

〈메소 스케일 3차원 형상측정기술〉

메소 스케일 3차원 형상측정기술에 있어서 미세 형상 측정 기술의 현황

글 _ Kazuhiro ISHIZU and Kentaro NEMOTO

1. 서론

휴대 단말기, PC, 의료기기 등, 우리의 생활은 고도의 가공기술로 제조된 여러 가지 미세 부품으로 이루어져 있다. 이들의 미세 부품은 제품의 성능을 좌우하는 주요 부품이 되는 경우도 많고, 미세 부품의 형상 정도는 나노미터의 오더가 요구되어지고 있다.

2. 입체 형상 측정용 센서 기술의 과제

지금까지 미세 형상 부품에서 고정도 측정의 요구는 반도체 프로세스 등에 의한 평면적인 형상의 부품이 대상이었지만, 현재에는 정밀가공 기술의 발달과 더불어 입체적으로 복잡한 형상의 부품이 증가하고 있어서, 3차원적인 형상해석을 하는 측정 장치의 필요성이 많아지고 있다. 미세 가공 영역에서의 좌표계측에는 형상의 Detail을 파악하기 위하여 Probe의 선단이 미세하여야 할 필요 있다. 또, 입체형상의 파악을 위하여 X·Y·Z 축 각각에 밸런스가 잡힌 분해능을 갖고, 또한 보다 깊은 영역까지 탐색이 가능한 Probe가 필요하다.

입체형상의 측정에 사용하는 Probe를 크게 나눈다면 측정 대상에 스타일러스 선단을 직접 접촉시키는 접촉식과 광학적인 수법 등에 의한 직접적인 접촉을 하지 않고 측정을 하는 비접촉식 센서로 나눌 수 있다. 광학적 수법을 사용하는 비접촉식 센서로는 스

포트 형상을 미소하게 쪼이는 것이 가능하지만 경사면이나 벽면 측정에서는 측정 원리에 의존하는 제한 때문에 정확한 3차원 좌표 정보를 읽기 곤란한 것은 과제이다. 다른 한편, 입체 형상에 대한 원리적인 감도의존이 적은 Probe 방식으로서 접촉식의 Probe System을 고려할 수 있지만, 접촉식 Probe는 「스타일러스 선단 구의 미세화」 「메카니칼한 구조에 기인하는 검출 감도의 방향성 저감」 「접촉검지에 필요한 측정력의 저감」 등의 과제에 의하여 미세형상의 좌표 측정 용도에는 적합하지 않은 것으로 인식되어 왔다 (그림1).

접촉식 Probe에 의한 미세 형상 평가를 하기 위해서는 스타일러스의 소형화가 측정 분해능을 결정하기

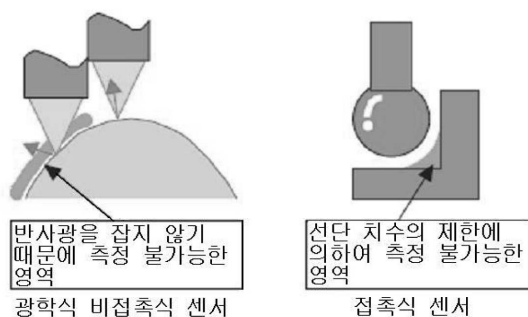


그림1 센싱 방식에 의한 측정시의 제한

때문에 아주 중요한 인자이다.

접촉식 Probe 의 경우, 필연적으로 Probe와 측정물의 접촉이 필요하다. 접촉식 Probe 의 경우, 접촉의 감지는 접촉 시에 생기는 스타일러스의 자세 변위를 관측하는 것이 대부분이다. 접촉을 감지하기 위해서는 스타일러스의 접촉을 검지 센서까지 확실하게 전달하기 위하여 강성(剛性)이 필요하지만, 미세한 Probe에서는 강성의 확보가 어렵다. 강성이 낮은 스타일러스로 접촉을 감지하기 위해서는 접촉 시의 검지(檢知)감도를 높일 필요가 있지만, 과도한 감도의 설정은 측정기 자신의 진동 등을 접촉으로 오검지하기 때문에 도움이 되지 않는다.

이와 같이 스타일러스의 강성확보와 측정력의 밸런스가 접촉식 스타일러스의 소형화에 있어서 최대의 과제였다. 즉 미세 측정용의 접촉 Probe에서는 강성이 낮은 스타일러스여도 확실하게 측정물과의 접촉을 검지할 수 있는 센싱 기술이 필요하다.

3. 초음파 진동 Probe

「검지가 필요한 접촉력」과 「검지를 피하고 싶은 노이즈(진동)」와의 구분을 하기 위한, 유효한 수법으로

고안된 기술로서 스타일러스를 항상 진동 상태로 하는 「초음파 진동 Probe 기술」이 있다. 지금까지 스타일러스의 접촉 감지에 대한 사고를 전환하여 스타일러스의 흔들림이 안정되었을 때의 신호를 트리거 신호로 함으로서 스타일러스의 접촉 감지를 하는 것이다.

초음파 진동 Probe의 원리도를 그림2에 나타낸다. 초음파 진동 Probe에서는 우선 스타일러스에 가진회로와 검출회로로 이루어지는 2계통 회로를 준비한다. 스타일러스에는 가진 회로로부터의 미약한 전기신호를 가하여 압전소자를 개재시켜서 스타일러스 자신이 갖는 고유진동수로 자려진동 상태를 유지한다. 이 진동 상태는 수신측의 압전소자에 의하여 진동상태를 모니터링한다. 스타일러스가 측정 대상에 접촉하면 진동모드가 변화하기 때문에 스타일러스의 자려진동이 억제되어, 결과로서 수신회로의 출력신호 레벨이 저하한다. 진동 레벨이 저하하는 것은 원리적으로 스타일러스가 접촉한 경우이므로 노이즈에 의한 오검지 방지 회로는 불필요하게 되고, 또 스타일러스의 강성도 필요 최소한으로 한정시킬 수가 있다. 그래서 강성이 낮은 가늘고 긴 스타일러스를 이용한 미세형상 측정이

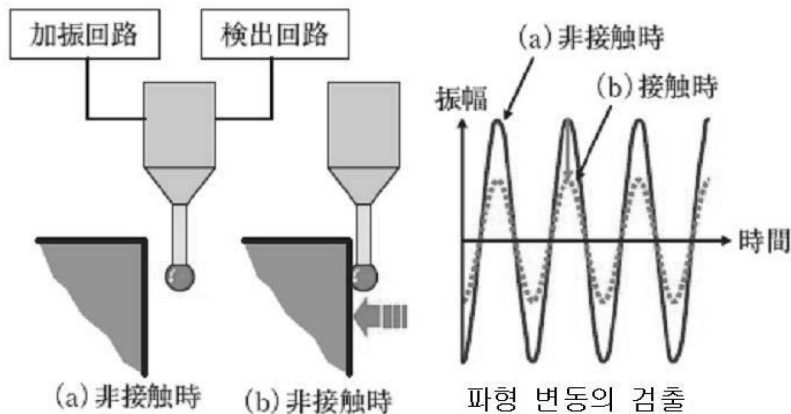


그림2 초음파진동 Probe의 검출원리

표1. 초음파 진동 Probe의 스타일러스부의 제원

	UMAP 101	UMAP 103	UMAP 107	UMAP 110	UMAP 130
선단 팁 호칭지름(D)	150 μm	30 μm	70 μm	100 μm	300 μm
생크 호칭길이(L)	0.2mm	2mm	5mm	10mm	16mm
아스펙트비(L/D)	13.3	66.7	71.4	100	53.3
반복 精度	$\sigma \leq 0.7\mu\text{m}$		$\sigma \leq 0.10\mu\text{m}$		
측정력(XY방향계산값)	25 μN	1 μN		10 μN	

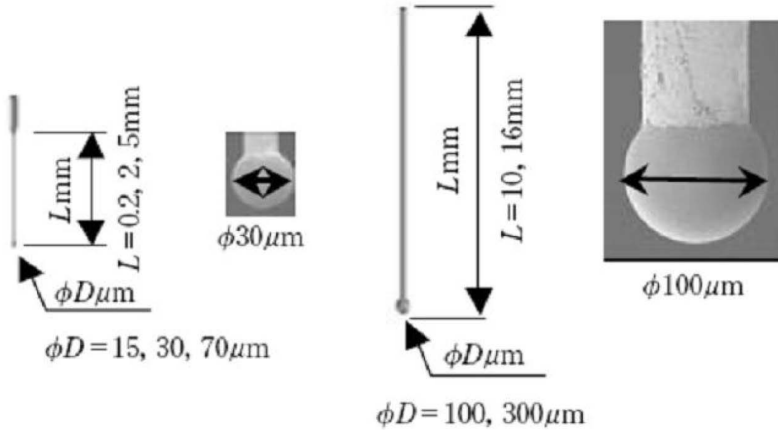


그림3 초음파 진동 Probe의 스타일러스 형상

실현가능해졌다.

우리들이 작성한 초음파 진동 Probe의 제원을 표1에 나타낸다.

미소 측정력에 의한 검출이 가능해졌으므로 스타일러스 직경 30 마이크로미터의 미세선단 Probe에 의한 2mm까지의 미세 구멍의 깊은 구멍 측정(아스펙트비: 66.7)이 가능해졌다(그림3참조).

초음파 진동 Probe의 부차적인 효과로서 ① 복잡한 착좌기구를 갖지 않기 때문에 작좌재현성의 요인이 없고 반복 정도가 높다. ② 세로방향의 공진주파수를 이용하고 있지만, 전방위에서의 접촉 검지가 가능하다. 등의 지금까지의 기계식 Probe에서는 얻기 힘든 특성이 얻어지고 있다.

그림4와 그림5는 초음파 진동 Probe에 의한 미세 형상 측정의 사례이다. 미세 선단을 갖는 터치 트리거 Probe에 고정도의 좌표 측정기를 조합함으로써 100 μm

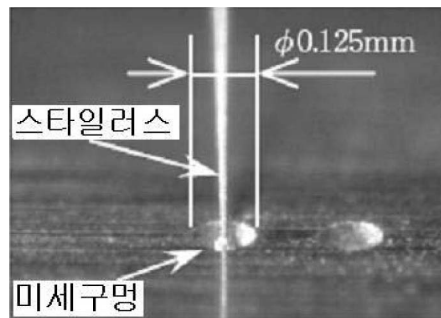


그림4 초음파 진동 Probe에 의한 측정상황

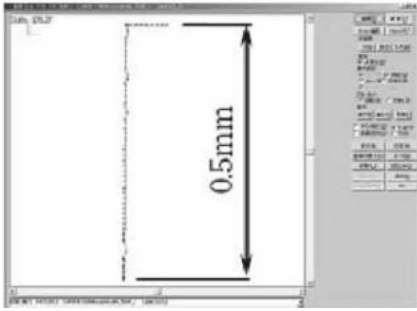


그림5 초음파진동 Probe에 의한 탐색

이하의 미세구멍 탐색부 벽면 형상 등의 3차원 입체 형상 평가가 가능해졌다.

4. 극저 측정력 Probe

미세 형상의 측정 니즈로서 특히 요구 정도가 높은 것으로 비구면 형상의 광학 렌즈 측정이 있다. 지금까

지, 광학 렌즈는 원기와 맞추어보는 것에 의한 간섭을 이용한 평가가 일반적이었지만, 비구면 렌즈에서는 마찬가지로 수법을 채용할 수 없기 때문에 직접적인 형상 평가가 필요하다.

렌즈 등의 광학소자에서는 접촉 측정에 의한 측정 흔적을 꺼리고 광학적인 비접촉 수법에 의한 측정이 바람직하지만 경사각도가 큰 광학 부품은 표면으로부터의 반사광을 센서로 잡는 것이 구조상으로 어렵고, 현 상황에서는 측정 흔적의 발생을 각오하고 접촉 측정을 하는 수법이 일반적이다.

구면 형상의 정밀평가에 있어서는 샘플링 레이트도 중요한 인자이고, 접촉식 Probe에 의한 미약한 측정력에 의한 연속 데이터의 취득 요구가 아주 강하다. 접촉식 스캐닝 Probe가 가장 경원시되는 이유로 접촉자가 측정 대상에 부여하는 상처를 들 수 있으나, 측정력을 20 μ N 이하로 제한할 수 있으면 알루미늄 등의 연질재라고 하더라도 측정 흔적을 남기지 않고 연속

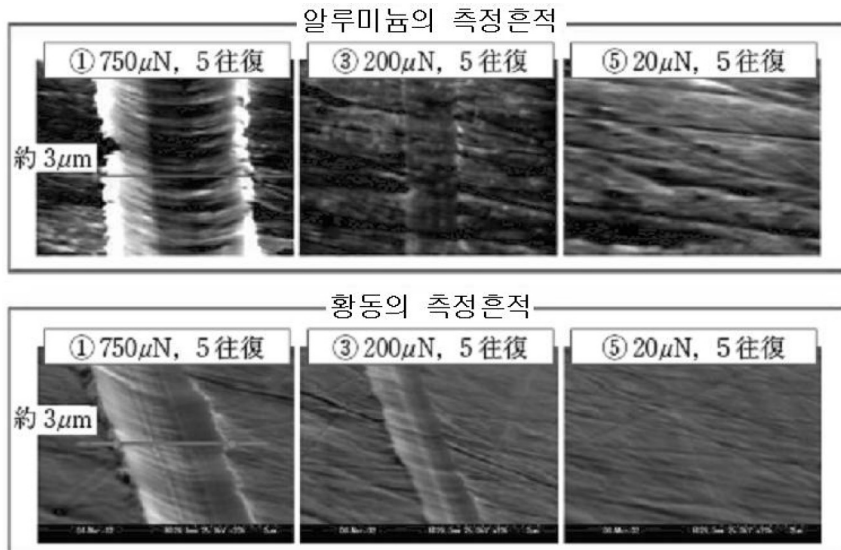


그림6 연질재에서 측정력에 의한 측정 흔적의 차이

측정이 가능하다(그림6참조).

극저 측정 Probe는 앞에 기술한 초음파 진동 Probe에 1축의 피이드 백 구동 시스템을 채용함으로써 미약한 측정력에 의한 연속적인 비파괴 데이터 취득을 실현하고 있다.

극저 측정력 Probe의 측정원리를 그림7에 나타낸다. 초음파 진동 Probe와 마찬가지로 스타일러스에 가진

회로와 검출회로의 2계통 회로를 준비한다. 초음파 진동을 부여한 측정자는 측정 대상에 접촉하면 진동 레벨이 변화하지만 이 진폭의 변동은 스타일러스가 측정 대상과 접촉했을 때의 접촉력과 상관이 있다. 측정물과의 접촉력을 항상 일정의 접촉력으로 유지하도록 스타일러스를 상하로 움직이면서 그 때의 이동량을 카운트 함으로서 측정물의 형상을 파악할 수 있다.

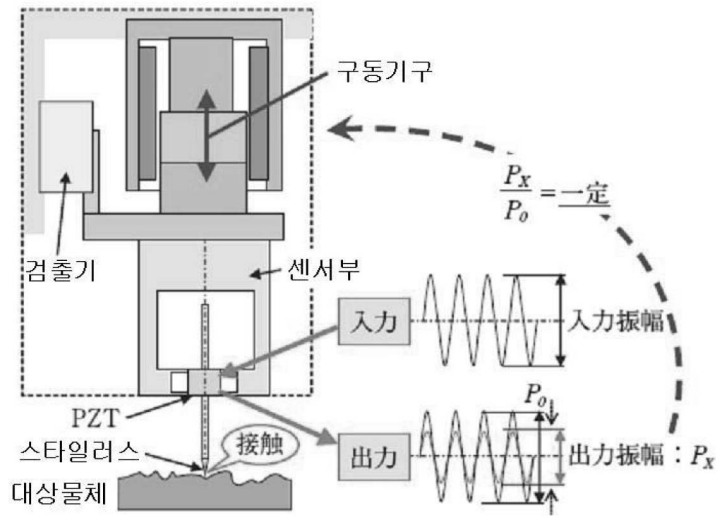
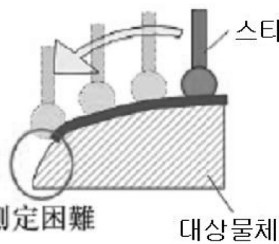


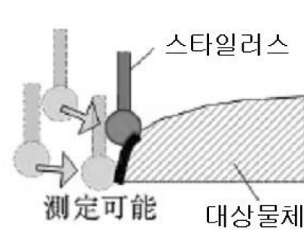
그림7 극저 측정력 Probe의 측정원리

▶ 모방 측정 모드



● 測定可能傾斜角度 : $\leq 80^\circ$

▶ 터치 트리거 모드



● 測定可能傾斜角度 : $\leq 90^\circ$

그림8 터치 트리거 모드에 의한 벽면 측정

초음파 진동 Probe의 경우에는 스타일러스의 진폭 변동을 트리거 신호로서 취급하고 있지만 극저 측정력 Probe에서는 접촉시의 진동 진폭 레벨의 설정에 의하여 측정력을 일정하게 유지하는 힘 센서로서 취급하고 있다. 이 검출감도 설정은 변경하는 것이 가능하기 때문에 극저 측정력 Probe에서는 필요에 따라 측정력을 변경할 수 있는 기능을 갖고 있다.

또, 접촉의 감지를 트리거 신호로서 잡는 것도 가능하기 때문에 변위 센서이면서 터치 트리거 Probe로서의 기능을 갖는 등, 지금까지의 Probe System에는 없는 복잡한 기능을 갖추고 있다(그림8참조).

그림9는 비구면 렌즈 면 측정에 있어서 설계값 잔차 데이터이다.

좌표 측정 기능을 갖는 시스템과의 조합에 의하여 형상 측정기 등에 의한 단면 형상 평가만이 아니라 3차원 입체 형상 평가가 가능하다.

5. 직교 좌표 측정 구조(XY 평면 가이드)

초음파 진동 기술을 이용함으로써 미세 형상의 직접적인 측정은 가능하지만, 3차원 입체 형상 평가를 하기 위해서는 Probe와 측정물의 상대 위치를 정확하

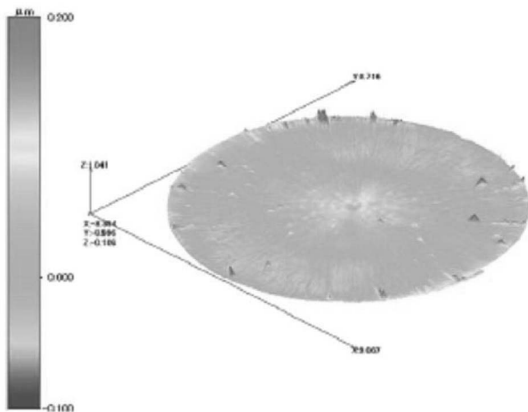


그림9 극저 측정력 Probe에 의한 측정사례

게 읽을 수 있는 측정기의 역할이 중요하다.

미세 형상 계측을 하기 위하여 필요한 측정기의 기능으로는 여러 가지 항목을 생각할 수 있지만 3차원 좌표 공간을 정확하게 파악하기 위해서는 스테이지의 운동 진직도나 지시정도를 높이는 것도 중요하다.

미세 형상 계측용 측정기의 스테이지는 여러 가지 구조가 채용되어 있지만 대부분의 구조체에 기하학적 정도를 높은 레벨로 유지하기 위하여 Probe의 선단 위치를 측정 유닛 및 가이드의 중심선상에 배치하기 쉬운 구조로 하는 것에 중점을 둔 배려가 눈에 띈다.

그림10에 고정도 좌표 측정을 지향하는 구조의 하나로 측정물을 이동시키는 측정 테이블의 하중을 지지하는 안내를 한 장의 평면으로 구성하는 구조를 가리킨다.

미세 부품에서는 측정물의 크기가 작기 때문에 측정 시간이 짧은 것으로 생각하기 쉽지만 앞에 기술한 초음파 진동 Probe의 측정에서는 측정물체의 접근 속도는 오더와 측정 속도 그 자체가 스케일 다운 하기 때문에 측정 시간은 일반 부품의 좌표 측정과 그다지 변화가 없다.

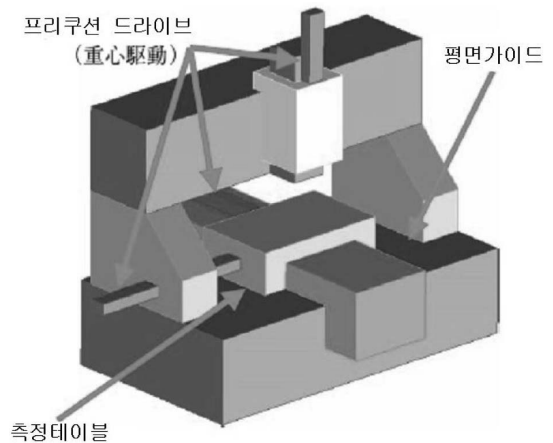


그림10 미세 형상 측정용 본체 구조의 일례

측정 중의 온도 변화는 측정기 그 자체의 형상 변화를 초래하여 측정 결과의 신뢰성을 해치는 결과가 된다. 미세 계측의 경우에는 측정물의 온도 변화보다도 측정 장치의 온도 변화에 의한 변형 방지의 철저가 중요하다.

그림10에 나타낸 장치에서는 Push Rod에 의한 구동 방식을 채용하여 모터 등의 발열체를 측정 테이블로부터 멀리 하는 등 발열 대책에도 배려를 하고 있다.

6. 형상 평가의 신뢰성

미세형상 측정의 정도 요구는 앞에 기술한 대로 이미 나노미터 오더의 영역에 달하고 있다. 측정기의 성능을 객관적으로 평가하기 위해서는 측정기의 보증 정도를 상회하는 높은 정도의 평가용 센서나 기준기가 필요하지만, 현실적인 문제로서는 요구에 맞는 고정도의 평가 기준을 입수하는 것은 기술적으로 매우 곤란하다. 그래서 현 시점에서의 측정 장치의 평가 방법은 독자적으로 고정도의 평가 시스템을 구축하던가 아니면 기준구 등을 이용하여 해석적인 수법에 의하여 장치의 능력을 평가하고 있는 상황이다. 이후의 미세 계측 기술의 보급 발전을 위해서는 ISO의 규격화 등 표준화 기술의 기초적인 연구에 의하여 간편하고도 객관적인 장치의 평가 기술을 확립하는 것이 바람직하다.

7. 결론

미세형상의 측정 요구에 대한 몇 가지 과제는 이번 에 소개한 초음파 진동을 이용한 Probe 등의 새로운 기술개발에 의하여 해결이 시도되고 있다.

그렇지만 미세형상의 정밀측정분야에서는 표면과 뒷면의 상호 형상 오차, 여러 가지 부품의 조립에 의한 형상 오차 등, 보다 입체적이고 고도의 측정 요구를 제기하고 있다.

또, 측정물이 작고 측정시의 상황 파악이 눈으로는 파악할 수 없는 등의 미세 부품 특유의 문제도 있어서 관찰 카메라를 설치하는 등, 본래의 측정 기능 이외에서의 기능의 충실도 과제로서 다루지 않으면 안 된다.

미세형상의 입체 계측은 본격적인 실용단계를 맞이하고 있어서 보다 복잡하고 고정도인 대상에의 정도 요구를 만족하는 기술의 개발이 지금도 강하게 요구되고 있다.



본 기사는 건국대학교의 이성수 편집이사가 “일본정밀공학회지” 2008년 3월호 pp.235-238을 번역한 것으로 일본정밀공학회지의 연락처는 다음과 같다.

주소 : 102-0073 東京都千代田區 九段 北 1-5-9(九段誠和Building 2F)

전화 : +81-3-5226-5191 / FAX : +81-3-5226-5192

URL : <http://www.jspe.or.jp/>