

レーザ応用 3 次元形状計測装置

Laser Applied Three-Dimensional Profile Measuring Apparatus

FAの進展に伴って、物体の寸法形状を非接触かつ高能率で計測したいという要求が高まっている。このため日立製作所では、素材や部品の非接触・自動計測が可能なレーザ応用 3 次元形状計測装置を開発した。

この装置は、光点検出方式のレーザセンサを 5 自由度の機構により駆動して計測するもので、専用の計測機として構成するほかに、NC工作機械と組み合わせれば加工と検査の一体化が可能である。また能率的な自動計測機能として、自動ならい計測と自律的な計測の 2 種類の機能を備えている。

本装置は、非接触計測の利点が生きる自由曲面、柔らかい物体の計測をはじめ、一般部品の寸法形状の計測に適用できる。

高木 勇輔* *Yūsuke Takagi*
 小島 吉夫* *Yoshio Kojima*
 高草木常彦** *Tsunehiko Takakusagi*
 栗根 洋*** *Hiroshi Awane*
 吉岡 達夫**** *Tatsuo Yoshioka*

1 緒 言

製品の多様化とライフサイクルの短縮に伴い、検査工程の自動化及び生産工程との有機的な結合は、FA (Factory Automation) の推進にとって重要課題となっている¹⁾。なかでも、物体の寸法形状を高能率で自動計測できるシステムの開発が望まれてきた。

通常、素材や部品の測定には触針式の 3 次元測定機が用いられ、検査の省力化、高精度化に威力を発揮している。しかしこの触針式は、面の傾斜に対しプローブ径の補正が必要なため自由曲面の計測には適用しにくいこと、また測定物に変形を与えたりきずを付けるおそれがあること、などの問題をもっている。

これらの問題点を解決する方法として、非接触計測法の採用が有力である^{2),3)}。ここでは、開発したレーザ応用 3 次元形状計測装置について、システム構成、自動計測機能などの技術的特徴を中心に紹介する。

2 計測装置の概要

2.1 レーザセンサ

本装置では、非接触センサとしてコンピュータによるデータ処理の容易な光点検出方式のレーザセンサを採用した。図 1 にこの距離の測定原理を示すが、一般的な三角測量の原理を用いたものである。測定面との距離が変化すると、ディテクタ D 上の光点位置が変化するので、これを PSD (半導体位置検出器) により検出して距離を測定する。

本センサの特長は、非接触距離 SO と測定範囲 MR が比較的大きい ($SO \geq 95\text{mm}$, $MR = 32\text{mm}$) こと、また非接触センサとしては測定精度が $\pm 0.016\text{mm}$ と高いことである。 SO 及び MR が大きいことは、後述の自動計測法の採用にとり好都合である。

2.2 全体構成

本装置の全体構成を図 2 に示す。上述のレーザセンサとその信号処理器、センサの位置と姿勢を変化させる 3 次元駆動機構と角度変化機構及びそのコントローラ、更にホストコンピュータから成る。ホストコンピュータは、機構の駆動制御、距離データの取込み、データの入出力などを行なう。3 次元駆動機構はセンサの 3 次元的位置を、また角度変化機構はセ

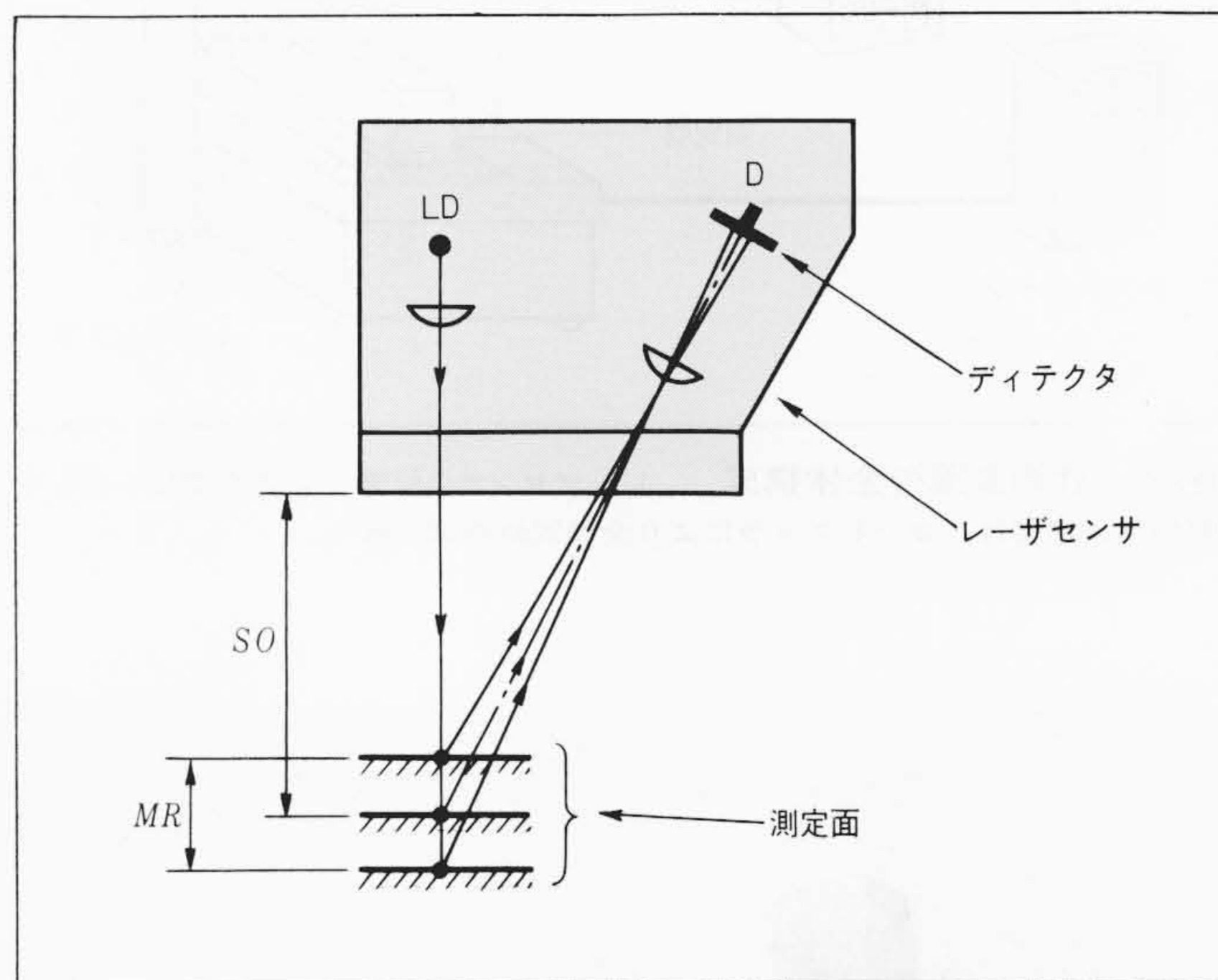


図 1 レーザセンサの距離の測定原理 測定面との距離を、ディテクタ D 上の光点位置の変化として検出し、距離を測定する。

ンサのレーザ光照射角度を変化させる。角度変化機構を用いることにより、計測方向の自由度が増すので、高精度かつ高能率な計測が可能となる。これらの機構は、ホストコンピュータと RS232C インタフェースで結ばれたコントローラによって、全軸同時制御される。

2.3 構成上の特長

本計測装置の構成上の特長は次に述べるとおりである。

- (1) 角度変化機構の自由度は 1 軸ないし 2 軸を選択できる。測定物形状が複雑な場合は、2 軸構成とすればよい。
- (2) システム構成に柔軟性があり、専用の非接触計測機として構成するほかに、NC (数値制御) 工作機械と組み合わせで構成できる。

前者の構成例を図 3 に、その主な仕様を表 1 に示す。剛性を高めるため門形構造を採用するとともに、複雑な形状の計測を可能とするため角度変化機構は SW (振り) と BD (曲げ) の 2 軸で構成している。一方後者の例を図 4 に示すが、センサ

* 日立製作所機械研究所 ** 日立製作所日立工場 *** 日立製作所機電事業本部 **** 日立製作所システム事業部

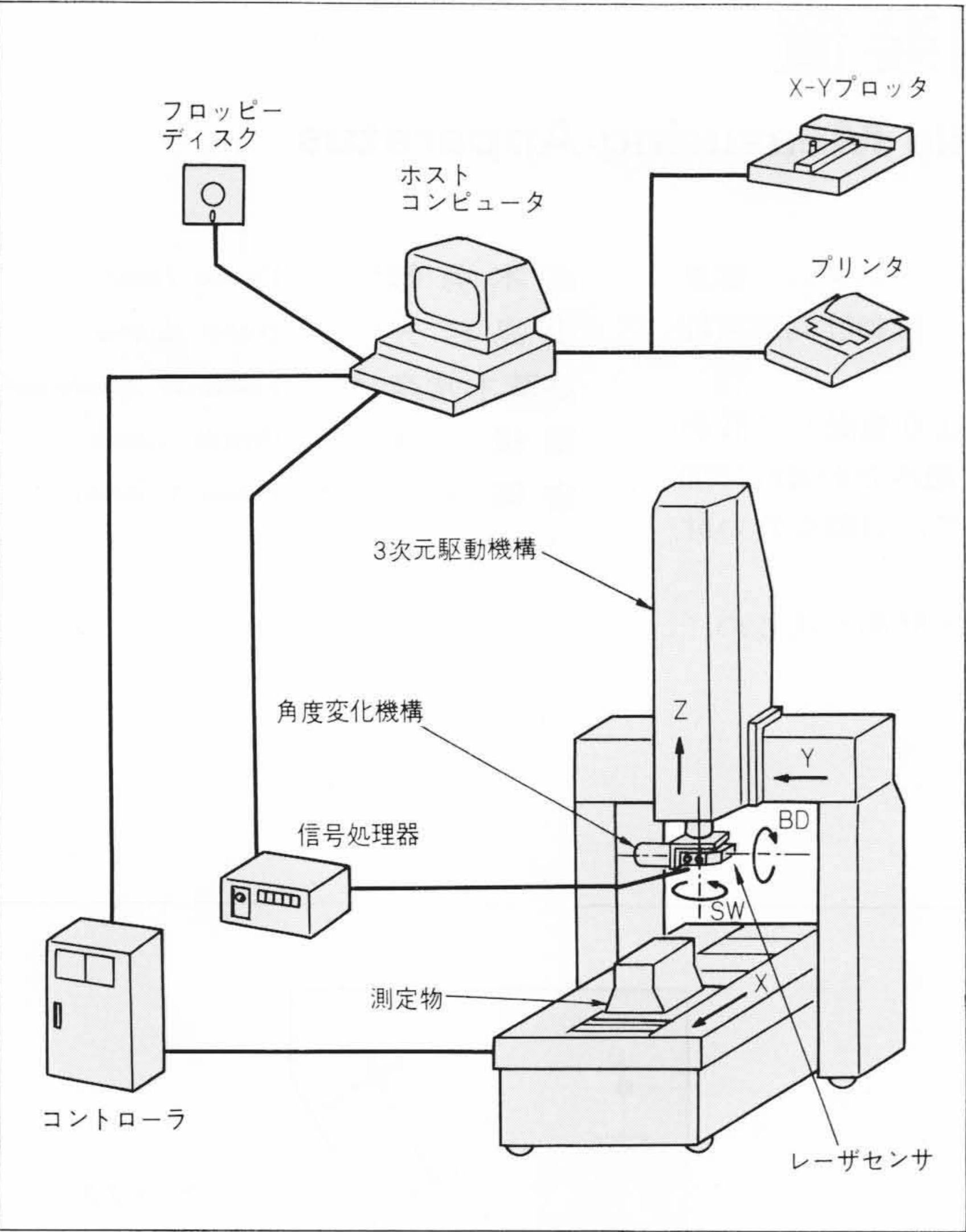


図2 計測装置の全体構成 レーザセンサの位置と姿勢を変化させる5自由度の機構は、コントローラにより全軸同時制御される。

は振り軸だけの角度変化機構を介して、MC (マシニングセンタ)の主軸部に工具の代わりに装着される。この場合は、部品形状を段取換えなしに加工台上で計測できるという効果が期待できる。

表1 主な仕様 専用の計測機として構成した場合の標準的な仕様を示す。

項目		仕様
機構	構造	門形
	動作自由度	5 { 直線3 (3次元駆動機構) 回転2 (角度変化機構)
	動作範囲	X: 700, Y: 450, Z: 400mm, SW: ± 270 , BD: $-240 \sim 60$ 度
レーザーセンサ	光源	赤外線レーザーダイオード
	非接触距離 SO	95mm, 180mm
	測定範囲 MR	32mm
	精度	± 0.016 mm
コントローラ	制御軸数	同時5軸
	設定単位	直線0.001mm, 回転0.001度
	インターフェース	RS232C
システム	ホストコンピュータ	MC-68/500 (プロセッサ: 68000, 9.5MHz)
	制御方式	CNC (コンピュータによるNC制御)
	計測方法	非接触自動計測 (手動計測も可)
	総合精度	± 0.05 mm

注: 略語説明 NC (数値制御)



図3 専用の非接触計測機として構成した例 剛性を高めるため、門形構造を採用している。

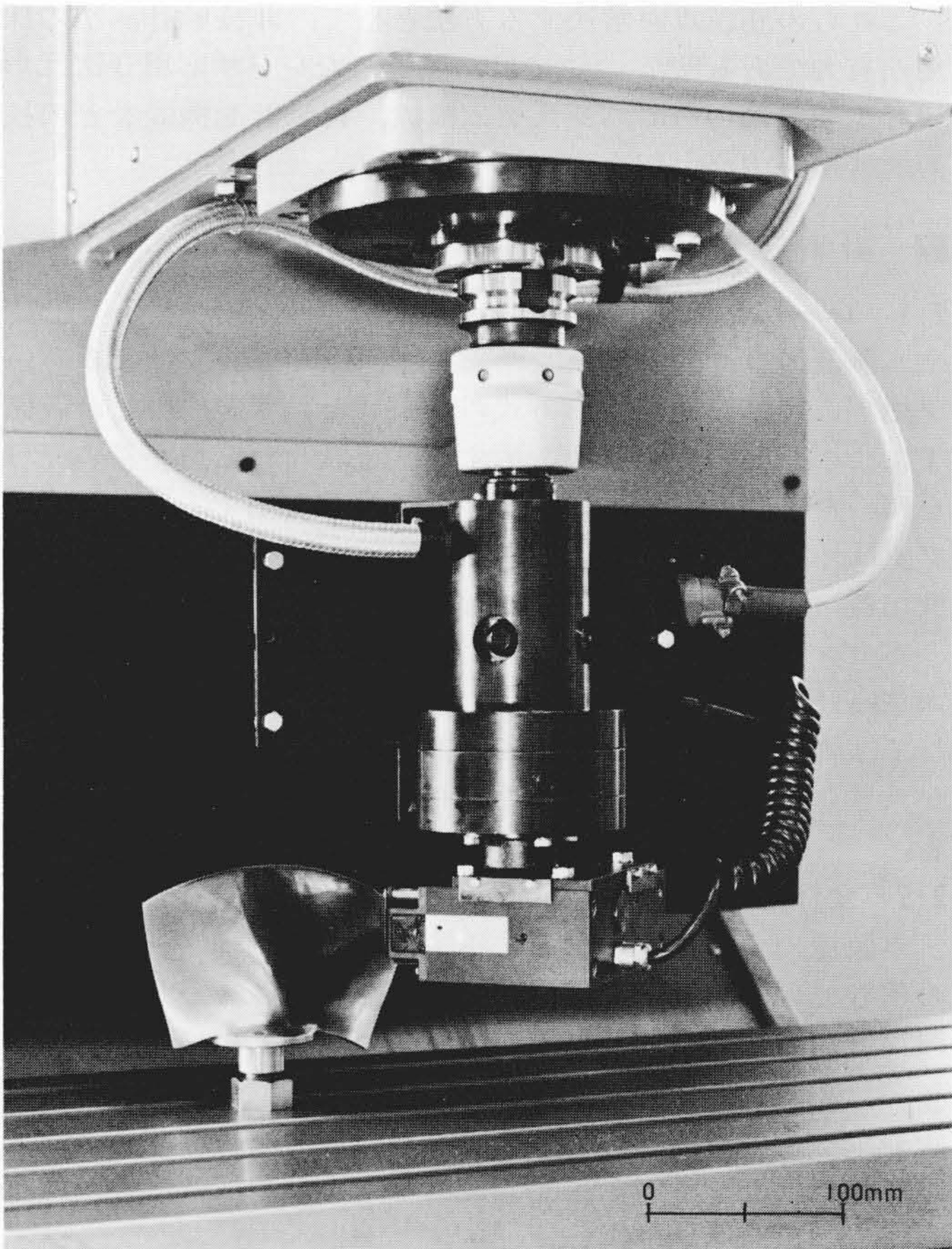


図4 NC工作機械と組み合わせて構成した例 センサは、角度変化機構を介してマシニングセンタの主軸部に装着される。

3 自動計測機能

非接触形状計測では、自動計測機能を充実することが極めて重要である。それは、手動操作によってセンサの照射光軸を計測点に向けることは、駆動軸数が多いこともありかなりの困難を伴うからである。このため、本装置ではCNC(コンピュータによるNC制御)化を図るとともに、以下に述べる能率的な自動計測機をもたせている。

3.1 自動計測の方法

非接触自動計測では、物体に対するセンサのならわせ方が最大の技術的ポイントとなる。既述のようにセンサの測定距離には制限範囲があるが、計測面に対するレーザ光の照射角度にも精度保証のための制限範囲が存在する。したがって、計測点の座標を求める際のセンサの位置と姿勢は、距離及び角度がこれら制限範囲内となるように設定する必要がある。また断面形状を自動計測するには、センサを測定物に沿って自動的にならわせ、各計測点の座標を連続的に求めればよい。

本装置では、このセンサの位置と姿勢の設定法として、(1) 設計データによる自動ならい方式、(2) 未知の形状に対する自律的なならい方式、の2方式を用いた自動計測法を開発した。

3.2 設計データによる自動ならい計測

一般の部品は、設計図面ないし図面を数値データ化した設計データをもっている。本計測法は、この設計データを自動計測時のセンサの設定駆動に利用したものである。

図5は、角度変化機構が振り軸だけで構成された場合を例に、自動ならい計測の方法を示したものである。設計データは計測の順に並べられるとともに、座標系のリンケージ操作により設計座標系から計測機座標系の値に変換される。この設計点の座標(X_w, Y_w, Z_w)を用いて、各点に対するセンサの位置(X_s, Y_s, Z_s)を同図中の式により設定する。ここに、長さ L と角度 θ の値は、測定距離と照射角度がそれぞれの制限範囲を満たすように設定すればよい。

本計測法の特長は次のとおりである。

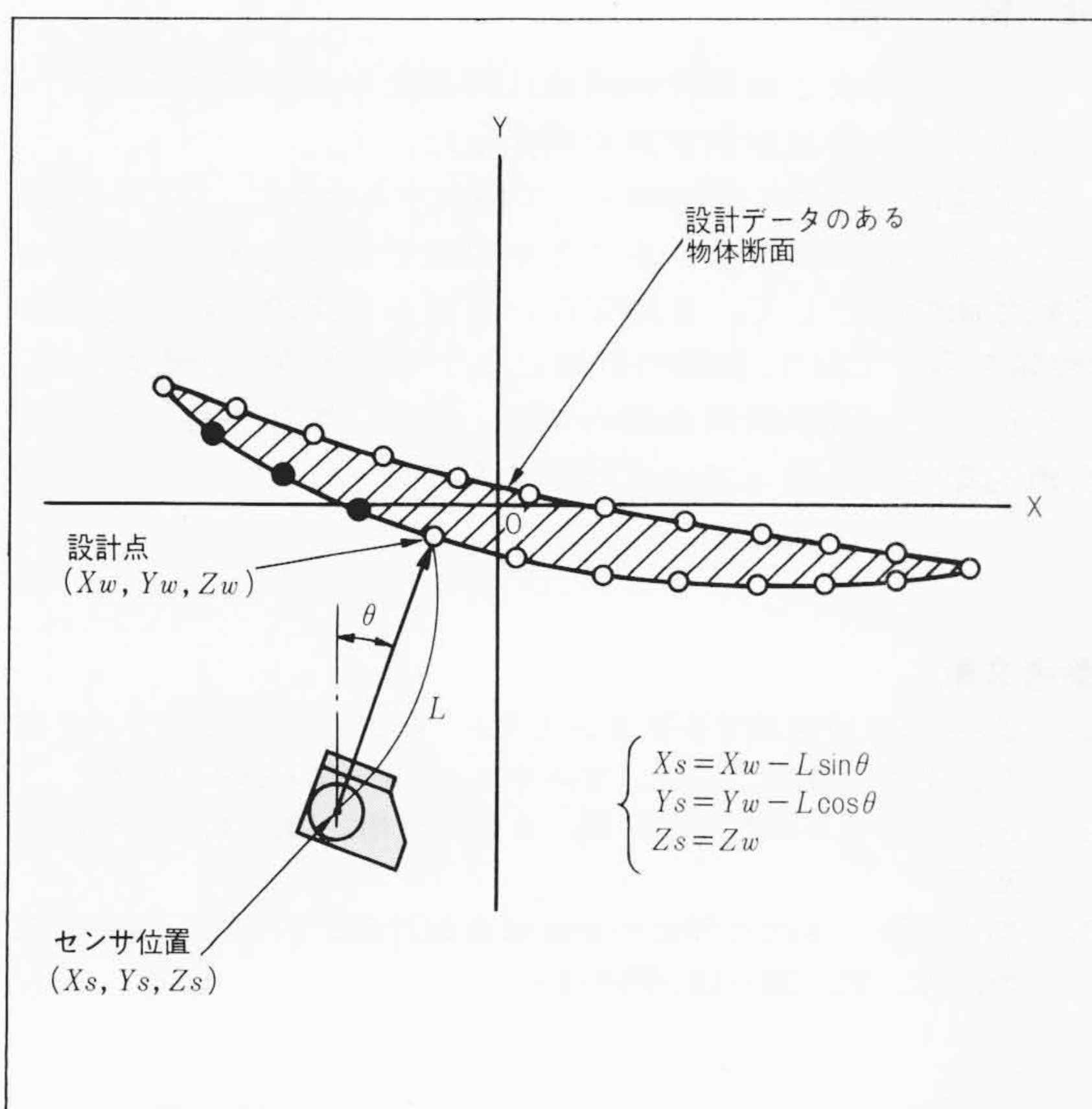


図5 自動ならい計測の方法 センサ位置は、設計点の座標を用いて、図中の式により設定する。

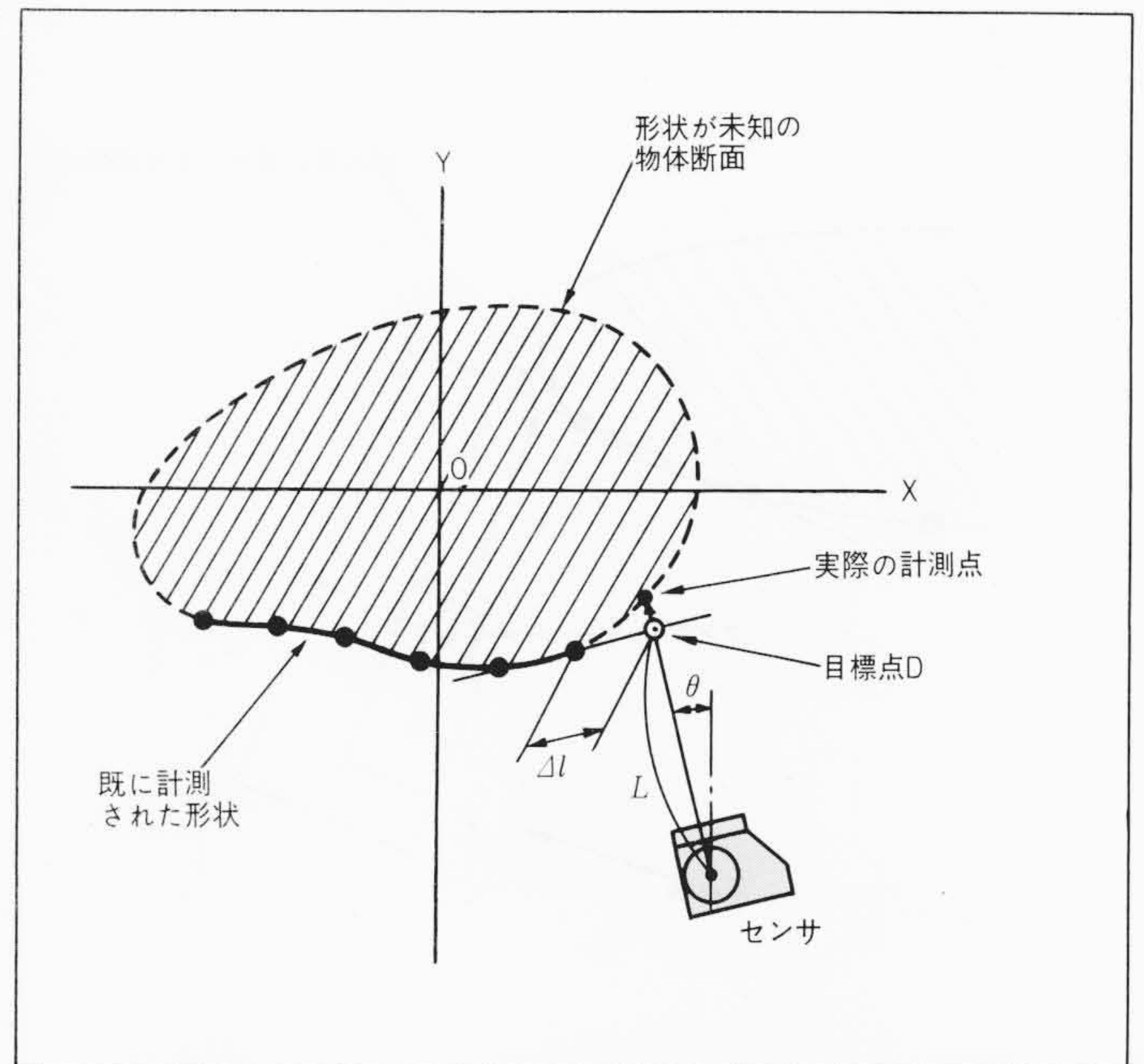


図6 自律的なならい計測の方法 既測定2点を結ぶ近似接線上に目標点を設け、この点を計測するようにセンサを設定して実際の計測点を求める。

- (1) センサは自動的に設定駆動され、手動操作は不要である。
- (2) 設計データとの比較により、加工誤差が簡単に求まる。
- (3) センサの駆動軌跡をディスプレイ上に表示し、センサと測定物との干渉をチェックできる。

3.3 未知の形状に対する自律的なならい計測

形状計測の目的の一つには、自動車のクレイモデルの計測のように、計測結果を用いて設計図を作成することが挙げられる。本方法は、このような未知の形状の自動計測を能率良く行なうためのものである。その要点は、既測定の点から得られた形状情報を利用して、次の計測点に対するセンサの設定駆動を自動的に行なわせ、逐次計測点を求めていくことにある。

図6に、接線情報を用いた場合の基本的な計測方法を示す。既測定の2点を結ぶ近似接線上に、刻み幅 Δl だけ離れた目標点Dを設定し、この点を計測するようにセンサを設定駆動して新しい計測点の座標を求める。断面が直線状でない場合は、目標点と実際の計測点とは異なるが、測定距離と照射角度が共に制限範囲内の値であれば計測点の座標が求まり、この操作を繰り返せば断面形状が得られる。

一方、曲率半径の比較的小さなコーナ部では、この基本モードでは計測できないことがある。この場合には、図7に示すコーナ部計測モードを適用する。本モードの要点は、最後に求まった計測点の近傍に物体が存在することに注目し、刻み幅 Δl を減少させて新しい目標点を設定することにある。

更に、接線のこう配が不連続なコーナ部に対しても、専用の計測モードを用意しているため、通常の測定物のほぼすべてに対応できる。本計測法では、計測モードの切り換え、刻み幅の減少及び元の値への復帰は、すべて自動的に行なわれる。

3.4 その他の機能

上述した計測機能に加え、以下の補助機能をもっている。

- (1) 測定物の段取りをラフに行なえる座標系のリンケージ機能
- (2) 図面から設計座標点データを自動作成する機能
- (3) 計測結果のリアルタイム表示及び3次元図示機能

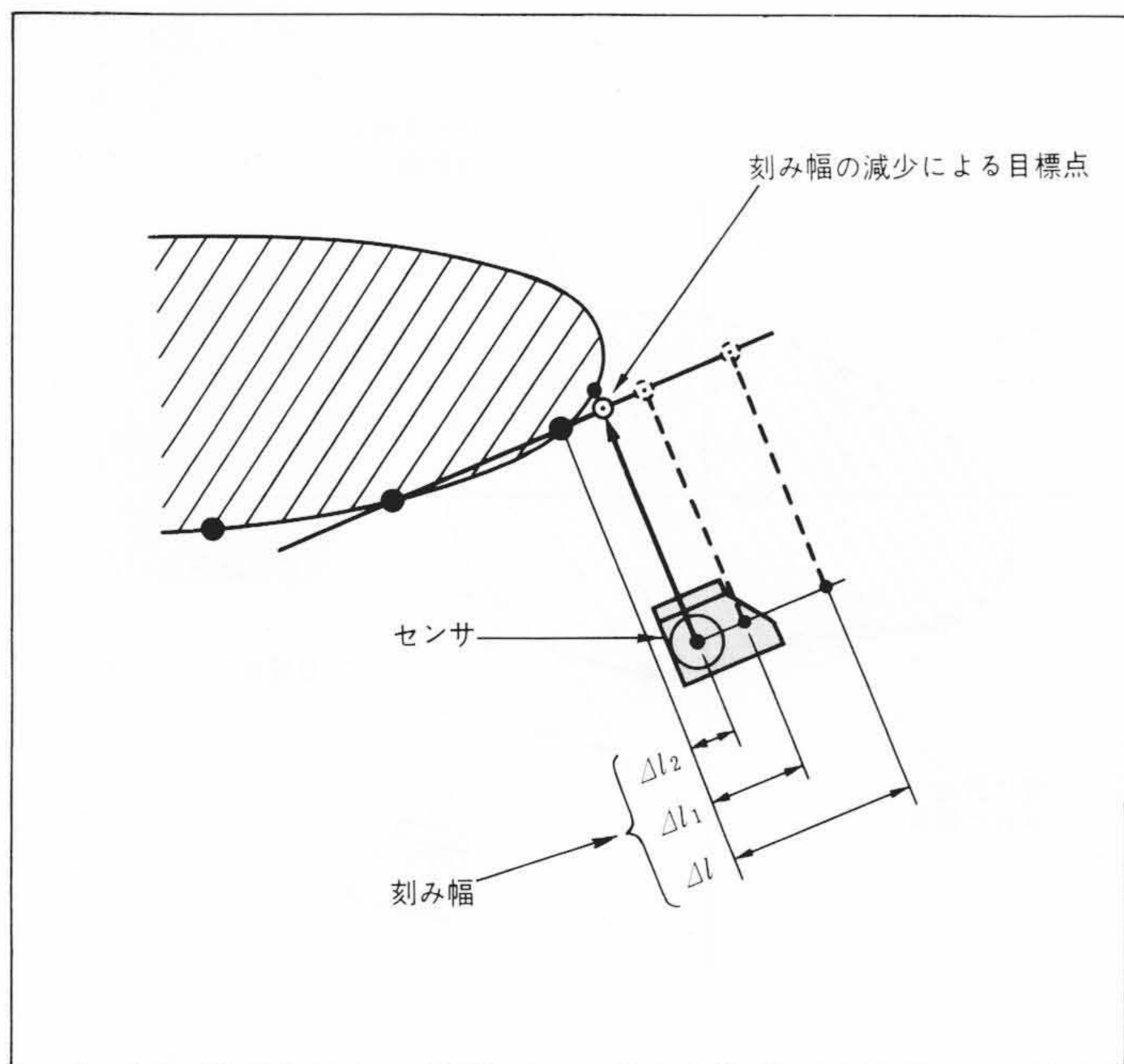


図7 コーナ部の計測モード 刻み幅を減少させて、新しい目標点を設ける。

4 応用例

図8は自由曲面から成る測定物の例として、水車ランナのモデルブレードを、フロッピーディスクから入力した設計データを用いて自動ならい計測した結果を示す。円筒断面に対する全周の形状が、測定面の傾きに対する補正を行なうことなく直接求まっている。このブレードの計測例では、 ± 0.012 (2σ) mmの繰返し精度が得られた。

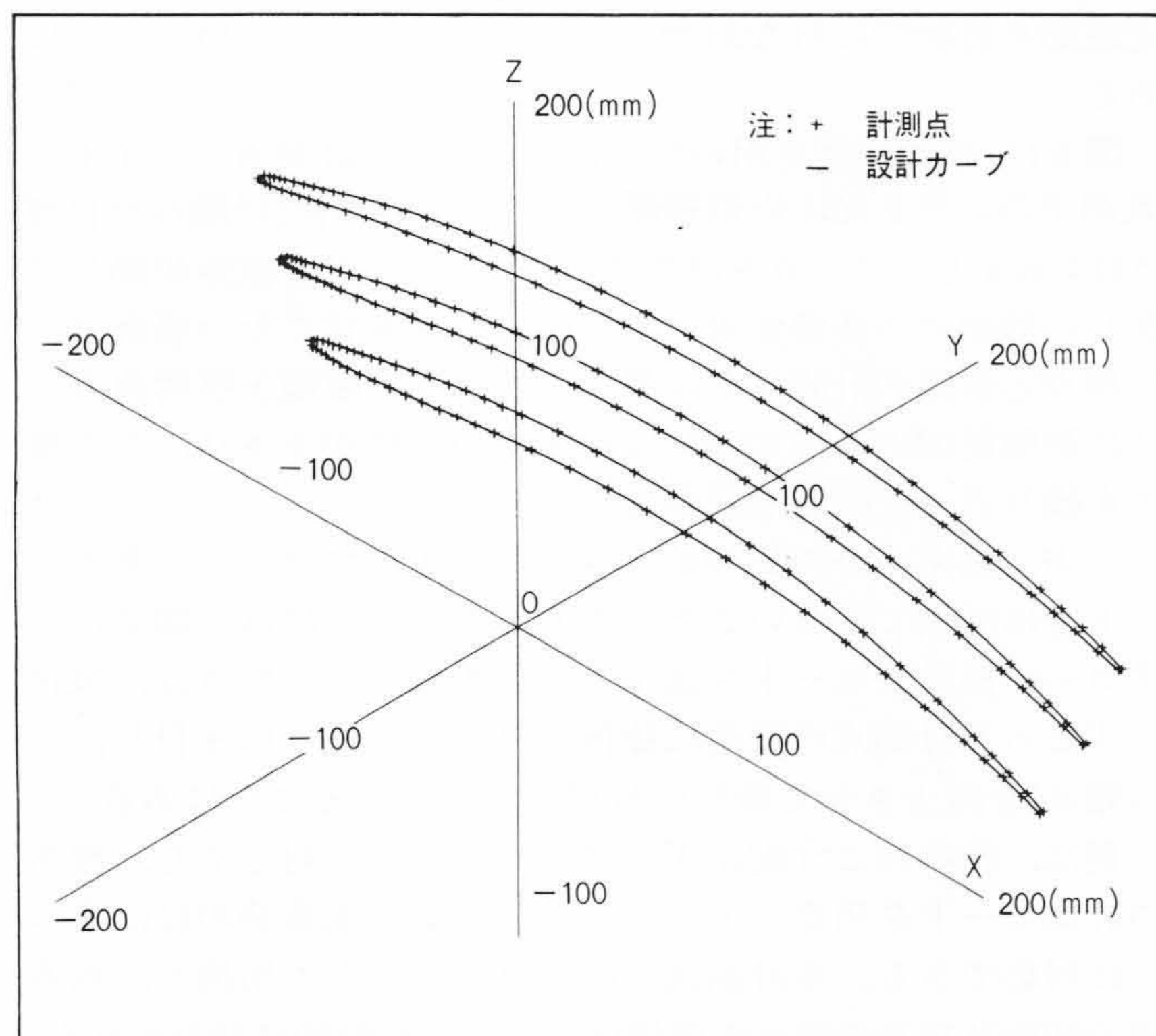


図8 自由曲面から成る物体の計測例 水車ランナのモデルブレードの形状を、設計データを用いて自動ならい計測した結果である。

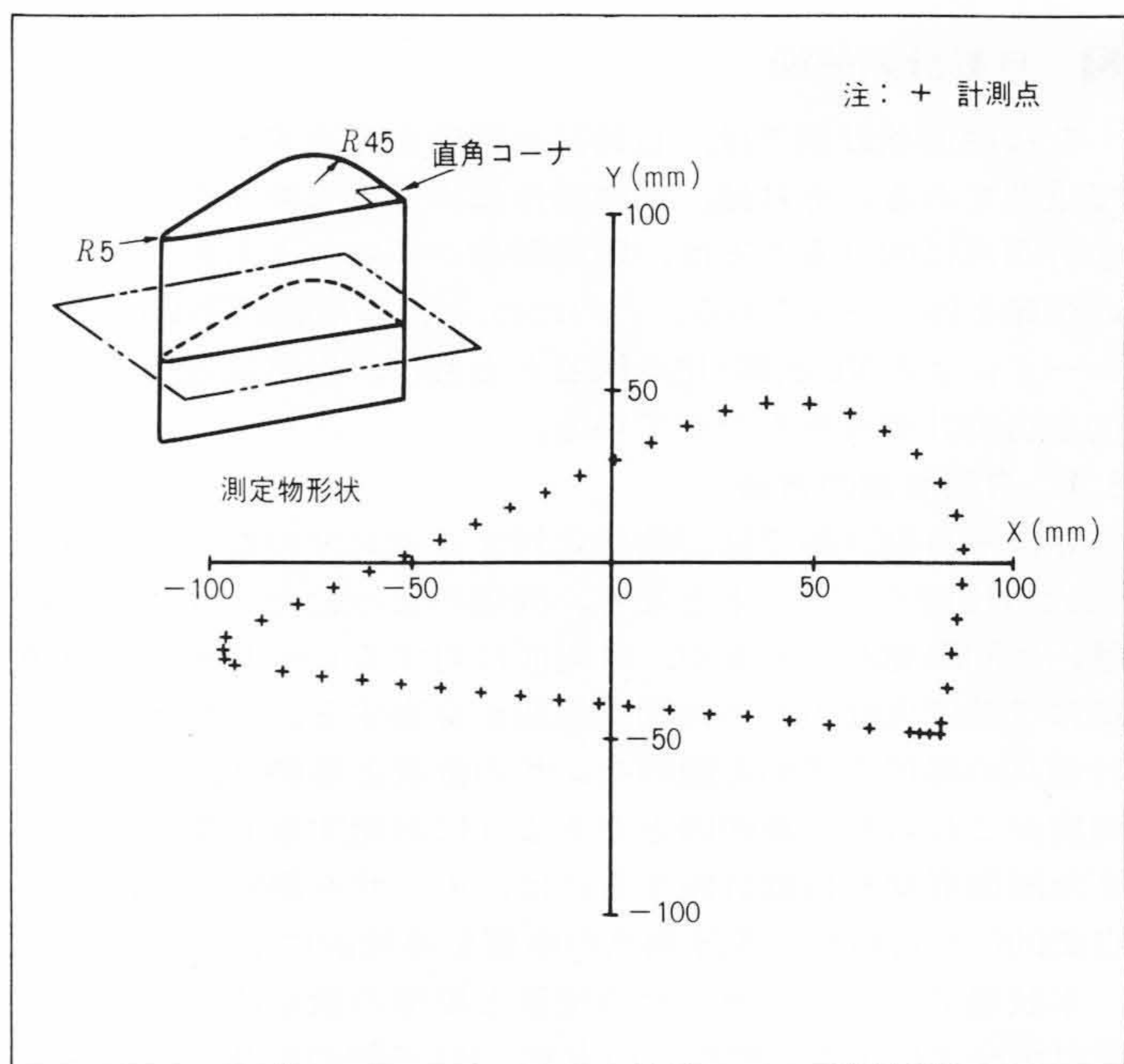


図9 自律的ならい計測の結果 小円弧及び直角コーナに対しては、それぞれ専用のモードで計測が行なわれている。

一方図9は自律的ならい計測の例として、水平断面内に大小2種類の円弧と直角コーナを含んだ測定物の計測結果を示す。小円弧及び直角コーナに対し、それぞれの計測モードにより刻み幅を減少させながら自律的ならい計測が行なわれている。

本装置は上述の例以外に、次の用途に用いることができる。

- (1) 非接触計測の利点を生かし、プロペラ、金型など自由曲面の計測、またソファ、ゴム製品など柔らかい物体の計測
- (2) 自律的ならい機能を用いたクレイモデルの計測、物体の複製
- (3) 自動計測機能を生かした一般の機械部品の寸法形状計測

5 結 言

システム構成と自動計測機能に特長をもつ非接触式のレーザ応用3次元形状計測装置を開発した。

本装置は、専用の計測機として構成するほかに、NC工作機械と組み合わせて構成することが可能である。また能率的な自動計測機能として、自動ならい計測と自律的ならい計測の2種類を備えており、実際の計測によりその有効性を確認した。

今後、更に自動計測機能の充実、設計・製作工程とのより有機的な結合を図っていく考えである。

参考文献

- 1) 改井：FAを推進する検査システム「CAI」、生産システムと融合、工程を管理、日経メカニカル p. 50~57 (1985. 8. 26)
- 2) 山口，外：立体形状の計測，自動化技術，16，3，51~56 (昭59-3)
- 3) 高木，外：3次元形状の非接触自動計測システム，自動化技術，17，10，36~41 (昭60-10)