# 姿勢補正機能及びギャップ制御を搭載したレンズ接合装置の開発

## *DEVELOPMENT OF A LENS BONDING SYSTEM EQUIPPED WITH ATTITUDE CORRECTION FUNCTION AND GAP CONTROL*

福本　勇樹・小梶　英之

*Yuki FUKUMOTO and Hideyuki KOKAJI*

市場規模拡大が予見されるXRデバイスに使用されるレンズの接合を行うためのプロセスを備えた自動装置を開発した。曲面形状を持つレンズの搬送時に生じるチルト（姿勢）の不安定性を解消するため，レンズ最外周の平面部をレーザー変位計で測定し，姿勢を推定するアルゴリズムを構築した。検証の結果，測定円直径をφ30mm以上に設定することで，目標精度0.005°以下での姿勢補正が可能であることを確認できた。また，レンズ接合では接合後の厚みを一定にする必要がある一方で，レンズ成型時に厚みばらつきが発生する。これに対して接合後のレンズ中央厚みが一定になるようなギャップ制御を導入した。これらの機能を追加することでレンズ接合に対応した自動接合装置の実用化に成功した。

We have developed an automated system equipped with a process for bonding lenses used in XR devices, a market expected to grow. To resolve the instability in tilt (attitude) that occurs during the transport of curved lenses, we developed an algorithm that estimates the attitude by measuring the flat seating surface of the lens using a laser displacement sensor. We confirmed through verification that setting the measurement circle diameter to 30 mm or larger enables attitude correction with a target accuracy of 0.005° or less. Furthermore, while lens bonding requires a consistent thickness after bonding, thickness variations occur during lens molding. To address this, we introduced gap control to ensure that the central thickness of the bonded lens remains constant. By adding these features, we successfully commercialized an automated bonding system capable of handling lens bonding.

## 1．まえがき

XR（エクステンデッド・リアリティ）デバイスは，元々市場の主力であったゲーム業界から医療・製造・教育・航空宇宙などの各分野への応用により，市場規模のさらなる拡大が予見される[(1)]。なかでも利便性と実用性の高いMR（複合現実）デバイスは市場の牽引役になると見られている。

MRデバイスの前身であるVRデバイスに組み込まれるレンズの主流は一枚のみで構成される「フレネルレンズ」であったが，近年のMRデバイスではより高い解像度を得るために薄いレンズを多層化した構造が採用されるようになった。多層化によりレンズ内で光を往復させ，長い光路を稼ぐことで像の平坦性を高めることができ，周辺部までクッキリとした高い解像度を実現している。

レンズの多層化において，レンズ間には接着強度及び光学性能の観点からレンズと屈折率の近い液体タイプの接着剤を充填する。当社はタッチパネル対応ディスプレイの貼合装置を製造販売しておりフラットなワークの接合技術が蓄積されているが，レンズの接合になったことで二つの新たな課題が発生した。

一つ目はレンズの保持姿勢のばらつきである。本論における「姿勢」はディスプレイやレンズの傾きを示す。接合工程中のレンズの搬送にはレンズを傷つけないことと機構を複雑化させな

いという観点から吸着保持を採用しており，吸着領域の確保のために曲面を受ける形となっている。曲面を受けるため，理想の姿勢から傾いた状態でもレンズをセットできてしまい，**図 1** のように初期ステージで位置ずれしていると，以降のプロセスステージへの搬送後にも位置ずれが残ってしまい姿勢ばらつきの原因となる。そこで VR 用レンズが有するレンズ最外周の平面部を利用してレンズの姿勢を推定する。以降は前述した平面部を「座面」と表記する（**図 2**）。

二つ目は接合時のギャップ制御である。レンズは軽さと形状自由度の高さからプラスチック成型体が採用されるが，ロット違いによって多少の厚みばらつきが発生する。接合レンズは接合後の厚みばらつきが焦点位置や球面収差へ大きな影響を与えるため，光学的な品質を一定に保つためには接合後の厚みを一定にする必要がある。

本論では上記の二課題の対策機能について述べる。

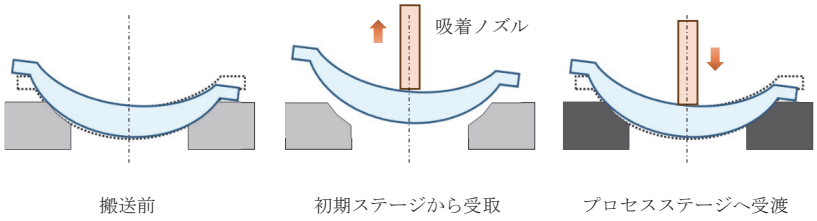



**図 1　レンズ搬送時のずれ**
**Misalignment in Lens Transport**

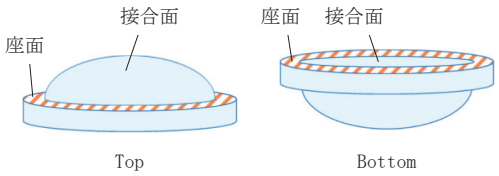



**図 2　レンズ座面**
**Lens Seating Surface**

## 2．装置構成とプロセスフロー

**図 3** にレンズ接合のプロセスフローを示す。(a) の中央厚み測定はレーザー変位計をレンズ中央部の上下に挟み込むように配置して行う。(b) の位置補正はカメラにより Top/Bottom レンズの位置を検出し，両レンズの位置のずれを Bottom ステージに備わっている自動 XY$\theta$ 軸により補正動作を行う。(c) の姿勢補正はレーザー変位計により Top/Bottom レンズの姿勢を

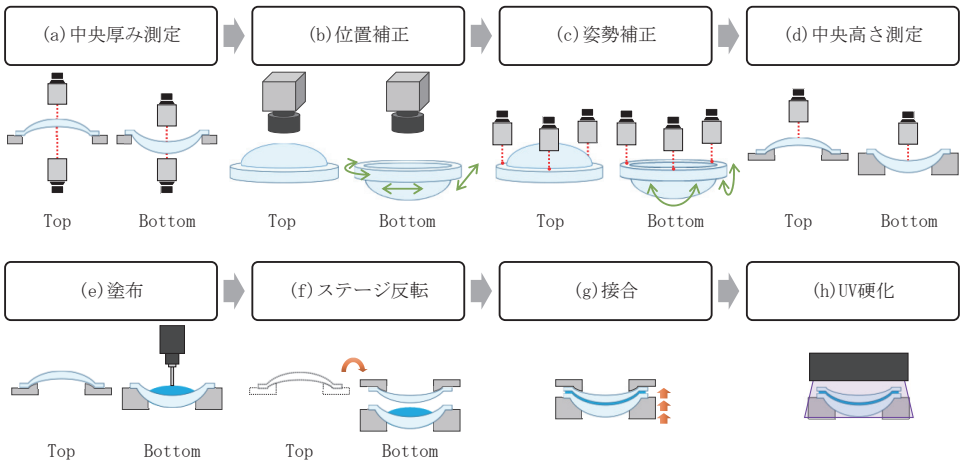



**図 3　プロセスフロー**
**Process Flow**

それぞれ推定し，両レンズの姿勢のずれを Bottom ステージが備える自動ゴニオステージにて補正動作を行う。(d) の中央高さ測定は Top/Bottom それぞれのステージ基準高さからレンズ中央の高さを測定する。ステージ基準高さとはステージの平面部における高さである。(e) の塗布は接着剤の塗布を行う。(f) のステージ反転は Top ステージが接合姿勢へ移動する。(g) の接合では Top ステージが反転した後に Bottom ステージが上昇しレンズ接合を行う。(h) の UV 硬化は紫外線を照射し，接着剤を硬化させることで接合したレンズ同士を固定する。

従来のフラットなワークのプロセスに対して，レンズの接合プロセスには接合後のレンズ中央厚みの制御のための (a) と姿勢制御のための (c) が追加されている。

## 3．姿勢補正機能

### 3.1　レンズの姿勢推定

姿勢の推定は，レーザー変位計 (以下，変位計) で測定した高さ座標 Z，及び変位計を備える XY 軸ロボットの XY 座標より行う。**図 4** に姿勢補正の計算フローを示す。




**図4　姿勢補正の計算フロー**
Calculation Flow for Attitude Correction

**図 5** に示すように，レンズ座面上の任意の 3 点座標 $\{P_i\,(x_i, y_i, z_i)\mid i=1,2,3\}$ を測定する。$x_i$, $yi$ は XY 軸ロボットの座標，$z_i$ は変位計指示値を表している。

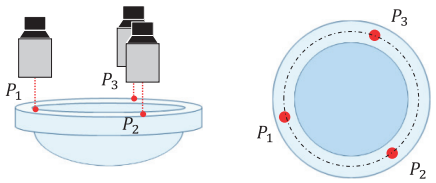



**図5　測定位置**
Measurement Position

レンズ座面上の 3 点 $P_i\,(x_i,y_i,z_i)$ の法線ベクトル $\vec{n} = (n_x, n_y, n_z)$ は下記となる (**図 6**)。

$$n_x = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (y_3 - y_1)(z_2 - z_1)$$
$$n_y = (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (z_3 - z_1)(x_2 - x_1)$$
$$n_z = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)$$

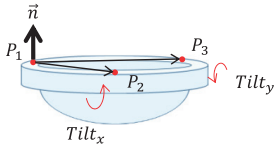



**図6　法線ベクトル**
Normal Vector

算出された法線ベクトルに基づき，以下の式よりレンズの姿勢 $Tilt_x$, $Tilt_y$ を導出する。

$$Tilt_x = \tan^{-1}\left(\frac{n_x}{n_z}\right),\quad Tilt_y = \tan^{-1}\left(\frac{n_y}{n_z}\right)$$

導出された姿勢 $Tilt_x$, $Tilt_y$ に基づいて，自動ゴニオステージにより姿勢を補正する。

### 3.2　姿勢補正動作の検証

姿勢推定の妥当性を検証するため，平板を用いて測定点の配置円直径を変化させた条件で実

際の姿勢補正動作を実施し，その有効性を確認した。姿勢補正動作のプロセスフローを**図 7** に示す。目標値との姿勢の誤差 *ΔTilt* が閾値以下になるまで姿勢の推定とゴニオステージによる補正動作を行う。高性能な光学レンズ貼合においては，1°／60 を基準とする角度単位「分」で示すと 0.5′ 以下，すなわち約 0.008° の高い接合精度が求められる。本検証ではこの仕様を満たすため，閾値を 0.005° 以下（0.3′ 以下）に設定した。測定個所はレンズ中央を中心とした測定円上を 120° ピッチの位置とした。イメージを**図 8** に示す。今回は補正動作回数が 2 回以下を成功，3 回以上を失敗として成功率を確認した。回数制限を設けたのは姿勢推定の度にレンズ座面上の 3 点を測定するプロセスの都合上，補正動作の回数がサイクルタイムに多大な影響を及ぼすためである。測定円は φ10mm と φ30mm の条件で実施し，それぞれ 10 回行ったときの成功率を確認した。

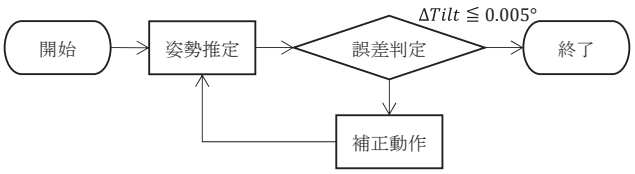



**図 7　補正動作プロセス**
Attitude Correction Process

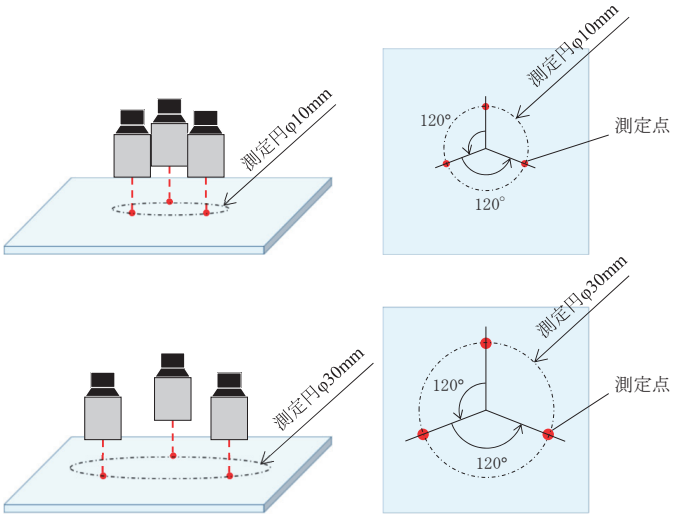



**図 8　測定位置**
Measurement Position

初期姿勢に対して，X 方向と Y 方向にそれぞれ 0.1° 傾いた姿勢を目標姿勢としたときの補正動作プロセスの検証結果を**表 1** に示す。また，補正動作のリトライ回数と誤差のグラフを**図 9** に示す。図 9 では φ30mm は 1 回目時点で閾値内に入っている。一方，φ10mm はリトライ 6 回目で閾値内に入った。

**表 1　姿勢補正成功率**
Attitude Correction Success Rate

| 測定円直径 | 補正回数 | 成功率 |
|---|---|---|
| φ10mm | 3 ～ 6 回 | 0%（0/10） |
| φ30mm | 1 回 | 100%（10/10） |

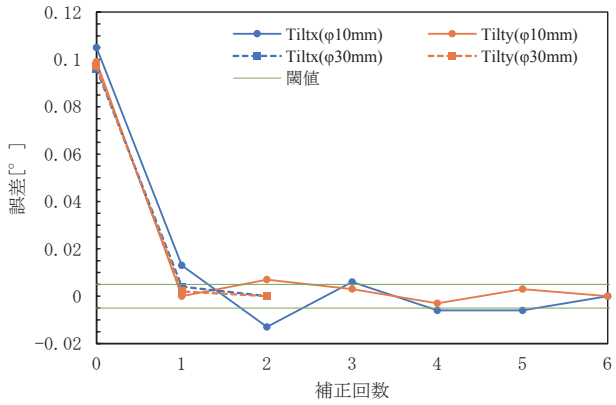



**図９　補正回数と誤差**
Attitude Error vs. Correction Count

上記の結果より，測定円直径がφ30mm において補正動作が１回で補正が完了していることから，対象ワークの姿勢が正しく推定できていることが確認できた。一方で，測定円直径がφ10mm の場合は 10 回ともリトライ回数２回では誤差の閾値以下にならず，失敗の判定となっている。図９より，１回の補正で誤差は小さくなっているが最終的な $Tilt_x$, $Tilt_y$ 双方の微調整にリトライを要している。これは**図 10** に示す通り，同じ傾きの場合，測定円直径がφ30mm に比べてφ10mm の変位 d が小さいことが要因であると考える。測定円直径がφ10mm の場合，目標公差 0.005° に対する変位は 0.8$\mu$m である。これが装置の微振動，ワークの表面粗さと同程度であるために姿勢推定の分解能を確保できず補正に回数を要したと推察される。以上のことから本姿勢補正は，測定円をφ30mm 以上にすることで 0.005° 以下の精度で姿勢補正が可能であることが分かった。

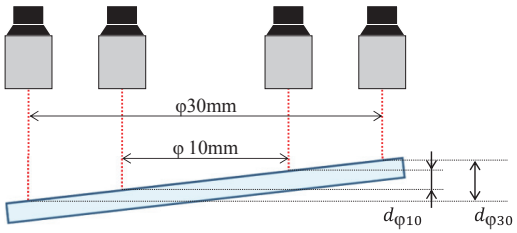



**図10　2点間の変位**
Relative Displacement between Two Points

## ４．ギャップ制御アルゴリズム

従来の接合技術はタッチパネル対応ディスプレイが主であったため，タッチセンサの検出感度を安定させる目的で，ワーク間ギャップを一定に固定する制御[(2)]を行っていた。実際の制御方法としては，**図 11** に示すように対向する Top/Bottom ステージが水平に密着する高さを接合基準とする。そして**図 12** に示すように，Top ワーク高さ $H_1$ と Bottom ワーク高さ $H_2$，および固定値であるワーク間ギャップ $Gap$ をもとに，ステージ間距離 $D$ を以下の式で設定する。

$$D = H_1 + H_2 + Gap$$

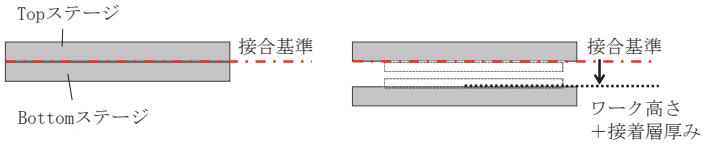



**図11　従来方式の接合基準とワーク高さ**
Bonding Reference and Workpiece Height in Conventional Method

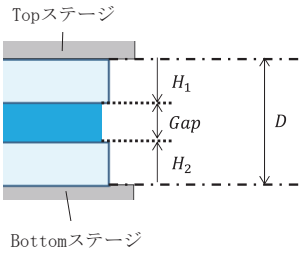



**図12　従来方式の計算**
Calculation in Conventional Method

$H_1$ と $H_2$ はワークの製造バラつきを考慮し，接合ごとに毎回測定する。

一方，レンズの接合において同様にレンズ間ギャップを一定に固定すると，レンズ個々の厚みの製造バラつきがそのまま接合後の総厚みに影響し，光学性能が安定しない。そのため，レンズ接合では光学性能を確保すべく「接合後のレンズ中央厚み $Tc$ を一定値にする」ための ギャップ制御が必要となる。

レンズは曲率を持ち，ステージの頂点を接触させて基準とすることが困難なため，**図 13** に示すように対向する Top/Bottom 各ステージの外周部に設けたフラット面が水平に密着する高さを接合基準とする。**図 14** に示すように，所望の接合後レンズ中央厚み $Tc$ は，Top レンズ中央厚み $Tc_1$, Bottom レンズ中央厚み $Tc_2$, およびレンズ間ギャップ $Gap$ の和（$Tc=Tc_1+Tc_2+Gap$）となる。これら $Tc_1$，$Tc_2$ と，Top ステージのフラット面から Top レンズ中央部の下面までの高さ $H_1$，Bottom ステージのフラット面から Bottom レンズ中央部の上面までの高さ $H_2$ は，あらかじめ第 2 章に記載のプロセス（a）にて取得しておく。

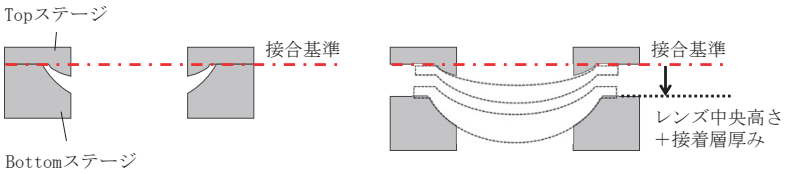



**図13　総厚み制御方式の基準**
Bonding Reference in Total Thickness Control Method

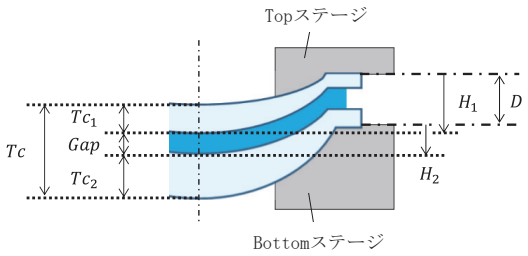



**図14　総厚み制御方式の計算**
Calculation in Total Thickness Control Method

接合後のレンズ中央厚みを狙い値 $Tc$ とするために必要なステージ間距離 $D$ は以下の式で算出され，この $D$ へとステージを制御する。

$$D = H_1 + H_2 + Gap$$
$$= H_1 + H_2 + Tc - Tc_1 - Tc_2$$

高精度な接合を実現するため，$H_1$, $H_2$, $T_{c1}$, $T_{c2}$ は接合ごとに毎回測定を行う。

## 5. む す び

本論では，レンズ接合における姿勢補正機能及びギャップ制御について述べた。姿勢補正機能は測定円 φ30mm 以上にすることで 0.005° 以下の精度で姿勢補正が可能であることを確認した。また提案したギャップ制御アルゴリズムにより，成型ロット間の厚みばらつきにかかわらず，接合後のレンズ中央厚みを一定に保持することが可能となった。これらのプロセスを確立したことにより，MR デバイス用レンズに対応した自動接合装置の実用化に至った。今後は，光学性能を考慮したレンズの接合プロセス開発を目指したい。

最後に，今回の開発にあたりご協力いただいた関係各位に深く感謝する。

## 参考文献

⑴ Shivani Zoting: Augmented Reality And Virtual Reality Market Size, Share, and Trends 2026 to 2035. Precedence Research. 2025-12-16
https://www.precedenceresearch.com/augmented-reality-and-virtual-reality-market,（参照 2026-3-31）

⑵ 小梶英之ほか：小型光学デバイス貼り合わせ量産自動機，オリジンテクニカルジャーナル，No.74（2011），p.Ⅱ3-8

◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇◇

**福本　勇樹**

メカトロニクス事業部開発部
2019 年入社，主に貼合装置のプロセス開発に従事。

**小梶　英之**

メカトロニクス事業部開発部
2001 年入社，主に貼合装置のプロセス開発に従事。