで、これらの変形箇所のスプリングバック量やクリープ量をコントロールして精度劣化を回避するための変形部位の形状を検討する。それぞれの影響度を要約すると、以下ようになる。

- (1) スプリングバック量は調整量の分解能に影響する。
- (2) クリープ量は経時後の線状光の位置変動に影響する。

今回の開発では、有限要素法による非線形応力解析から、前記の(1)、(2)の量がより小さくなる形状を導出している。

図12に開発品の光学ブロックの外観と調整例を示す。(a)は開発品の完成状態であり、(b)は光学ブロック本体のフレーム自身を塑性変形させ、光軸に対するロッドレンズの角度を調整する一例を表している。

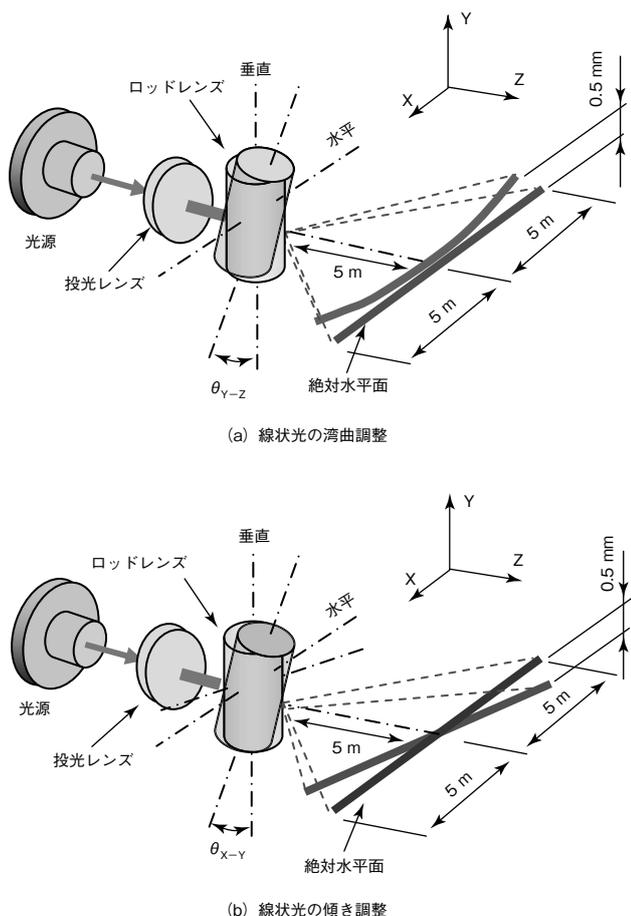


図10 ロッドレンズの調整方向

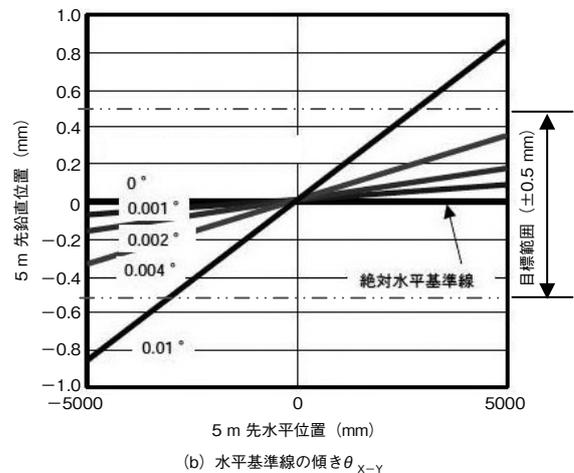
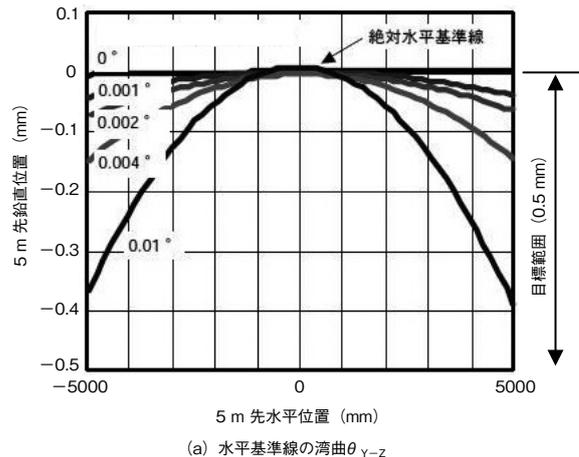


図11 光線追跡結果

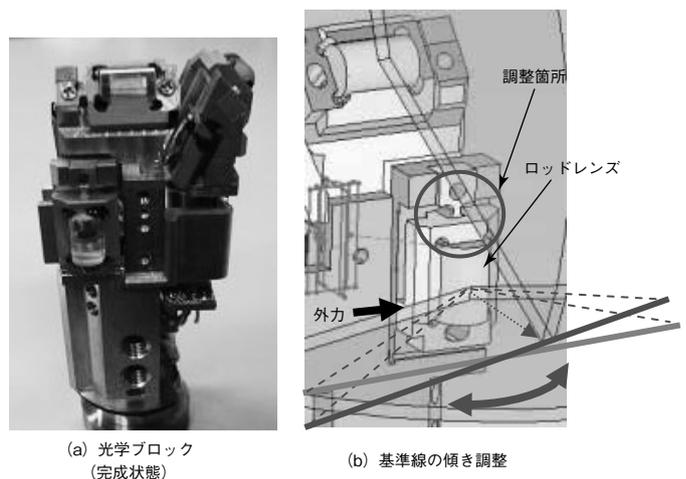


図12 光学ブロックの外観

図13に光学ブロックの変形箇所を示す。(a)は完成状態の外観であり、(b)はその変形箇所である。破線の枠で囲まれた部分を変形させ、垂直基準線とかね基準線との直交度を調整する。その解析例と結果を図14に表す。(a)の断面形状における非線形応力解析の結果、(b)のようにくびれた部分に応力が集中して他の部分には変形の影響が

ないことがわかる。

また、完成品に対してヒートサイクル試験による耐環境評価を行った結果、試験後においても5 m先方での指示精度の変化が0.5 mm以下であり、環境ストレスが印加されても指示精度には影響のないことを確認している。

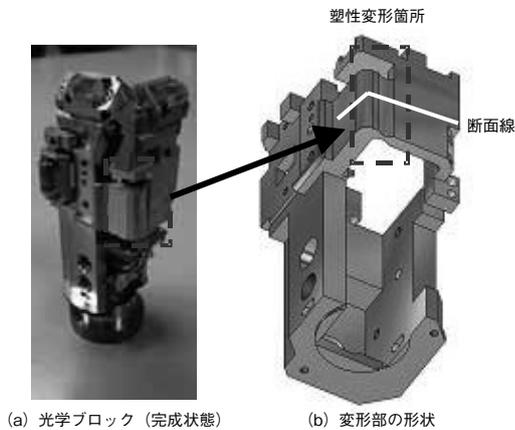


図13 変形箇所

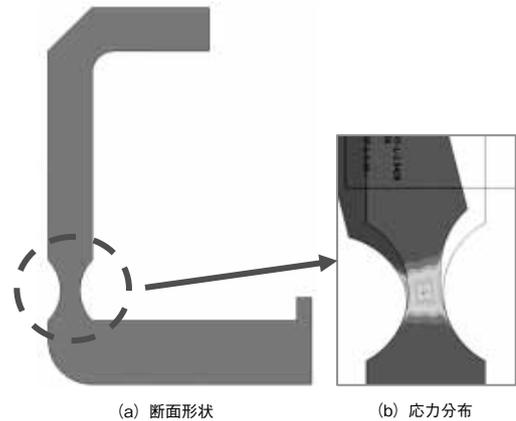


図14 解析例と結果

6. あとがき

レーザー墨出し器において、単一のレーザー光源から発せられる光ビームを複数の基準線に同時に変換する分岐光学系を考案し、またミラーやレンズなどの光学部品の取付け面とレーザー光軸との角度を光学ブロックの塑性変形を利用して微調整可能な光軸調整機構を開発した。さらに、緩衝構造を設けて光学系に加わる衝撃力を緩和させ、粗雑に扱われがちな建築工事現場での使用にも十分に耐え得る構造とした。

これらの開発により、携帯性の良い小型構造と、建築工事現場で求められる高精度を同時に満たす光分岐方式の小型高機能レーザー墨出し器を実現した。

*参考文献

- 1) 吉村 一成, 中村 国法, 安田 朋広, 本田 達也: 建築工事中用携帯型レーザー墨出し器, 松下電工技報, No. 78, p. 22-27 (2002)
- 2) 阪本 浩司, 傘谷 正人, 寺裏 浩一, 中村 国法, 岡村 幸彦, 西川 尚之: レーザー墨出し器用精密調整機構と衝撃吸収機構, 松下電工技報, Vol. 52, No. 4, p. 87-93 (2005)
- 3) 谷口 修: 振動工学ハンドブック, 養賢堂, p. 69-73 (1988)

◆執筆者紹介



中村 国法
情報機器 R & D センター



寺裏 浩一
情報機器 R & D センター



山口 博章
パナソニック電工尾張(株)



傘谷 正人
パナソニック電工電路(株)



松田 正則
パナソニック電工電路(株)



齊藤 公昭
先行技術開発研究所