



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0150506  
(43) 공개일자 2024년10월15일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01B 11/24 (2006.01) G01B 11/03 (2006.01)  
G01B 21/04 (2006.01) G01B 9/04 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G01B 11/24 (2013.01)  
G01B 11/03 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7031591
- (22) 출원일자(국제) 2023년03월15일  
심사청구일자 2024년09월23일
- (85) 번역문제출일자 2024년09월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/010045
- (87) 국제공개번호 WO 2023/182095  
국제공개일자 2023년09월28일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2022-050562 2022년03월25일 일본(JP)

- (71) 출원인  
가부시키키가이샤 도쿄 세이미쓰  
일본국 도쿄도 하치오지시 이시카와마치 2968-2
- (72) 발명자  
하야시 교헤이  
일본국 3000006 이바라키켄 츠치우라시 히가시-나카누키초 4 가부시키키가이샤 도쿄 세이미쓰 내
- (74) 대리인  
문두현

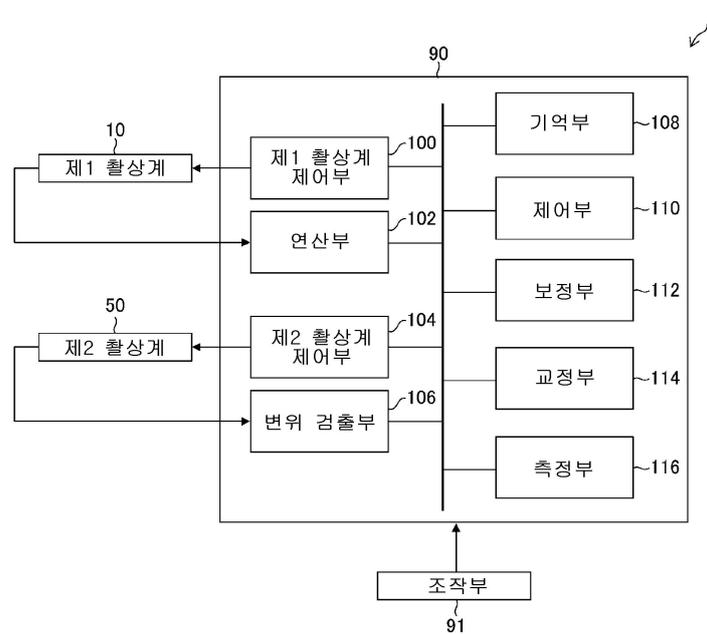
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 표면 형상 측정 장치 및 표면 형상 측정 방법

(57) 요약

측정 시에 발생하는 진동의 영향에 의한 오차를 경감할 수 있는 표면 형상 측정 장치 및 표면 형상 측정 방법을 제공한다. 측정 대상물의 표면 형상을 측정하는 표면 형상 측정 장치는, 측정 대상물에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 활상 간격마다 측정 대상물을 활상하는 제1 활상계와, 제1 활상계와는 별체이며, (뒷면에 계속)

대표도



제1 촬상계와 동기해서 측정 대상물 또는 측정 대상물의 지지물을 촬상하는 제2 촬상계와, 제1 촬상계가 촬상한 복수의 제1 촬상 화상에 기초하여, 측정 대상물의 표면 형상을 산출하는 연산부와, 제2 촬상계의 제2 좌표계를 제1 촬상계의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보를 기억하는 기억부와, 제2 촬상계가 촬상한 복수의 제2 촬상 화상에 기초하여, 제1 촬상계의 촬상 중에 있어서의 측정 대상물의 변위를 검출하는 변위 검출부와, 변위 검출부가 검출한 변위의 검출 결과와, 좌표계 변환 정보에 기초하여, 연산부가 산출한 표면 형상을 보정하는 보정부를 구비한다.

(52) CPC특허분류

*G01B 21/045* (2013.01)

*G01B 9/04* (2021.01)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

측정 대상물의 표면 형상을 측정하는 표면 형상 측정 장치에 있어서,  
상기 측정 대상물에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 촬상 간격마다 상기 측정 대상물을 촬상하는 제1 촬상계와,  
상기 제1 촬상계와는 별체(別體)이며, 상기 제1 촬상계와 동기해서 상기 측정 대상물 또는 상기 측정 대상물의 지지물을 촬상하는 제2 촬상계와,  
상기 제1 촬상계가 촬상한 복수의 제1 촬상 화상에 기초하여, 상기 측정 대상물의 표면 형상을 산출하는 연산부와,  
상기 제2 촬상계의 제2 좌표계를 상기 제1 촬상계의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보를 기억하는 기억부와,  
상기 제2 촬상계가 촬상한 복수의 제2 촬상 화상에 기초하여, 상기 제1 촬상계의 촬상 중에 있어서의 상기 측정 대상물의 변위를 검출하는 변위 검출부와,  
상기 변위 검출부의 검출 결과와 상기 좌표계 변환 정보에 기초하여, 상기 연산부가 산출한 상기 표면 형상을 보정하는 보정부  
를 구비하는, 표면 형상 측정 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 좌표계 변환 정보는, 상기 제2 좌표계를 상기 제1 좌표계로 변환하는 변환 행렬인, 형상 측정 장치.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,  
교정 타겟에 대하여 상기 제1 촬상계 및 상기 제2 촬상계가 촬상한 결과로부터 상기 좌표계 변환 정보를 취득하는 교정부를 구비하는, 표면 형상 측정 장치.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 제2 촬상계가, 단안(單眼)의 카메라를 구비하고, 상기 변위 검출부는 번들 조정 방식에 의해 상기 측정 대상물의 변위를 검출하는, 표면 형상 측정 장치.

#### 청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 제2 촬상계가, 복안(複眼)의 카메라를 구비하고, 상기 변위 검출부는 스테레오 카메라 방식에 의해 상기 측정 대상물의 변위를 검출하는, 표면 형상 측정 장치.

#### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 측정 대상물 또는 상기 측정 대상물의 지지물에 마커가 첨부되어 있는 경우, 상기 변위 검출부는 상기 마커를 추적함으로써 상기 측정 대상물의 변위를 검출하는, 표면 형상 측정 장치.

### 청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 측정 대상물 또는 상기 측정 대상물의 지지물에 마커가 첨부되어 있지 않은 경우, 상기 변위 검출부는, 상기 측정 대상물 또는 상기 측정 대상물의 지지물에 설정된 특징점을 추적함으로써 상기 측정 대상물의 변위를 검출하는, 표면 형상 측정 장치.

### 청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 촬상계는 백색 간섭 방식, 레이저 공초점 방식, 또는 합초점 방식 중 어느 하나의 방식의 현미경인, 표면 형상 측정 장치.

### 청구항 9

제1 촬상계를 측정 대상물에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 촬상 간격마다 상기 측정 대상물을 촬상하는 제1 촬상 공정과,

상기 제1 촬상계와는 별체인 제2 촬상계로, 상기 제1 촬상계와 동기해서 상기 측정 대상물 또는 상기 측정 대상물의 지지물을 촬상하는 제2 촬상 공정과,

상기 제1 촬상 공정에서 촬상된 복수의 제1 촬상 화상에 기초하여, 상기 측정 대상물의 표면 형상을 산출하는 연산 공정과,

상기 제2 촬상계가 촬상한 복수의 제2 촬상 화상에 기초하여, 상기 제1 촬상계의 촬상 중에 있어서의 상기 측정 대상물의 변위를 검출하는 변위 검출 공정과,

상기 변위 검출 공정의 검출 결과와, 상기 제2 촬상계의 제2 좌표계를 상기 제1 촬상계의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보에 기초하여, 상기 연산 공정이 산출한 상기 표면 형상을 보정하는 보정 공정을 구비하는, 표면 형상 측정 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 표면 형상 측정 장치 및 표면 형상 측정 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 포커스 바리에이션(Focus Variation: FV) 방식의 현미경, 공초점 방식의 현미경, 백색 간섭 현미경, 및 오토 포커스(Auto Focus: AF) 장치 등의 주사 측정 장치를 사용하여, 측정 대상물의 측정면의 삼차원 형상(전체 초점 화상 및 표면 형상 등)을 측정하는 주사 측정 방법이 알려져 있다(특허문헌 1 내지 3 참조). 이와 같은 측정 장치는, 카메라가 부착된 현미경을 주사 방향을 따라 주사하면서 일정한 피치마다 카메라에 의해 측정면을 촬영하고, 피치마다의 촬영 화상에 기초하여 각 촬영 화상의 화소마다 합초도(合焦度)(현미경의 초점 위치)를 연산하거나 또는 화소마다 높이 정보를 연산함으로써, 측정면의 삼차원 형상을 측정한다. 이들 측정 장치는, 측정 대상물의 높이 프로파일을 면에서 취득할 수 있기 때문에, 미세한 삼차원 형상이나 거칠기를 측정할 때에, 매우 유용한 측정 장치가 되고 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 일본국 특개2016-99213호 공보

(특허문헌 0002) 일본국 특개2015-84056호 공보

(특허문헌 0003) 일본국 특개2016-90520호 공보

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0004] 그런데, 상술한 측정 장치에서는, 높이 방향으로 광학계를 주사할 필요가 있고, 주사 중에, 측정 대상물의 위치가 어긋나거나, 진동하거나 하면, 그 위치 어긋남분이 측정 오차가 되어 현재화(顯在化)되기 쉽다는 문제가 있다.
- [0005] 그 때문에, 바닥으로부터의 진동을 차단하기 위해서 제진대 상에 측정 장치를 설치하거나, 바람이나 음향에 의한 진동을 차단하기 위해, 측정 장치의 주위에 방풍 커버를 설치하는 것을 고려할 수 있다.
- [0006] 그러나, 제진대나 방풍 방음 커버의 설치에 대해서는 스페이스의 제약이 크고, 특히 가공기 내나 공장 라인 내의 측정 장치에 제진대나 방풍 방음 커버를 설치할 수 없다는 등의 문제가 있다.
- [0007] 본 발명은, 이러한 사정을 감안하여 이루어진 것으로, 측정 시에 발생하는 진동의 영향에 의한 오차를 경감하는 것이 가능한 표면 형상 측정 장치 및 표면 형상 측정 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

- [0008] 제1 태양의 측정 대상물의 표면 형상을 측정하는 표면 형상 측정 장치는, 측정 대상물에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 촬상 간격마다 측정 대상물을 촬상하는 제1 촬상계와, 제1 촬상계와는 별체(別體)이며, 제1 촬상계와 동기해서 측정 대상물 또는 측정 대상물의 지지물을 촬상하는 제2 촬상계와, 제1 촬상계가 촬상한 복수의 제1 촬상 화상에 기초하여, 측정 대상물의 표면 형상을 산출하는 연산부와, 제2 촬상계의 제2 좌표계를 제1 촬상계의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보를 기억하는 기억부와, 제2 촬상계가 촬상한 복수의 제2 촬상 화상에 기초하여, 제1 촬상계의 촬상 중에 있어서의 측정 대상물의 변위를 검출하는 변위 검출부와, 변위 검출부의 검출 결과와 좌표계 변환 정보에 기초하여, 연산부가 산출한 표면 형상을 보정하는 보정부를 구비한다.
- [0009] 제2 태양의 표면 형상 측정 장치에 있어서, 좌표계 변환 정보는, 제2 좌표계를 제1 좌표계로 변환하는 변환 행렬이다.
- [0010] 제3 태양의 표면 형상 측정 장치에 있어서, 교정 타겟에 대하여 제1 촬상계 및 제2 촬상계가 촬상한 결과로부터 좌표계 변환 정보를 취득하는 교정부를 구비한다.
- [0011] 제4 태양의 표면 형상 측정 장치에 있어서, 제2 촬상계가, 단안(單眼)의 카메라를 구비하고, 변위 검출부는 변들 조정 방식에 의해 측정 대상물의 변위를 검출한다.
- [0012] 제5 태양의 표면 형상 측정 장치에 있어서, 제2 촬상계가, 복안(複眼)의 카메라를 구비하고, 변위 검출부는 스테레오 카메라 방식에 의해 측정 대상물의 변위를 검출한다.
- [0013] 제6 태양의 표면 형상 측정 장치에 있어서, 측정 대상물 또는 측정 대상물의 지지물에 마커가 첨부되어 있는 경우, 변위 검출부는 마커를 추적함으로써 측정 대상물의 변위를 검출한다.
- [0014] 제7 태양의 표면 형상 측정 장치에 있어서, 측정 대상물 또는 측정 대상물의 지지물에 마커가 첨부되어 있지 않는 경우, 변위 검출부는, 측정 대상물 또는 측정 대상물의 지지물에 설정된 특징점을 추적함으로써 상기 측정 대상물의 변위를 검출한다.
- [0015] 제8 태양의 표면 형상 측정 장치에 있어서, 제1 촬상계는 백색 간섭 방식, 레이저 공초점 방식, 또는 합초점 방식 중 어느 하나의 방식의 현미경이다.
- [0016] 제9 태양의 표면 형상 측정 방법은, 제1 촬상계를 측정 대상물에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 촬상 간격마다 측정 대상물을 촬상하는 제1 촬상 공정과, 제1 촬상계와는 별체인 제2 촬상계로, 제1 촬상계와 동기해서 측정 대상물 또는 측정 대상물의 지지물을 촬상하는 제2 촬상 공정과, 제1 촬상 공정에서 촬상된 복수의 제1 촬상 화상에 기초하여, 측정 대상물의 표면 형상을 산출하는 연산 공정과, 제2 촬상계가 촬상한 복수의 제2 촬상 화상에 기초하여, 제1 촬상계의 촬상 중에 있어서의 측정 대상물의 변위를 검출하는 변위 검출

공정과, 변위 검출 공정 검출 결과와, 제2 촬상계의 제2 좌표계를 제1 촬상 화상의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보에 기초하여, 연산 공정이 산출한 표면 형상을 보정하는 보정 공정을 구비한다.

### 발명의 효과

[0017] 본 발명에 의하면, 측정 시에 발생하는 진동의 영향에 의한 오차를 경감할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 제1 실시형태의 표면 형상 측정 장치의 개략도이다.

도 2는 제1 촬상계를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 제2 촬상계를 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 제1 실시형태의 표면 형상 측정 장치에 있어서의 제어 장치의 기능 블록도이다.

도 5는 옵티컬 플로우를 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 마커를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 표면 형상 측정 방법의 일례를 나타내는 플로우차트 도면이다.

도 8은 사전 준비의 교정에 대해서 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 제2 실시형태의 표면 형상 측정 장치의 개략도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 첨부 도면에 따라서 본 발명의 바람직한 실시형태에 대하여 설명한다.

[0020] < 제1 실시형태 >

[0021] 도 1은 제1 실시형태의 표면 형상 측정 장치(1)의 개략도이다. 또한, 도면 중의 서로 직교하는 XYZ 방향 중, XY 방향은 수평 방향이고, Z 방향은 상하 방향(수직 방향)이다.

[0022] 도 1에 나타내는 바와 같이, 표면 형상 측정 장치(1)는, 측정 대상물(W)의 표면 형상을 측정하기 위한 측정 장치이며, 제1 촬상계(10)와, 제1 촬상계(10)와 별체인 제2 촬상계(50)와, 제어 장치(90)를 구비한다. 도 1에서는, 측정 대상물(W)은, 지그(72) 위에 재치(載置)되어 있다. 지그(72)는, 본 발명의 측정 대상물(W)의 지지물의 일례이다. 측정 대상물(W)의 지지물은, 측정 대상물(W)을 지지할 수 있는 한, 크기, 형상 등은 한정되지 않는다.

[0023] 제1 촬상계(10)는 측정 대상물(W)에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 촬상 간격마다 측정 대상물(W)을 촬상한다. 제1 촬상계(10)는, 실시형태에서는 백색 간섭 방식의 현미경이다.

[0024] 제2 촬상계(50)는 제1 촬상계(10)와 동기해서 측정 대상물(W) 또는 지그(72)를 촬상한다. 제2 촬상계(50)는, 제1 실시형태에서는, 2개의 카메라(51 및 52)를 구비하며, 스테레오 카메라(복안의 카메라)로서 구성되어 있다.

[0025] 제어 장치(90)는, 제1 촬상계(10) 및 제2 촬상계(50)와 접속되어 있으며, 조작부(91)에 대한 입력 조작에 따라, 표면 형상 측정 장치(1)를 통괄적으로 제어한다. 표시부(92)는, 제어 장치(90)의 제어 하에, 각종 정보를 표시한다.

[0026] 제1 실시형태의 표면 형상 측정 장치(1)는, 제1 촬상계(10)가 측정 대상물(W)을 촬상함과 함께, 제1 촬상계(10)와는 별체인 제2 촬상계(50)가 제1 촬상계(10)에 의한 촬상 개시로부터의 측정 대상물(W)의 변위를 촬상한다. 그리고, 표면 형상 측정 장치(1)는, 제1 촬상계(10)가 촬상한 복수의 촬상 화상(본 발명의 제1 촬상 화상)에 기초하여 측정 대상물(W)의 표면 형상을 산출한다. 표면 형상 측정 장치(1)는 추가로, 제2 촬상계(50)가 촬상한 촬상 화상(본 발명의 제2 촬상 화상)에 기초하여 검출한 변위(병진 변위 및 회전 변위)에 기초하여, 상기와 같이 해서 산출한 측정 대상물(W)의 표면 형상을 보정한다.

[0027] 여기에서, 표면 형상 측정 장치(1)에서는, 측정의 사전 준비로서, 좌표계 변환 정보(제2 촬상계(50)의 제2 좌표계를, 제1 촬상계(10)의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 행렬)를 취득하기 위한 교정이 이루어지고 있

으며, 후술하는 기억부(108)에는 교정에 의해 취득된 좌표계 변환 정보가 기억되어 있다. 그리고, 표면 형상 측정 장치(1)는, 측정 대상물(W)의 측정 시에는, 제1 촬상계(10)와 제2 촬상계(50)에 의해 측정 대상물(W)을 촬상한 촬상 결과와, 기억부(108)에 기억되어 있는 좌표계 변환 정보에도 기초하여, 측정 대상물(W)의 표면 형상을 보정한다. 또한, 표면 형상 측정 장치(1)의 교정에 대해서는 후술한다.

[0028] 표면 형상 측정 장치(1)는 사전에 교정되어 있으므로, 측정 시에 있어서 제1 촬상계(10)와 제2 촬상계(50)의 상대 위치는, 교정 시와 동일한 것이 바람직하다. 따라서, 제1 촬상계(10)와 제2 촬상계(50)는, 동일한 계, 예를 들면, 동일한 가대(架台) 등에 설치된다.

[0029] 다음으로, 제1 촬상계(10), 제2 촬상계(50) 및 제어 장치(90)의 각 구성을 설명한다.

[0030] <제1 촬상계>

[0031] 도 2는 제1 촬상계(10)를 설명하기 위한 도면이다. 도 2에 나타내는 바와 같이, 제1 촬상계(10)는, 측정 대상물(W)의 측정면의 삼차원 형상(표면 형상)의 측정을 행하기 위해, 광학 헤드(12)와, 구동부(16)와, 인코더(18)와, 스테이지(70)와, 스테이지 구동부(74)를 구비한다. 스테이지(70)는 광학 헤드(12)에 대하여 Z 방향 하측으로 배치되어 있다.

[0032] 광학 헤드(12)는, 도 1에 나타내는 바와 같이 마이클슨형의 백색 간섭 현미경으로 구성된다.

[0033] 광학 헤드(12)는 카메라(14)와, 광원부(26)와, 빔 스플리터(28)와, 간섭 대물렌즈(30)와, 결상 렌즈(32)를 구비한다.

[0034] 간섭 대물렌즈(30)와, 빔 스플리터(28)와, 결상 렌즈(32)와, 카메라(14)가, 측정 대상물(W)로부터 Z 방향 상방측을 따라, 이 순서로 배치되어 있다. 또한, 빔 스플리터(28)에 대하여 X 방향(Y 방향에서도 가능)에 대향하는 위치에 광원부(26)가 배치된다.

[0035] 광원부(26)는, 제어 장치(90)의 제어 하에, 빔 스플리터(28)를 향하여 평행 광속의 백색광(가간섭성(可干涉性)이 적은 저(低)코히런스 광)을, 측정광(L1)으로서 출사한다. 이 광원부(26)는, 도시는 생략하지만, 발광 다이오드, 반도체 레이저, 할로겐 램프, 및 고(高)휘도 방전 램프 등의 측정광(L1)을 출사 가능한 광원과, 이 광원으로부터 출사된 측정광(L1)을 평행 광속으로 변환하는 콜렉터 렌즈를 구비한다.

[0036] 빔 스플리터(28)는, 예를 들면 하프 미러가 사용된다. 빔 스플리터(28)는 광원부(26)로부터 입사한 측정광(L1)의 일부를 Z 방향 하방측의 간섭 대물렌즈(30)를 향하여 반사한다. 또한, 빔 스플리터(28)는 간섭 대물렌즈(30)로부터 입사하는 후술하는 합과광(L3)의 일부를 Z 방향 상방측으로 투과하여, 이 합과광(L3)을 결상 렌즈(32)를 향하여 출사한다.

[0037] 간섭 대물렌즈(30)는 마이클슨형이며, 대물렌즈(30A)와, 빔 스플리터(30B)와, 참조면(30C)을 구비한다. 측정 대상물(W)로부터 Z 방향 상방측을 따라 빔 스플리터(30B) 및 대물 렌즈(30A)가 순서대로 배치된다. 또한, 빔 스플리터(30B)에 대하여 X 방향(Y 방향에서도 가능)에 대향하는 위치에 참조면(30C)이 배치된다.

[0038] 대물렌즈(30A)는 집광 작용을 가지고 있으며, 빔 스플리터(28)로부터 입사한 측정광(L1)을, 빔 스플리터(30B)를 통해서 측정 대상물(W)에 집광시킨다.

[0039] 빔 스플리터(30B)는, 예를 들면 하프 미러가 사용된다. 빔 스플리터(30B)는 대물 렌즈(30A)로부터 입사하는 측정광(L1)의 일부를 참조광(L2)으로서 분할하고, 나머지 측정광(L1)을 투과하여 측정 대상물(W)에 출사하며 또한 참조광(L2)을 참조면(30C)을 향하여 반사한다. 빔 스플리터(30B)를 투과한 측정광(L1)은, 측정 대상물(W)에 조사된 후, 측정 대상물(W)에 의해 반사되어 빔 스플리터(30B)로 되돌아간다.

[0040] 참조면(30C)은, 예를 들면 반사 미러가 사용되며, 빔 스플리터(30B)로부터 입사한 참조광(L2)을 빔 스플리터(30B)를 향하여 반사한다. 이 참조면(30C)은, 도시하지 않은 위치 조정 기구에 의해서 X 방향의 위치를 수동 조정 가능하다. 이것에 의해, 빔 스플리터(30B)와 참조면(30C) 사이의 참조광(L2)의 광로 길이를 조정할 수 있다. 이 참조 광로 길이는, 빔 스플리터(30B)와 측정 대상물(W) 사이의 측정광(L1)의 광로 길이와 일치(대략 일치)를 포함)하도록 조정된다.

[0041] 빔 스플리터(30B)는, 측정 대상물(W)로부터 되돌아오는 측정광(L1)과 참조면(30C)으로부터 되돌아오는 참조광(L2)의 합과광(L3)을 생성하고, 이 합과광(L3)을 Z 방향 상방측의 대물렌즈(30A)를 향하여 출사한다. 이 합과광(L3)은, 대물렌즈(30A) 및 빔 스플리터(28)를 투과하여 결상 렌즈(32)에 입사한다. 백색 간섭 현미경의 경우, 합과광(L3)은 간섭 무늬를 포함하는 간섭광이 된다.

- [0042] 결상 렌즈(32)는 빔 스플리터(28)로부터 입사한 합과광(L3)을 카메라(14)의 촬상면(도시 생략)에 결상시킨다. 구체적으로는 결상 렌즈(32)는, 대물렌즈(30A)의 초점면 상에 있어서의 점을, 카메라(14)의 촬상면 상의 상점(像点)으로서 결상한다.
- [0043] 카메라(14)는, 도시는 생략하지만 CCD(Charge Coupled Device)형 또는 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)형의 촬상 소자를 구비한다. 카메라(14)는, 구동부(16)에 의해 주사되고 있는 동안, 결상 렌즈(32)에 의해 촬상면에 결상된 합과광(L3)을 측정 대상물(W)의 화상으로 하여 복수의 촬상 화상을 촬상한다.
- [0044] 구동부(16)는 공지의 리니어 모터 또는 모터 구동 기구에 의해 구성된다. 구동부(16)는 광학 헤드(12)를 수직 한 주사 방향(광학 헤드(12)의 광축 방향)인 Z 방향으로, 측정 대상물(W)에 대하여 상대적으로 주사 가능하게 유지한다. 구동부(16)는, 제어 장치(90)의 제어 하에, 측정 대상물(W)에 대하여 광학 헤드(12)를, 설정된 주사 속도 및 주사 방향의 범위에서, 상대적으로 이동시킨다.
- [0045] 또한, 구동부(16)는 측정 대상물(W)에 대하여 광학 헤드(12)를 주사 방향으로 상대적으로 주사 가능하면 되고, 예를 들면, 측정 대상물(W)을 지지하는 스테이지(70)를 주사 방향으로 주사시켜도 된다.
- [0046] 스테이지(70)는 측정 대상물(W)을 지지하는 스테이지면을 갖는다. 스테이지면은 X 방향 및 Y 방향으로 대략 평행한 평탄면으로 구성된다. 스테이지 구동부(74)는 공지의 리니어 모터 또는 모터 구동 기구에 의해 구성되어 있으며, 제어 장치(90)의 제어 하에, 광학 헤드(12)에 대하여 스테이지(70)를 주사 방향에 수직한 면내(面内)(X 방향 및 Y 방향)에서 상대적으로 수평 이동시킨다.
- [0047] 인코더(18)는 측정 대상물(W)에 대한 광학 헤드(12)의 주사 방향 위치를 검출하는 위치 검출 센서이며, 예를 들면, 광학식 리니어 인코더(스케일이라고도 칭함)가 사용된다. 광학식 리니어 인코더는, 예를 들면, 일정 간격으로 슬릿이 형성된 리니어 스케일과, 리니어 스케일을 사이에 두고 대향 배치된 수광 소자 및 발광 소자에 의해 구성된다.
- [0048] <제2 촬상계>
- [0049] 도 3은 제2 촬상계(50)를 설명하기 위한 도면이다. 도 3에 나타내는 바와 같이, 제2 촬상계(50)는 2개의 단안의 카메라(51 및 52)를 구비하고 있으며, 스테레오 카메라를 구성한다. 카메라(51 및 52)는 CCD형 또는 COMS형의 촬상 소자 및 렌즈계를 구비한다. 제2 촬상계(50)의 카메라(51 및 52)는, 제1 촬상계(10)가 측정 대상물(W)을 촬상하는 동안, 측정 대상물(W) 또는 지그(72)를, 복수의 서로 다른 방향으로부터 촬상한다. 제2 촬상계(50)는 촬상한 스테레오 화상(SG)을 제2 촬상 화상으로서 제어 장치(90)에 출력한다. 스테레오 화상(SG)은, 카메라(51)에 의해 촬상된 제1 스테레오 화상(SG1)과, 카메라(52)에 의해 촬상된 제2 스테레오 화상(SG2)으로 구성된다. 스테레오 화상(SG)은 양안 시차를 포함하므로, 스테레오 화상(SG)에 기초하여 제어 장치(90)에서 처리함으로써 입체적인 공간에 있어서의 삼차원 좌표를 취득하는 것이 가능해진다.
- [0050] 전술한 바와 같이, 제1 촬상계(10)는 카메라(14)를 구비하고, 제2 촬상계(50)는 카메라(51 및 52)를 구비한다. 그러나, 카메라(14)와, 카메라(51 및 52)는, 제1 촬상계(10) 및 제2 촬상계(50)의 목적에서, 그 특성이 서로 다르다. 제1 촬상계(10)는 측정 대상물(W)의 미세 형상 및 거칠기를 측정하기 때문에, 카메라(14)는 공간을 변별할 수 있는 높은 분해능을 필요로 한다. 반면, 높은 분해능을 구비하는 카메라(14)의 시야는 좁아지고, 제1 촬상계(10)의 촬상 중에 있어서의 측정 대상물(W)의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 측정하는 것이 곤란하다.
- [0051] 제2 촬상계(50)는 제1 촬상계(10)의 촬상 중에 있어서의 측정 대상물(W)의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 측정하기 때문에, 카메라(51 및 52)는, 카메라(14)에 요구되는 공간을 변별할 수 있는 높은 분해능을 필요로 하지 않는다. 높은 분해능을 필요로 하지 않으므로, 카메라(51 및 52)의 시야는 넓어지고, 제1 촬상계(10)의 촬상 중에 있어서의 측정 대상물(W)의 변위를 검출하는 것이 가능해진다.
- [0052] 따라서, 제1 촬상계(10)와 제2 촬상계(50)는, 그 목적에 따라 특성이 서로 다른 카메라를 사용하고 있다.
- [0053] <제어 장치>
- [0054] 제어 장치(90)는 각종의 프로세서(Processor) 및 메모리 등으로 구성된 연산 회로를 구비한다. 각종의 프로세서에는 CPU(Central Processing Unit), GPU(Graphics Processing Unit), ASIC(Application Specific Integrated Circuit), 및 프로그래머블 논리 디바이스[예를 들면 SPLD(Simple Programmable Logic Devices), CPLD(Complex Programmable Logic Device), 및 FPGA(Field Programmable Gate Arrays)] 등이 포함된다. 또한, 제어 장치(90)의 각종 기능은 하나의 프로세서에 의해 실현되어도 되고, 동종 또는 이종의 복수의 프로세서

서로 실현되어도 된다.

- [0055] 도 4는 제1 실시형태의 표면 형상 측정 장치(1)에 있어서의 제어 장치(90)의 기능 블록도이다. 도 4에 나타내는 바와 같이, 제어 장치(90)에는 제1 촬상계(10)와, 제2 촬상계(50)와, 조작부(91)가 접속되어 있다.
- [0056] 제어 장치(90)는 제1 촬상계 제어부(100)와, 연산부(102)와, 제2 촬상계 제어부(104)와, 변위 검출부(106)와, 기억부(108)와, 제어부(110)와, 보정부(112)와, 교정부(114)와, 측정부(116)를 구비하며, 기억부(108)로부터 읽어들인 도시하지 않은 제어 프로그램을 실행함으로써, 각각의 기능을 실현하여, 처리를 실행한다. 제어부(110)는 제어 장치(90)의 전체의 처리를 제어한다. 또한, 기억부(108)는 각종 프로그램, 측정 결과 등을 기억함과 함께, 후술하는 좌표계 변환 정보를 기억한다. 좌표계 변환 정보는 제2 좌표계로부터 제1 좌표계로의 좌표계 변환 행렬이다. 또한, 좌표계 변환 정보는 제2 좌표계로부터 제1 좌표계로의 좌표계 변환이 가능한 정보이면 특별히 한정되지 않으며, 행렬 이외의 형식이어도 된다. 예를 들면, 수식이나 파라미터 표현 등이어도 된다.
- [0057] 제1 촬상계 제어부(100)는 제1 촬상계(10)의 카메라(14), 구동부(16), 광원부(26), 및 스테이지 구동부(74)를 제어하여, 측정 대상물(W)에 대한 복수의 제1 촬상 화상을 취득한다. 구체적으로는 제1 촬상계 제어부(100)는, 광원부(26)로부터의 측정광(L1)의 출사를 개시시킨 후, 구동부(16)를 제어하여 광학 헤드(12)를 Z 방향으로 주사시킨다. 또한, 제1 촬상계 제어부(100)는, 구동부(16)가 광학 헤드(12)를 Z 방향으로 주사하는 동안, 인코더(18)에 의한 광학 헤드(12)의 Z 방향 위치의 검출 결과에 기초하여, 소정의 촬상 간격마다, 카메라(14)에 측정 대상물(W)을 촬상시키고, 제어 장치(90)에의 제1 촬상 화상의 출력을 반복 실행시킨다.
- [0058] 연산부(102)는, 간섭 무늬가 발생해 있는 제1 촬상 화상의 화소마다의 휘도값을 검출한다. 그리고, 연산부(102)는 각 제1 촬상 화상(카메라(14)의 촬상 소자)의 동일 좌표의 화소마다의 휘도값(간섭 신호)으로부터, 휘도값의 엔벨로프를 비교한다. 연산부(102)는 제1 촬상 화상의 동일 좌표의 화소마다 엔벨로프가 최대가 되는 Z 방향 위치를 결정함으로써, 동일 좌표의 화소마다 측정 대상물(W)의 높이 정보를 연산하여, 측정 대상물(W)의 표면 형상(삼차원 형상)을 산출한다.
- [0059] 제2 촬상계 제어부(104)는, 제2 촬상계(50)의 카메라(51 및 52)를 제어하여, 제1 촬상계(10)와 동기시키고, 측정 대상물(W)을 촬상하고, 제어 장치(90)로, 스테레오 화상(SG)을 제2 촬상 화상으로서 출력한다.
- [0060] 변위 검출부(106)는, 제2 촬상계(50)의 제2 촬상 화상에 기초하여, 측정 대상물(W) 상에 설정된 주목 포인트의 변위 전의 좌표(초기 위치)와 변위 후의 좌표(현재 위치)를 구하고, 초기 위치에 대한 현재 위치의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 나타내는 변위 행렬을 산출(검출)한다.
- [0061] 여기에서, 측정 대상물(W) 상에 설정되는 주목 포인트의 설정 형태로서, (A) 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태와, (B) 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하는 형태가 있다. 이하, 각 형태에 대하여 설명한다.
- [0062] (A) 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태
- [0063] 제1 촬상계(10)가 측정 대상물(W)을 촬상할 때에, 측정 대상물(W)이 충분한 정밀도로 트래킹할 수 있는 특징점을 가진 경우, 그 특징점이 주목 포인트로서 설정된다.
- [0064] 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태에서는, 옵티컬 플로우법에 의해, 제2 촬상계(50)에 의해 촬상된 제2 촬상 화상으로부터 측정 대상물(W)의 변위를 검출할 수 있다.
- [0065] 도 5는 옵티컬 플로우를 설명하기 위한 도면이다. 도 5에 나타내는 바와 같이, 옵티컬 플로우란, 측정 대상물(W) 상의 각 특징점에 대한 변위 벡터이다. 옵티컬 플로우법에서는, 연속하는 촬상 프레임 사이에서 물체의 화면 상에서의 휘도가 변하지 않는 것이나, 인접하는 화소가 보고 있는 측정 대상물(W)의 표면이 같은 방향으로 움직인다는 가정 하에, 그 변위 벡터를 나타내는 이차원 벡터장을 구할 수 있다.
- [0066] 또한, 측정 대상물(W) 상에 특징점을 설정하는 것이 어려운 경우에는, 측정 대상물(W)을 재치하는 지그(72)에 특징점을 설정하고, 옵티컬 플로우법에 의해 지그(72)의 변위를 검출해도 된다. 이 경우에 검출되는 지그(72)의 변위는, 측정 대상물(W)의 변위와 동등한 것으로 간주하는 것이 가능하다.
- [0067] (B) 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하는 형태
- [0068] 제1 촬상계(10)가 측정 대상물(W)을 촬상할 때에, 측정 대상물(W)이 충분한 정밀도로 트래킹할 수 있는 특징점을 가지지 않은 경우에는, 측정 대상물(W)에 마커를 첨부한다. 측정 대상물(W)에 첨부된 마커를 주목 포인트로서 추적하는 것에 의해, 측정 대상물(W)의 상대적인 변위를 검출할 수 있다.

- [0069] 도 6은 마커의 일례를 나타내는 도면이다. 도 6의 6A에서는, 이차원 바코드(75)가 마커로서 측정 대상물(W)에 첨부되어 있다. 이차원 바코드(75)로서, 예를 들면, 도면 중의 우측에 나타내는 QR 코드(등록상표)(76)를 사용할 수 있다. 또한, QR 코드(76) 대신에, 도면 중의 좌측에 나타내는 Data Matrix(등록상표)(77)를 사용할 수도 있다.
- [0070] 도 6의 6B에서는, 마커로서 이차원 바코드(75)가 지그(72)에 첨부되어 있다. 측정 대상물(W)이 소형이고 마커를 첨부할 수 없는 경우, 이차원 바코드(75)를 지그(72)에 첨부함으로써, 측정 대상물(W)의 변위로서, 지그(72)의 변위를 검출해도 된다. 이차원 바코드(75)를 지그(72)에 첨부하는 형태에 있어서도, 이차원 바코드(75)를 측정 대상물(W)에 첨부하는 형태(도 6의 6A)와 마찬가지로, QR 코드(76) 또는 Data Matrix(77)를 사용할 수 있다.
- [0071] 마커의 일례로서, 이차원 바코드(75)를 예시했지만, 단순한 원형 등의 도형을 마커로서 사용해도 된다. 측정 개시 시에 인식한 마커를 추적할 수 있으면, 이차원 바코드(75)여도, 도형이어도 된다.
- [0072] 측정 대상물(W) 상에 주목 포인트를 설정하는 형태로서, 상술한 2가지 형태 (A), (B) 중 어느 하나의 형태가 선택되면, 변위 검출부(106)는, 제2 촬상계(50)의 촬상 결과에 기초하여, 스테레오 카메라 방식에 의해 설정된 주목 포인트의 변위 전후의 좌표(즉, 주목 포인트의 초기 위치와 현재 위치)를 구함으로써, 제1 촬상계(10)의 카메라(14)의 촬상 중에 있어서의 측정 대상물(W)의 변위를 나타내는 변위 행렬을 산출한다. 또한, 이 변위 행렬은, 제2 촬상계(50)의 촬상 결과에 기초하여 산출되는 것이며, 제2 좌표계에 기초하여 정해지는 것이기 때문에, 이하에서는 「제2 좌표계 변위 행렬」이라고 한다.
- [0073] 여기에서, 변위 검출부(106)에 의해 구해지는 제2 좌표계 변위 행렬의 도출 방법에 대하여 설명한다.
- [0074] 제2 촬상계(50)의 카메라(51 및 52)를 사용하여 얻어진, 측정 대상물(W) 상의 각 주목 포인트의 0 프레임의 변위 전의 좌표(초기 위치)를  $P_i(0)$ 로 하고, n 프레임째에 측정했을 때의 변위 후의 좌표(현재 위치)를  $P_i(n)$ 로 하면, 촬상한 제2 촬상 화상으로부터,  $P_i(0)$ 은 이하의 식 (1)에 의해,  $P_i(n)$ 은 이하의 식 (2)에 의해 표현할 수 있다. 첨자 i는 주목 포인트의 위치 번호이며, 괄호 안의 n은 몇 프레임째인지를 나타내고 있다.
- [0075] 
$$P_i(0)=[X_i(0), Y_i(0), Z_i(0), 1]^T \cdots (1)$$
- [0076] 
$$P_i(n)=[X_i(n), Y_i(n), Z_i(n), 1]^T \cdots (2)$$
- [0077] 측정 대상물(W)이 0 프레임째부터 n 프레임째까지 변위(병진 변위 및 회전 변위)의 양을 표현하는 제2 좌표계 변위 행렬을  $M_B(n)$ 로 하면,  $P_i(0)$  및  $P_i(n)$ 은, 이하의 식 (3)에 의해 표현할 수 있다.
- [0078] 
$$P_i(n)=M_B(n)P_i(0) \cdots (3)$$
- [0079] 그 때문에, 4점 이상의 주목 포인트에 대해서, 각각 변위 전후의 좌표로서  $P_i(0)$ 과  $P_i(n)$ 의 변화를 알아냄으로써, 이하의 식 (4)가 성립한다.
- [0080] 
$$[P_0(n), P_1(n), \dots, P_M(n)]=M_B(n)[P_0(0), P_1(0), \dots, P_M(0)] \cdots (4)$$
- [0081] 그리고, 식 (4)를  $M_B(n)$ 에 대해서 푸는 것에 의해, 측정 대상물(W)의 변위(병진 변위 및 회전 변위)의 양을 표현하는 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 을 구할 수 있다.
- [0082] 이상과 같은 도출 방법을 이용하여, 변위 검출부(106)는, 제2 촬상계(50)의 카메라(51 및 52)를 사용하여 얻어진, 측정 대상물(W)에 설정한 4점 이상의 주목 포인트의 변위 전후의 좌표(초기 위치와 현재 위치)를 구하고, 그 구해진 결과로부터, 측정 대상물(W)의 변위(병진 변위 및 회전 변위)의 양을 표현하는 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 을 산출(검출)한다. 또한, 변위 검출부(106)에 의해 산출되는 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 은, 제2 촬상계(50)의 제2 좌표계에 기초하는 것이다.
- [0083] 보정부(112)는, 변위 검출부(106)가 산출한 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 을 사용하여, 연산부(102)가 산출한 측정 대상물(W)의 표면 형상을 보정한다.
- [0084] 보정부(112)는, 기억부(108)에 기억되어 있는 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ (좌표계 변환 정보)을 취득한다. 좌표계 변

환 행렬  $M_{ct}$ 은, 제2 촬상계(50)의 제2 좌표계를 제1 촬상계(10)의 제1 좌표계로 변환하기 위한 행렬이다. 또한, 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 은, 사전 준비의 교정에 의해 취득된 것이며, 측정 대상물(W)의 측정 시에는 기억부(108)에 기억되어 있다. 또한, 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 에 대해서는 후술한다.

[0085] 보정부(112)는, 보정 후의 좌표군을  $P_i$ 로 하면, 측정 대상물(W)의 표면의 좌표군  $P_i(n)$ 과, 변위 검출부(106)가 검출한 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 과, 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 으로부터, 이하의 식 (5)에 의해 보정 후의 좌표군  $P_i$ 를 산출한다. 여기에서, 좌표군  $P_i(n)$ 은 제1 촬상계(10)가 촬상한 N 프레임체의 촬상 화상으로부터 연산부(102)에 의해 산출된 측정 대상물(W)의 표면의 좌표군이다.

[0086] 
$$P_i = M_{ct} M_B(n) P_i(n) \dots (5)$$

[0087] 이와 같이 해서 보정부(112)에서 산출된 보정 후의 좌표군  $P_i$ 는, 제1 촬상계(10)의 촬상 중에 측정 대상물(W)에 발생한 변위(병진 변위 및 회전 변위)에 의한 오차가 보정된 것으로 된다.

[0088] <표면 형상 측정 방법>

[0089] 다음으로, 상기와 같이 구성된 표면 형상 측정 장치(1)를 사용하여 행해지는 표면 형상 측정 방법에 대하여 설명한다. 도 7은 표면 형상 측정 방법의 일례를 나타내는 플로우차트 도면이다. 도 7에 나타낸 표면 형상 측정 방법은, 주로, 사전 준비 공정(스텝 S1~스텝 S7)과, 측정 공정(스텝 S8~스텝 S14)으로 대별된다. 이하, 각 공정에 대하여 설명한다.

[0090] <사전 준비 공정>

[0091] 본 실시형태에 있어서의 표면 형상 측정 방법에서는, 측정 공정이 행해지기 전에 사전 준비 공정이 행해진다. 사전 준비 공정에서는, 제2 촬상계(50)의 제2 좌표계를 제1 촬상계(10)의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보(좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ )를 취득하기 위한 교정 작업이 행해진다.

[0092] 도 8은 사전 준비 공정에서 행해지는 교정 작업에 대하여 설명하기 위한 도면이다. 도 8에 나타내는 바와 같이, 교정 작업을 행할 경우에는, 측정 대상물(W) 대신에 교정 타겟(80)을 설치한다(스텝 S1: 교정 타겟 설치 공정). 본 예에 있어서의 교정 타겟(80)에는, Z 방향 상향의 면(제1 촬상계(10)에 대항하는 피(被)측정면)에 4개의 반구(半球)(82)가 마련됨과 함께, 측면(제2 촬상계(50)에 대항하는 면)에는 QR 코드(84)가 첨부되어 있다. 4개의 반구(82)는 제1 촬상계(10)의 교정용이고, QR 코드(84)는 제2 촬상계(50)의 교정용이다.

[0093] 다음으로, 측정 대상물(W)의 측정 시와 마찬가지로 해서, 교정 타겟(80)에 대한 측정을 행한다(스텝 S2: 교정 타겟 측정 공정). 구체적으로는, 교정부(114)는, 제1 촬상계 제어부(100)를 제어하여, 교정 타겟(80)에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 촬상 간격마다 교정 타겟(80)을 제1 촬상계(10)에 의해 촬상함과 함께, 제2 촬상계 제어부(104)를 제어하여, 제1 촬상계(10)와 동기하면서, 교정 타겟(80)을 제2 촬상계(50)에 의해 촬상한다.

[0094] 다음으로, 교정부(114)는, 교정 타겟(80)에 대한 측정 회수가 2회째인지의 여부를 판단한다(스텝 3: 교정 타겟 판정 공정). 교정 타겟(80)에 대한 측정 횟수가 1회째인 경우(스텝 S3에서 No인 경우), 스텝 S2부터 스텝 S3까지의 처리를 반복한다. 한편, 교정 타겟(80)에 대한 측정 횟수가 2회째인 경우(스텝 S3에서 Yes인 경우), 다음의 스텝 S4로 진행한다. 또한, 본 예에서는 교정 타겟(80)에 대한 측정은 2회 반복 행해지지만, 3회 이상 반복 행해져도 상관없다. 유저는 교정 타겟 판정 공정에 있어서의 측정 횟수를 임의(2회 이상)로 설정할 수 있다.

[0095] 또한, 스텝 S2가 실시되고 있는 동안(즉, 교정 타겟(80)에 대한 측정이 행해지는 동안)은, 교정 타겟(80)에는 병진 변위와 회전 변위가 함께 발생하고 있는 것으로 한다.

[0096] 다음으로, 교정부(114)는, 연산부(102)를 제어하여, 제1 촬상계(10)의 촬상 결과에 기초하여, 교정 타겟(80)에 미리 정해진 4개의 교정 기준 위치(삼차원 좌표)를 산출하여 기억한다(스텝 S4: 제1 촬상계 교정 기준 위치 산출 공정). 본 예에서는, 상술한 바와 같이 교정 타겟(80)에는 4개의 반구(82)가 형성되어 있고, 교정부(114)는, 4개의 교정 기준 위치  $c_i(n)$ 으로서, 4개의 반구(82)의 각 중심 좌표 위치를 측정 횟수마다 구한다. 또한, 「 $c_i(n)$ 」의 첨자  $i$ 는 교정 기준 위치의 번호(1~4)를 나타내고, 괄호 안의  $n$ 은 측정 횟수(1~2)를 나타내고 있다.

- [0097] 여기에서, 1회째의 측정에서 얻어진 각 교정 기준 위치의 삼차원 좌표를  $c_i(0)$ 으로 하고, 2회째의 측정에서 얻어진 각 교정 기준 위치의 삼차원 좌표를  $c_i(1)$ 로 했을 경우, 이하의 식 (6)이 성립한다.
- [0098]  $[c_0(1), c_1(1), c_2(1), c_3(1)] = M_A [c_0(0), c_1(0), c_2(0), c_3(0)] \cdots (6)$
- [0099]  $M_A$ 은 제1 촬상계(10)가 고유로 가진 제1 좌표계 내에서의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 표현하는 변위 행렬(이하, 「제1 좌표계 변위 행렬」이라고 함)이다. 즉, 이 제1 좌표계 변위 행렬  $M_A$ 은, 1회째의 측정과 2회째의 측정 사이에 교정 타겟(80)이 변위했을 경우에, 1회째의 측정에서 얻어진 제1 촬상계(10)의 좌표값과, 2회째의 측정에서 얻어진 제1 촬상계(10)의 좌표값의 상관 관계를 나타내는 행렬이다.
- [0100] 교정부(114)는, 상기와 같이 1회째와 2회째의 측정에서 얻어진 각 교정 기준 위치의 삼차원 좌표에 의해 정해지는 식 (6)을  $M_A$ 에 대해서 푸는 것에 의해, 제1 좌표계 내에서의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 표현하는 제1 좌표계 변위 행렬로서  $M_A$ 을 구한다.
- [0101] 다음으로, 교정부(114)는, 변위 검출부(106)를 제어하여, 제2 촬상계(50)의 촬상 결과에 기초하여, 교정 타겟(80)에 미리 정해진 복수의 교정 기준 위치(삼차원 좌표)를 산출하여 기억한다(스텝 S5: 제2 촬상계 교정 기준 위치 산출 공정).
- [0102] 본 예에서는, 상술한 바와 같이 교정 타겟(80)의 측면에는 QR 코드(84)가 형성되어 있으며, 교정부(114)는, 교정 기준 위치로서, QR 코드(84)에 의해 정해지는 4개의 교정 기준 위치  $d_i(n)$ 을 측정 횟수마다 구한다. 또한, 「 $d_i(n)$ 」의 첨자  $i$ 는 교정 기준 위치의 번호(1~4)를 나타내고, 괄호 안의  $n$ 은 측정 횟수(1~2)를 나타내고 있다.
- [0103] 여기에서, 1회째의 측정에서 얻어진 각 교정 기준 위치의 삼차원 좌표를  $d_i(0)$ 로 하고, 2회째의 측정에서 얻어진 각 교정 기준 위치의 삼차원 좌표를  $d_i(1)$ 로 했을 경우, 이하의 식 (7)이 성립한다.
- [0104]  $[d_0(1), d_1(1), d_2(1), d_3(1)] = M_B [d_0(0), d_1(0), d_2(0), d_3(0)] \cdots (7)$
- [0105]  $M_B$ 은 제2 촬상계(50)가 고유로 가진 제2 좌표계 내에서의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 표현하는 제2 좌표계 변위 행렬이다. 즉, 이 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B$ 은, 1회째의 측정과 2회째의 측정 사이에 교정 타겟(80)이 변위했을 경우에, 1회째의 측정에서 얻어진 제2 촬상계(50)의 좌표값과, 2회째의 측정에서 얻어진 제2 촬상계(50)의 좌표값의 상관 관계를 나타내는 행렬이다.
- [0106] 교정부(114)는 상기와 같이 1회째와 2회째의 측정에서 얻어진 각 교정 기준 위치의 삼차원 좌표에 의해 정해지는 식 (7)을  $M_B$ 에 대해서 푸는 것에 의해, 제2 촬상계(50) 내에서의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 표현하는 제2 좌표계 변위 행렬로서  $M_B$ 을 구한다.
- [0107] 이와 같이 해서 구해진 제1 좌표계 변위 행렬  $M_A$ 과 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B$ 은 동일한 교정 타겟(80)을 서로 다른 좌표계에서 보았을 때의 변위 행렬이기 때문에, 이하의 식 (8)이 성립한다.
- [0108]  $M_A = M_{ct} M_B \cdots (8)$
- [0109] 여기에서,  $M_{ct}$ 은 제2 촬상계(50)의 제2 좌표계를 제1 촬상계(10)의 제1 좌표계로 변환하기 위한 변환 행렬이다. 즉, 이 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 을 사용함으로써, 후술하는 바와 같이(식 (9) 참조), 제2 촬상계(50)에서 얻어진 측정 대상물(W)의 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 제2 좌표계로부터 제1 좌표계로 변환하는 것이 가능해진다.
- [0110] 교정부(114)는, 식 (8)로부터 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 을 구하고, 그 결과를 기억부(108)에 기억한다(스텝 S6: 변환 행렬 산출 공정, 스텝 S7: 변환 행렬 기억 공정).
- [0111] 이상과 같이 해서 사전 준비 공정이 종료된다. 또한, 이미, 교정부(114)에 의해 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 이 구해지고, 그 결과가 기억부(108)에 기억되어 있을 경우에는, 반드시 사전 준비 공정을 행하지 않아도 된다. 즉, 전회(前回)의 교정 작업이 행해지고 나서 제1 촬상계(10)와 제2 촬상계(50)의 상대 위치가 변하지 않은 경우(예를 들면, 후술하는 측정 공정이 이어서 행해지는 경우 등), 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 은 일정하게 유지되기 때문에,

상술한 교정 작업을 생략하는 것이 가능하며, 측정이 행해질 때마다 교정 작업을 행할 필요는 없다.

[0112] <측정 공정>

[0113] 도 1에 나타내는 바와 같이, 측정 대상물(W)을 표면 형상 측정 장치(1)의 측정 위치에 설치한다(스텝 S8: 측정 대상물 설치 공정). 또한, 측정 대상물(W)은 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태여도, 마커를 첨부하는 형태의 어느 것이어도 된다. 또한, 측정 대상물(W)은 지그(72)에 재치되어도 되고, 재치되어 있지 않아도 된다.

[0114] 다음으로, 설치된 측정 대상물(W)에 대한 측정을 행한다(스텝 S9: 측정 대상물 측정 공정). 구체적으로는, 측정부(116)는, 제1 촬상계 제어부(100)를 제어하여, 측정 대상물(W)에 대하여 수직 방향으로 상대적으로 주사하면서 소정의 촬상 간격마다 측정 대상물(W)을 제1 촬상계(10)에 의해 촬상함과 함께, 제2 촬상계 제어부(104)를 제어하여, 제1 촬상계(10)와 동기하면서, 측정 대상물(W)을 제2 촬상계(50)에 의해 촬상한다.

[0115] 다음으로, 연산부(102)는 측정 대상물(W)의 표면 형상을 산출한다(스텝 S10: 표면 형상 산출 공정). 구체적으로는, 연산부(102)는, 제1 촬상계(10)의 촬상 결과로부터 측정 대상물(W)의 측정면의 삼차원 형상(표면 형상)의 측정을 행하고, 측정 대상물(W)의 표면의 좌표군  $P_i(n)$ 을 산출한다.

[0116] 다음으로, 변위 검출부(106)는, 제2 촬상계(50)의 촬상 결과로부터 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 을 산출한다(스텝 S11: 제2 좌표계 변위 행렬 산출 공정). 구체적으로는, 변위 검출부(106)는, 식 (1) 내지 식 (4)에 기초하여, 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 을 산출한다.

[0117] 다음으로, 보정부(112)는, 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 을 기억부(108)로부터 취득한다(스텝 S12: 좌표계 변환 행렬 취득 공정). 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 은 사전 준비 공정에서 취득되며, 기억부(108)에 기억되어 있다.

[0118] 다음으로, 보정부(112)는, 좌표계 변환 행렬  $M_{ct}$ 과 제2 좌표계 변위 행렬  $M_B(n)$ 으로부터, 제1 좌표계 변위 행렬  $M_A(n)$ 을 산출한다(스텝 S13: 제1 좌표계 변위 행렬 산출 공정). 구체적으로는, 보정부(112)는, 이하의 식 (9)로부터 제1 좌표계 변위 행렬  $M_A(n)$ 을 산출한다.

[0119] 
$$M_A = M_{ct} M_B \cdots (9)$$

[0120] 다음으로, 보정부(112)는, 제1 좌표계 변위 행렬  $M_A(n)$ 을 사용하여 측정 대상물의 표면 형상을 보정한다(스텝 S14: 보정 공정). 구체적으로는, 보정부(112)는, 보정 후의 좌표군  $P_i$ 를 좌표군  $P_i(n)$ 과 제1 좌표계 변위 행렬  $M_A(n)$ 으로부터 이하의 식 (10)에 의해 산출한다. 보정 후의 좌표군  $P_i$ 를 산출할 수 있으면 처리를 종료한다.

[0121] 
$$P_i = M_A(n) P_i(n) \cdots (10)$$

[0122] 본 실시형태에서는, 제1 촬상계(10)가 촬상한 제1 촬상 화상으로부터 연산한 측정 대상물(W)의 표면 형상을, 제1 촬상계(10)와는 별체인 제2 촬상계(50)가 촬상한 제2 촬상 화상에 기초하여 검출한 측정 대상물(W)의 변위와, 제2 촬상계(50)의 제2 좌표계를 제1 촬상계(10)의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보로부터 보정하므로, 정밀도가 높은 표면 형상의 측정이 가능하다.

[0123] <제2 실시형태>

[0124] 제2 실시형태에 대하여 도면을 참조해서 설명한다. 또한, 상술한 제1 실시형태와 동일한 작용을 발휘하는 부분에는, 동일한 부호를 부여하는 것에 의해 그 부분의 상세한 설명을 생략하고, 주로 다른 실시형태와 다른 점을 설명한다.

[0125] 도 9는 측정 대상물(W)의 표면 형상을 측정하는 표면 형상 측정 장치(2)의 개략도이다. 또한, 제2 실시형태의 표면 형상 측정 장치(2)는, 제1 실시형태의 표면 형상 측정 장치(1)와는, 제2 촬상계(50)의 구성이 다르다. 제2 실시형태의 제2 촬상계(50)는, 1대의 카메라(53)(단안의 카메라)로 구성되며, 촬상 지시에 따라 1매의 화상(G)을 제2 촬상 화상으로서 촬상하여, 제어 장치(90)로 출력한다. 제2 실시형태는, 설치 스페이스의 제한에 따라서는 1대의 카메라를 구비한 구성밖에 선택할 수 없는 경우에, 특히 유용하다. 또한, 제1 실시형태와 제2 실시형태에서는, 변위 검출부(106)의 처리가 서로 다르다.

[0126] 제2 실시형태의 제1 촬상계(10) 및 연산부(102)는 제1 실시형태와 마찬가지로이다. 제2 실시형태에서도, 제1 실

시형태와 마찬가지로, 측정 대상물(W) 상에 주목 포인트를 설정하는 형태로서, 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하는 형태와, 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태를 선택할 수 있다.

[0127] 변위 검출부(106)는, 제2 실시형태에서는, 예를 들면, 이하의 수순으로 변위(병진 변위 및 회전 변위)를 검출한다.

[0128] 제2 촬상계(50)의 카메라(53)를 사용하여 얻어진, 측정 대상물(W) 상의 각 주목 포인트의 0 프레임의 변위 전의 좌표(초기 위치)를  $p_i(0)$ 로 하고, n 프레임째에 측정했을 때의 변위 후의 좌표(현재 위치)를  $p_i(n)$ 으로 하면, 제2 촬상계(50)의 카메라(53)가 촬상한 제2 촬상 화상으로부터,  $p_i(0)$ 은 이하의 식 (11)에 의해,  $p_i(n)$ 은 이하의 식 (12)에 의해 표현할 수 있다. 첨자 i는 주목 포인트의 위치 번호이며, 괄호 안의 n은 몇 프레임째인지를 나타내고 있다.

[0129] 
$$p_i(0)=[x_i(0), y_i(0), 1]^T \cdots (11)$$

[0130] 
$$p_i(n)=[x_i(n), y_i(n), 1]^T \cdots (12)$$

[0131] 변위 전의 좌표  $p_i(0)$  및 변위 후의 좌표  $p_i(n)$ 은, 1대의 카메라(53)에 의해 촬상된 화상(제2 촬상 화상)의 화상 내에서의 이차원 좌표로서 취득된다. 그 때문에, 제1 실시형태와는 다르게 이하의 처리가 필요하게 된다.

[0132] 우선 삼차원 공간의 점  $P_i(n)$ 을 카메라(53)가 촬상하여 이차원의 화상 상의 점  $p_i(n)$ 에 투영하는 경우를 생각한다. 삼차원 공간의  $P_i(n)$ 을 이차원의  $p_i(n)$ 에 투영하는 행렬을  $A[R(n)|t(n)]$ 로 하면,  $P_i(n)$  및  $p_i(n)$ 에 관해서 이하의 식 (13)이 성립한다.

[0133] 
$$p_i(n)=A[R(n)|t(n)]P_i(n) \cdots (13)$$

[0134] 여기에서, A는 내부 파라미터 또는 카메라 행렬이라고 불리며, 렌즈의 초점 거리나 촬상 소자의 픽셀수에 의존한 고유의  $3 \times 3$ 의 행렬이다.  $R(n)$ 은 회전 변위를 나타내는  $3 \times 3$ 의 행렬이고,  $t(n)$ 은 병진 변위를 나타내는  $3 \times 1$ 의 벡터이다. 여기에서,  $[R(n)|t(n)]$ 은 삼차원 공간 상에서의 회전 변위와 병진 변위를 표현하는  $3 \times 4$ 의 회전 병진 행렬이 된다.

[0135] 카메라 행렬 A는 일반적으로 이하의 식 (14)에 의해 표시되며, 삼차원 공간으로부터 이차원에서의 사상(寫像)을 표현한다.

[0136] [수학식 1]

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdots (14)$$

[0137]

[0138] 또한,  $R(n)$ 은  $\theta$  등을 사용하여 표현하면, 일반화해서 이하의 식 (15)와 같이 각 축 둘레의 회전 행렬의 곱이 된다.

[0139] 
$$R(n)=R_x(\alpha)R_y(\beta)R_z(\gamma) \cdots (15)$$

[0140]  $R_x(\alpha)$ ,  $R_y(\beta)$  및  $R_z(\gamma)$ 의 각각의 각도를  $\theta$ 로 하면, 이하의 식 (16)에 의해 표현할 수 있다.

[0141] [수학식 2]

$$\begin{aligned}
 R_x(\theta) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \\
 R_y(\theta) &= \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad \dots (16) \\
 R_z(\theta) &= \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

[0142]

[0143] 또한,  $t(n)$ 은 병진 변위를 나타내는  $3 \times 1$ 의 벡터이므로 이하의 식 (17)에 의해 표현할 수 있다.

[0144]  $t(n)=[x, y, z]^T \dots (17)$

[0145] 따라서, 식 (13)은, 삼차원 공간 상의 점을 이차원으로 사상하는 행렬이 된다.

[0146] 다음으로, 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하는 형태와 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태에 대하여, 각각 설명한다.

[0147] 우선, 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하는 형태에 대하여 설명한다. 카메라 행렬 A는 기지(既知)의 카메라 캘리브레이션이라고 불리는 방법에 의해 사전에 구할 수 있다. 그 때문에, 마커를 사용할 경우에는, 삼차원 공간의  $P_i(n)$  및 이차원의  $p_i(n)$ 은 기지의 값이 된다. 그 결과, 식 (13)에 있어서, 미지수는  $R(n)$  및  $t(n)$ 이 되고, 이하의 식 (18)이 성립한다.

[0148]  $A^{-1}[p_0(n), p_1(n), \dots, p_i(n)]=[R(n)|t(n)][P_0(n), P_1(n), \dots, P_i(n)] \dots (18)$

[0149] 그리고, 식 (18)을  $[R(n)|t(n)]$ 에 대해서 푸는 것에 의해, 회전 병진 행렬  $[R(n)|t(n)]$ 을 구할 수 있다.

[0150] 다음으로, 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태에 대하여 설명한다. 마커를 사용하지 않는 형태의 경우에는, 식 (13)에 있어서, 미지수는  $R(n)$  및  $t(n)$ 에 더하여,  $P_i(n)$ 도 미지수로서 포함되기 때문에, 식 (13)을 직접 풀 수 없다. 그 결과, 회전 병진 행렬  $[R(n)|t(n)]$ 을 직접 구할 수 없다.

[0151] 그래서, 번들 조정 방식을 적용함으로써,  $n=0$ 으로부터의 상대적인  $R(n)$ ,  $t(n)$  및  $P_i(n)$ 을 구한다. 또한, 번들 조정 방식은 기지의 기술(이와모토 유키, 스가야 야스유키, 가나야 켄이치. "3차원 복원을 위한 번들 조정의 실장과 평가." 컴퓨터 비전과 이미지 미디어(CVIM) 2011.19(2011): 1-8.)로서 존재한다.

[0152] 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하는 형태 및 측정 대상물(W)에 마커를 첨부하지 않는 형태의 어느 것에 있어서도, 회전 병진 행렬  $[R(n)|t(n)]$ 을 구할 수 있다. 그리고, 상술한 방법에 의해 얻어진 회전 병진 행렬  $[R(n)|t(n)]$ 을 사용하여, 변위 검출부(106)는, 측정 대상물(W)의 변위(병진 변위 및 회전 변위)로서, 이하의 식 (19)에 의해, 제2 좌표계 변위 행렬  $M_b(n)$ 을 산출(검출)한다.

[0153]  $M_b(n)=[R(n)|t(n); 0|1]^{-1} \dots (19)$

[0154] 제1 실시형태와 마찬가지로, 보정부(112)는, 변위 검출부(106)가 산출한 제2 좌표계 변위 행렬  $M_b(n)$ 과, 기억부(108)에 기억되어 있는 좌표계 변환 행렬  $M_c$ 을 사용하여, 연산부(102)가 산출한 측정 대상물(W)의 표면 형상을 보정한다. 구체적으로는, 보정부(112)는, 이하의 식 (20)에 의해, 측정 대상물(W)의 표면의 좌표군  $P_i(n)$ 에 대하여 보정 후의 좌표군  $P_i$ 를 산출한다.

[0155]  $P_i = M_{c_i} M_B(n) P_i(n) \cdots (20)$

[0156] 제2 실시형태에서도, 제1 실시형태와 마찬가지로 사전 준비 공정이 실시된다. 제2 실시형태에서는, 제1 실시형태와는 다르게, 사전 준비 공정에서는 도 9에 나타내는 표면 형상 측정 장치(2)가 적용된다.

[0157] 제2 촬상계(50)가 1대의 카메라(53)로 구성되는 제2 실시형태에 있어서도, 제1 실시형태와 마찬가지로, 제1 촬상계(10)가 촬상한 제1 촬상 화상으로부터 연산한 측정 대상물(W)의 표면 형상을, 제1 촬상계(10)와는 별체인 제2 촬상계(50)가 촬상한 제2 촬상 화상에 기초하여 검출한 측정 대상물(W)의 변위와, 제2 촬상계(50)의 제2 좌표계를 제1 촬상계(10)의 제1 좌표계로 변환하기 위한 좌표계 변환 정보로부터 보정하므로, 정밀도가 높은 표면 형상의 측정이 가능하다.

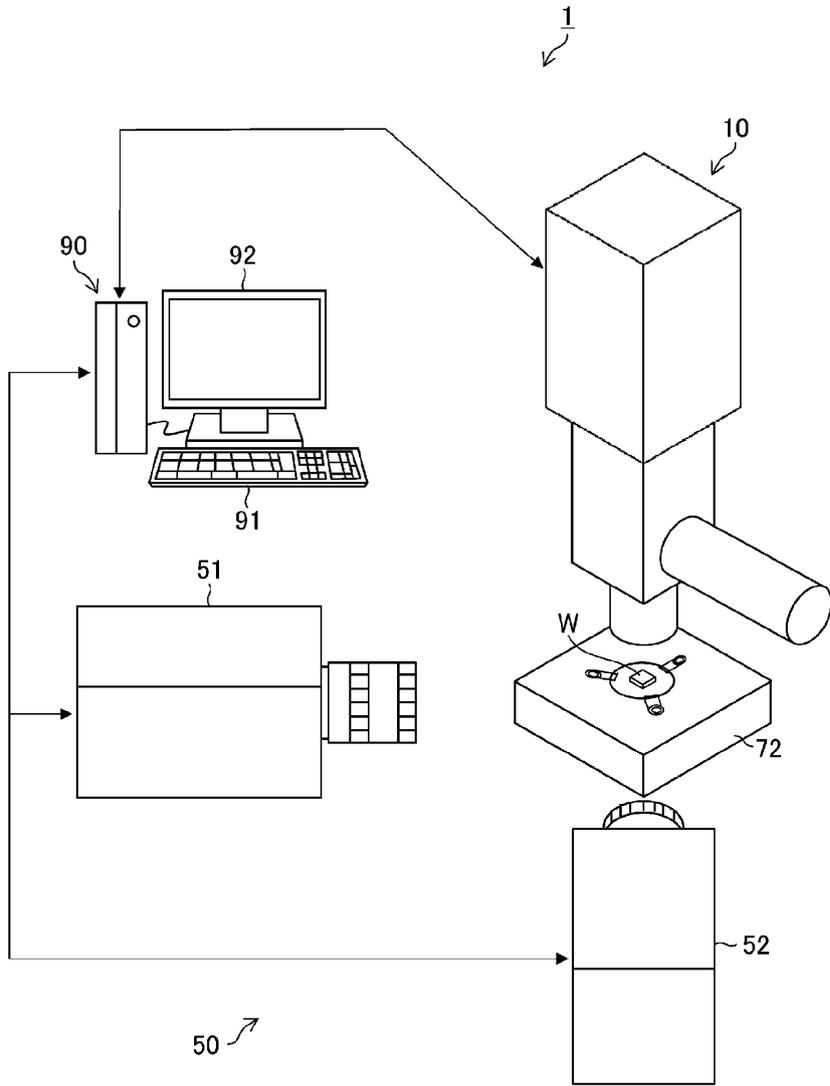
[0158] 또한, 제1 촬상계(10)의 광학 헤드(12)가 마이클슨형의 백색 간섭 현미경인 경우를 설명했지만, 미라우형의 백색 간섭 현미경이어도, 리닉형의 백색 간섭 현미경이어도 된다. 또한, 광학 헤드(12)는 레이저 공초점 방식, 또는 합초점 방식 중 어느 하나의 방식의 현미경이어도 된다.

### 부호의 설명

[0159] 1…표면 형상 측정 장치, 2…표면 형상 측정 장치, 10…제1 촬상계, 12…광학 헤드, 14…카메라, 16…구동부, 18…인코더, 26…광원부, 28…빔 스플리터, 30…간섭 대물렌즈, 30A…대물렌즈, 30B…빔 스플리터, 30C…참조면, 32…결상 렌즈, 50…제2 촬상계, 51, 52, 53…카메라, 70…스테이지, 72…지그, 74…스테이지 구동부, 75…이차원 바코드, 76…QR 코드, 77…Date Matrix, 80…교정 타겟, 82…반구, 84…QR 코드, 90…제어 장치, 91…조작부, 92…표시부, 100…제1 촬상계 제어부, 102…연산부, 104…제2 촬상계 제어부, 106…변위 검출부, 108…기억부, 110…제어부, 112…보정부, 114…교정부, 116…측정부, W…측정 대상물

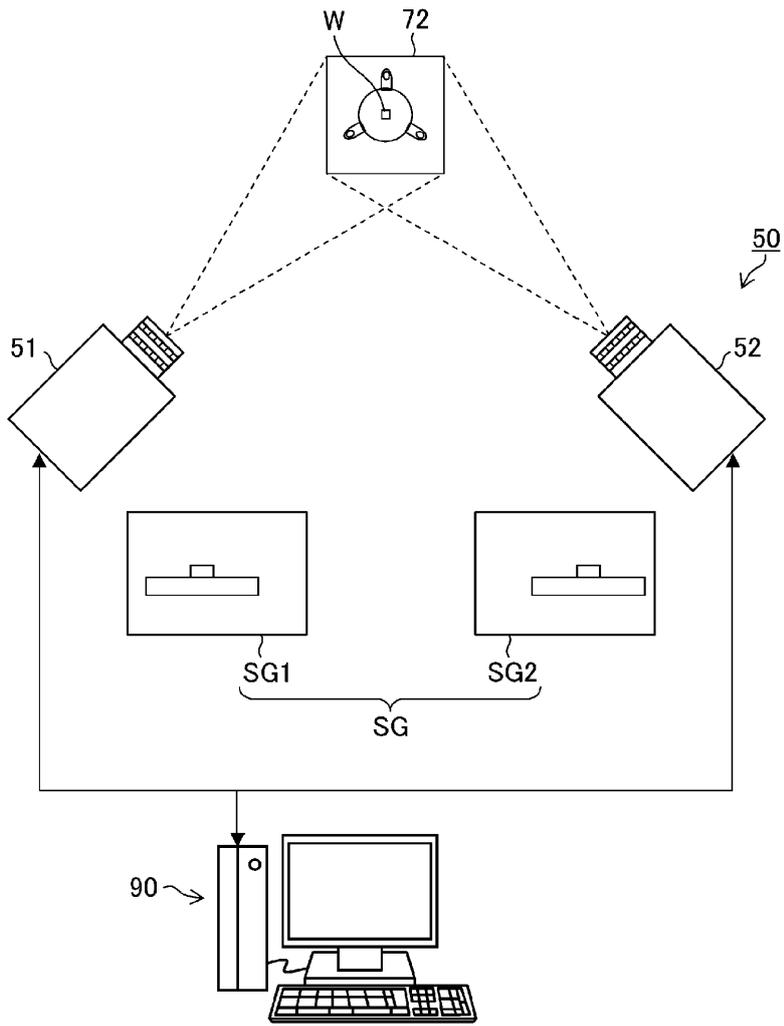
도면

도면1

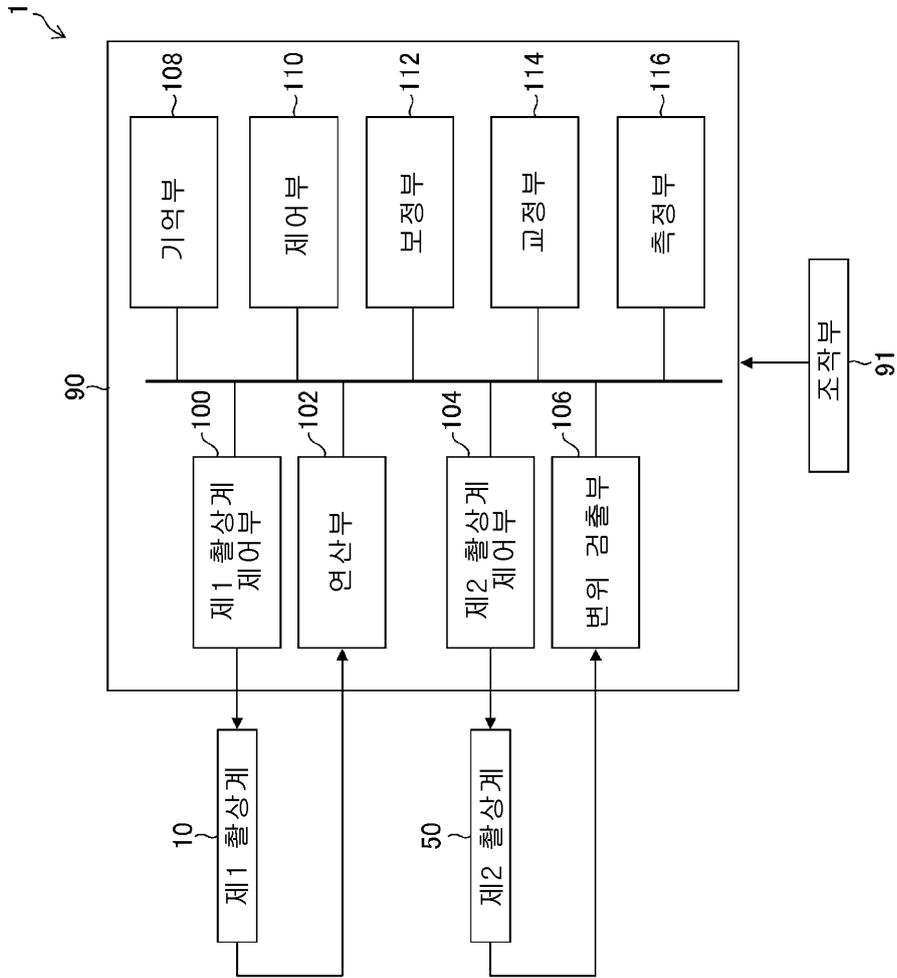




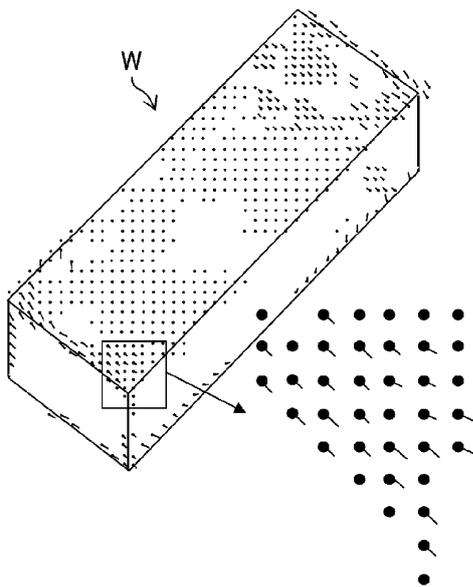
도면3



도면4

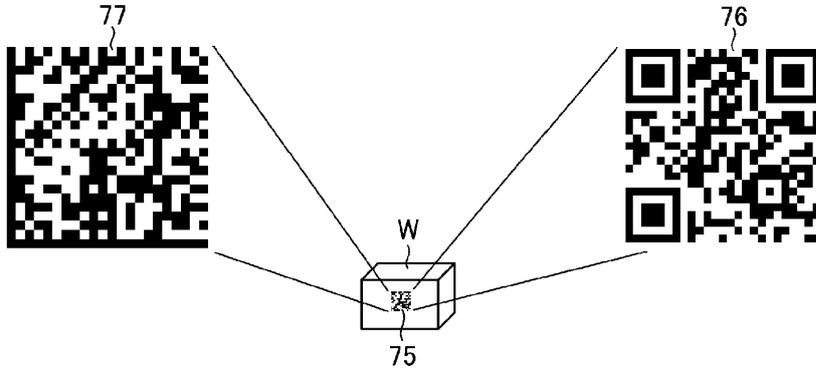


도면5

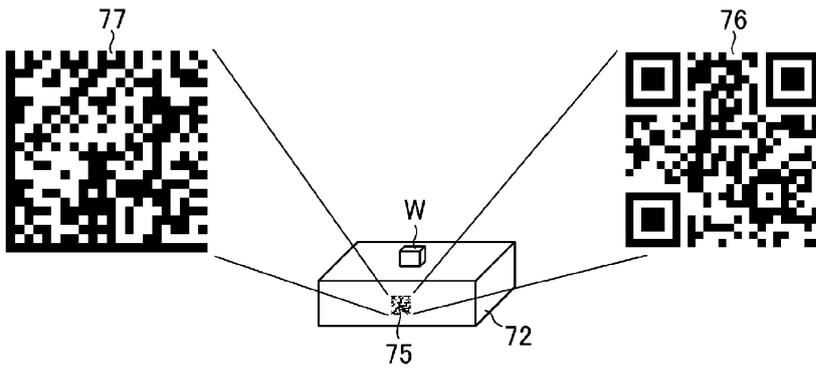


도면6

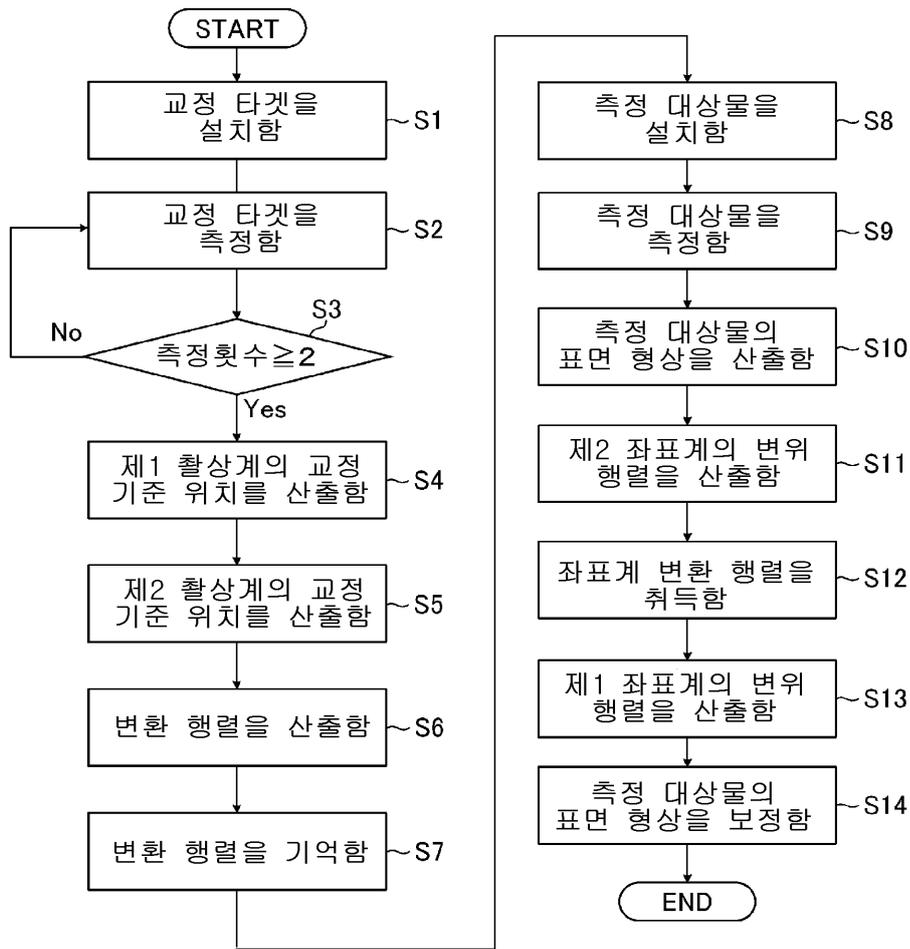
6A



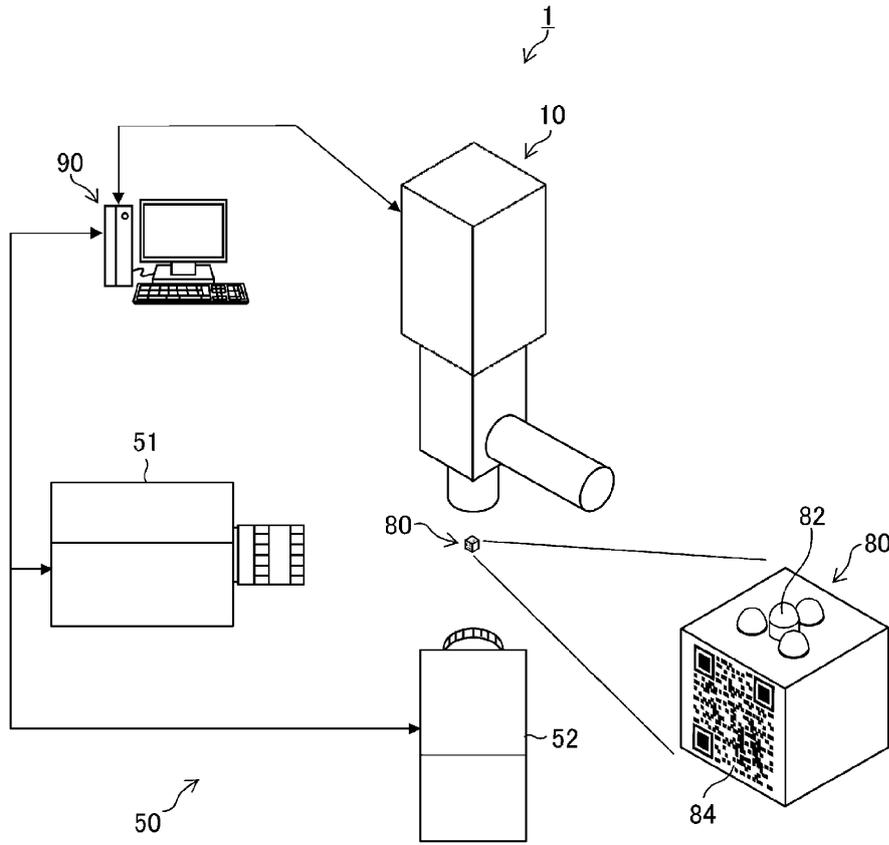
6B



도면7



도면8



도면9

