

レーザセンサを用いたインライン板厚測定システムの開発

大村 功, 澤山 一博, 長尾 信一
古賀 卓也*, 池口 満湧**

Development of On-line Thickness Measuring System using Laser Sensor

Isao OHMURA, Kazuhiro SAWAYAMA, Shinichi NAGAO
Takuya KOGA*, Mitstuwaki IKEGUCHI**

抄 録

OA ルーム用床材として使用される GFPC パネルを対象に、インライン板厚測定システムを開発した。センサとしてレーザ式変位センサを用いることにより、非接触かつ高速、高精度の測定を行うとともに、製造工程全体のモニタシステムとしての高い機能を有したシステムとなった。

1. はじめに

近年、製品の品質は製造技術の向上と品質管理の徹底によりしだいに向上してきている。しかし、一方ではユーザーの品質に対する要求はますます厳しくなっており、メーカーもこのような現状への対応が迫られている。建材メーカーにおいても同様の状況にあり、床材等のボード状の製品の場合では、厚さの違いが施工時に隣接ボード間の段差となるため、外観および機能の点から、より一層の精度の向上が求められている。

従来、床材等の板厚測定は、人手による抜き取り検査を行って対応してきた。しかし、このようなユーザーの要求に対して品質、コストとも十分に応えるためには、製造ライン中におけるリアルタイムでの高精度な計測が必要となってきた。ライン中で得られた計測・制御情報を用いて、材料供給工程などの前段階へのフィードバックをリアルタイムに行うことにより、板厚のばらつきを最小限に抑えることが可能となる。このような、高

精度で、かつ、製造ラインの制御に適したインライン計測を行うために、安価で高精度な測定用センサが求められている。

測定方法としては、従来、マイクロメータ等の接触式測定器を用いた方法が大半であった。しかし、インラインで使用する場合には、製品を一旦停止させるなどの処置が必要であるため、タクトタイムが長くなってしまふ。また、接点の摩耗による測定精度の低下や測定点における傷の発生などの問題点が考えられる。

一方、光を利用した非接触式の変位センサが比較的安価で市販されるようになった。このような光学式センサは、製品との接触がないため製品を痛める等の問題がなく、製品が高速に移動した状態での測定が可能であることから、インライン計測に適したセンサと言える。中でも、レーザ式変位センサは非接触、高速、高精度という大きな特徴を有している。

このようなことから、本研究では、レーザ式変位センサを採用し、OA ルーム等の床材に使用される GFPC (Glassfiber reinforced Flyash Pumice Composite) パネル (以下パネルと呼ぶ) を対象としたインライン板厚測定システムの開発を行った。

* 新日織化学(株)

** オーマル工業(株)

また、開発したシステムを用いて、実際に製造ライン中で実地試験を行った結果、本システムがGFPCパネルのインライン計測に大変有効であることが確認された。

以下に本研究の詳細を報告する。

2. 板厚測定システムの開発

2.1 システムの概要

(1) 目標とする仕様

インライン板厚測定システムとして、次の機能が要求される。

- ① 板厚の高精度な計測
- ② 製造工程の制御用情報の抽出・収集

本研究では、測定システムの精度を±0.1mm以内に設定し、将来の製造工程の制御を考慮した試作開発を行った。

(2) システムの構成

本システムの基本構成機器を表1に示す。

表1 測定システムの基本構成機器

	機 器 名	分解能・速度
センサ	レーザ式変位センサ ㈱キーエンス LB-62	分解能15μm 応答速度2msec
信号変換	A/D変換ボード ㈱コンテック社 AD18-14(98)02	変換精度16bit 変換速度1msec
データ処理	パーソナルコンピュータ 日本電気㈱ PC-9801VM	CPU V30 クロック 10MHz

センサ用電源としては、電源からのノイズの混入を防ぐため、リップルの少ない13.8Vの定電圧電源を使用した。また、A/D変換ボードは変換精度16bitのものを使用することにより、1.2μm/bitの高い測定精度を得ている。

測定位置は、パネルの端から約10cmのポイントを搬送方向と平行に連続的に測定するシステムとした。図1に板厚測定システムの構成を示す。

2.2 測定原理

(1) レーザ式変位センサの測定原理

レーザ式変位センサは、発光素子である半導体レーザ、受光素子であるPSD (Position Sensitive Light Detector: 位置検出素子)、およびその周辺回路からなり、対象物によるレーザ光の反射を利用した三角測距を行っている。図2にレーザ式変位センサの測定原理を示す。

PSDは入射したスポット光の位置を検出する素子で、スポット光の重心位置に応じた電流値を出力する。レーザ式変位センサではこの性質を利用し、反射光の受光部への入射角度をPSD上の結像点の位置として測定している。半導体レーザと受光用レンズの中心との間の距離L、および、半導体レーザから出射されるビームの角度θは固定されている(90°)ことから、対象物までの距離dはPSD上に結像した光スポットの位置xから次式によって求められる。

$$d = f \cdot L/x \quad \dots (1)$$

ただし、fは受光用レンズの焦点距離である。

PSDの分解能は非常に高く、またレーザ光のビーム径も小さいため、対象物までの距離dは高精度に求めら

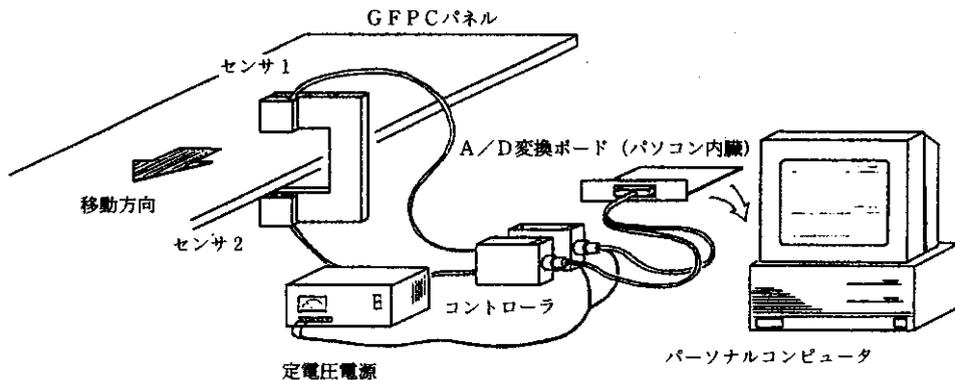


図1 板厚測定システム

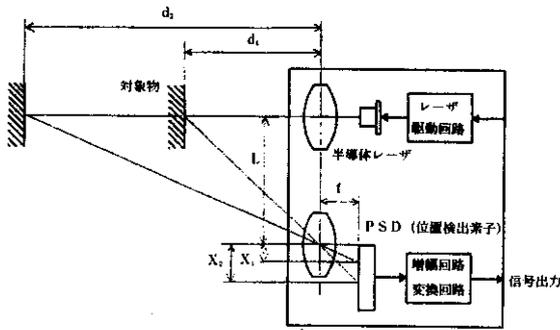


図2 レーザ式変位センサの測定原理

れる。

レーザ式変位センサは、電気的に上式で表される変換を行い、さらに対象物までの距離 d とリニアな関係になるような変換を施し、アナログ電圧として出力している。

(2) 板厚の測定原理

板厚の測定にはレーザ式変位センサを2台使用する。2台のセンサはある決められた間隔で対向させて治具に設置する。板厚 t の測定は、センサ間にパネルを位置させ、それぞれのセンサからパネル表面までの距離 d_1, d_2 を測定することで次式から求められる。

$$t = D - (d_1 + d_2) \quad \dots (2)$$

ただし、 D はセンサ間の距離である。

通常、変位センサの出力は、ある位置を中心に、センサに近ければ一の値、遠ければ十の値となって出力される。したがって、標準板厚 25mm のパネル測定時にセンサ出力がゼロとなるように、センサ間の設置距離、増幅回路のゼロ点調整を行っておくことで、次式のように板厚 t を求めることができる。

$$t [\text{mm}] = 25 - (s_1 + s_2) \quad \dots (3)$$

ただし、 s_1, s_2 は2台のセンサの出力値である。

なお、設置する場合のセンサ間の距離 D はセンサから測定中心までの距離 d_0 を用いて、 $25 + d_0 \times 2 [\text{mm}]$ である。

2.3 誤差要因

製造ライン中では、種々の要因により測定誤差が生じ、センサ等の個々の構成要素の仕様から予想された精度での測定が出来なくなる。また、センサ等の仕様も、最適な測定条件のもとで得られたものであるため、実際の使用では、製品仕様に示された性能が得られない場合もある。

る。

したがって、測定システムでは、このような誤差要因を極力取り除くとともに、またその影響を低減するような対策を施す必要がある。

以下に測定誤差を生ずる要因とその対策を示す。

(1) センサの特性に起因するもの

① 出力の直線性

実際の変位量とセンサ出力の関係は、内部に使用されている素子の特性のばらつきなどによって、必ずしも正確な比例関係にはならない。

本システムで使用したセンサの出力特性を測定した結果を図3に示す。基準は3次元測定機による測定値である。測定の様子を写真1に示す。

この結果から、センサの投光面からの距離が45mmを越えると、著しく直線性が悪化し、さらにセンサ個々の特性の差も大きくなるのがわかる。

このことから、センサの特性に起因する誤差を最小限に抑えるには、測定範囲を限定する必要があることが

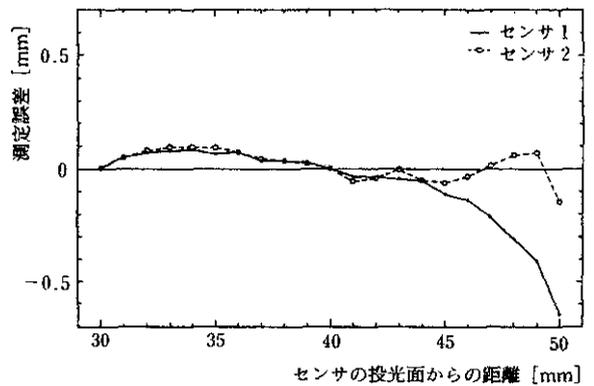


図3 レーザ式変位センサの出力特性

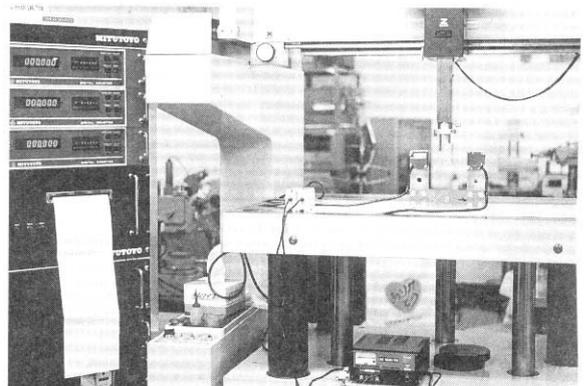


写真1 センサの特性試験

わかる。本システムでは対向式で使用しているため、センサ投光面からの距離を $40 \pm 5\text{mm}$ の範囲に限定して測定を行っている。

② 温度特性

1℃当り、測定レンジ (20mm) の 0.07% 以内で変化する可能性があるため、今後の実用化に際しては、大きな温度変化を避けるようにセンサ周辺の環境に注意する必要がある。

(2) パネルの状態に起因する誤差

① 表面粗さ

センサから出射されるレーザのビーム径は 1mm 未満の小さなものである。したがって、対象物の表面粗さによっては、測定誤差に影響を与える要因となる。

GFPC パネルでは測定の結果、Rmax で数十 μm にも及び (図 4a, 図 4b 参照), これが大きな誤差要因となっている。本測定システムでは、平滑化等のデータ処理を行うことにより、この影響を低減させている。

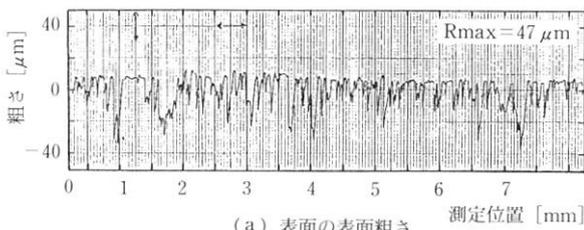
② 傾き

本測定システムでは変位センサを対向して設置することで板厚を測定しているため、マイクロメータなどと同様に、傾きによる測定誤差が生じる。この大きさは、1° の傾きで +0.004mm, 5° の傾きで +0.1mm 程度となり、特に傾きが生じやすいセンサの取付状態に注意する必要がある。

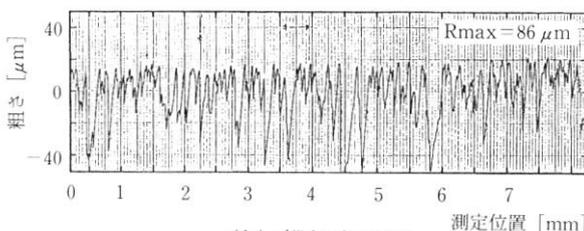
実地試験では、水準器等によりセンサ取付状態の確認を行った。

③ 振動

センサ応答時間 0.1msec における変位量が、センサ



(a) 表面の表面粗さ



(b) 裏面の表面粗さ

図4 GFPCパネルの表面粗さ

出力に直接影響を与えるため、振幅、振動数を極力抑えておく必要がある。

実地試験では、振動はほとんど観測されず、センサ出力への影響もかなり小さいものと思われる。

④ 色

対象物の反射光の強度が非常に弱い場合には、測定不能 (対象物のない状態) となることがあるため、対象物が黒色であるような場合には使用できない。

GFPC パネルの場合は十分測定可能であるが、塵などの付着物による色ムラも考えられ、本測定システムではデータ処理により、この影響を低減している。

(3) その他の要因

① 電気的ノイズの混入

工場内では、電気的ノイズによる測定値への影響が大きいと考えられ、特に交流電源に起因するノイズによるセンサ出力への影響が問題となる。このため、センサ用電源にはフィルターを入れるなどの対策を施した。

② 塵の付着

センサの窓についた塵はレーザ光強度を減衰させ、さらに屈折・拡散などで、精度を低下させる要因となることが考えられる。実際の製造ラインでの使用では圧縮空気等で除去し、常に清浄な状態に保つ必要がある。

2.4 データ処理

(1) 処理フロー

本測定システムでは、特に次の点を考慮して処理を行っている。

- ・測定値に与える誤差要因を極力取り除き、また影響を低減させる。

- ・測定結果を製品状態の管理情報として、迅速にかつ的確に管理者に伝える。

開発したシステムでは、図5に示す処理フローにより、GFPC パネルの検出、測定、データの処理、および測定値の表示を自動的に行っている。

以下に、処理の詳細を示す。

① ノイズ除去処理・平滑化処理

測定システムには前述した種々の誤差要因が存在するため、それらの影響をできるだけ排除、低減することが重要である。このため、本システムでは次のような処理を行っている。

- ・しきい値による異常データの排除 (ノイズ, 色ムラ,

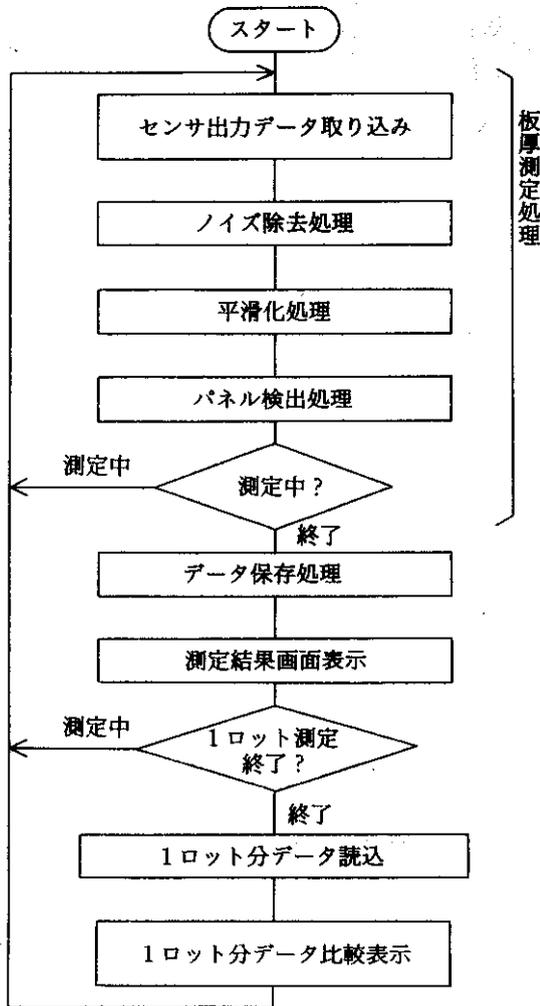


図5 板厚測定システム処理フロー

塵の付着等により生じた異常値の除去)

・最大値・最小値の除去と平滑化 (パネルの表面粗さ、振動等によって生じたばらつきを低減)

② パネルの検出

本システムでは、対向式に設置した2台のセンサの測定データから板厚を算出している。対象としているのは板厚25mmのGFPCパネルであるため、算出された板厚の大きさから対象物の有無を検出できる。検出においては、測定時の異常データ等の対策のため、上記のノイズ除去処理の他、板厚とその検出時間の両方にしきい値を設けた検出処理を行っている。

③ 測定結果画面表示

本測定システムによる測定結果は、板厚の分布情報の他、反りや、測定状態 (センサからの距離が適正に保

たれているかどうか)の情報を含むものとなっている。これらの情報によるチェックを容易にするため、測定結果は、パネル測定毎にディスプレイ上にグラフとして表示される。

なお、ここで表示されたデータは、マニュアル操作により、プリンタへの出力、画面への再表示が可能となっている。

④ 1ロット分データ比較表示

GFPCパネルは13枚を1ロットとして熱間プレス成形を行い、製造される。このようなロット生産を行っている製造ラインで計測データから制御情報を抽出する場合、パネル個々の計測データだけではなく、ロット単位での比較・解析を行う必要がある。

本システムでは、次に示す点の解析・チェックを容易にするため、ビジュアルな形式で板厚の比較表示を行っている。

- ・ロット内各パネルの板厚分布傾向
- ・ロット間の板厚の増減傾向

将来的には、これらの解析結果を前工程へフィードバックすることで、高精度な板厚の制御が可能となる。

(2) その他の機能

本測定システムでは、前述した自動測定機能の他に、付加機能として次に示す機能を有している。

- ① 保存されているデータの呼び出しと表示機能
- ② センサ調整時のための手動実行機能
- ③ データ処理関連のパラメータの変更機能 (平滑化処理のデータ数の変更など)
- ④ 表示機能関連のパラメータの変更機能 (グラフスケールの変更など)

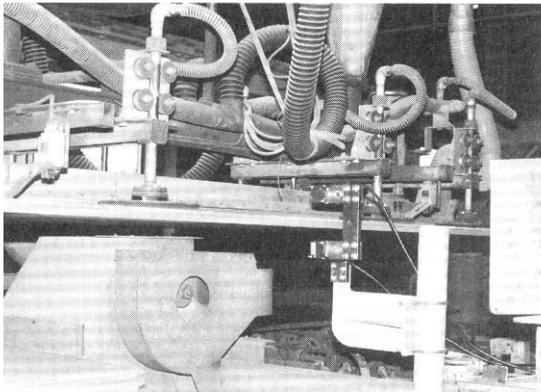
また、パソコン画面には次に示す情報が表示される。

- ① 測定板厚のグラフィック表示と数値による表示
- ② 1ロット分に当たる13枚の板厚の比較グラフィック表示
- ③ 機能選択メニューとシステムメッセージの表示

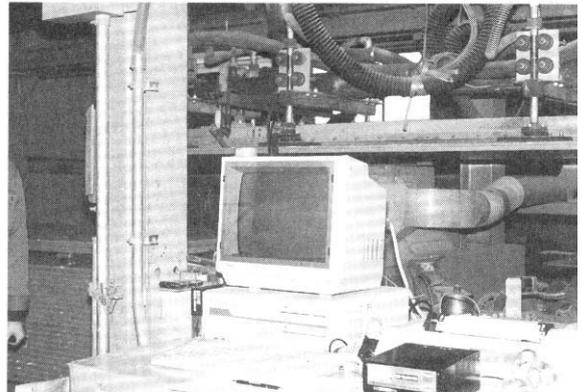
3. 実地試験と結果

3.1 実地試験

実地試験では、製造ライン中の真空吸着機によりパネルの搬送を行っている部分を利用し、測定システムを設置した。なお、センサの有効測定範囲が限られているので、測定パネルがセンサ間の中央を通過するように予め



(a) 測定中のパネルとセンサ



(b) データ処理部

写真 2 実地試験

調整を行った。実地試験の様子を写真 2 に示す。

測定における評価項目とその結果を次に示す。

(1) パネルの測定

写真 3 に実際のパネルを測定した際の表示画面を示す。画面左上半分が通過したパネルのイメージ表示で、板厚方向を強調して表示したものである。その下に表示されているグラフは板厚を表わしている。

予め搬送装置を調整したことによりパネルはセンサ間のほぼ中央を通過している。測定有効範囲は±5mm で問題のないことが分かった。

(2) ノイズ、振動等による影響

これらの影響によるデータのばらつきはほとんど現れなかった。これは、パネルが真空吸着により搬送されるためとセンサの取り付け場所を周囲の振動源から離れたために測定系には振動がほとんど伝搬されなかったこと、ソフトウェアにより平滑化等のデータ処理を施したことによるものと考えられる。

(3) 測定データ数

本システムでは、1 データが移動距離約 8mm 間の平均値で、36mm ピッチでデータサンプリングを行っている。1 パネル当りのデータ数は約 70 個である。また、1 枚当りの測定時間は約 6.5 秒である。

(4) 測定雰囲気の影響

実地試験は短時間であるため、環境が原因と考えられる測定データへの影響は現れなかった。しかし、2～3 時間で細かい粒子の塵が付着するため、センサの窓面の清掃が必要であった。実用化の際には温度も含め、環境の整備が必要と思われる。

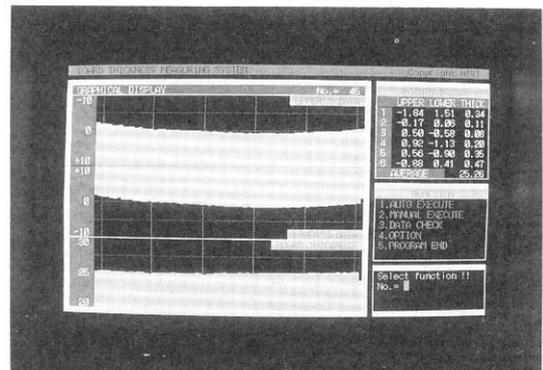


写真 3 測定板厚表示画面

3.2 測定値の評価

実地試験で測定した GFPC パネルのすべてについて、マイクロメータを用いた人手による測定値と、本測定システムによる測定値との比較評価を次のように行った。

なお、人手による測定値はパネルの長さ方向 10cm 毎のポイントを測定したデータである。

(1) 比較方法

両者の測定データは、測定値数の違い、測定ポイントのずれ、測定値のばらつきなどのため、必ずしも正確に比較することができない。そこで、測定システムにより測定したデータに対して、次に示す処理を施した。

- ① 測定値の内、へこみ等により本来の板厚でない測定値を取り除く。
- ② 測定データに対し平滑化処理を施して、滑らかな測定線図とする。

これらの処理により得られた測定データと人手により

測定された測定値との対応点の差分を計算し、その平均値とばらつき（標準偏差）を求めた。

(2) 比較結果

図6にGFPCパネルの1枚についての測定結果を示す。両測定値の傾向については非常に類似度が高いが、一部対応点の位置のずれによって差分が大きくなっている点もある。

比較したGFPCパネル12枚についてその差分の平均

値とばらつき（標準偏差）を計算した。

平均：0.04 [mm] 標準偏差：0.064 [mm]

測定システムによる測定値の方が若干大きめで、ばらつきは図7aで示されるようにほぼ±0.1mmの範囲内に入っていることがわかる。差分の平均値分を補正すると図7bに示されるヒストグラムになり、平均値を中心として差分が集中していることから、二つの測定値の類似度の高さがわかる。

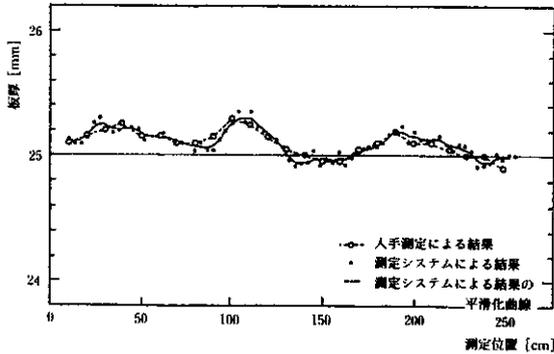


図6 板厚測定結果

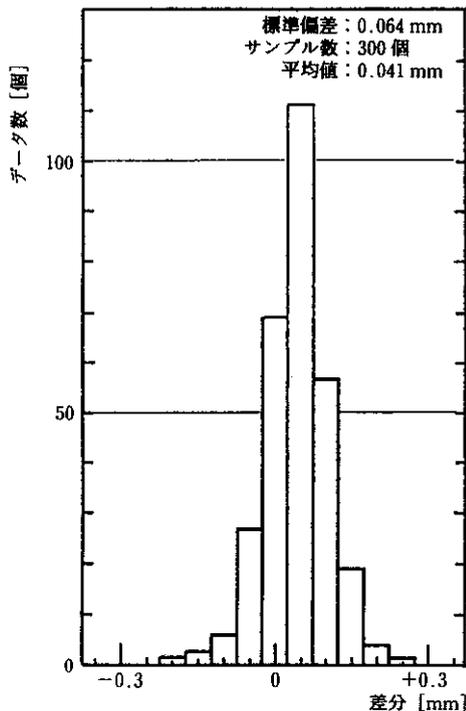
3.3 考察

(1) 測定精度

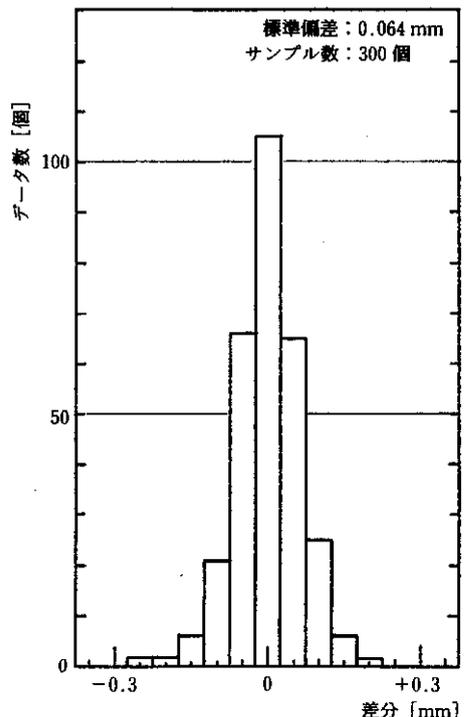
測定システムによる測定値とマイクロメータを使用した人手による測定値の比較を行った結果、差分の平均値として0.04mmという値が得られた。GFPCパネルの表面粗さなど種々の誤差要因を考慮すると、両者の測定値が非常に良く対応していると言える。

しかし、今回のように測定精度の評価基準を人手によるマイクロメータの測定値とする場合は、次のような誤差要因を十分考慮する必要がある。

- ① マイクロメータの読み取り精度は0.05mmであ



(a) 測定システムと人手による測定値の差のばらつき



(b) 差の平均値0.041mmを差引いた場合

図7 人手による測定値との差のばらつき

る。

- ② マイクロメータの傾き、測定圧等の人手測定に起因する読取り誤差が含まれている。
- ③ 対応させるべき測定ポイントの一致性が不十分であるため、正確な測定値の比較が難しい。

これらのことから、測定値に生じた差分は必ずしも測定システムの測定値の誤差とは言えず、絶対精度を評価するにはまだ検討の余地が残っている。したがって、今後、このような点を改善することにより、測定精度がさらに向上することが十分期待できる。

(2) 板厚の傾向

ロット中における測定板厚の比較表示画面を写真4に示す。パネル間で測定板厚の比較を行うことで、次のような傾向を示すことが判明した。

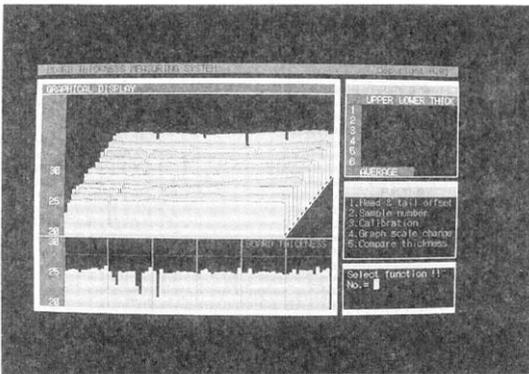


写真4 ロット内板厚比較表示画面

① ロット内の位置による板厚の傾向

他のロットと比較すると、同一順番に位置するパネルは、板厚だけでなくその分布についても同様の傾向を示していることが分かる。

② ロット間の板厚変化の傾向

連続したロット間で比較すると、材料の供給状態によるロット全体の板厚の増減の傾向が分かる。

このことから、本測定システムを使用して製造ライン中での板厚測定、傾向解析を行い、さらに材料供給装置に対してフィードバック制御を行うことで、製品のばらつきを抑えることが可能になるとと思われる。

(3) 実用化における考慮点

実用化に際しては、精度の維持という点から、以下の点について考慮する必要がある。

- ・センサ等の測定システムの環境を一定に保つ

- ・センサの窓に付着する塵などの自動除去
 - ・パネルの移動速度のインプロセス測定機能の付加
- また、精度のチェックを行う上でも、測定システムの簡単かつ簡便な調整方法を考える必要がある。

4. おわりに

本研究ではレーザ式変位センサを用いてGFPCパネルを対象とした板厚測定システムを開発した。製造ライン中で行った実地試験では、測定精度、処理速度、機能等の点で本測定システムの有効性が確かめられた。また、表示機能の工夫により、ロット内、ロット間の製造状態のチェックを行うことが可能となった。

このことから、本測定システムを生産工場へ導入することにより、現在、熟練者によって行われている板厚測定作業が不要となり、省力化および大幅な製造工程の短縮化を図ることが可能になるものと思われる。

なお、今後の展開としては、測定情報を前工程へフィードバックし、板厚制御を行うことによって、製造ラインのトータルな自動化を図ることが考えられる。本測定システムの開発により、このような自動化のための大きな基盤を築くことができたものと思われる。

次年度は、センサ信号処理アルゴリズムの改善などにより測定精度を向上させるとともに、センサの簡便な調整方法などについて検討を進めていく予定である。