

大形構造物組立用日立レーザ計測システム “HILLAM”

Hitachi Laser Leveling and Measuring Systems

大形構造物の心出しや計測作業は、従来水盛りやピアノ線を用いていたため作業能率が低く、合理化が要求されていた。

そこで、レーザで水平又は垂直の基準平面を形成し、基準平面の位置を位置検出器で検出し、心出しや計測を精度50mで±0.5mm以内で行なう日立レーザ計測システム“HILLAM”を開発した。

本論文では、その概要と応用例について述べる。

金井三郎* Saburô Kanai

野村 浩* Hiroshi Nomura

平井 明** Akira Hirai

1 緒 言

大形構造物は加工から組立てまでの工程中、機械加工用の基準線やブロック同士の組合せ用の基準線をけがくための水平レベル出し作業や、図面で指示されたわん曲やキャンバなどの寸法測定(変形計測)作業がある。

従来、この作業は水盛りやピアノ線、下げ振りなどにより仮想基準線を設定し、仮想基準線から測定点までの距離をスケールで測定する方法が用いられていた。

しかし、この方法では作業能率が悪く、広い場所を長時間にわたって占有するばかりか作業に熟練が必要であった。また、測定値の再現性に乏しいなどの欠点があり、水平レベル出しの自動化、計測時間の短縮記録及び自動記録が要求されていた。

日立製作所では、レーザ光が単一波長でかつエネルギー密度が高く指向性の良い光ビームになるという特性に着目し、水平レベル出しや計測への適用について開発・改良を重ねてきた。

従来からレーザ光を用いた計測技術には、土木建築用に利用されているレーザトランシットや工作機械で用いられている精密測長器などがあるが、大形構造物の水平レベル出しや計測などの製缶作業に必要な精度±0.5mmには共に適さず、また簡便な作業工具とはなりにくい。

本論文は、大形構造物の水平レベル出し作業の自動化及び変形計測の機械化を図った日立レーザ計測システム“HILLAM”(Hitachi Laser Leveling and Measuring Systems)の概要について述べる。図1に今回開発した日立レーザ計測システム“HILLAM”の外観を示す。

2 製缶作業におけるレベル出し、計測の現状^{1),2)}

2.1 水平レベル出し(レベル調整)作業

構造物のレベル調整作業には、次工程の機械加工用の基準線やブロック同士の組合せに必要な基準線をけがくためのレベル調整作業、変形計測作業を容易に行なうためのレベル調整作業などがあり、いずれも準備作業である。

従来の作業例は図2(a)に示すように、構造物の各支持点上で水盛りとスケールによって、あらかじめ計画された基準レベルに各点が合うようジャッキなどを用い支持台上のライナや当て物などで高さを調整していた。

この作業は大形ブロックとしての作業であり、多くの時間を費やすため場所の回転率も含め、作業の迅速化が急務とされていた。

2.2 変形計測作業

大形構造物のひずみによる変形や図面で指示された曲線、



図1 日立レーザ計測システム“HILLAM” 中央の位置検出器本体の高さは400mmで、右側円筒状のレーザ発振器の高さは450mmであり、持ち運びに便利である。

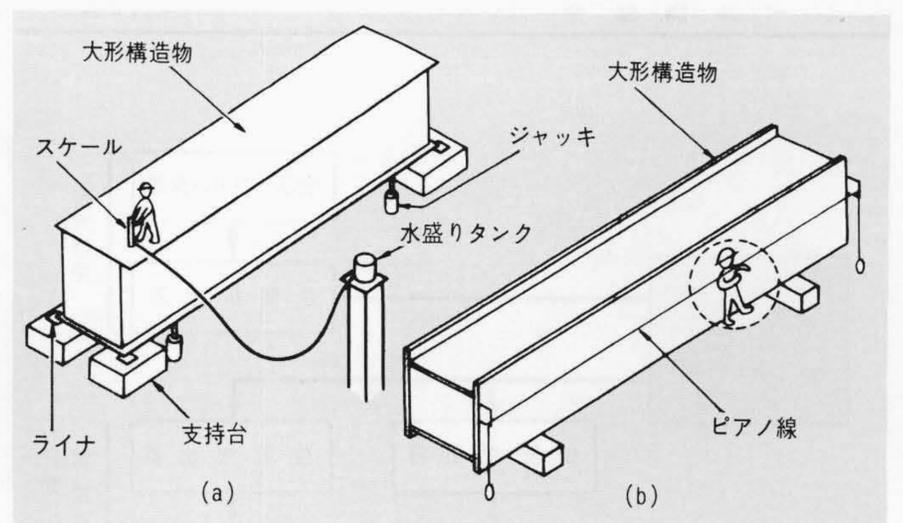


図2 従来の大形構造物のレベル調整作業例 (a)は水平レベル調整作業例を、(b)は変形計測作業例を示す。

* 日立製作所笠戸工場 ** 日立製作所機械研究所

キャンバなどの測定は、一般に図2(b)に示すようにピアノ線を被測定物の両端に固定し、これを基準にしてスケールなどで測定している。

この作業は、ピアノ線の端部にウエートを下げるなどして緊張させるため、大形構造物のようにピアノ線の支持点間距離が長い場合には、ピアノ線の自重の影響を考慮しなければならない。また、ピアノ線が細いために一般の作業者の目に付きにくく、これに触れて位置ずれや、屋外作業の場合風による揺れなどの問題があるばかりでなく、測定も不正確になるという欠点があり、作業能率も低い。

3 レーザ計測システムの概要

日立レーザ計測システム“HILLAM”の構成を、図3及び表1に示す。本システムは、従来水盛りやピアノ線で設定していた仮想基準線の代わりに、レーザ光が回転するレーザ発振器を用いてレーザ光の平面を形成して基準平面とするもので、変形計測の場合はレーザ基準平面と被測定物との距離を位置検出器により測定、記録する。レベル調整の場合は、レーザ基準平面とレベル調整する構造物上面との距離をあらかじめ位置検出器に設定しておく(構造物上面の水平レベルをレーザ基準平面より例えば250mm低い位置に設定したいとき、位置検出器へのレーザ光入光位置を250mmにセットする。)ことにより、位置検出器からは設定位置とレーザ光入光位置の偏差に応じた信号が出力されるため、構造物を支持しているレベル調整台へ位置検出器出力信号をフィードバックして、位置検出器の設定位置へレーザ光が入光し、出力信号が零になるまでレベル調整台を駆動することにより、自動レベル調整を行なうものである。なお、大形構造物のレベル調整作業

表1 レーザ計測システム“HILLAM”の標準組合せ “HILLAM”に用いられる標準機器構成を示す。計測の目的により○印のものが用いられる。

機 器	変 形 計 測		レ ベ ル 調 整
	水 平 計 測	垂 直 計 測	
レ ー ザ 発 振 器	○	○	○
三 脚	○	○	○
垂 直 架 台	—	○	—
位 置 検 出 器	○	○	○
レ ベ ル 調 整 用 位 置 検 出 器	—	—	○(3台)
表 示 器	○	○	○
レ ベ ル 調 整 台	—	—	○(4台)

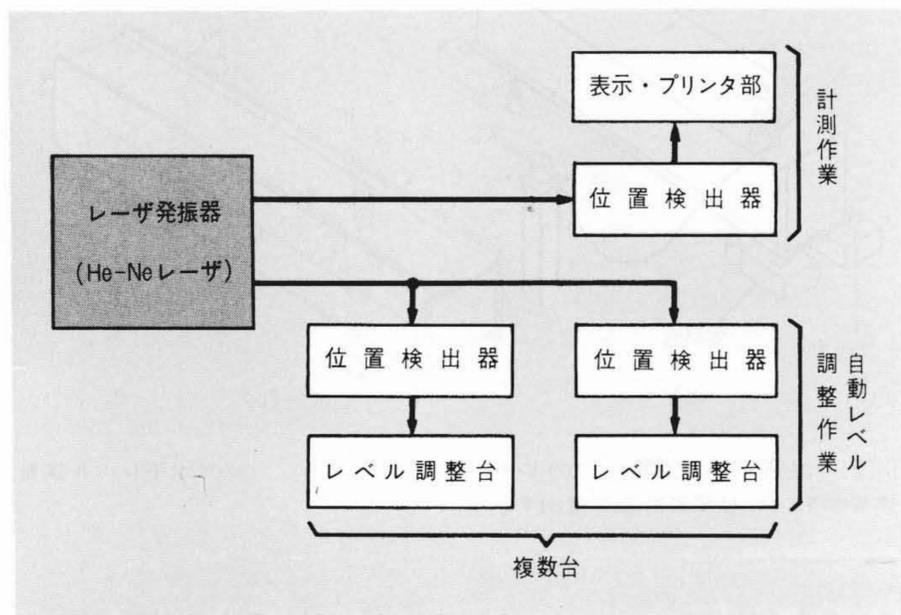


図3 レーザ計測システム“HILLAM”の構成 レベル調整作業と計測作業に必要な機器の構成を示す。

表2 レーザ発振器仕様 高精度の基準平面が得られる回転式レーザ発振器である。

項 目	仕 様
種 類	He-Neレーザ
出 力	1 ~ 3 mW
ビ ー ム 直 径	12.5mm
水 平 ・ 垂 直 補 償	± 2 秒角 (50mで±0.5mm以内)
旋 回 速 度	0 ~ 250rpm
電 源	AC 100V 又はDC 12V
重 量	約6.8kg

では、安全上位置検出器とレベル調整台は3~4組み必要となり、各々の位置検出器とレベル調整台でフィードバック制御が行なわれる。

変形計測を行なう場合、位置検出器内部のセンサはレーザ光入光位置を自動的に探索するため自動追尾方式と称し、レベル調整の場合をセンサ固定方式と称している。図1に示した位置検出器は、両機能を備えたものである。

4 機器の仕様・特徴

4.1 レーザ発振器

本システムで用いているレーザ発振器は、被測定物への照準を合わせる必要のない回転式を採用し、水平又は垂直の基準平面を得るものである。レーザ発振器の仕様を表2に示す。

レーザ発振器はレベル調整、変形計測時の基準平面となるため、絶対水平又は絶対垂直の平面が形成されることが前提であり、更に製缶工場などの工具としての性格をもつため、図4に示すような条件を満足する必要がある。

図1に示したレーザ発振器はこの条件を満足したもので、水平又は垂直平面の精度は、発振器から50m離れた距離で光軸のずれを±0.5mm以内としている。正確な回転基準平面を得る方法として、レーザ発振管を3軸の精密水準器により常に自動調整を行なって、発振器本体頂部に設けたペンタプリズムへ向けて正確にレーザ光を発振させ、ペンタプリズムを回転させることにより、直角に曲げられたレーザ光が回転する。

レーザ発振器の特徴は次に述べるとおりである。

- (1) 本体をほぼ垂直又は水平(±8度以内)に設置するだけで、自動水平補償回路が働き水平又は垂直のレーザ平面が得られる。
- (2) 基準平面の精度は絶対水平又は垂直に対して±2秒角(50mで±0.5mm)以内である。
- (3) 0~250rpmの範囲でビームが回転して、水平又は垂直の平面を形成する。

4.2 位置検出器

位置検出器は図1に示したように、検出器本体、表示部及びプリンタ部から構成されており、その仕様を表3に、構成を図5に示す。

位置検出器は、前述したように自動追尾方式とセンサ固定方式があり、その詳細は次に述べるとおりである。

(1) 自動追尾方式

レーザビームの入光位置へ検出器内蔵のセンサを自動的に追従させる。追従停止位置は、検出器本体に設けてあるスケールとインジケータにより目視でき、表示部、プリンタ部を接続するとミリメートル単位で直読できるようにデジタル表示されるとともに、プリンタで基準測定点の値、各測定点の値及び基準測定点との差が記録される。

(2) センサ固定方式

レベル調整台などの外部機器を制御する信号が得られる方

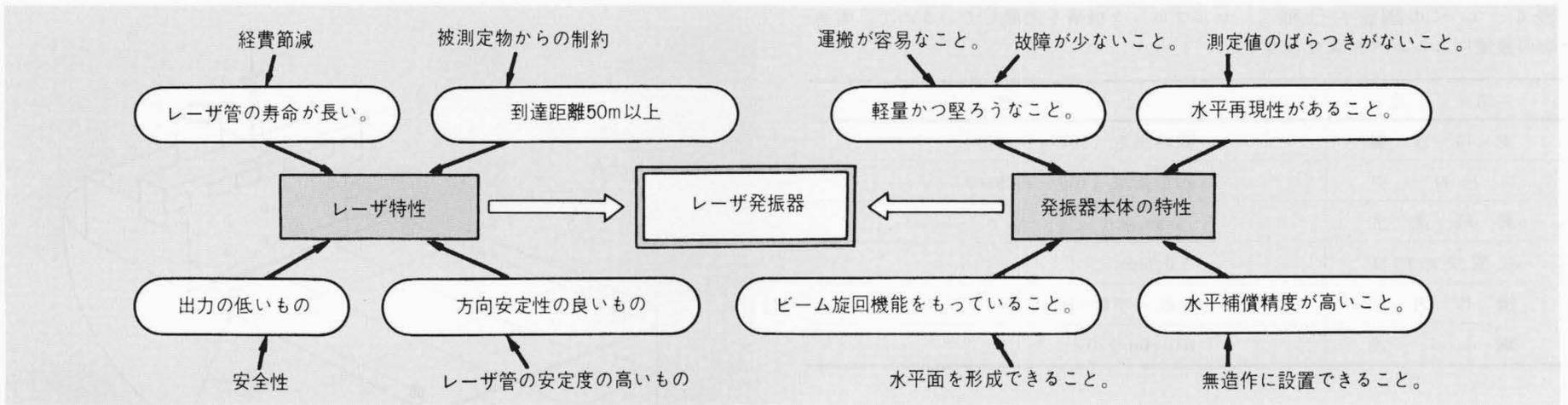


図4 レーザ発振器の条件 レーザ発振器に要求される機能を示す。

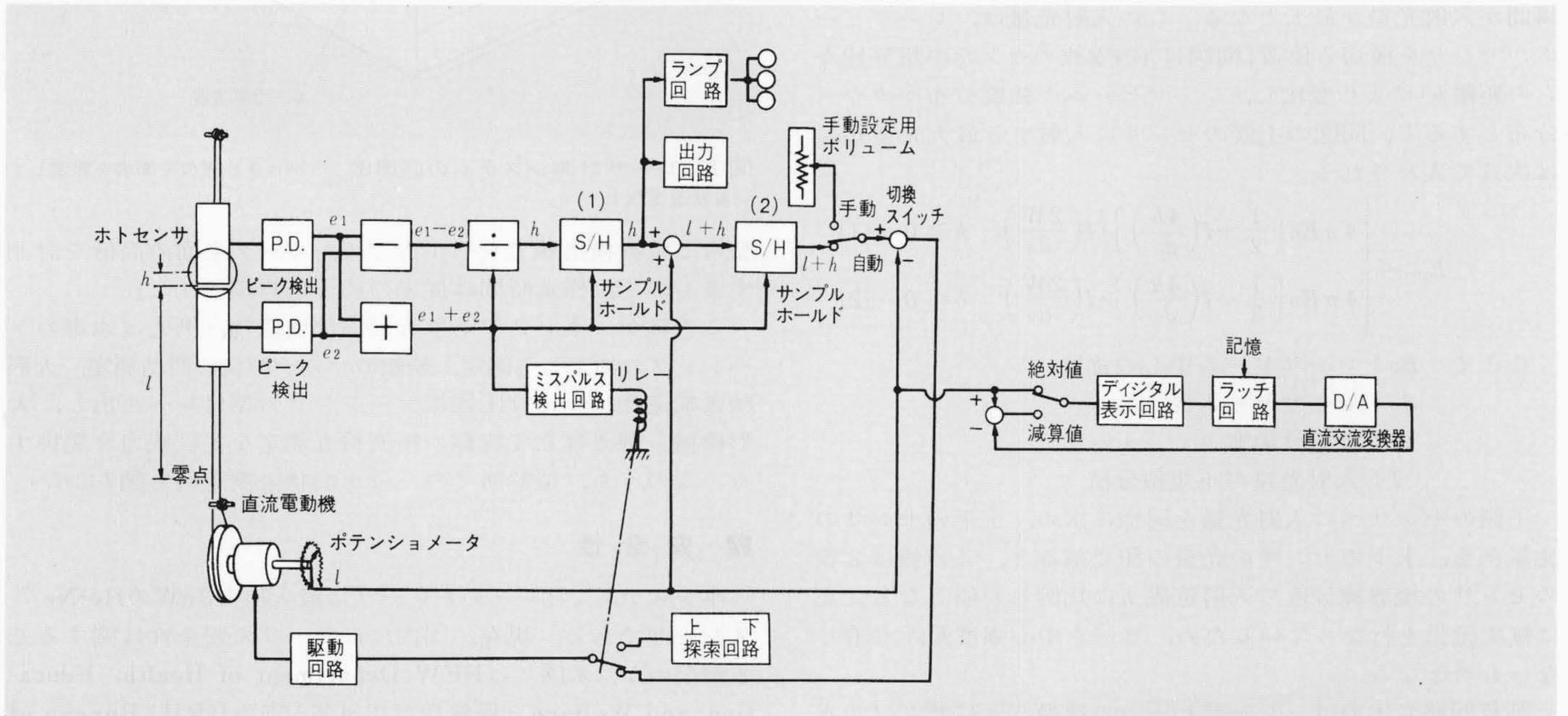


図5 位置検出器ブロック図 2枚のホットセンサによってレーザービームをとらえ、レーザースポットの投影面積比率を演算し、サーボ制御により高精度の位置検出を行なう。

式で、内蔵のセンサを検出範囲内の任意の位置へマニュアル設定でき、レーザービーム入光位置とセンサの設定位置との偏差に応じた外部出力信号を得ることができる。また、検出器本体に設けてあるLED(Light Emitting Diode)により、レーザービームの入光位置がセンサの設定位置に対し、上、中心、下の3段階表示を行なっており、部材組立作業時の位置決めなどにも使用できるよう配慮してある。

表3 位置検出器仕様 位置検出の結果は、デジタル表示及びプリントアウトされる。

項目	仕様
検出方式	光量差演算記憶方式
測定範囲	100mm
測定精度	±0.2mm
位置表示	デジタル表示+印字記録
電源	内蔵電池又はAC 100V
使用環境	
温度	0~50°C
湿度	45~85%
外光	屋外使用可
振動	JIS C5025 A種準拠
重量	検出器本体 約2.6kg プリンタ部 約7.5kg

本位置検出器の大きな特徴としては、レーザービームのスポット径の大小に関係なくビームの中心を検出する方式を採用していることである。

なお、位置検出器は開発に当たり次に述べる点について特に留意した。

- (a) 真夏の屋外でも直射以外の太陽光の影響を受けないこと。
- (b) レーザ光の照度変化が測定精度に影響を及ぼさないこと。
- (c) 省電力による蓄電池の小形化・長寿命化。
- (d) 検出器本体だけでも計測作業が行なえること。
- (e) 表示部、プリンタ部へのマイクロコンピュータ使用による回路構成の簡略化。
- (f) 耐環境性の強化

4.3 レベル調整台

レベル調整台の仕様を表4に示す。自動レベル調整に用いるレベル調整台は、位置検出器の信号を受けてレベル調整完了後、けがき作業や計測作業の支持台として用いることができるようにセルフロック機構を採用し、構造物の重量によるレベル変化がないようにしている。

5 位置検出器の検出原理³⁾

図5で、レーザービームは上下に配置した2枚のセンサ(シリコンフォトセル)により検出する。レーザービームがセンサを横

表4 レベル調整台仕様 セルフロック機構を内蔵しているため、構造物の重量によるレベル変化はない。

項目	仕様
支持容量	顧客指定 (500kg~100t)
ストローク	顧客指定 (100~300mm)
昇降速度	15mm/min
位置決め精度	±0.5mm
操作方法	自動・手動切替方式
電源	AC 200/220V

切った瞬間に、上下のセンサからレーザービームの光量に比例したパルス状の電圧が発生し、ビームがセンサ中心上にある瞬間が入射光量が最大となる。この入射光量は、レーザービームがセンサを横切る位置(同図に示す2枚のセンサの境界線からの距離 h)により変化し、レーザービームの強度分布がガウス分布とすると、同図の上側のセンサに入射する最大光量 E_{pm} は次式で表わされる。

$$E_{pm} = \begin{cases} 4\pi E_0 \left[\frac{1}{2} + I \left(\frac{4h}{d_0} \right) \right] \cdot I \left(\frac{2W}{d_0} \right) & h \geq 0 \dots(1) \\ 4\pi E_0 \left[\frac{1}{2} - I \left(\frac{4h}{d_0} \right) \right] \cdot I \left(\frac{2W}{d_0} \right) & h < 0 \dots(2) \end{cases}$$

ここで E_0 : レーザービーム中心の強度
 d_0 : レーザービーム径
 W : センサの幅
 I : 入射光量の正規積分値

下側のセンサへの入射光量を同様に求め、上下のセンサの光量差を、上下のセンサの光量の和で割ると、この値は2枚のセンサの境界線付近で入射位置 h に比例した値となる。更に無次元化を行なっているため、ビーム中心強度 E_0 に依存しないものとなる。

割算回路の出力は、レーザービームの通過ごとにサンプルホールドし、外部出力信号及びランプ表示としている。

一方、自動追尾時は初段のサンプルホールド回路出力に、センサの位置を検出するポテンショメータ出力を加算した値を、レーザービームの通過位置として次段のサンプルホールド回路に記憶させ、この値を目標にセンサ位置をサーボ制御する。センサの停止位置は、ポテンショメータの出力から表示部、プリンタ部へ送られ、デジタル表示や記録が行なわれる。

6 応用例

図6は、クレーンガダの水平レベル出しとキャンバ測定へ本システムを応用した例を示すもので、4組みのレベル調

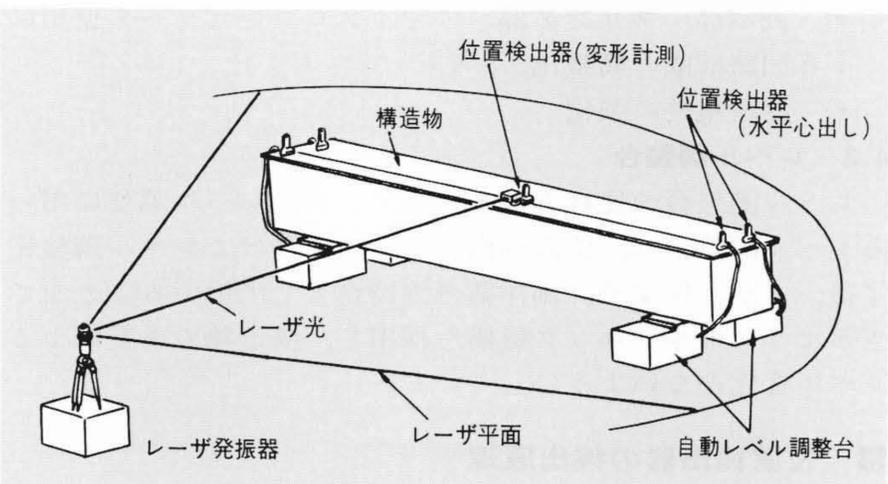


図6 レーザ計測システムの応用 箱形構造物にレーザー計測システムを適用し、水平心出し後変形計測(キャンバ測定)を行なっている状況を示す。

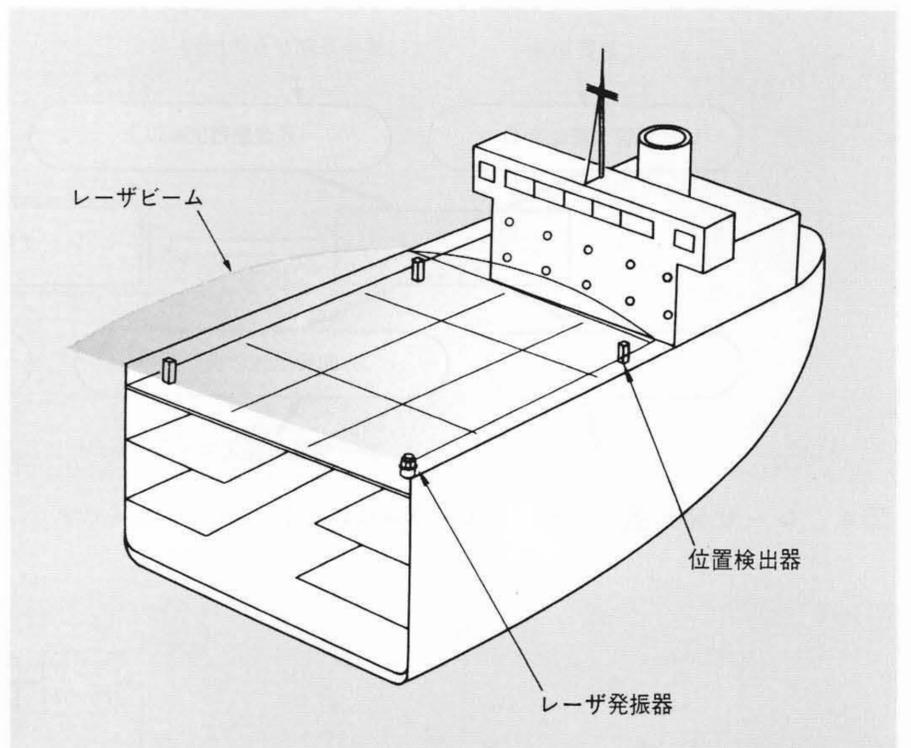


図7 レーザ計測システムの応用例 ハッチや床の平面度を測定している状況を示す。

整台と位置検出器でレベル出し後、ガダ上面の高低を計測するもので、作業時間は従来の約半に短縮できた。

このほか、本システムは大形円筒構造物、例えば水車のケーシングの加工しる測定、船舶のハッチ形状の凹凸測定、大形精密構造物、例えば圧延機ケーシングの据付レベル出し、大形機械、例えば立て旋盤の精度検査測定などに威力を発揮する。このうち、造船所でのハッチ形状の測定例を図7に示す。

7 安全性

本システムで用いているレーザーは最大出力3mWのHe-Neガスレーザーである。現在、国内にはレーザーの安全性に関する基準がないが、米国ではHEW(Department of Health, Education, and Welfare: 保健教育福祉省)内のBRH(Bureau of Radiological Health: 放射線安全局)で施行基準が公布されており、本レーザー発振器は米国のこの規準に適合したものである。

使用に当たっては、レーザー光を長時間連続直視することはなく、また、周囲に対しては発振器本体に設けてあるカバーにより使用場所以外へレーザー光を発振させない構造になっているため、安全上特に問題はない。

8 結 言

精度50mで±0.5mm以内の日立レーザー計測システム“HILLAM”の概要と応用例について述べた。

本システムは、日立製作所内の要望を基に開発されたもので、適用分野が限定されていたが、作業能率や使用の簡便性から見て多岐にわたる応用範囲が予想される。

日立製作所は、多様なニーズに即した応用技術開発をより積極的に行ない、市場の要求を満足するよう努めたいと考えている。

参考文献

- 1) 野村, 外: レーザを利用した大形構造物の心出し作業の省力・自動化実例, 省力と自動化, 9-9 (昭53-9)
- 2) 野村, 外: 大形溶接構造物のレーザー計測, 溶接学会西部支部昭和53年度研究発表会 (昭53-6)
- 3) 平井, 外: 大形構造物組立におけるレーザー光の応用, 日本機械学会講演論文集, No. 790-4 pp. 142~144 (1979-4)