



등록특허 10-2804834



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년05월09일  
(11) 등록번호 10-2804834  
(24) 등록일자 2025년05월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*B65G 54/02* (2006.01) *B65G 43/08* (2006.01)  
*H02P 25/06* (2016.01)

(52) CPC특허분류  
*B65G 54/02* (2013.01)  
*B65G 43/08* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0009878

(22) 출원일자 2021년01월25일  
심사청구일자 2022년07월25일

(65) 공개번호 10-2021-0101134

(43) 공개일자 2021년08월18일

(30) 우선권주장  
JP-P-2020-019842 2020년02월07일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌  
JP09017846 A\*  
JP2003052164 A\*  
JP2004254489 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
개논 가부시끼가이샤  
일본 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30방 2고

(72) 발명자  
야마모토 타케시  
일본국 도쿄도 오오따꾸 시모마루꼬 3조메 30방  
2고 개논 가부시끼가이샤 나이

(74) 대리인  
권태복

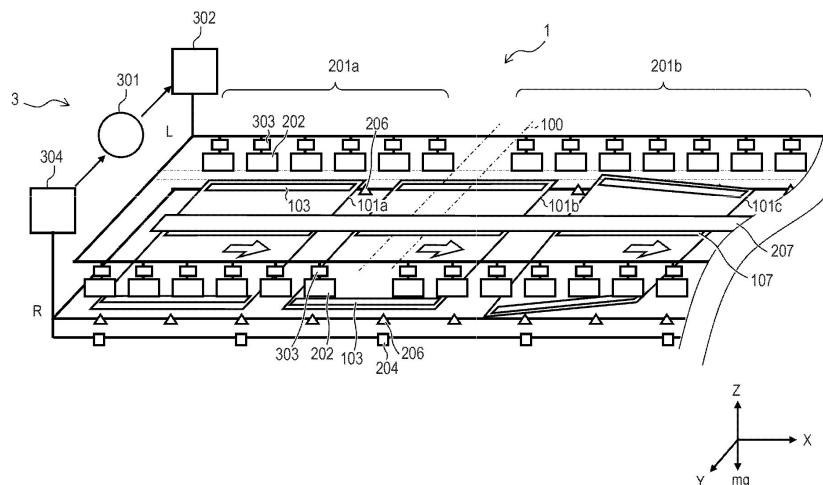
전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 탁현석

## (54) 발명의 명칭 반송 시스템

**(57) 요약**

반송 시스템은, 반송 방향으로 이동가능한 가동자와, 반송 방향으로 배치된 복수의 코일들을 갖고, 전류가 인가되는 복수의 코일들을 사용하여 가동자에 힘을 인가하는 고정자와, 반송 방향으로 이동하는 가동자의 위치 및 자세를 취득하는 취득부와, 가동자의 위치 및 자세에 근거하여, 복수의 코일들에 인가된 전류를 결정하고 힘을 제어하는 제어부를 구비한다.

**대 표 도**

(52) CPC특허분류

*H02K 41/031* (2013.01)

*H02P 25/06* (2021.08)

*B65G 2201/02* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

삭제

#### 청구항 2

반송 방향으로 이동가능한 가동자와,

반송 방향으로 배치된 복수의 코일들을 갖고, 전류가 인가되는 복수의 코일들을 사용하여 가동자에 힘을 인가하는 고정자와,

반송 방향으로 이동하는 가동자의 위치 및 자세를 취득하는 취득부와,

가동자의 취득한 위치 및 취득한 자세에 근거하여, 복수의 코일들에 인가된 전류에 의해 힘을 제어하는 제어부를 구비하고,

상기 취득부는, 위치 및 자세로서,

반송 방향인 제1 방향의 변위와,

제1 방향과 교차하는 제2 방향의 변위, 제1 방향 및 제2 방향과 교차하는 제3 방향의 변위, 제1 방향을 따른 축 주위의 제4 방향의 변위, 제2 방향을 따른 축 주위의 제5 방향의 변위와, 제3 방향을 따른 축 주위의 제6 방향의 변위 중 적어도 1개를 취득하고,

상기 가동자는, 제1 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 제1 영구자석 열과, 제3 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 제2 영구자석 열을 포함하는 영구자석 열들을 갖고,

상기 복수의 코일들은 제1 영구자석 열 및 제2 영구자석 열과 대향하고,

상기 제어부는, 복수의 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 제1 내지 제6 방향의 각 성분 중 적어도 1개를 제어하며,

상기 취득부는 제1 방향 또는 제3 방향의 변위에 의한 가동자의 비틀림을 취득하고,

상기 제어부는 복수의 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써 가동자의 비틀림을 제어하는 반송 시스템.

#### 청구항 3

제 2항에 있어서,

가동자는 제1 요크 판을 갖고,

복수의 코일들은 제1 요크 판에 대향하는 복수의 제1 코일들을 포함하고,

제어부는, 제1 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 힘의 제2 방향의 성분, 제4 방향의 성분 및 제6 방향의 성분 중 적어도 1개를 제어하는 반송 시스템.

#### 청구항 4

제 3항에 있어서,

복수의 제1 코일들은 제2 방향을 따라 제1 요크 판에 대향하는 반송 시스템.

## 청구항 5

제 2항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,  
가동자는 제2 요크 판을 갖고,  
복수의 코일들은 제2 요크 판에 대향하는 복수의 제2 코일들을 포함하고,  
제어부는, 복수의 제2 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 힘의 제3 방향의 성분 및 제5 방향의 성분 중 적어도 1개를 제어하는 반송 시스템.

## 청구항 6

제 5항에 있어서,  
복수의 제2 코일들은 제3 방향을 따라 제2 요크 판에 대향하는 반송 시스템.

## 청구항 7

제 4항에 있어서,  
가동자는 도전판을 갖고,  
복수의 코일들은, 도전판에 대향하는 복수의 제3 코일들을 포함하고,  
제어부는, 복수의 제3 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 힘의 제1 방향의 성분을 제어하는 반송 시스템.

## 청구항 8

제 3항 또는 제 4항에 있어서,  
가동자는 제1 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 영구자석 열을 갖고,  
복수의 코일들은 영구자석 열에 대향하는 복수의 제2 코일들을 포함하고,  
제어부는, 복수의 제2 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 힘의 제1 방향의 성분, 힘의 제3 방향의 성분 및 제5 방향의 성분 중 적어도 어느 1개를 제어하는 반송 시스템.

## 청구항 9

제 2항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,  
가동자는 제1 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 영구자석 열을 갖고,  
복수의 코일들은 영구자석 열에 대향하는 복수의 제1 코일들을 포함하고,  
제어부는, 이 복수의 제1 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 힘의 제1 방향의 성분, 힘의 제2 방향의 성분, 힘의 제4 방향의 성분 및 힘의 제6 방향의 성분 중 적어도 1개를 제어하는 반송 시스템.

## 청구항 10

제 9항에 있어서,  
가동자는 요크 판을 갖고,  
복수의 코일들은 요크 판에 대향하는 복수의 제2 코일들을 포함하고,

제어부는, 복수의 제2 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 힘의 제3 방향의 성분 및 힘의 제5 방향의 성분 중 적어도 어느 1개를 제어하는 반송 시스템.

#### 청구항 11

제 10항에 있어서,

복수의 제2 코일들은 제3 방향을 따라 요크 판에 대향하는 반송 시스템.

#### 청구항 12

삭제

#### 청구항 13

삭제

#### 청구항 14

제 2항에 있어서,

제1 영구자석 열에는 제1 방향을 따라 설치된 요크 판이 더 설치된 반송 시스템.

#### 청구항 15

반송 방향으로 이동가능한 가동자와,

반송 방향으로 배치된 복수의 코일들을 갖고, 전류가 인가되는 복수의 코일들을 사용하여 가동자에 힘을 인가하는 고정자와,

반송 방향으로 이동하는 가동자의 위치 및 자세를 취득하는 취득부와,

가동자의 취득한 위치 및 취득한 자세에 근거하여, 복수의 코일들에 인가된 전류에 의해 힘을 제어하는 제어부를 구비하고,

상기 취득부는, 위치 및 자세로서,

반송 방향인 제1 방향의 변위와,

제1 방향과 교차하는 제2 방향의 변위, 제1 방향 및 제2 방향과 교차하는 제3 방향의 변위, 제1 방향을 따른 축 주위의 제4 방향의 변위, 제2 방향을 따른 축 주위의 제5 방향의 변위와, 제3 방향을 따른 축 주위의 제6 방향의 변위 중 적어도 1개를 취득하고,

상기 가동자는, 제1 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 제1 영구자석 열과, 제3 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 제2 영구자석 열을 포함하는 영구자석 열들을 갖고,

상기 복수의 코일들은 제1 영구자석 열 및 제2 영구자석 열과 대향하고,

상기 제어부는, 복수의 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 제1 내지 제6 방향의 각 성분 중 적어도 1개를 제어하며,

상기 가동자는 제3 방향보다도 제2 방향으로 더 크고,

영구자석 열은, 가동자의 측면 및 하면으로부터 선택되는 적어도 1개와, 가동자의 상면에 설치되어 있는 반송 시스템.

#### 청구항 16

제 2항에 있어서,

영구자석 열은 가동자의 하면에 설치되어 있는 반송 시스템.

### 청구항 17

반송 방향으로 이동가능한 가동자와,

반송 방향으로 배치된 복수의 코일들을 갖고, 전류가 인가되는 복수의 코일들을 사용하여 가동자에 힘을 인가하는 고정자와,

반송 방향으로 이동하는 가동자의 위치 및 자세를 취득하는 취득부와,

가동자의 취득한 위치 및 취득한 자세에 근거하여, 복수의 코일들에 인가된 전류에 의해 힘을 제어하는 제어부를 구비하고,

상기 취득부는, 위치 및 자세로서,

반송 방향인 제1 방향의 변위와,

제1 방향과 교차하는 제2 방향의 변위, 제1 방향 및 제2 방향과 교차하는 제3 방향의 변위, 제1 방향을 따른 축 주위의 제4 방향의 변위, 제2 방향을 따른 축 주위의 제5 방향의 변위와, 제3 방향을 따른 축 주위의 제6 방향의 변위 중 적어도 1개를 취득하고,

상기 가동자는, 제1 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 제1 영구자석 열과, 제3 방향을 따라 복수의 영구자석이 배치되는 제2 영구자석 열을 포함하는 영구자석 열들을 갖고,

상기 복수의 코일들은 제1 영구자석 열 및 제2 영구자석 열과 대향하고,

상기 제어부는, 복수의 코일들에 인가된 전류를 제어함으로써, 제1 내지 제6 방향의 각 성분 중 적어도 1개를 제어하며,

상기 가동자는, 상면과 하면이 교체되도록 반전되게 구성되고,

영구자석 열은, 가동자의 반전 전후에 복수의 코일들이 가동자에 대향하도록 가동자에 설치되어 있는 반송 시스템.

### 청구항 18

제 2항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서,

코일들은, 코어와, 코어 주위에 감긴 권선을 갖고,

코어의 내부에 영구자석이 설치되어 있는 반송 시스템.

### 청구항 19

청구항 2 내지 4 중 어느 한 항에 기재된 반송 시스템과,

가동자에 의해 반송된 워크피스에 대해 가공을 실행하는 공정장치를 구비한 가공 시스템.

### 청구항 20

청구항 19에 기재된 가공 시스템을 사용해서 물품을 제조하는 물품의 제조방법으로서,

가동자를 사용하여 워크피스를 반송하는 단계와,

가동자에 의해 반송된 워크피스에 대해, 공정장치를 사용하여 가공을 실행하는 단계를 포함하는 물품의 제조방

법.

## 청구항 21

청구항 15에 기재된 반송 시스템과,  
가동자에 의해 반송된 워크피스에 대해 가공을 실행하는 공정장치를 구비한 가공 시스템.

## 청구항 22

청구항 17에 기재된 반송 시스템과,  
가동자에 의해 반송된 워크피스에 대해 가공을 실행하는 공정장치를 구비한 가공 시스템.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은, 반송 시스템에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 일반적으로, 공업제품을 조립하기 위한 생산 라인, 반도체 노광장치 등에서는 반송 시스템이 사용되고 있다. 특히, 생산 라인에 있어서의 반송 시스템은, 공장자동화된 생산 라인 내 또는 공장자동화된 생산 라인 사이의 복수의 스테이션 사이에서 부품 등의 워크피스(workpiece)를 반송한다. 또한, 이와 같은 반송 시스템은 프로세스 장치 중의 반송장치로서 사용되는 경우도 있다. 반송 시스템으로서는, 가동 자석형 리니어 모터를 사용한 반송 시스템이 이미 제안되어 있다.

[0003] 가동 자석형 리니어 모터를 사용한 반송 시스템에서는, 리니어 가이드 등의 기계적인 접촉을 수반하는 안내장치를 사용해서 반송 시스템을 구성한다. 그렇지만, 리니어 가이드 등의 안내장치를 사용한 반송 시스템에서는, 리니어 가이드의 접동부로부터 발생하는 오염 물질, 예를 들면, 레일이나 베어링의 마모 조각이나 윤활유, 또는 그것이 휘발한 물질 등이 생산성을 악화시킨다고 하는 문제가 있었다. 또한, 고속 반송시에는 접동부의 마찰이 커져서 리니어 가이드의 수명이 짧아진다고 하는 문제가 있었다.

[0004] 따라서, 일본국 특허 제6538710호에는, 가동자를 비접촉으로 반송가능한 자기 부상형의 반송장치가 기재되어 있다. 일본국 특허 제6538710호에 기재되는 것 같은 자기 부상형의 반송장치는, 가동자의 반송 방향으로, 챔버의 상부에 배치된 부상용 코일과, 챔버의 측면에 일정한 간격으로 배치된 고정자 코일을 사용하여 비접촉 반송을 실현하고 있다.

#### 발명의 내용

##### 해결하려는 과제

[0005] 그렇지만, 일본국 특허 제6538710호에 기재되는 것 같은 반송장치에서는, 가동자와 부상용의 코일 사이의 거리의 제어를 가동자와 각각의 코일 사이에서 근접해서 행하기 때문에, 가동자의 반송을 안정적으로 행하는 것이 곤란하였다.

##### 과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 관점에 따르면, 반송 방향으로 이동가능한 가동자와, 반송 방향으로 배치된 복수의 코일들을 갖고, 전류가 인가되는 복수의 코일들을 사용하여 가동자에 힘을 인가하는 고정자와, 반송 방향으로 이동하는 가동자의 위치 및 자세를 취득하는 취득부와, 가동자의 취득한 위치 및 취득한 자세에 근거하여, 복수의 코일들에 인가된 전류에 의해 힘을 제어하는 제어부를 구비한 반송 시스템이 제공된다.

[0007] 본 발명의 또 다른 특징은 첨부도면을 참조하는 이하의 실시형태의 설명으로부터 명백해질 것이다.

## 도면의 간단한 설명

[0008]

도1은 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도2는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도3은 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 코일 및 코일에 관련되는 구성을 도시한 개략도다.

도4는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템을 제어하는 제어 시스템을 도시한 개략도다.

도5는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자의 자세 제어방법을 도시한 개략도다.

도6은 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 가동자의 위치 및 자세를 제어하기 위해 사용된 제어 블록의 일례를 도시한 개략도다.

도7a는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자 위치 산출 함수를 사용한 처리를 설명하는 개략도다.

도7b는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자 위치 산출 함수를 사용한 처리를 설명하는 개략도다.

도8은 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자 자세 산출 함수를 사용한 처리를 설명하는 개략도다.

도9a는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자 자세 산출 함수를 사용한 처리를 설명하는 개략도다.

도9b는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자 자세 산출 함수를 사용한 처리를 설명하는 개략도다.

도10은 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자에 부착된 요크 판에 작용하는 힘과 가동자(101)에 작용하는 힘 성분 및 토크 성분의 관계를 도시한 개략도다.

도11은 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 Z방향의 추력(thrust) 상수 프로파일을 모식적으로 나타낸 그래프다.

도12a는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 고정자의 코일을 도시한 개략도다.

도12b는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 고정자의 코일을 도시한 개략도다.

도13은 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서, 코일에 인가하는 전류량과, 코일과 요크 판 사이에 작용하는 흡인력의 크기의 관계를 모식적으로 나타낸 그래프다.

도14는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 가동자를 Z방향으로 위에서 아래로 본 개략도다.

도15는 본 발명의 제1실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의 Y방향의 흡인력 프로파일을 모식적으로 나타낸 그래프다.

도16은 본 발명의 제2실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도17a는 본 발명의 제2실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 코일과 영구자석 열을 사용해서 힘 성분  $T_x$ ,  $T_y$  및 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자에 대해 독립적으로 인가하는 방법을 설명하는 개략도다.

도17b는 본 발명의 제2실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 코일과 영구자석 열을 사용해서 힘 성분  $T_x$ ,  $T_y$  및 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자에 대해 독립적으로 인가하는 방법을 설명하는 개략도다.

도17c는 본 발명의 제2실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 코일과 영구자석 열을 사용해서 힘 성분  $T_x$ ,  $T_y$  및 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자에 대해 독립적으로 인가하는 방법을 설명하는 개략도다.

도18은 본 발명의 제3실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도19a는 본 발명의 제3실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 코일과 영구자석 열을 사용해서 힘 성분  $T_x$ ,  $T_z$  및 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ ,  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에 대해 독립적으로 인가하는 방법을 설명하는 개략도다.

도19b는 본 발명의 제3실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 코일과 영구자석 열을 사용해서 힘 성분  $T_x$ ,  $T_z$  및 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ ,  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에 대해 독립적으로 인가하는 방법을 설명하는 개략도다.

도20은 본 발명의 제4실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도21a는 본 발명의 제4실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도21b는 본 발명의 제4실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의  $q$ 축 추력 상수 프로파일,  $h$ 축 상수 프로파일 및  $d$ 축 추력 상수 프로파일을 나타낸 개략도다.

도22는 본 발명의 제4실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서  $h$ 축 방향(Y방향)으로 힘을 발생하는 원리를 설명하는 개략도다.

도23a는 본 발명의 제5실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 가동자를 비틀면서 X방향으로 반송하고 있는 경우를 모식적으로 도시한 개략도다.

도23b는 본 발명의 제5실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서 가동자를 비틀면서 X방향으로 반송하고 있는 경우를 모식적으로 도시한 개략도다.

도24a는 본 발명의 제6실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도24b는 본 발명의 제6실시형태에 따른 반송 시스템에 있어서의  $q$ 축 추력 상수 프로파일,  $h$ 축 상수 프로파일 및  $d$ 축 추력 상수 프로파일을 나타낸 그레프다.

도25a는 본 발명의 제7실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도25b는 본 발명의 제7실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도26은 본 발명의 제8실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도27은 본 발명의 제9실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도28a는 본 발명의 제10실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도28b는 본 발명의 제11실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

도29는 본 발명의 제12실시형태에 따른 반송 시스템의 구성을 도시한 개략도다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009]

제1실시형태

이하, 본 발명의 제1실시형태에 대해 도1 내지 도15를 참조하여 설명한다.

[0010]

우선, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)의 구성에 대해 도1 내지 도3을 참조하여 설명한다. 도1 및 도2는, 본 실시형태에 따른 가동자(101) 및 고정자(201)을 포함하는 반송 시스템(1)의 구성을 도시한 개략도다. 이때, 도1 및 도2는, 각각 각각의 가동자(101) 및 각각의 고정자(201)의 주요부분을 뽑아내서 나타낸 것이다. 또한, 도1은 가동자(101)을 비스듬하게 위쪽에서 본 도면이고, 도2는 가동자(101) 및 고정자(201)을 후술하는 X 방향에서 본 도면이다. 도3는, 반송 시스템(1)에 있어서의 코일 202, 207, 208 및 코일 202, 207, 208에 관련되는 구성을 도시한 개략도다.

[0011]

도1 및 도2에 나타낸 것과 같이, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 캐리어, 대차 또는 슬라이더를 구성하는 가동자(101)과, 반송로를 구성하는 고정자(201)을 갖고 있다. 또한, 반송 시스템(1)은, 통합 콘트롤러(301), 코일 콘트롤러(302), 코일 유닛 콘트롤러(303)과, 센서 콘트롤러(304)를 갖고 있다. 이때, 도1에는, 가동자(101)로서 3개의 가동자 101a, 101b, 101c와, 고정자(201)로서 2개의 고정자 201a, 201b를 나타내고 있다. 이후의 설명에서, 가동자(101), 고정자(201) 등의 복수의 구성요소로서 존재할 수 있는 구성요소에 대해 특별히 구별할 필요가 없는 경우에는 공통의 숫자만을 포함하는 참조번호를 사용하고, 필요에 따라 숫자의 참조번호의 뒤에 소문자의 알파벳을 붙여서 각각을 구별한다. 또한, 가동자(101)의 R측의 구성요소와 가동자(101)의 L측의 구성요소를 구별할 경우에는, 소문자의 알파벳의 뒤에 R측을 나타내는 "R" 또는 L측을 나타내는 "L"을 붙인다.

[0013] 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 고정자(201)의 코일 207과 가동자(101)의 도전판(107) 사이에서 전자력을 발생시켜 X방향의 추력을 가동자(101)에 인가하는 유도형 리니어 모터를 사용한 반송 시스템이다. 또한, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 가동자(101)을 부상시켜 비접촉으로 가동자(101)를 반송하는 자기 부상형의 반송 시스템이다. 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 가동자(101)에 의해 반송된 워크피스(102)에 대해 가공을 실시하는 공정장치도 갖는 가공 시스템의 일부를 구성하고 있다.

[0014] 반송 시스템(1)은, 예를 들면, 고정자(201)에 의해 가동자(101)을 반송함으로써, 가동자(101)에 의해 유지된 워크피스(102)을, 워크피스(102)에 대해 가공 작업을 실시하는 공정장치에 반송한다. 공정장치는, 특별히 한정되는 것은 아니지만, 예를 들면, 워크피스(102)인 클래스 기판 위에 성막을 행하는 증착장치, 스퍼터 장치 등의 성막장치일 수 있다. 이때, 도1에는 2대의 고정자(201)에 대해 3대의 가동자(101)를 나타내고 있지만, 이 수는 이것들에 한정되는 것은 아니다. 반송 시스템(1)에 있어서는, 1대 또는 복수대의 가동자(101)이 1대 또는 복수대의 고정자(201) 위를 반송될 수 있다.

[0015] 여기에서, 이하의 설명에 있어서 사용하는 좌표축, 방향 등을 정의한다. 우선, 가동자(101)의 반송 방향인 수평방향을 따라 X축을 취하고, 가동자(101)의 반송 방향을 X방향으로 정의한다. 또한, X방향과 직교하는 방향인 연직방향을 따라 Z축을 취하고, 연직방향을 Z방향으로 정의한다. 연직방향은, 중력의 방향(mg 방향)과 일치한다. 또한, X방향 및 Z방향에 직교하는 방향을 따라 Y축을 취하고, X방향 및 Z방향에 직교하는 방향을 Y방향으로 정의한다. 더구나, X축 주위의 회전 방향을  $W_x$  방향으로 정의하고, Y축 주위의 회전 방향을  $W_y$  방향으로 정의하고, Z축 주위의 회전 방향을  $W_z$  방향으로 정의한다. 또한, 승산의 기호로서 "\*"을 사용한다. 또한, 가동자(101)의 중심을 원점  $O_c$ 로 정의하고,  $Y+$ 축을  $R$ 축으로 기재하고,  $Y-$ 축을  $L$ 축으로서 기재한다. 이때, 가동자(101)의 반송 방향은 반드시 수평방향일 필요는 없지만, 이와 같은 경우도 반송 방향을 X방향으로 정의하여 마찬가지로 Y방향 및 Z방향을 정의할 수 있다. 이때, X방향, Y방향 및 Z방향은, 반드시 서로 직교하는 방향에 한정되는 것은 아니고, 서로 교차하는 방향으로서 정의할 수도 있다.

[0016] 또한, 반송 방향의 변위를 위치로 정의하고, 그 이외의 방향의 변위를 자세, 위치와 자세와, 후술하는 비틀림 방향의 변위를 합쳐서 상태로 정의한다. 또한, 이하의 설명에서 사용하는  $q$ 축 및  $d$ 축의 표기는, 각각 일반적으로 동기식 모터 제어에서 사용되는 벡터 제어에 있어서의  $q$ 축 및  $d$ 축의 표기와 같다.  $q$ 축을 따른 방향을  $q$ 축 방향으로 정의하고,  $d$ 축을 따른 방향을  $d$ 축 방향으로 정의한다.

[0017] 또한, 이하의 설명에 있어서 사용하는 기호는 다음과 같다. 이때, 각각의 기호는 코일 202, 207, 208의 각 경우에 대해 중복해서 사용된다.

[0018]  $O_c$ : 가동자(101)의 원점

[0019]  $O_s$ : 리니어 스케일(104)의 원점

[0020]  $O_e$ : 고정자(201)의 원점

[0021]  $j$ : 코일을 특정하기 위한 지표

[0022] (단,  $j$ 는,  $N$ 이 2 이상의 정수일 때,  $1 \leq j \leq N$ 을 만족하는 정수이다)

[0023]  $N$ : 코일의 설치수

[0024]  $I_j$ :  $j$ 번째의 코일에 인가되는 전류량

[0025]  $P$ : 가동자(101)의 위치 및 자세를 포함하는 상태( $X, Y, Z, W_x, W_y, W_z$ )

[0026]  $X(j, P)$ : 상태  $P$ 에서 가동자(101)의 중심에서 본  $j$ 번째의 코일의 X좌표

[0027]  $Y(j, P)$ : 상태  $P$ 에서 가동자(101)의 중심에서 본  $j$ 번째의 코일의 Y좌표

[0028]  $Z(j, P)$ : 상태  $P$ 에서 가동자(101)의 중심에서 본  $j$ 번째의 코일의 Z좌표

[0029]  $T$ : 가동자(101)에 인가하는 힘

[0030]  $T_x$ : 힘  $T$ 의 X방향의 힘 성분

[0031]  $T_y$ : 힘  $T$ 의 Y방향의 힘 성분

[0032]  $T_z$ : 힘  $T$ 의 Z방향의 힘 성분

[0033]  $T_{Wx}$ : 힘  $T$ 의  $W_x$  방향의 토크 성분

[0034]  $T_{Wy}$ : 힘  $T$ 의  $W_y$  방향의 토크 성분

[0035]  $T_{Wz}$ : 힘  $T$ 의  $W_z$  방향의 토크 성분

[0036]  $E_z(j, P)$ :  $j$  번째의 코일에 단위전류를 인가했을 때에 상태  $P$ 에서 가동자(101)에 대해 작용하는  $Z$ 방향의 힘

[0037]  $E_x(j, P)$ :  $j$  번째의 코일에 단위전류를 인가했을 때에 상태  $P$ 에서 가동자(101)에 대해 작용하는  $X$ 방향의 힘

[0038]  $E_y(j, P)$ :  $j$  번째의 코일에 단위전류를 인가했을 때에 상태  $P$ 에서 가동자(101)에 대해 작용하는  $Y$ 방향의 힘

[0039]  $E_q(j, P)$ :  $j$  번째의 코일에 단위전류를 인가했을 때에 상태  $P$ 에서 가동자(101)에 대해 작용하는  $q$ 축 방향의 힘

[0040]  $E_d(j, P)$ :  $j$  번째의 코일에 단위전류를 인가했을 때에 상태  $P$ 에서 가동자(101)에 대해 작용하는  $d$ 축 방향의 힘

[0041]  $E_h(j, P)$ :  $j$  번째의 코일에 단위전류를 인가했을 때에 상태  $P$ 에서 가동자(101)에 대해 작용하는  $h$ 축 방향의 힘

[0042]  $\Sigma$  : 지표  $j$ 를 1부터  $N$ 까지 변화시킨 경우의 합계

[0043]  $\Sigma L$ :  $L$ 축의 코일의 지표를 변화시킨 경우의 합계

[0044]  $\Sigma R$ :  $R$ 축의 코일의 지표를 변화시킨 경우의 합계

[0045] \*: 행렬, 벡터, 또는 행렬과 벡터의 곱

[0046]  $M$ : 토크 기여 행렬

[0047]  $K$ : 의사 전류 벡터(열 벡터)

[0048]  $T_q$ : 토크 벡터(열 벡터)

[0049]  $I_s$ : 코일 전류 벡터(열 벡터)

[0050]  $F_s$ : 코일 힘 벡터(열 벡터)

[0051]  $M(a, b)$ : 행렬  $M$ 의  $a$ 행  $b$ 열의 요소

[0052]  $Inv()$ : 역행렬

[0053]  $Tr()$ : 전치 행렬

[0054]  $Tr(\text{요소}1, \text{요소}2, \dots)$ : 요소 1, 요소 2, …을 요소로 하는 열 벡터

[0055]  $W_{yR}$ : 가동자(101)의  $R$ 축의  $W_y$  방향의 변위

[0056]  $W_{yL}$ : 가동자(101)의  $L$ 축의  $W_y$  방향의 변위

[0057] 도1 중의 화살표로 나타낸 것과 같이, 가동자(101)은, 반송 방향인  $X$ 방향으로 이동가능하게 구성되어 있다. 가동자(101)은, 요크 판(103)과, 도전판(107)을 갖고 있다. 또한, 가동자(101)은, 리니어 스케일(104),  $Y$  타겟(105)과,  $Z$  타겟(106)을 갖고 있다.

[0058] 복수의 요크 판(103)은 가동자(101)의 복수 개소에 부착되어 설치되어 있다. 구체적으로는, 요크 판(103)은, 가동자(101)의 상면에 있어서,  $R$ 축 및  $L$ 축 각각의 단부에  $X$ 방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 또한, 요크 판(103)은, 가동자(101)의  $R$ 축 및  $L$ 축 각각의 측면에  $X$ 방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 각 요크 판(103)은, 투자율이 큰 물질, 예를 들면, 철로 구성된 철판이다.

[0059] 도전판(107)은, 가동자(101)의 상면에 있어서 중앙부에  $X$ 방향을 따라 부착되고 설치되어 있다. 도전판(107)은, 도전성 금속판 등의 도전성을 갖는 것이면 특별히 한정되는 것은 아니지만, 전기 저항이 작은 알루미늄 판 등이 바람직하다.

[0060] 이때, 요크 판(103) 및 도전판(107)의 설치 장소 및 설치수는, 상기한 예에 한정되는 것은 아니고, 적절히 변경할 수 있다.

[0061] 리니어 스케일(104),  $Y$  타겟(105) 및  $Z$  타겟(106)은, 가동자(101)에 있어서, 각각 고정자(201)에 설치된 리니어 인코더(204),  $Y$  센서(205) 및  $Z$  센서(206)에 의해 판독 가능한 위치에 부착되어 설치되어 있다.

[0062] 고정자(201)은, 코일 202, 207, 208, 리니어 인코더(204), Y 센서(205)과, Z 센서(206)을 갖고 있다.

[0063] 복수의 코일 202은, 가동자(101)의 상면에 설치된 요크 판(103)에 Z방향을 따라 대향가능하게 고정자(201)에 X방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 구체적으로는, 복수의 코일 202은, 가동자(101)의 상면에 있어서 R측 및 L측 각각의 단부에 설치된 2개의 요크 판(103)에 Z방향으로 윗쪽에서 대향가능하게 X방향에 평행한 2열로 배치되어 설치되어 있다.

[0064] 복수의 코일 208은, 가동자(101)의 측면에 설치된 요크 판(103)에 Y방향을 따라 대향가능하게 고정자(201)에 X방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 구체적으로는, 복수의 코일 208은, 가동자(101)의 R측 및 L측 각각의 측면에 설치된 2개의 요크 판(103)에 Y방향으로 옆쪽에서 대향가능하게 X방향에 평행한 2열로 배치되어 설치되어 있다.

[0065] 복수의 코일 207은, 가동자(101)의 상면에 설치된 도전판(107)에 Z방향을 따라 대향가능하게 고정자(201)에 X방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 구체적으로는, 복수의 코일 207은, 가동자(101)의 상면에 있어서 중앙부에 설치된 도전판(107)에 Z방향으로 윗쪽에서 대향가능하게 X방향에 평행한 1열로 배치되어 설치되어 있다.

[0066] 고정자(201)은, 전류가 인가되는 각 코일 202, 207, 208에 의해, 반송 방향으로 이동가능한 가동자(101)에 힘을 인가한다. 이에 따라, 가동자(101)은, 위치 및 자세가 제어되면서 반송 방향으로 반송된다.

[0067] 이때, 코일 202, 207, 208의 설치 장소는, 상기한 예에 한정되는 것은 아니고, 적절히 변경할 수 있다. 또한, 코일 202, 207, 208의 설치수는, 적절히 변경할 수 있다.

[0068] 리니어 인코더(204), Y 센서(205) 및 Z 센서(206)은, 반송 방향으로 이동하는 가동자(101)의 위치 및 자세를 검출하는 검출부로서 기능한다.

[0069] 리니어 인코더(204)은, 가동자(101)에 설치된 리니어 스케일(104)을 판독 가능하게 고정자(201)에 부착되어 설치되어 있다. 리니어 인코더(204)은, 리니어 스케일(104)을 판독하는 것에 의해 가동자(101)의 리니어 인코더(204)에 대한 상대적인 위치를 검출한다.

[0070] Y 센서(205)은, 가동자(101)에 설치된 Y 타겟(105)까지의 Y방향의 거리를 검출 가능하게 고정자(201)에 부착되어 설치되어 있다.

[0071] Z 센서(206)은, 가동자(101)에 설치된 Z 타겟(106)까지의 Z방향의 거리를 검출 가능하게 고정자(201)에 부착되어 설치되어 있다.

[0072] 가동자(101)은, 예를 들면, 가동자(101)의 위 또는 아래에 워크피스(102)가 부착되거나 유지되어 반송되도록 구성된다. 이때, 도2는, 워크피스(102)이 가동자(101)의 아래에 부착된 상태를 나타내고 있다. 이때, 워크피스(102)을 가동자(101)에 부착 또는 유지하기 위해 사용된 기구는, 특별히 한정되는 것은 아니지만, 기계적인 후크, 정전 척 등의 일반적인 일반적인 부착 기구, 일반적인 유지 기구 등을 사용할 수 있다.

[0073] 이때, 도2는, 워크피스(102)에 대해 가공 작업을 실시하는 공정장치의 예인 증착장치(701)의 챔버 내에 가동자(101) 및 고정자(201)이 끼워넣어져 있는 경우를 나타내고 있다. 증착장치(701)은, 가동자(101)에 부착된 워크피스(102)에 대해 증착을 행하는 증착원(702)을 갖고 있다. 증착원(702)은, 가동자(101)의 하부에 부착된 워크피스(102)에 증착원(702)이 대향가능하게 증착장치(701)의 챔버 내의 하부에 설치되어 있다. 증착원(702)의 설치 장소로 반송된 가동자(101)의 하부에 부착된 워크피스(102)인 기관에는, 증착원(702)을 사용한 증착에 의해, 금속, 산화물 등의 박막이 성막된다. 이렇게, 가동자(101)과 함께 워크피스(102)이 반송되고, 반송된 워크피스(102)에 대해 공정장치에 의해 가공이 실시되어, 물품이 제조된다.

[0074] 또한, 도1는, 고정자 201a와 고정자 201b 사이에, 예를 들면, 게이트밸브 등의 구조물(100)이 존재하고 있는 장소를 포함하는 영역을 나타내고 있다. 구조물(100)이 존재하는 장소는, 생산 라인 내 또는 생산 라인 사이의 복수의 스테이션의 사이에 놓이고, 연속해서 전자석이나 코일을 배치할 수 없는 장소로 되어 있다.

[0075] 반송 시스템(1)에는, 이 반송 시스템(1)을 제어하는 제어 시스템(3)이 설치되어 있다. 이때, 제어 시스템(3)은, 반송 시스템(1)의 일부를 구성할 수 있다. 제어 시스템(3)은, 통합 콘트롤러(301), 코일 콘트롤러(302), 코일 유닛 콘트롤러(303)과, 센서 콘트롤러(304)를 갖고 있다. 통합 콘트롤러(301)에는, 코일 콘트롤러(302) 및 센서 콘트롤러(304)이 통신 가능하게 접속되어 있다. 코일 콘트롤러(302)에는, 복수의 코일 유닛 콘트롤러(303)이 통신 가능하게 접속되어 있다. 센서 콘트롤러(304)에는, 복수의 리니어 인코더(204), 복수의 Y 센

서(205) 및 복수의 Z 센서(206)이 통신 가능하게 접속되어 있다. 각 코일 유닛 콘트롤러(303)에는 코일 202, 207, 208이 접속되어 있다(도3 참조).

[0076] 통합 콘트롤러(301)은, 센서 콘트롤러(304)로부터 송신되는 리니어 인코더(204), Y 센서(205) 및 Z 센서(206)로부터의 출력에 근거하여, 복수의 코일 202, 207, 208에 인가할 전류 지령값을 결정한다. 통합 콘트롤러(301)은, 결정한 전류 지령값을 코일 콘트롤러(302)에 송신한다. 코일 콘트롤러(302)은, 통합 콘트롤러(301)로부터 수신한 전류 지령값을 각 코일 유닛 콘트롤러(303)에 송신한다. 코일 유닛 콘트롤러(303)은, 코일 콘트롤러(302)로부터 수신한 전류 지령값에 근거하여, 접속된 코일 202, 207, 208의 전류량을 제어한다.

[0077] 도3에 나타낸 것과 같이, 각 코일 유닛 콘트롤러(303)에는, 1개 또는 복수개의 코일 202, 207, 208이 접속되어 있다.

[0078] 코일 202, 207, 208 각각에는 전류 센서(312) 및 전류 콘트롤러(313)이 접속되어 있다. 전류 센서(312)은, 접속된 코일 202, 207, 208에 흐르는 전류값을 검출한다. 전류 콘트롤러(313)은, 접속된 코일 202, 207, 208에 흐르는 전류량을 제어한다.

[0079] 코일 유닛 콘트롤러(303)은, 코일 콘트롤러(302)로부터 수신한 전류 지령값에 근거하여, 전류 콘트롤러(313)에 원하는 전류량을 지령한다. 전류 콘트롤러(313)은, 전류 센서(312)에 의해 검출된 전류값을 검출해서, 각각의 코일 202, 207, 208에 원하는 전류량의 전류가 흐르도록 전류량을 제어한다.

[0080] 다음에, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)을 제어하는 제어 시스템(3)에 대해 도4를 참조하여 더 설명한다. 도4는, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)을 제어하는 제어 시스템(3)을 도시한 개략도다.

[0081] 도4에 나타낸 것과 같이, 제어 시스템(3)은, 통합 콘트롤러(301), 코일 콘트롤러(302), 코일 유닛 콘트롤러(303)과, 센서 콘트롤러(304)를 갖고 있다. 제어 시스템(3)은, 가동자(101)과 고정자(201)을 포함하는 반송 시스템(1)을 제어하는 제어장치로서 기능한다. 통합 콘트롤러(301)에는, 코일 콘트롤러(302) 및 센서 콘트롤러(304)이 통신 가능하게 접속되어 있다.

[0082] 코일 콘트롤러(302)에는, 복수의 코일 유닛 콘트롤러(303)이 통신 가능하게 접속되어 있다. 코일 콘트롤러(302) 및 이것에 접속된 복수의 코일 유닛 콘트롤러(303)은, 코일 202, 207, 208의 각각의 옆에 관련되어 설치되어 있다. 각 코일 유닛 콘트롤러(303)에는 코일 202, 207, 208이 접속되어 있다. 코일 유닛 콘트롤러(303)은, 접속된 코일 202, 207, 208의 전류의 레벨을 제어할 수 있다.

[0083] 코일 콘트롤러(302)은, 접속된 각각의 코일 유닛 콘트롤러(303) 각각에 대해 목표 전류값을 지령한다. 코일 유닛 콘트롤러(303)은, 접속된 코일 202, 207, 208의 전류량을 제어한다.

[0084] 센서 콘트롤러(304)에는, 복수의 리니어 인코더(204), 복수의 Y 센서(205) 및 복수의 Z 센서(206)이 통신 가능하게 접속되어 있다.

[0085] 복수의 리니어 인코더(204)은, 가동자(101)의 반송중에도, 리니어 인코더들(204) 중의 1개가 항상 1대의 가동자(101)의 위치를 측정할 수 있도록 하는 간격으로 고정자(201)에 부착되어 있다. 또한, 복수의 Y 센서(205)은, Y 센서들(205) 중 2개가 항상 1대의 가동자(101)의 Y 타겟(105)을 측정할 수 있도록 하는 간격으로 고정자(201)에 부착되어 있다. 또한, 복수의 Z 센서(206)은, Z 센서들(206)의 2열 중 3개가 항상 1대의 가동자(101)의 Z 타겟(106)을 측정할 수 있도록 하는 간격으로 또한 면을 이루도록 고정자(201)에 부착되어 있다.

[0086] 통합 콘트롤러(301)은, 리니어 인코더(204), Y 센서(205) 및 Z 센서(206)로부터의 출력에 근거하여, 복수의 코일 202에 인가할 전류 지령값을 결정하고, 전류 지령값을 코일 콘트롤러(302)에 송신한다. 코일 콘트롤러(302)은, 통합 콘트롤러(301)로부터의 전류 지령값에 근거하여, 전술한 바와 같이 코일 유닛 콘트롤러(303)에 대해 전류값을 지령한다. 이에 따라, 통합 콘트롤러(301)은, 제어부로서 기능하여, 고정자(201)를 따라 가동자(101)를 비접촉으로 반송하는 동시에, 반송된 가동자(101)의 자세를 6축에서 제어한다.

[0087] 이하, 통합 콘트롤러(301)에 의해 실행되는 가동자(101)의 자세 제어방법에 대해 도5를 참조하여 설명한다. 도5는, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)에 있어서의 가동자(101)의 자세 제어방법을 도시한 개략도다. 도5는, 가동자(101)의 자세 제어방법의 개략에 대해 주로 데이터의 흐름에 주목해서 나타내고 있다. 통합 콘트롤러(301)은, 이하에서 설명하는 바와 같이, 가동자 위치 산출 함수(401), 가동자 자세 산출 함수(402), 가동자 자세 제어 함수(403) 및 코일 전류 산출 함수(404)를 사용한 처리를 실행하는 제어부로서 기능한다. 이에 따라, 통합 콘트롤러(301)은, 가동자(101)의 자세를 6축에서 제어하면서, 가동자(101)의 반송을 제어한다. 이때, 통합

콘트롤러(301) 대신에, 코일 콘트롤러(302)이 통합 콘트롤러(301)와 동일한 처리를 실행할 수 있다.

[0088] 우선, 가동자 위치 산출 함수(401)은, 복수의 리니어 인코더(204)로부터의 측정값 및 그것의 부착 위치의 정보에 따라, 반송로를 구성하는 고정자(201) 위에 있는 가동자(101)의 대수 및 위치를 계산하는데 사용된다. 이에 따라, 가동자 위치 산출 함수(401)은, 가동자(101)에 관한 정보인 가동자 정보(406)의 가동자 위치 정보(X) 및 대수 정보를 생성한다. 가동자 위치 정보(X)은, 고정자(201) 위의 가동자(101)의 반송 방향인 X방향에 있어서의 위치를 나타내고 있다. 가동자 정보(406)은, 예를 들면, 도5 중에 POS-1, POS-2, …로 도시한 바와 같이 고정자(201) 위의 가동자(101)마다 준비된다.

[0089] 다음에, 가동자 자세 산출 함수(402)은, 가동자 위치 산출 함수(401)에 의해 생성된 가동자 정보(406)의 가동자 위치 정보(X)로부터, 각각의 가동자(101)을 측정가능한 Y 센서(205) 및 Z 센서(206)를 특정하는데 사용된다. 다음에, 가동자 자세 산출 함수(402)은, 특정된 Y 센서(205) 및 특정된 Z 센서(206)로부터 출력되는 값에 근거하여, 각각의 가동자(101)의 자세에 관한 정보인 자세 정보(Y, Z, Wx, Wy, Wz)을 산출해서 가동자 정보(406)를 생성한다. 가동자 자세 산출 함수(402)에 의해 생성된 가동자 정보(406)은, 가동자 위치 정보(X) 및 자세 정보(Y, Z, Wx, Wy, Wz)을 포함하고 있다.

[0090] 다음에, 가동자 자세 제어 함수(403)은, 가동자 위치 정보(X) 및 자세 정보(Y, Z, Wx, Wy, Wz)을 포함하는 현재의 가동자 정보(406) 및 자세 목표값으로부터, 각각의 가동자(101)에 대해 인가력 정보(408)을 산출하는데 사용된다. 인가력 정보(408)은 각각의 가동자(101)에 인가해야 할 힘의 크기에 관한 정보다. 인가력 정보(408)은, 인가해야 할 힘 T의 힘의 3축 성분(Tx, Ty, Tz) 및 토크의 3축 성분(Twx, Twy, Twz)에 관한 정보를 포함하고 있다. 인가력 정보(408)은, 예를 들면, 도5 중에 TRQ-1, TRQ-2, …로 도시한 바와 같이 고정자(201) 위의 가동자(101)마다 준비된다.

[0091] 여기에서, 힘의 3축 성분인 Tx, Ty, Tz는, 각각 합의 X방향 성분, Y방향 성분 및 Z방향 성분이다. 또한, 토크의 3축 성분인 Twx, Twy, Twz는, 각각 토크의 X축 주위 성분, Y축 주위 성분 및 Z축 주위 성분이다. 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 이를 힘 T의 6축 성분(Tx, Ty, Tz, Twx, Twy, Twz)을 제어함으로써, 가동자(101)의 자세를 6축에서 제어하면서, 가동자(101)의 반송을 제어한다.

[0092] 다음에, 코일 전류 산출 함수(404)은, 인가력 정보(408) 및 가동자 정보(406)에 근거하여, 각 코일 202, 207, 208에 인가할 전류 지령값(409)을 결정하는데 사용된다.

[0093] 이렇게 해서, 통합 콘트롤러(301)은, 가동자 위치 산출 함수(401), 가동자 자세 산출 함수(402), 가동자 자세 제어 함수(403) 및 코일 전류 산출 함수(404)을 사용한 처리를 실행함으로써, 전류 지령값(409)을 결정한다. 통합 콘트롤러(301)은 결정한 전류 지령값(409)을 코일 콘트롤러(302)에 송신한다.

[0094] 가동자(101)의 위치 및 자세의 제어에 대해 도6을 참조해서 더욱 상세하게 설명한다. 도6은, 가동자(101)의 위치 및 자세를 제어하기 위해 사용된 제어 블록의 일례를 도시한 개략도다.

[0095] 도6에 있어서, 기호 P은, 가동자(101)의 위치 및 자세(위치 자세 또는 상태라고도 한다)를 나타내며, (X, Y, Z, Wx, Wy, Wz) 성분을 갖는다. 기호 ref는, (X, Y, Z, Wx, Wy, Wz)의 목표값을 나타낸다. 기호 err는, 목표값 ref와 위치 및 자세 P 사이의 편차를 나타낸다.

[0096] 가동자 자세 제어 함수(403)은, 편차 err의 레벨, 편차 err의 변화, 편차 err의 적산값 등에 근거하여, 목표값 ref를 실현하기 위해서 가동자(101)에 인가해야 할 힘 T를 산출한다. 코일 전류 산출 함수(404)은, 인가해야 할 힘 T 및 위치 및 자세 P에 근거하여, 가동자(101)에 힘 T를 인가하기 위해서 코일 202, 207, 208에 인가해야 할 코일 전류 I를 산출하는데 사용된다. 이렇게 해서 산출된 코일 전류 I가 코일 202, 207, 208에 인가됨으로써, 힘 T가 가동자(101)에 작용해서, 위치 및 자세 P이 목표값 ref로 변화한다.

[0097] 이렇게 제어 블록을 구성함으로써, 가동자(101)의 위치 및 자세 P를 원하는 목표값 ref로 제어하는 것이 가능해진다.

[0098] 이하, 가동자 위치 산출 함수(401)에 따른 처리에 대해 도7a 및 도7b을 참조하여 설명한다. 도7a 및 도7b은, 가동자 위치 산출 함수에 따른 처리를 설명하는 개략도다.

[0099] 도7a에 있어서, 기준점 0e는, 리니어 인코더(204)이 부착되어 있는 고정자(201)의 위치 기준에 해당한다. 또한, 기준점 0s는, 가동자(101)에 부착되어 있는 리니어 스케일(104)의 위치 기준에 해당한다. 도7는, 가동자(101)로서 2대의 가동자 101a, 101b가 반송되고, 리니어 인코더(204)로서 3개의 리니어 인코더 204a, 204b, 204c가 배치되어 있는 경우를 나타내고 있다. 이때, 리니어 스케일(104)은, 각 가동자 101a, 101b의 같은 위치

에 X방향을 따라 부착되어 있다.

[0100] 예를 들면, 도7a에 나타낸 가동자 101b의 리니어 스케일(104)에는 1개의 리니어 인코더 204c이 대향하고 있다. 리니어 인코더 204c은, 가동자 101b의 리니어 스케일(104)을 판독해서 거리  $P_c$ 을 출력한다. 또한, 리니어 인코더 204c의 기준점 0e를 원점으로 하는 X축 상의 위치는  $S_c$ 이다. 따라서, 가동자 101b의 위치  $Pos(101b)$ 은 다음 식 (1)에 의해 산출할 수 있다.

$$[0101] Pos(101b) = S_c - P_c \quad \dots \text{식 (1)}$$

[0102] 예를 들면, 도7a에 나타낸 가동자 101a의 리니어 스케일(104)에는 2개의 리니어 인코더 204a, 204b가 대향하고 있다. 리니어 인코더 204a는, 가동자 101a의 리니어 스케일(104)을 판독해서 거리  $P_a$ 를 출력한다. 또한, 리니어 인코더 204a의 기준점 0e를 원점으로 하는 X축 상의 위치는  $S_a$ 이다. 따라서, 리니어 인코더 204a의 출력에 근거하는 가동자 101a의 X축 상의 위치  $Pos(101a)$ 은 다음 식 (2)에 의해 산출할 수 있다.

$$[0103] Pos(101a) = S_a - P_a \quad \dots \text{식 (2)}$$

[0104] 또한, 리니어 인코더 204b은, 가동자 101a의 리니어 스케일(104)을 판독해서 거리  $P_b$ 을 출력한다. 또한, 리니어 인코더 204b의 기준점 0e를 원점으로 하는 X축 상의 위치는  $S_b$ 이다. 따라서, 리니어 인코더 204b의 출력에 근거하는 가동자 101a의 X축 상의 위치  $Pos(101a)'$ 은 다음 식 (3)에 의해 산출할 수 있다.

$$[0105] Pos(101a)' = S_b - P_b \quad \dots \text{식 (3)}$$

[0106] 여기에서, 각각의 리니어 인코더 204a, 204b의 위치는 미리 정확하게 측정되어 있기 때문에, 2개의 값  $Pos(101a)$ ,  $Pos(101a)'$ 의 차이는 충분히 작다. 이렇게 2개의 리니어 인코더(204)의 출력에 근거한 가동자(101)의 X축 상의 위치의 차이가 충분히 작은 경우에는, 이를 2개의 리니어 인코더(204)은 동일한 가동자(101)의 리니어 스케일(104)을 판측하고 있다고 판정할 수 있다.

[0107] 이때, 복수의 리니어 인코더(204)이 동일한 가동자(101)과 대향하는 경우, 복수의 리니어 인코더(204)의 출력에 근거한 위치의 평균값을 산출함으로써, 판측된 가동자(101)의 위치를 고유하게 결정할 수 있다.

[0108] 또한, 가동자(101)은, Z축 주위로 회전량  $W_z$ 만큼 회전할 수도 있다. 이 회전량  $W_z$ 의 변위를 사용한 가동자(101)의 위치의 보정이 필요할 경우에 대해 도7b를 참조하여 설명한다.

[0109] 도7b은, 가동자 101b'의 Y방향에 있어서의 한쪽의 측면에 리니어 스케일(104)이 부착되어 있는 경우를 나타낸다. 위치 0s는 리니어 스케일(104)의 원점이고, 위치 0c은 가동자 101b'의 원점이다. 가동자(101)의 중심 0c으로부터 리니어 스케일(104)까지의 거리를  $L_x$ 로 하면, 가동자 101b'의 위치  $Pos(101b)'$ 를 다음 식 (1b)을 사용해서 계산함으로써, 보다 정확한 가동자 101b'의 위치를 얻을 수 있다.

$$[0110] Pos(101b)' = S_c - P_c - W_z * L_x + W_y * L_z \quad \dots \text{식 (1b)}$$

[0111] 가동자 위치 산출 함수(401)은, 전술한 바와 같이 해서 리니어 인코더(204)의 출력에 근거하여, 가동자 위치 정보로서 가동자(101)의 X방향에 있어서의 위치 X를 산출해서 결정하는데 사용된다.

[0112] 다음에, 가동자 자세 산출 함수(402)를 사용한 처리에 대해 도8, 도9a 및 도9b을 참조하여 설명한다.

[0113] 도8은, 가동자(101)로서 가동자 101c이 반송되고, Y 센서(205)로서 Y 센서 205a, 205b가 배치되어 있는 경우를 나타내고 있다. 도8에 나타낸 가동자 101c의 Y 타겟(105)에는 2개의 Y 센서 205a, 205b가 대향하고 있다. 2개의 Y 센서 205a, 205b가 출력하는 상대 거리의 값을 각각  $Y_a$ ,  $Y_b$ 로 하고, Y 센서 205a, 205b 사이의 간격이  $Ly$ 인 경우, 가동자 101c의 Z축 주위의 회전량  $W_z$ 는 다음 식 (4)에 의해 산출된다.

$$[0114] W_z = (Y_a - Y_b) / Ly \quad \dots \text{식 (4)}$$

[0115] 이때, 가동자(101)의 특정한 위치에 대해서는 3개 이상의 Y 센서(205)가 Y 타겟(105)와 대향할 수도 있다. 그 경우, 최소제곱법 등을 사용해서 Y 타겟(105)의 기울기, 즉 Z축 주위의 회전량  $W_z$ 를 산출할 수 있다.

[0116] 또한, 도9a 및 도9b는, 가동자(101)로서 가동자 101d가 반송되고, Z 센서(206)로서 Z 센서 206a, 206b, 206c가 배치되어 있는 경우를 나타내고 있다. 도9a 및 도9b에 나타낸 가동자 101d의 Z 타겟(106)에는 3개의 Z 센서 206a, 206b, 206c가 대향하고 있다. 여기에서, 3개의 Z 센서 206a, 206b, 206c가 출력하는 상대 거리의 값을 각각  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$ 이다. 또한, X방향의 센서간 거리, 즉 Z 센서 206a, 206b 사이의 거리는  $Lz1$ 이다. 또한, Y방향의 센서간 거리, 즉 Z 센서 206a, 206c 사이의 거리를  $Lz2$ 이다. 그후, Y축 주위의 회전량  $W_y$  및 X축

주위의 회전량  $W_x$ 는, 각각 다음 식 (5a) 및 (5b)에 의해 산출할 수 있다.

[0117]  $W_y = (Z_b - Z_a) / L_{z1}$  …식 (5a)

[0118]  $W_x = (Z_c - Z_a) / L_{z2}$  …식 (5b)

[0119] 가동자 자세 산출 함수(402)를 사용하여, 전술한 것과 같이, 가동자(101)의 자세 정보로서 각 축 주위의 회전량  $W_x$ ,  $W_y$ ,  $W_z$ 를 산출할 수 있다.

[0120] 또한, 가동자 자세 산출 함수(402)를 사용하여, 다음과 같이 해서 가동자(101)의 자세 정보로서 가동자(101)의 Y방향의 위치 Y 및 Z방향의 위치 Z를 산출할 수 있다.

[0121] 우선, 가동자(101)의 Y방향의 위치 Y의 산출에 대해 도8을 참조하여 설명한다. 도8에 있어서, 가동자 101c이 대향하는 2개의 Y 센서(205)는 각각 Y 센서 205a, 205b이다. 또한, Y 센서 205a, 205b의 측정값은 각각  $Y_a$ ,  $Y_b$ 이다. 또한, Y 센서 205a의 위치와 Y 센서 205b의 위치의 중점을  $0e'$ 으로 표시한다. 더구나, 식 (1) 내지 (3)에서 얻어진 가동자 101c의 위치를  $0s'$ 로 표시하고,  $0e'$ 로부터  $0s'$ 까지의 거리를  $dX'$ 로 표시한다. 이때, 가동자 101c의 Y방향의 위치 Y는, 다음 식 (6)을 사용한 근사 계산에 의해 산출할 수 있다.

[0122]  $Y = (Y_a + Y_b) / 2 - W_z * dX'$  …식 (6)

[0123] 다음에, 가동자(101)의 Z방향의 위치 Z의 산출에 대해 도9a 및 도9b을 참조하여 설명한다. 가동자 101d가 대향하는 3개의 Z 센서(206)는 각각 Z 센서 206a, 206b, 206c이다. 또한, Z 센서 206a, 206b, 206c의 측정값은 각각  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$ 이다. 또한, Z 센서 206a의 X좌표와 Z 센서 206c의 X좌표는 동일하다. 또한, 또한, Z 센서 206a 및 Z 센서 206c의 위치 X를  $0e''$ 로 표시한다. 더구나,  $0e''$ 로부터 가동자(101)의 중심  $0s''$ 까지의 거리를  $dX''$ 로 표시한다. 이때, 가동자(101)의 Z방향의 위치 Z는, 다음 식 (7)을 사용한 근사 계산에 의해 산출할 수 있다.

[0124]  $Z = (Z_a + Z_b) / 2 + W_y * dX''$  …식 (7)

[0125] 이때, 위치 Y 및 위치 Z에 대해 모두  $W_z$ ,  $W_y$ 의 회전량이 큰 경우에는, 근사의 정밀도를 더 높여서 산출할 수 있다.

[0126] 이렇게 해서, 통합 콘트롤러(301)은, 가동자 위치 산출 함수(401) 및 가동자 자세 산출 함수(402)를 사용한 처리를 실행함으로써, 가동자(101)의 위치 및 자세(X, Y, Z,  $W_x$ ,  $W_y$ ,  $W_z$ )을 취득하는 취득부로서 기능한다.

[0127] 다음에, 가동자(101)에 원하는 힘 T를 인가하기 위해 사용되는 코일 202, 207, 208에 인가할 전류값의 결정방법에 대해 설명한다. 가동자(101)에 인가된 힘 T는, 전술한 바와 같이, 힘의 3축 성분인  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  및 토크의 3축 성분인  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ ,  $T_{wz}$ 를 포함한다. 코일 전류 산출 함수(404)를 사용한 처리를 실행하는 통합 콘트롤러(301)은, 이하에서 설명하는 전류값의 결정방법에 따라 코일 202, 207, 208에 인가할 전류값을 결정할 수 있다.

[0128] 이때, 코일 202, 207, 208에 의해 인가된 힘 성분 및 토크 성분 중, 1개의 힘 성분 또는 토크 성분이 다른 힘 성분 또는 토크 성분에 미치는 영향을 충분히 무시할 수 있는 경우가 있다. 구체적으로 설명하면, 코일 202, 207, 208에 의해 인가된 힘 및 토크는, 코일 207에 의해 인가된 X방향의 힘, 코일 208에 의해 인가된 Y방향의 힘 및  $W_z$  방향의 토크, 및 코일 202에 의해 인가된 Z방향의 힘,  $W_x$  방향의 토크 및  $W_y$  방향의 토크로 이루어진다. 코일 208에 의해 인가된 Y방향의 힘 및  $W_z$  방향의 토크는 수평방향으로 작용한다. 코일 202에 의해 인가된 Z방향의 힘,  $W_x$  방향의 토크 및  $W_y$  방향의 토크는 부상 방향으로 작용한다. 영향을 충분히 무시할 수 있는 경우, 코일 207에 대해서는 X방향의 힘 만을, 코일 208에 대해서는 Y방향의 힘 및  $W_z$  방향의 토크 만을, 코일 202에 대해서는 Z방향의 힘,  $W_x$  방향의 토크 및  $W_y$  방향의 토크 만을 고려해서 전류값을 계산할 수 있다. 이하, 영향을 충분히 무시할 수 있는 경우에 대해 설명한다.

[0129] 우선, Z방향의 힘 성분  $T_z$ ,  $W_x$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$  및  $W_y$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$ 를 가동자(101)에 인가하기 위해서 각 코일 202에 인가된 전류에 대해 도10 내지 도13b를 참조하여 설명한다.

[0130] 도10은, 가동자(101)에 부착된 요크 판(103)에 작용하는 힘과 가동자(101)에 작용하는 힘 성분  $T_z$  및 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ 의 관계를 도시한 개략도다.

[0131] 도10에 있어서,  $F_{zj}$ 는 j번째의 코일 202이 요크 판(103)에 인가하는 힘을 나타낸다. 이때, 코일 202의

설치수  $N$ 이 2 이상의 정수일 때,  $j$ 는  $1 \leq j \leq N$ 을 만족하는 정수다. 각 힘  $F_{zj}$ 가 인가하는 토크는 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ 에 기여한다. 각 힘  $F_{zj}$ 가 인가하는 토크는, 그 힘  $F_{zj}$  및 그것의 작용점과 가동자(101)의 중심  $Oc$ 의 거리에 따라 결정된다.

[0132] 도11은, Z방향의 추력 상수 프로파일(601)을 모식적으로 나타낸 그레프다. 추력 상수 프로파일(601)은, 요크 판(103)에 대향하는 부상용의 코일 202에 단위전류를 인가했을 때에 요크 판(103)에 작용하는 흡인력을 모식적으로 나타내고 있다. 이 흡인력 크기는, X방향의 이동에 대해 연속적으로 변화한다.

[0133] 이하, 코일 202의 구성의 예에 대해 도12a 및 도12b을 참조하여 설명한다. 도12a 및 도12b은, 코일 202을 도시한 개략도다. 도12a는 Z축 방향에서 본 코일 202의 도면, 도12b은 코일 202을 X축 방향에서 본 도면이다.

[0134] 도12a 및 도12b에 나타낸 것과 같이, 코일 202은, 권선(210)과, 코어(211)을 갖고 있다. 권선(210)에는 전류 콘트롤러(313)에 의해 전류가 인가된다. 권선(210)에 대한 전류의 인가에 응답하여, 자속의 경로인 자로(212)이 형성된다. 이렇게 해서 형성된 자로(212) 중의 자속에 의해, 코일 202과 요크 판(103) 사이에 흡인력이 작용한다.

[0135] 코일 202에 인가하는 전류와, 코일 202과 요크 판(103) 사이에 작용하는 흡인력의 크기의 관계에 대해 도12a 내지 도13을 사용해서 더욱 상세히 설명한다. 도13은, 코일 202에 인가하는 전류와, 코일 202과 요크 판(103) 사이에 작용하는 흡인력의 크기의 관계를 모식적으로 나타낸 그레프다. 도13에 나타낸 그레프에 있어서, 가로축은 코일 202에 인가하는 전류량  $I$ 를 나타내고, 세로축은 코일 202과 요크 판(103) 사이에 작용하는 흡인력의 크기  $F_z$ 를 나타내고 있다. 도13에 나타낸 그레프는, 전류량  $I$ 에 대한 흡인력의 크기  $F_z$ 를 나타낸 흡인력 프로파일(604)을 표시하고 있다.

[0136] 코일 202과 요크 판(103) 사이의 Z방향의 간격이 일정한 경우, 흡인력  $F_z$ 는, 전류량  $I$ 의 제곱에 대비례한다. 여기에서, 도13에 나타낸 그레프 중,  $F_0$ 은 가동자(101)에 작용하는 중력  $mg$ 을 보상하기 위해서 필요한 각 코일 202에 평균적으로 작용하는 힘의 크기다.

[0137] 여기에서, 다음과 같이 수치 및 기호를 설정한다.

[0138] 1개의 코일 202의 코어(211)의 저면적:  $S=0.01[m^2]$

[0139] 1개의 코일 202이 보상하는 가동자(101)의 질량의 일부:  $F_0=100[N]$ (약 10[kg])

[0140] 진공의 투자율:  $\mu_0=4\pi \times 10^{-7}$

[0141] 공기 갭:  $gap[m]$

[0142] 코일 202의 권선(210)의 감긴 수:  $n[회]$

[0143] 코일 전류:  $I[A]$

[0144] 코어(211)과 요크 판(103) 사이의 자속밀도:  $B[T]$

[0145] 코어(211) 및 요크 판(103)의 투자율이 진공의 투자율에 대해 충분히 큰 경우에는,  $F_z$  및  $B$ 은 각각 다음 식 (8a) 및 (8b)에 의해 근사적으로 계산할 수 있다.

$$F_z = S * B^2 / (2 * \mu_0) \quad \dots \text{식 (8a)}$$

$$B = n * I * \mu_0 / (2 * gap) \quad \dots \text{식 (8b)}$$

[0148] 여기에서, 감긴 수  $n$ 이 500[회], 코일 전류  $I$ 가 1.0[A]일 때, 공기 갭 "gap"은, 식 (8a) 및 (8b)에 의해 0.006266[m]로 계산할 수 있다.

[0149] 여기에서, 흡인력 프로파일(604)에 있어서,  $F_z=F_0$ 이 되는  $I=I_0$ 인 점은  $Q$ 이다. 이 점  $Q$  주위의 부분에 대해 설명한다.

[0150] 가령, "gap"이 0.006266[m]로부터 0.25[mm]만큼 확대 방향으로 변화한 경우, 확대하는 "gap"을 보상하기 위해서, 코일 202에는 보다 큰 기자력을 발생시킬 필요가 있다. "gap"이 0.006516m이고 식 (8a) 및 (8b)을 같은  $F_z$ 를 발생하도록 해서 계산하면, 코일 전류  $I$ 는, 1.0399[A]로 계산된다. 이 정도의 전류값이기 때문에, 가동자(101)의 반송중에 있어서의 코일 전류의 전류값의 변동은, 기준이 되는 코일 전류  $I_0$ 에 비해 충분히 작다.

[0151] 따라서, 점 Q의 주위에서는, 전류  $I_0$ 에 대해 추가로 인가하는 전류  $dI$ 와, 전류  $dI$ 의 인가에 의해 Z축 방향에 추가로 발생되는 힘의 크기  $dF$  사이에는, 다음 식 (8c)로 표시되는 관계가 성립한다. 이때, 원점 0의 주위에서는 식 (8c)로 표시되는 관계는 만족하지 않는다.

[0152]  $dF \propto dI$  …식 (8c)

[0153] 여기에서,  $dF$ 와  $dI$ 의 비를 다음 식 (8d)로 정의한다.

[0154]  $dF/dI = E_z$  …식 (8d)

[0155] 도 11에 나타낸 추력 상수 프로파일(601)에 있어서,  $E_z(j, P)$ 이 표시되어 있다.  $E_z(j, P)$ 은, 식 (8d)에 나타낸 비로 되어 있다. 즉,  $E_z(j, P)$ 은, 가동자(101)이 위치 자세  $P$ 에 있을 때에  $j$ 번째의 코일 202에 평균적으로 인가하고 있는 전류  $I_0$ 에 대해 추가로 전류  $dI$ 를 인가했을 때, 전류  $I_0$ 에 대한 Z축 방향으로 추가로 발생된 힘의 크기  $dF$ 의 비를 나타낸다.

[0156]  $j$ 가 코일 202를 특정하는 지표일 때, 표기방법에 따라 도 10을 참조해서 설명한다. 이하, 간략을 위해, Z방향의 추가의 힘  $dF_{zj}$ 를 간단히  $F_{zj}$ 로 표기하고, 추가의 전류  $dI_j$ 를  $I_j$ 로 표기한다.

[0157]  $j$ 번째의 코일 202이 발생하는 Z방향의 추가의 힘  $F_{zj}$ 는,  $I_j$ 가  $j$ 번째의 코일 202에 인가하는 추가의 전류를 표시할 때, 다음 식 (9a)에 의해 표시된다.

[0158]  $F_{zj} = E_z(j, P) * I_j$  …식 (9a)

[0159] 더구나  $X(j, P)$ 는  $j$ 번째의 코일 202의 가동자(101)의 원점 0c에서 본 X방향의 상대 위치로 정의되고,  $Y(j, P)$ 는  $j$ 번째의 코일 202의 가동자(101)의 원점 0c에서 본 Y방향의 상대 위치로 정의된다. 그후, Z방향의 힘 성분  $T_z$ ,  $W_x$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$  및  $W_y$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$ 는, 각각 다음 식 (9b), (9c) 및 (9d)에 의해 표시된다.

[0160]  $T_z = \sum (E_z(j, P) * I_j)$  …식 (9b)

[0161]  $T_{wx} = \sum (-E_z(j, P) * Y(j, P) * I_j)$  …식 (9c)

[0162]  $T_{wy} = \sum (E_z(j, P) * X(j, P) * I_j)$  …식 (9d)

[0163] 식 (9b), (9c) 및 (9d)을 만족하는 전류  $I_j$ 를 각 코일 202에 인가하면, 원하는 힘 성분 및 토크 성분 ( $T_z$ ,  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ )을 얻을 수 있다.

[0164] 여기에서, 토크 기여 행렬  $M$ 을 정의한다. 토크 기여 행렬  $M$ 은, 가동자가 위치 자세  $P$ 에 있는 경우에 1 번째 내지  $j$ 번째의 코일 202의 각각에 대해 단위전류를 인가한 경우의 각 힘 성분 및 토크 성분( $T_z$ ,  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ )에의 기여의 크기를 나타낸 행렬이다. 이렇게, 토크 기여 행렬  $M$ 을 사용하여, 각 코일 202에 인가되는 단위전류에 기인한 힘 성분 및 토크 성분( $T_z$ ,  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ )의 각 성분에 대한 기여에 관한 정보를 사용하여 각 코일 202에 인가되는 전류값을 결정한다.

[0165] 토크 기여 행렬  $M$ 에서는, 첫째 행을 Z방향과 관련시키고, 2째 행을  $W_x$  방향과 관련시키고, 3째 행을  $W_y$  방향과 관련시킨다. 그후, 토크 기여 행렬  $M$ 의 1행  $j$ 열, 2행  $j$ 열 및 3행  $j$ 열의 각 요소  $M(1, j)$ ,  $M(2, j)$  및  $M(3, j)$ 은, 각각 다음 식 (10a), (10b) 및 (10c)에 의해 표시된다. 토크 기여 행렬  $M$ 은 3행  $N$ 열의 행렬이다. 이 때, 토크 기여 행렬  $M$ 의 각 행은 서로 선형 독립이다.

[0166]  $M(2, j) = -E_z(j, P) * Y(j, P)$  …식 (10b)

[0167]  $M(3, j) = E_z(j, P) * X(j, P)$  …식 (10c)

[0168] 한편, 코일 전류 벡터  $I_s$ 로서, 1번째 내지  $N$ 번째의 코일 202에 인가할 전류량  $I_1$  내지  $I_N$ 을 요소로 하는 열 벡터를 도입한다. 코일 전류 벡터  $I_s$ 는, 다음 식 (10d)에 의해 표시되는  $N$ 행 1열의 열 벡터다.

[0169]  $I_s = \text{Tr}(I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_N)$  …식 (10d)

[0170] 여기에서, 토크 벡터  $T_q$ 를 다음 식 (11)에 의해 정의한다.

[0171]  $T_q = \text{Tr}(T_z, T_{wx}, T_{wy})$  …식 (11)

[0172] 그러면, 식 (9b) 내지 (9d), (10a) 내지 (10d) 및 (11)로부터 다음 식 (12)이 얻어진다.

[0173]  $Tq=M*Is$      …식 (12)

[0174] 여기에서, 의사 전류 벡터  $K$ 을 도입한다. 의사 전류 벡터  $K$ 은, 3행 1열의 열 벡터이며,  $Tr(M)$ 이 토크 기여 행렬  $M$ 의 전치 행렬일 때, 다음 식 (13)을 만족하는 벡터다.

[0175]  $Tr(M)*K=Is$      …식 (13)

[0176] 코일 전류 벡터  $Is$ 를 식 (13)에 의해 표시되는 벡터로서 정의함으로써,  $Tz$ ,  $Twx$  및  $Twy$ 에의 기여가 큰 코일 202에 더 큰 전류값을 인가할 수 있으므로, 효율적으로 전류를 인가할 수 있다.

[0177] 식 (12)은, 식 (13)을 사용해서 다음 식 (14)으로 변형할 수 있다.

[0178]  $Tq=M*Tr(M)*K$      …식 (14)

[0179] 식 (14)에 있어서,  $M*Tr(M)$ 은, 3행  $N$ 열의 행렬과  $N$ 행 3열의 행렬의 곱이기 때문에 3행 3열의 정방행렬이다. 또한, 토크 기여 행렬  $M$ 의 각 행은 서로 선형독립이다. 따라서,  $M*Tr(M)$ 로부터 역행열을 항상 얻을 수 있다. 그 때문에, 식 (14)은 다음 식 (15)로 변형할 수 있다.

[0180]  $K=Inv(M*Tr(M))*Tq$      …식 (15)

[0181] 식 (13) 및 (15)로부터, 최종적으로 다음 식 (16)으로 표시되는 코일 전류 벡터  $Is$ 를 얻는다. 이렇게 해서, 코일 전류 벡터  $Is$ 를 고유하게 구할 수 있다.

[0182]  $Tr(M)*Inv(M*Tr(M))*Tq=Is$      …식 (16)

[0183] 이상과 같이 해서 코일 전류 벡터  $Is$ 를 계산함으로써, 각 코일 202에 인가할 전류를 결정할 수 있다. 이에 따라, 가동자(101)에 대해  $Z$ 방향의 힘 성분  $Tz$ ,  $Wx$  방향의 토크 성분  $Twx$  및  $Wy$  방향의 토크 성분  $Twy$ 를 독립적으로 인가할 수 있으므로,  $Z$ 방향,  $Wx$  방향 및  $Wy$  방향에 있어서 가동자(101)의 자세를 안정시킬 수 있다.

[0184] 다음에,  $Y$ 방향의 힘 성분  $Ty$  및  $Wz$  방향의 토크 성분  $Twz$ 를 가동자(101)에 인가하기 위해서 코일 208에 인가된 전류에 대해 도14 및 도15를 참조하여 설명한다. 힘 성분  $Ty$  및 토크 성분  $Twz$ 는, 각각 수평방향으로 작용한다. 도14은, 가동자(101)을  $Z$ 방향으로 위에서 아래로 본 개략도다. 도15은,  $Y$ 방향의 흡인력 프로파일(605)을 모식적으로 나타낸 그래프다. 도15에 나타낸 그래프에 있어서, 가로축은 코일 208에 인가된 전류를 나타내고, 세로축은 가동자(101)에 작용하는 힘을 나타내고 있다.

[0185] 이때, 간략을 위해, 도14에는, 고정자(201)에 설치된 코일 208로서, 4개의 코일 208aR, 208bR, 208aL, 208bL이 가동자(101)에 대향하고 있는 경우를 나타내고 있다. 또한, 코일 208aL과 208aR은 한쌍이 되어 1개의 코일 208a로서 동작한다. 또한, 코일 208bL과 코일 208bR은 한쌍이 되어 1개의 코일 208b으로서 동작한다. 이렇게,  $j$ 번째의 쌍의 코일 208jR와 코일 208jL은, 한쌍이 되어 1개의 코일 208j로서 동작한다.

[0186] 도15에 나타낸 흡인력 프로파일(605)은,  $j$ 번째의 한 쌍의 코일 208j에 인가된 전류의 레벨  $IL$ ,  $IR$ 와 가동자(101)에 작용하는 힘  $Fy$ 의 크기의 관계를 나타내고 있다. 코일 208과 요크 판(103) 사이에는, 반발력은 작용하지 않고 흡인력만 작용한다. 이 때문에, 가동자(101)에 대해  $Y$ +방향으로 힘을 인가할 경우에는, 흡인력 프로파일(605)의 범위 605a에 있어서,  $R$ 측의 코일 208jR에 전류를 인가한다. 또한, 가동자(101)에 대해  $Y$ -방향으로 힘을 인가할 경우에는, 흡인력 프로파일(605)의 범위 605b에 있어서  $L$ 측의 코일 208jL에 전류를 인가한다.

[0187] 예를 들면,  $Y$ +방향의 힘  $Fa$ 를 인가할 경우에는,  $R$ 측의 코일 208jR에 전류  $Ia$ 를 인가할 수 있다. 또한, 예를 들면,  $Y$ -방향의 힘  $Fb$ 를 인가하는 경우에는,  $L$ 측의 코일 208jL에 전류  $Ib$ 을 인가할 수 있다.

[0188] 지표  $j$ 는 한쌍의 코일 208을 특정하는 지표로 정의한다. 또한,  $X(j, P)$ 을  $j$ 번째의 한 쌍의 코일 208의 가동자(101)의 원점  $Oc$ 에서 본  $X$ 방향의 상대 위치로 정의한다. 또한,  $j$ 번째의 한 쌍의 코일 208이 인가하는  $Y$ 방향의 힘을  $Fyj$ 로 정의한다. 이에 따라, 수평방향에 대응하는  $Y$ 방향의 힘 성분  $Ty$  및  $Wz$  방향의 토크 성분  $Twz$ 는 각각 다음 식 (17a) 및 (17b)에 의해 표시된다.

[0189]  $Ty=\sum Fyj$      …식 (17a)

[0190]  $Twz=\sum (-Fyj*X(j, P))$      …식 (17b)

[0191] 여기에서, 1번째 내지  $N$ 번째의 코일 208이 인가하는  $Y$ 방향의 힘  $Fy1$ ,  $Fy2$ , …,  $FyN$ 의 요소를 갖는  $Y$ 방향 힘 벡터  $Fys$ 를 다음 식 (17c)에 의해 정의한다.

[0192]  $F_{ys} = \text{Tr}(F_{y1}, F_{y2}, \dots, F_{yj}, \dots, F_{yN})$  …식 (17c)

[0193] 더구나, 토크 벡터  $T_q$ 를 다음 식 (17d)에 의해 정의한다.

[0194]  $T_q = \text{Tr}(T_y, T_{wz})$  …식 (17d)

[0195] 토크 기여 행렬  $M$ 에서는, 첫째 행이  $Y$ 방향과 관련되고, 2째 행이  $W_z$  방향과 관련된다. 이에 따라, 토크 기여 행렬  $M$ 의 1행  $j$ 열 및 2행  $j$ 열의 각 요소  $M(1, j)$  및  $M(2, j)$ 은 각각 다음 식 (17e) 및 (17f)에 의해 표시된다.

[0196]  $M(1, j) = 1$  …식 (17e)

[0197]  $M(2, j) = X(j, P)$  …식 (17f)

[0198] 코일 208에 인가할 전류를 산출하기 위해서, 우선, 다음 식 (17g)을 만족하는  $Y$ 방향 힘 벡터  $F_{ys}$ 를 결정한다.

[0199]  $T_q = M * F_{ys}$  …식 (17g)

[0200]  $T_q$ 는 2행 1열의 벡터이고,  $M$ 은 2행  $N$ 열의 행렬이기 때문에, 식 (17g)을 만족하는  $Y$ 방향 힘 벡터  $F_{ys}$ 의 요소의 조합은 무수하게 있지만, 이하의 방법에 따라 고유하게 계산할 수 있다.

[0201] 여기에서, 2행 1열의 의사 전류 벡터  $K$ 을 도입한다. 의사 전류 벡터  $K$ 은,  $\text{Tr}(M)$ 이 토크 기여 행렬  $M$ 의 전치 행렬일 때, 다음 식 (17h)을 만족하는 벡터다.

[0202]  $\text{Tr}(M) * K = F_{ys}$  …식 (17h)

[0203] 식 (17g)은, 식 (17h)을 사용해서 다음 식 (17i)로 변형할 수 있다.

[0204]  $T_q = M * \text{Tr}(M) * K$  …식 (17i)

[0205] 항목  $M * \text{Tr}(M)$ 은, 2행  $N$ 열의 행렬과  $N$ 행 2열의 행렬의 곱이기 때문에 2행 2열의 정방행렬이다. 또한, 토크 기여 행렬  $M$ 의 각 행은 서로 선형독립이다. 따라서,  $M * \text{Tr}(M)$ 로부터 역행열을 항상 얻을 수 있다. 그 때문에, 식 (17i)은 다음 식 (17j)으로 변형할 수 있다.

[0206]  $K = \text{Inv}(M * \text{Tr}(M)) * T_q$  …식 (17j)

[0207] 식 (17h) 및 (17j)로부터, 최종적으로 다음 식 (17k)로 표시되는  $Y$ 방향 힘 벡터  $F_{ys}$ 를 얻는다. 이에 따라,  $Y$ 방향 힘 벡터  $F_{ys}$ 를 고유하게 계산할 수 있다.

[0208]  $\text{Tr}(M) * \text{Inv}(M * \text{Tr}(M)) * T_q = F_{ys}$  …식 (17k)

[0209]  $Y$ 방향 힘 벡터  $F_{ys}$ 가 얻어진 후에는, 미리 계산 또는 측정되어 있는 흡인력 프로파일(605)로부터 역산해서 각 코일 208에 인가할 전류를 산출할 수 있다.

[0210] 이상과 같이 하여, 각 코일 208에 인가할 전류를 결정할 수 있다. 이에 따라, 가동자(101)에 대해  $Y$ 방향의 힘 성분  $T_y$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 독립적으로 인가할 수 있으므로,  $Y$ 방향 및  $W_z$  방향에 있어서 가동자(101)의 자세를 안정시킬 수 있다. 예를 들면, 코일 208에 대해서는,  $W_z$  방향의 토크가 항상 0이 되도록 전류를 인가할 수 있다.

[0211] 다음에, 반송 방향인  $X$ 방향으로 추력을 가동자(101)에 인가하는 코일 207의 제어방법에 대해 설명한다. 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 유도형 리니어 모터를 사용한 반송 시스템이다. 코일 207은, 코일 207과 가동자(101)의 도전판(107) 사이에서 전자력을 발생시켜  $X$ 방향으로 추력, 즉  $X$ 방향으로 힘 성분  $T_x$ 를 가동자(101)에 인가한다. 도전판(107)은 특별히 한정되는 것은 아니며, 전기 저항이 비교적 작은 판, 예를 들면 알루미늄제의 판이 사용되고 있다.

[0212] 전류가 인가될 때, 각 코일 207은 반송 방향인  $X$ 방향으로 이동 자계를 발생시켜, 코일 207과 도전판(107) 사이에 전자력을 발생시킨다. 이에 따라, 각 코일 207은, 가동자(101)에게 반송 방향인  $X$ 방향의 추력으로서 힘 성분  $T_x$ 를 발생시킨다. 가동자(101)의 속도가 불충분한 경우에는, 각 코일 207에 인가하는 전류를 증가하거나, 이동 자계가 이동하는 속도가 더 커지도록 각 코일 207에 인가하는 전류의 타이밍을 변경할 수 있다.

[0213] 전술한 것과 같이, 통합 콘트롤러(301)은, 각 코일 202, 207, 208에 인가할 전류의 전류 지령값을 결정해서 제어한다. 이에 따라, 통합 콘트롤러(301)은, 고정자(201)에 의해 반송되는 가동자(101)의 자세를 6축에서

제어하면서, 가동자(101)의 비접촉에서의 고정자(201) 위의 반송을 제어한다. 이때, 제어장치로서의 통합 콘트롤러(301)의 기능의 전부 또는 일부는, 코일 콘트롤러(302)와 기타 제어장치에 의해 대체될 수도 있다.

[0214] 이때, 본 실시형태에서는 코일 207의 전류도 코일 202 및 코일 208의 전류와 동일하게 제어되는 경우를 설명했지만, 본 실시형태는 이것에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, 보다 간단한 구성에서는, 유도 모터 콘트롤러를 통합 콘트롤러(301)에 접속하고, 유도 모터 콘트롤러에 의해 일정한 이동 자계가 발생하도록 각 코일 207의 전류를 제어해도 된다.

[0215] 일본국 특허 제6538710호에 기재되는 것 같은 종래의 반송장치에서는, 예를 들면, 가동자를 기울이는 것 등의 전체의 자세를 변경하는 것이 곤란하였다. 또한, 종래의 반송장치에서는, 가동자의 자세를 전체적으로 제어하지 않기 때문에, 예를 들면, 가동자가 변형한 경우에, 한 개의 지령이 특정한 코일을 위로 향해 힘을 인가하게 지시하고, 다른 지령이 다른 코일을 아래로 향해 힘을 인가하게 지시하는 상반되는 지령을 내릴 우려가 있다. 이와 같은 상반된 지령은 가동자의 반송을 불안정하게 한다.

[0216] 또한, 종래의 반송장치에서는, 전체 가동자를 고려하면서 자세를 제어하고 있지 않기 때문에, 가동자의 이동에 따라 가동자의 높이나 변형이 외란이 되어. 가동자의 자세를 불안정하게 한다. 또한, 특히, 가동자의 부상을 위해 사용된 코일이 이산적으로 배치된 경우, 종래의 반송장치는, 가동자의 특정한 위치에 대한 제어에 포함된 코일의 개수의 변화의 결과로써, 제어 상의 실효적인 계인이 변화하여, 결과적으로 가동자의 반송이 불안정해진다고 하는 과제가 있었다. 또한, 종래의 반송장치에서는, 제어에 필요한 것보다 많은 전류를 인가하기 때문에, 에너지의 손실을 일으키고, 코일이 필요 이상으로 가열되기 때문에, 냉각계가 필요하게 되는 것 등의 문제가 있었다.

[0217] 이에 대해, 본 실시형태에서는, 가동자(101)에 대해 6축에서 힘 성분 및 토크 성분( $T_x, T_y, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}$ )을 인가할 수 있으므로, 가동자(101)의 자세를 전체로서 제어할 수 있다. 따라서, 본 실시형태에서는, 가동자(101)의 자세를 안정화할 수 있는 동시에, 각 코일 202, 207, 208에 필요한 범위에서 전류를 인가할 수 있다.

[0218] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 실시형태에 따르면, 가동자(101)에 대해 6축의 힘 성분 및 토크 성분( $T_x, T_y, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}$ )을 독립하여 인가할 수 있다. 이 때문에, 본 실시형태에 따르면, Y방향, Z방향,  $W_x$  방향,  $W_y$  방향 및  $W_z$  방향에 있어서 가동자(101)의 자세를 안정시키면서 X방향으로 안정적으로 가동자(101)을 비접촉 상태에서 반송할 수 있다.

## 제2실시형태

[0220] 본 발명의 제2실시형태에 대해 도16 내지 도17c을 참조하여 설명한다. 이때, 제1실시형태와 같은 구성 요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0221] 우선, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)의 구성에 대해 도16을 참조하여 설명한다. 도16은, 본 실시형태에 따른 가동자(101) 및 고정자(201)을 포함하는 반송 시스템(1)의構成을 도시한 개략도다. 도16은, 가동자(101) 및 고정자(201)을 X방향에서 본 도면이다.

[0222] 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, X방향의 힘 성분  $T_x$ , Y방향의 힘 성분  $T_y$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에 인가하기 위한 구성에서, 제1실시형태의 구성과 다르다.

[0223] 도16에 나타낸 것과 같이, 본 실시형태에 따른 가동자(101)은, 제1실시형태에서 사용한 가동자(101) 측면의 요크 판(103) 및 가동자(101) 상면의 도전판(107) 대신에, 복수의 영구자석을 포함하는 영구자석 열(109)을 갖고 있다. 또한, 본 실시형태에 따른 고정자(201)은, 제1실시형태에서 사용한 코일 207, 208 대신에, 코일(209)를 갖고 있다.

[0224] 영구자석 열(109)은, 가동자(101)의 R측 및 L측의 측면 중 한쪽의 측면에 X방향을 따라 복수의 영구자석이 정렬되도록 설치되어 있다. 도16은, 가동자(101)의 L측의 측면에 영구자석 열(109)이 설치되어 있는 경우를 예시하고 있다. 영구자석 열(109)에 포함되는 복수의 영구자석은, 고정자(201)측의 옆쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 X방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다.

[0225] 복수의 코일(209)은, 가동자(101)의 측면에 설치된 영구자석 열(109)에 Y방향을 따라 대향가능하게 고정자(201)에 X방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 구체적으로는, 복수의 코일(209)은, 가동자(101)의 R측 및 L측 중 한쪽의 측면에 설치된 영구자석 열(109)에 Y방향을 따라 옆쪽으로부터 대향가능하게 X방향을 따라 정렬

되어 설치되어 있다.

[0226] 각 코일(209)에는, 제1실시형태에서 설명한 코일 202, 207, 208의 경우와 마찬가지로, 통합 콘트롤러(301), 코일 콘트롤러(302) 등을 포함하는 제어 시스템(3)에 의해 전류가 인가된다.

[0227] 본 실시형태에서는, 코일(209)에 의해 영구자석 열(109)에 힘을 인가함으로써, X방향의 힘 성분  $T_x$ , Y방향의 힘 성분  $T_y$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에 대해 독립적으로 인가한다. 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 고정자(201)의 코일(209)과 가동자(101)의 영구자석 열(109) 사이에서 전자력을 발생시켜 X방향의 추력을 가동자(101)에 인가하는 동기식 리니어 모터를 사용한 반송 시스템이다. 또한, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 가동자(101)을 부상시켜 가동자(101)를 비접촉으로 반송하는 자기 부상형의 반송 시스템이다.

[0228] 이하, X방향의 힘 성분  $T_x$ , Y방향의 힘 성분  $T_y$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에게 독립적으로 인가하는 방법에 대해 도17a 내지 도17c를 참조하여 설명한다.

[0229] 도17a 내지 도17c은, 코일(209)과 영구자석 열(109)을 사용해서 힘 성분  $T_x$ ,  $T_y$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에게 독립적으로 인가하는 방법을 설명하는 개략도다. 코일 전류 산출 함수(404)은, 이하의 방법에 따라서, 가동자(101)의 영구자석 열(109)에 대해 힘 성분  $T_x$ ,  $T_y$  및 토크 성분  $T_{wz}$ 를 독립적으로 인가하기 위해 사용된 코일(209)에 인가할 전류 지령값을 결정하는데 사용된다. 이때, 간략을 위해, 도17a 내지 도17c에 있어서, 영구자석 열(109)은 5개의 영구자석을 포함한다. 이때, 도17a 내지 도17c에 있어서 좌우로 배치된 점선은 X방향에 있어서 대응하는 위치를 나타내고 있다.

[0230] 또한, 이하의 설명에서는, 좌표축으로서  $q$ 축 및  $d$ 축을 적절히 사용한다.  $q$ 축 및  $d$ 축은, 동기식 모터의 벡터 제어이론에서 일반적으로 사용되는 표현이다.  $q$ 축은, 영구자석 열(109)이 뺀 방향을 따른 축이다.  $d$ 축은,  $q$ 축과 직교하고 영구자석 열(109)에 포함되는 영구자석의 표면이 향하는 방향을 따른 축이다. 본 실시형태에서는,  $q$ 축이 X축에 해당하고,  $d$ 축이 Y축에 해당한다.

[0231] 여기에서,  $P$ 를 가동자(101)의 위치 및 자세로 정의하고,  $j$ 를 열로 정렬된 코일(209)들 중에서 한개?? 번호로 정의할 때, 단위전류당의  $j$ 번째의 코일(209)의  $q$ 축 방향(X방향) 및  $d$ 축 방향(Y방향)으로 작용하는 힘의 크기를 각각  $Eq(j, P)$  및  $Ed(j, P)$ 로 표시한다. 또한,  $j$ 번째의 코일(209)의 전류의 레벨을  $I(j)$ 로 표시한다.

[0232] 도17a는, 가로로  $q$ 축(X축)을 취하고, 세로로  $Z$ 축을 취하고, 영구자석 열(109)에 대향하는 9개의 코일(209)를 뺀아 내서 나타낸 도면이고,  $Y+$  방향에서 본 도면이다. 도17b은, 도17a를  $Z$ 방향에서 본 도면이다. 코일(209)에는, X방향으로의 정렬 순서로 1로부터 9까지의 번호  $j$ 를 부여하고, 이하에서는 예를 들면 코일(209)(1)과 같이 표기해서 각 코일(209)를 특정한다.

[0233] 도17a 및 도17b에 나타낸 것과 같이, 코일(209)은, 거리  $L$ 의 피치로 배치되어 있다. 한편, 가동자(101)의 영구자석 열(109)에 포함되는 영구자석은, 거리  $3/2*L$ 의 피치로 배치되어 있다.

[0234] 도17c은, 도17a 및 도17b에 나타낸 각각의 코일(209)에 대해 단위전류를 인가했을 때에 발생하는  $q$ 축 방향(X방향)의 힘  $Eq$  및  $d$ 축 방향(Y방향)의 힘  $Ed$ 의 크기를 각각 모식적으로 나타낸 그래프다.

[0235] 간략을 위해, 도17a 내지 도17c에서는, 코일(209)의 X방향의 위치의 원점  $0m$ 을 코일(209)(5)의 중간점으로 정의하고, 영구자석 열(109)의 X방향의 중심을 가동자(101)의 원점  $0c$ 로 정의하고 있다. 이 때문에, 도17c은,  $0s$ 와  $0m$ 이 일치한 경우, 즉  $X=0$ 의 경우를 나타내고 있다.

[0236] 이때, 예를 들면, 코일(209)(4)에 대해 작용하는 단위전류당의 힘은,  $q$ 축 방향(X방향)으로  $Eq(4, 0)$ ,  $d$ 축 방향(Y방향)으로  $Ed(4, 0)$ 의 크기다.

[0237] 가동자(101)의 영구자석 열(109)에 작용하는 X방향의 힘 성분  $T_x$ , Y방향의 힘 성분  $T_y$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 는, 각각 다음 식 (20a), (20b) 및 (20c)에 의해 표시된다.

$$Tx = \sum Eq(j, P) * Ij \quad \dots \text{식 (20a)}$$

$$Ty = \sum Ed(j, P) * Ij \quad \dots \text{식 (20b)}$$

$$Twz = \sum \{-Ed(j, P) * X(j, P) * Ij\} \quad \dots \text{식 (20c)}$$

[0241] 이와 같은 계산후에, 제1실시형태와 마찬가지로, 토크 기여 행렬  $M$ 을 정의해서 계산함으로써, 원하는  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $Twz$ 를 가동자(101)에 인가하기 위해서 각 코일(209)에 인가할 전류를 나타내는 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 얻

을 수 있다.

[0242] 본 실시형태에서 정의하는 토크 기여 행렬  $M$ 에서는, 첫째 행이  $X$ 방향과 관련되고, 2째행이  $Y$ 방향과 관련되고, 3째 행이  $Wz$  방향과 관련된다. 이에 따라, 본 실시형태에서 정의하는 토크 기여 행렬  $M$ 의 1행  $j$ 열, 2행  $j$ 열 및 3행  $j$ 열의 각 요소  $M(1,j)$  내지  $M(3,j)$ 은, 각각 다음 식 (20d) 내지 (20f)에 의해 표시된다. 토크 기여 행렬  $M$ 은 3행  $N$ 열의 행렬이다. 이때, 토크 기여 행렬  $M$ 의 각 행은 서로 선형독립이다.

[0243]  $M(1,j)=Eq(j, P) \dots$ 식 (20d)

[0244]  $M(2,j)=Ed(j, P) \dots$ 식 (20e)

[0245]  $M(3,j)=-Ed(j, P)*X(j, P) \dots$ 식 (20f)

[0246] 또한, 본 실시형태에서는 코일 전류 벡터  $I_s$ 로서, 1번째 내지  $N$ 번째의 코일(209)에 인가할 전류량  $I_1$  내지  $I_N$ 을 요소로 하는 열 벡터를 도입한다. 코일 전류 벡터  $I_s$ 는, 다음 식 (20g)에 의해 표시되는  $N$ 행 1열의 열 벡터다.

[0247]  $I_s=Tr(I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_N) \dots$ 식 (20g)

[0248] 또한, 본 실시형태에서는, 토크 벡터  $T_q$ 를 다음 식 (20h)에 의해 정의한다.

[0249]  $T_q=Tr(T_x, T_y, T_{wz}) \dots$ 식 (20h)

[0250] 그러면, 다음 식 (20i)가 얻어진다.

[0251]  $T_q=M*I_s \dots$ 식 (20i)

[0252] 본 실시형태에서도, 제1실시형태와 마찬가지로 의사 전류 벡터  $K$ 을 사용한 계산을 실행한다. 본 실시형태에서는, 3행 1열의 의사 전류 벡터  $K$ 을 도입한다. 본 실시형태에서 도입하는 의사 전류 벡터  $K$ 은, 다음 식 (20j)을 만족한다.

[0253]  $Tr(M)*K=I_s \dots$ 식 (20j)

[0254] 식 (20i)은, 식 (20j)을 사용해서 다음 식 (20k)로 변형할 수 있다.

[0255]  $T_q=M*Tr(M)*K \dots$ 식 (20k)

[0256] 식 (20k)에 있어서,  $M*Tr(M)$ 은, 3행  $N$ 열의 행렬과  $N$ 행 3열의 행렬의 곱이기 때문에, 3행 3열의 정방행렬이다. 또한, 토크 기여 행렬  $M$ 의 각 행은 서로 선형독립이다. 따라서,  $M*Tr(M)$ 으로부터 역행렬을 항상 얻을 수 있다. 그 때문에, 식 (20k)은 다음 식 (20l)로 변형할 수 있다.

[0257]  $K=Inv(M*Tr(M))*T_q \dots$ 식 (20l)

[0258] 식 (20j) 및 (20l)로부터, 최종적으로 다음 식 (20m)에 의해 표시되는 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 얻는다. 이렇게 해서, 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 고유하게 구할 수 있다.

[0259]  $Tr(M)*Inv(M*Tr(M))*T_q=I_s \dots$ 식 (20m)

[0260] 이상과 같이 해서 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 계산함으로써, 각 코일(209)에 인가하는 전류를 결정할 수 있다. 이에 따라, 가동자(101)에 대해  $X$ 방향의 힘 성분  $T_x$ ,  $Y$ 방향의 힘 성분  $T_y$  및  $Wz$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 독립하여 인가할 수 있다. 따라서,  $Y$ 방향 및  $Wz$  방향에 있어서 가동자(101)의 자세를 안정시키면서 가동자(101)를  $X$ 방향으로 반송할 수 있다.

[0261] 이때, 본 실시형태에 있어서도, 제1실시형태와 마찬가지로 각 코일 202에 전류를 인가함으로써, 가동자(101)에 대해  $Z$ 방향의 힘 성분  $T_z$ ,  $Wx$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$  및  $Wy$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$ 를 독립하여 인가할 수 있다. 이 때문에, 본 실시형태에서도, 코일 202과 코일 209을 조합해서 사용함으로써, 힘  $T$ 의 6축 성분( $T_x, T_y, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}$ )을 가동자(101)에 인가할 수 있다.

[0262] 제3실시형태

[0263] 본 발명의 제3실시형태에 대해 도18 내지 도19b을 참조하여 설명한다. 이때, 제1 및 제2실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0264] 우선, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)의 구성에 대해 도18을 참조하여 설명한다. 도18은, 본 실시

형태에 따른 가동자(101) 및 고정자(201)을 포함하는 반송 시스템(1)의 구성을 도시한 개략도다. 도18은, 가동자(101) 및 고정자(201)을 X방향에서 본 도면이다.

[0265] 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, X방향의 힘 성분  $T_x$ , Z방향의 힘 성분  $T_z$ ,  $W_x$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $W_y$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에 인가하기 위한 구성에서, 제1실시 형태의 구성과 다르다.

[0266] 도18에 나타낸 것과 같이, 본 실시형태에 따른 가동자(101)은, 제1실시형태에서 사용한 가동자(101) 상면의 요크 판(103) 및 가동자(101) 상면의 도전판(107) 대신에, 복수의 영구자석을 포함하는 영구자석 열(109)을 갖고 있다. 또한, 본 실시형태에 따른 고정자(201)은, 제1실시형태에서 사용한 코일 202 및 207 대신에, 코일(209)를 갖고 있다.

[0267] 영구자석 열(109)은, 가동자(101)의 상면에 있어서, R축 및 L축 각각의 단부에 X방향으로 복수의 영구자석이 배치되도록 2열로 설치되어 있다. 영구자석 열(109)에 포함되는 복수의 영구자석은, 고정자(201)의 윗쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 X방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다.

[0268] 복수의 코일(209)은, 가동자(101)의 상면에 설치된 2열의 영구자석 열(109)에 Z방향을 따라 대향가능하게 고정자(201)에 X방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 구체적으로는, 복수의 코일(209)은, 가동자(101)의 상면에 설치된 2열의 영구자석 열(109)에 Z방향을 따라 윗쪽에서 대향가능하게 X방향에 평행한 2열로 배치되어 설치되어 있다.

[0269] 각 코일(209)에는, 제1실시형태에서 설명한 코일 202, 207, 208과 마찬가지로, 통합 콘트롤러(301), 코일 콘트롤러(302) 등을 포함하는 제어 시스템(3)에 의해 전류가 인가된다.

[0270] 코일(209)은 가동자(101)의 부상 및 반송용의 코일로서 기능한다. 이러한 코일(209)로서, 코어를 갖는 코일을 사용할 수 있다. 코일(209)로서 코어를 갖는 코일을 사용함으로써, 코일(209)에 전류를 인가하지 않고 코일(209)과 영구자석 열(109) 사이에 큰 흡인력이 작용하기 때문에, 코일(209)에 인가된 전류량을 대폭 저감할 수 있다.

[0271] 이때, 본 실시형태에 있어서의 코일(209)과 영구자석 열(109)의 관계는, 각각의 설치 장소를 제외하고, 제2실시형태에서 설명한 코일(209)과 영구자석 열(109)의 관계와 동등하다. 이때, 도16 내지 도17b에 나타낸 제2실시형태에서는 q축이 X축에 해당하고, d축이 Y축에 해당하지만, 도18 및 도19a에 나타낸 본 실시형태에서는 q축이 X축에 해당하고, d축이 Z축에 해당한다.

[0272] 본 실시형태에서는, 코일(209)에 의해 영구자석 열(109)에 힘을 인가함으로써, X방향의 힘 성분  $T_x$ , Z방향의 힘 성분  $T_z$ ,  $W_x$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $W_y$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에게 독립적으로 인가한다. 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 제2실시형태와 마찬가지로, 고정자(201)의 코일(209)과 가동자(101)의 영구자석 열(109) 사이에서 전자력을 발생시켜 X방향의 추력을 가동자(101)에 인가하는 동기식 리니어 모터를 사용한 반송 시스템이다.

[0273] 이하, X방향의 힘 성분  $T_x$ , Z방향의 힘 성분  $T_z$ ,  $W_x$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $W_y$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에 대해 독립적으로 인가하는 방법에 대해 도19a 및 도19b을 참조하여 설명한다. 도19a 및 도19b은, 코일(209)과 영구자석 열(109)을 사용해서 힘 성분  $T_x$ ,  $T_z$  및 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ ,  $T_{wz}$ 를 가동자(101)에 대해 독립적으로 인가하는 방법을 설명하는 개략도다. 이때, 도19a 및 도19b에 있어서 좌우로 배치된 일점쇄선은, X방향에 있어서 대응하는 위치를 나타내고 있다. 코일 전류 산출 함수(404)은, 이하의 방법에 따라, 가동자(101)의 영구자석 열(109)에 대해 힘 성분  $T_x$ ,  $T_z$  및 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ ,  $T_{wz}$ 를 독립적으로 인가하기 위해서 코일(209)에 인가할 전류 지령값을 결정하는데 사용된다.

[0274] 여기에서, P를 가동자(101)의 위치 및 자세로서 정의하고, j를 열로 정렬된 코일(209)들 중에서 한개의 번호로 정의할 때, 단위전류당의 j번째의 코일(209)의 q축 방향(X방향) 및 d축 방향(Z방향)으로 작용하는 힘의 크기를 각각  $Eq(j, P)$  및  $Ed(j, P)$ 로 표시한다. 또한, j번째의 코일(209)의 전류의 레벨을  $I(j)$ 로 표시한다.

[0275] 도19a는, 고정자(201) 및 가동자(101)를 Z방향으로 위에서 아래로 본 도면이다. 이때, 도19a는, 보기 쉽게 하기 위해, 영구자석 열(109)에 대해 코일(209)을 외측으로 벗어나게 하여 나타내고 있다. 본 실시형태에서는, 전술한 바와 같이, q축이 X축에 해당하고, d축이 Z축에 해당한다.

[0276] 도19b은,  $Eq(j, P)$ 을 나타낸 q축 추력 상수 프로파일(601) 및  $Ed(j, P)$ 을 나타낸 d축 추력 상수 프로파

일(603)을 나타내고 있다.  $Eq(j, P)$ 은  $q$ 축 추력 상수 프로파일(601)로부터 구할 수 있고,  $Ed(j, P)$ 은  $d$ 축 추력 상수 프로파일(603)로부터 구할 수 있다.

[0277] 이하의 방법에 의해 2열의 코일(209)을 사용하여 5축의 힘 및 회전 방향의 토크( $T_x, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}$ )을 인가할 수 있다.

[0278] 본 실시형태에서는, 2열의 코일(209)의 존재를 고려하여, 제2실시형태에 있어서의 식 (20a), (20b) 및 (20c)을 확장한다.

[0279]  $j$ 를  $L$ 축 및  $R$ 축의 양축의 코일(209)의 지표로서 취하면, 가동자(101)의 영구자석 열(109)에 작용하는  $X$  방향의 힘 성분  $T_x$  및  $Z$ 방향의 힘 성분  $T_z$ 는, 각각 다음 식 (21a) 및 (21b)에 의해 표시된다. 또한, 가동자(101)의 영구자석 열(109)에 작용하는  $W_x$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $W_y$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 는, 각각 다음 식 (21c), (21d) 및 (21e)에 의해 표시된다.

[0280]  $T_x = \sum Eq(j, P) * I_j$  …식 (21a)

[0281]  $T_z = \sum Ed(j, P) * I_j$  …식 (21b)

[0282]  $T_{wx} = \sum \{-Ed(j, P) * Y(j, P) * I_j\}$  …식 (21c)

[0283]  $T_{wy} = \sum Ed(j, P) * X(j, P) * I_j$  …식 (21d)

[0284]  $T_{wz} = \sum Eq(j, P) * Y(j, P) * I_j$  …식 (21e)

[0285] 이] 계산 후에, 제1실시형태와 마찬가지로, 토크 기여 행렬  $M$ 을 정의해서 계산함으로써, 원하는  $T_x, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz}$ 를 가동자(101)에 인가하기 위해서 각 코일(209)에 인가할 전류를 나타내는 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 얻을 수 있다.

[0286] 본 실시형태에서 정의하는 토크 기여 행렬  $M$ 에서는, 첫째 행이  $X$ 방향과 관련되고, 2째 행이  $1Z$ 방향과 관련되고, 3째 행이  $W_x$  방향과 관련되고, 4째 행이  $W_y$  방향과 관련되고, 5째 행이  $W_z$  방향과 관련된다.

[0287] 그러면, 본 실시형태에서 정의하는 토크 기여 행렬  $M$ 의 1행  $j$ 열, 2행  $j$ 열, 3행  $j$ 열, 4행  $j$ 열 및 5행  $j$ 열의 각 요소  $M(1, j)$  내지  $M(5, j)$ 은, 각각 다음 식 (21f) 내지 (21j)에 의해 표시된다.

[0288] 토크 기여 행렬  $M$ 은 5행  $N$ 열의 행렬이다. 이때, 토크 기여 행렬  $M$ 의 각 행은 서로 선형독립이다.

[0289]  $M(1, j) = Eq(j, P)$  …식 (21f)

[0290]  $M(2, j) = Ed(j, P)$  …식 (21g)

[0291]  $M(3, j) = -Ed(j, P) * Y(j, P)$  …식 (21h)

[0292]  $M(4, j) = Ed(j, P) * X(j, P)$  …식 (21i)

[0293]  $M(5, j) = Eq(j, P) * Y(j, P)$  …식 (21j)

[0294] 또한, 본 실시형태에서는, 코일 전류 벡터  $I_s$ 로서, 1번째 내지  $N$ 번째의 코일(209)에 인가할 전류량  $I_1$  내지  $I_N$ 을 요소로 하는 열 벡터를 도입한다. 코일 전류 벡터  $I_s$ 는, 다음 식 (21k)에 의해 표시되는  $N$ 행 1열의 열 벡터다.

[0295]  $I_s = Tr(I_1, I_2, \dots, I_j, \dots, I_N)$  …식 (21k)

[0296] 또한, 본 실시형태에서는, 토크 벡터  $T_q$ 를 다음 식 (21l)에 의해 정의한다.

[0297]  $T_q = Tr(T_x, T_z, T_{wx}, T_{wy}, T_{wz})$  …식 (21l)

[0298] 그러면, 다음 식 (21m)의 얻어진다.

[0299]  $T_q = M * I_s$  …식 (21m)

[0300] 본 실시형태에서도, 제1실시형태와 마찬가지로 의사 전류 벡터  $K$ 을 사용한 계산을 실행한다. 본 실시형태에서는, 5행 1열의 의사 전류 벡터  $K$ 을 도입한다. 본 실시형태에서 도입하는 의사 전류 벡터  $K$ 은 다음 식 (21n)을 만족한다.

[0301]  $Tr(M) * K = I_s$  …식 (21n)

[0302] 식 (21m)은 식 (21n)을 사용해서 다음 식 (21o)로 변형할 수 있다.

$$Tq = M * Tr(M) * K \quad \dots \text{식 (21o)}$$

[0304] 식 (21o)에 있어서,  $M * Tr(M)$ 은, 5행 N열의 행렬과 N행 5열의 행렬의 곱이기 때문에 5행 5열의 정방행렬이다. 또한, 토크 기여 행렬  $M$ 의 각 행은 서로 선형독립이다. 따라서,  $M * Tr(M)$ 로부터 역행렬을 항상 얻을 수 있다. 그 때문에, 식 (21o)은 다음 식 (21p)로 변형할 수 있다.

$$K = Inv(M * Tr(M)) * Tq \quad \dots \text{식 (21p)}$$

[0306] 식 (21n) 및 (21p)로부터, 최종적으로 다음 식 (21q)에 의해 표시되는 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 얻는다. 이렇게 해서, 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 고유하게 구할 수 있다.

$$Tr(M) * Inv(M * Tr(M)) * Tq = I_s \quad \dots \text{식 (21q)}$$

[0308] 이상과 같이 해서 코일 전류 벡터  $I_s$ 를 계산함으로써, 각 코일(209)에 인가할 전류를 결정할 수 있다. 이에 따라, 가동자(101)에 대해 X방향의 힘 성분  $T_x$ , Z방향의 힘 성분  $T_z$ ,  $W_x$  방향의 토크 성분  $T_{wx}$ ,  $W_y$  방향의 토크 성분  $T_{wy}$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 독립하여 인가할 수 있다. 즉, 가동자(101)에 대해 5축에 대한 힘 성분 및 토크 성분을 독립하여 인가할 수 있다. 따라서, Z방향,  $W_x$  방향,  $W_y$  방향 및  $W_z$  방향에 있어서 가동자(101)의 자세를 안정시키면서 가동자(101)을 X방향으로 반송할 수 있다.

[0309] 이때, 본 실시형태에 있어서도, 제1실시형태와 마찬가지로 각 코일 208에 전류를 인가함으로써, 가동자(101)에 대해 Y방향의 힘 성분  $T_y$  및  $W_z$  방향의 토크 성분  $T_{wz}$ 를 독립하여 인가할 수 있다. 이 때문에, 본 실시형태에서도, 코일 208과 코일(209)를 조합해서 사용함으로써, 힘  $T$ 의 6축 성분( $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ,  $T_{wx}$ ,  $T_{wy}$ ,  $T_{wz}$ )을 가동자(101)에 인가할 수 있다.

#### 제4실시형태

[0311] 본 발명의 제4실시형태에 대해 도20 내지 도22를 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제3실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0312] 우선, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)의 구성에 대해 도20 및 도21a를 참조하여 설명한다. 도20 및 도21a는, 본 실시형태에 따른 가동자(101) 및 고정자(201)을 포함하는 반송 시스템(1)의構成을 도시한 개략도다. 도20은, 가동자(101) 및 고정자(201)을 X방향에서 본 도면이다. 도21a는, 도20을 Z방향에서 위에서 아래로 본 도면이다. 이때, 도20의 우측 부분은 도21a에 있어서의 (A)-(A)선을 따른 단면 (A)를 나타낸다. 또한, 도20의 좌측 부분은 도21a에 있어서의 (B)-(B)선을 따른 단면 (B)을 나타낸다. 또한, 도21a는, 보기 쉽게 하기 위해, 영구자석 열(110)(110a, 110b)에 대해 코일(209)을 외측으로 벗어나게 하여 나타내고 있다.

[0313] 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, Y방향의 힘을 가동자(101)에 인가하기 위한 구성에서, 제3실시형태에 따른 구성과 다르다.

[0314] 도20 및 도21a에 나타낸 것과 같이, 본 실시형태에 따른 가동자(101)은, 제3실시형태에서 사용한 영구자석 열 109 대신에, 복수의 영구자석을 포함하는 영구자석 열 110을 갖고 있다. 이때, 본 실시형태에 따른 가동자(101)에서는, 제3실시형태와는 달리, L측 및 R측의 양 측면에 요크 판(103)이 설치되지 않고 있다. 또한, 본 실시형태에 따른 고정자(201)은 제3실시형태와 마찬가지로 코일(209)를 갖고 있다. 이때, 본 실시형태에 따른 고정자(201)에서는, 제3실시형태와는 달리, 코일 208이 설치되지 않고 있다.

[0315] 영구자석 열(110)은, 가동자(101)의 상면에 있어서, R측 및 L측 각각의 단부에 X방향으로 복수의 영구자석이 배치되도록 2열로 설치되어 있다. 단, 2열의 영구자석 열(110)의 각 열의 일부, 즉 영구자석 열(110)의 양 단부에서는, Y방향으로 2개의 영구자석이 배치되도록 2개의 영구자석이 설치되어 있다. 이러한 2열의 영구자석 열(110)의 각 열은, 가동자(101)이 반송되는 X방향으로 N극 및 S극으로 교대로 착자된 영구자석 열 110b과, X방향과 직교하는 Y방향으로 N극 및 S극으로 교대로 착자된 영구자석 열 110a를 갖고 있다. 영구자석 열 110b에서는, 복수의 영구자석이, 고정자(201)측의 윗쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성이 Y방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다. 영구자석 열 110a에서는, 2개의 영구자석이, 고정자(201)측의 윗쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성이 N극의 극성이 X방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다. 이때, 영구자석 열 110a는, 2개 이상의 복수의 영구자석을 포함하고 있어도 된다. 여기에서, Y축을 h축으로 정의하고, Y방향을 h축 방향으로 정의한다.

[0316] 복수의 코일(209)은, 가동자(101)의 상면에 설치된 2열의 영구자석 열(110)에 Z방향을 따라 대향가능하

게 고정자(201)에 X방향을 따라 부착되어 설치되어 있다. 구체적으로는, 복수의 코일(209)은, 가동자(101)의 상면에 설치된 2열의 영구자석 열(110)에 Z방향을 따라 윗쪽에서 대향가능하게 X방향에 평행하게 2열로 배열되어 설치되어 있다.

[0317] 각 코일(209)에는, 제1실시형태에서 설명한 코일 202, 207, 208의 경우와 마찬가지로, 통합 콘트롤러(301), 코일 콘트롤러(302) 등을 포함하는 제어 시스템(3)에 의해 전류가 인가된다.

[0318] 도21b은, 각 코일(209)에 발생하는 단위전류당의 q축 방향(X방향), h축 방향(Y방향) 및 d축(Z축)의 각각의 힘의 크기  $Eq(j, P)$ ,  $Eh(j, P)$  및  $Ed(j, P)$ 을 모식적으로 나타내고 있다. 이때, 도21a 및 도21b에 있어서 좌우로 배치된 일점쇄선은, X방향에 있어서 대응하는 위치를 나타내고 있다. q축 추력 상수 프로파일(601)은  $Eq(j, P)$ 를 나타내고, h축 상수 프로파일(602)은  $Eh(j, P)$ 를 나타내고, d축 추력 상수 프로파일(603)은  $Ed(j, P)$ 을 나타내고 있다.

[0319] 본 실시형태에 있어서, h축 방향(Y방향)으로 힘을 발생하는 원리에 대해 도22를 참조하여 설명한다. 도22은, h축 방향(Y방향)으로 힘을 발생하는 원리를 설명하는 개략도다. 도22는, 도21에 있어서의 영구자석 열(110)의 (A)-(A)선을 따른 단면의 R측 및 L측 영구자석 열 110a 중에서 한개를 포함하는 부분을 나타내고 있다.

[0320] 도22에 나타낸 것과 같이, 코일(209)은, 코어(211)과, 권선(210)을 갖고 있다. 코일(209)은, 영구자석 열 110a에 Z방향을 따라 윗쪽에서 대향하도록 설치되어 있다. 코어(211) 중의 화살표 214은, 코일(209)의 자화방향을 나타내고, 화살표 214의 끝이 N극을 나타낸다. 영구자석 열 110a에서는, h축 방향(Y방향)으로 영구자석 110aR, 110aL이 배열되어 있다. 영구자석 110aR, 110aL 중의 화살표는, 그 영구자석의 착자방향을 나타내고, 각 화살표의 끝이 N극을 나타낸다.

[0321] 도22에 나타낸 것과 같이, 코일(209)의 코어(211)의 영구자석 열 110a 측의 표면에 N극이 나타나도록 전류를 인가하면, 코일(209)과 영구자석 110aR 사이에는 척력이 발생하고, 코일(209)과 영구자석 110aL 사이에는 인력이 발생한다. 이 때문에, 가동자(101)에는, h축 방향의 +방향(Y+방향)으로 힘이 작용한다.

[0322] 보다 정량적으로 나타내면, 코어(211)을 통과하는 권선(210)의 쇄교 자속  $\Phi$ 이 가동자(101)의 h축 방향의 위치  $h$ 에 대해 다음 식 (22a)에 의해 표시되는 관계를 갖는다.

$$\Phi = \Phi(h) \quad \dots \text{식} (22a)$$

[0324] 이 경우, h축 방향(Y방향)으로 작용하는 힘의 크기  $Fh$ 는,  $i$ 가 코일(209)에 흐르는 전류의 레벨을 나타낼 때, 다음 식 (22b)에 의해 표시된다.

$$Fh = i * \partial \Phi / \partial h \quad \dots \text{식} (22b)$$

[0326] 전술한 것과 같이, 본 실시형태에서는, 코일(209)과 영구자석 열 110a 사이에 작용하는 힘에 의해, 가동자(101)에 대해 h축 방향(Y방향)으로 힘을 인가할 수 있다.

[0327] 본 실시형태에서도, 제1 내지 제3실시형태와 마찬가지로, 각 축 방향에 인가되는 힘 성분 및 토크 성분은 각각 다음 식 (23a), (23b), (23c), (23d), (23e) 및 (23f)에 의해 표시된다.

$$Tx = \sum (Eq(j, P) * Ij) \quad \dots \text{식} (23a)$$

$$Ty = \sum (Eh(j, P) * Ij) \quad \dots \text{식} (23b)$$

$$Tz = \sum (Ed(j, P) * Ij) \quad \dots \text{식} (23c)$$

$$Twx = \sum \{ (Eh(j, P) * Z(j, P) - Ed(j, P) * Y(j, P)) * Ij \} \quad \dots \text{식} (23d)$$

$$Twy = \sum \{ (Ed(j, P) * X(j, P) - Eq(j, P) * Z(j, P)) * Ij \} \quad \dots \text{식} (23e)$$

$$Twz = \sum \{ (Eq(j, P) * Y(j, P) - Eh(j, P) * X(j, P)) * Ij \} \quad \dots \text{식} (23f)$$

[0334] 여기에서, 본 실시형태에서도, 제1 내지 제3실시형태와 마찬가지로 토크 기여 행렬  $M$  및 6행 1열의 의사 전류 벡터  $K$ 를 도입한 계산을 실행하여, 다음 식 (21q)을 사용하여, 코일(209)에 인가할 전류를 나타내는 코일 전류 벡터  $Is$ 를 얻을 수 있다.

$$Tr(M) * Inv(M * Tr(M)) * Tq = Is \quad \dots \text{식} (21q)$$

[0336] 제5실시형태

[0337] 본 발명의 제5실시형태에 대해 도23a 및 도23b을 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제4실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0338] 본 실시형태에서는, 제4실시형태에 있어서 가동자(101)의 L축과 R축 사이에서 다른 Wy 토크를 인가하는 것이 필요할 경우에 대해 도23a 및 도23b을 참조하여 설명한다.

[0339] 도23a 및 23b은, 가동자(101)가 비틀리면서 X방향으로 반송되고 있는 경우를 모식적으로 도시한 개략도다. 도23a는 가동자(101)을 Y방향에서 본 도면이고, 도23b은 가동자(101)을 비스듬하게 윗쪽에서 본 도면이다.

[0340] 도23a 및 도23b에 나타낸 것과 같이, 가동자(101)은, 비틀리는 방향으로 변형 또는 진동하면서 반송될 수 있다. 가동자(101)가 비틀리는 경우는, 도23a에 나타낸 것과 같이, 가동자(101)의 R축에 있어서의 Wy 방향의 회전각 WyR와, 가동자(101)의 L축에 있어서의 Wy 방향의 회전각 WyL이 서로 다른 경우를 포함한다. 이러한 비틀림은, 가동자(101)의 위치 자세 P 중 자세 성분의 1개이다.

[0341] 본 실시형태에서는, L축 및 R축의 각각에서 가동자(101)의 Wy 방향의 변위를 독립하여 측정할 수 있도록, Z 센서(206)이 배치되어 있다. 즉, Z 센서(206)이 L축 및 R축의 각각에 설치되어 있고, 가동자(101)이 어디에 존재하여도 한 쪽에서 2개 이상의 Z 센서(206)이 각각의 축에서 가동자(101)의 Wy 방향의 변위를 측정할 수 있도록 하는 간격으로 설치되어 있다. 예를 들면, 도23a에 나타낸 것과 같이, L축에서는 Z 센서 206La, 206Lb에 의해, R축에서는 Z 센서 206Ra, 206Rb에 의해, 가동자(101)의 Wy 방향의 변위를 측정한다. 일반적으로, 4개 이상의 Z 센서(206)이 설치되고, 이들 중 어느 3개가 1개의 직선 위에 설치되지 않으면, 이론적으로는 WyR와 WyL을 별개로 계산할 수 있다. 본 실시형태에서는, WyR와 WyL을 별개로 계산할 수 있도록 복수의 Z 센서(206)이 설치되어 있다.

[0342] 본 실시형태에서는, L축 및 R축의 각각에 설치된 Z 센서(206)에 의해 Wy 방향의 변위를 측정하여, WyR과 WyL을 측정한다. 그후에는, 다른 축의 경우와 마찬가지로, 목표값과 현재값을 사용하여 가동자(101)의 L축 및 R축의 양축에 각각 인가하는 원하는 Wy 방향의 토크 성분 TwyL, TwyR를 산출한다.

[0343] 보다 상세하게는, 본 실시형태에서는 제4실시형태에 있어서의 식 (23e) 대신에, 다음 식 (23e1) 및 (23e2)을 사용한다.

[0344] 
$$\text{TwyL} = \sum L \{ (Ed(j, P) * X(j, P) - Eq(j, P) * Z(j, P)) * Ij \} \quad \dots \text{식 (23e1)}$$

[0345] 
$$\text{TwyR} = \sum R \{ (Ed(j, P) * X(j, P) - Eq(j, P) * Z(j, P)) * Ij \} \quad \dots \text{식 (23e2)}$$

[0346] 이후의 계산에서는, 제4실시형태와 마찬가지로 토크 기여 행렬 M 및 의사 전류 벡터 K을 도입한 계산을 실행하여, 코일(209)에 인가할 전류를 나타내는 코일 전류 벡터 Is를 얻을 수 있다. 이때, 본 실시형태에서는, 토크 기여 행렬 M은 7행 N열의 행렬이고, 의사 전류 벡터 K은 7행 1열의 벡터다.

[0347] 이렇게 해서, 본 실시형태에서는, Wy 방향의 변위에 의한 가동자(101)의 비틀림이 생긴 경우에, Wy 방향의 토크 성분 TwyL, TwyR를 인가해서 가동자(101)의 비틀림을 제어할 수 있다. 예를 들면, 본 실시형태에서는, Wy 방향의 변위에 의한 가동자(101)의 비틀림을 해소하도록 가동자(101)에 대해 Wy 방향의 토크 성분 TwyL, TwyR를 인가할 수 있다.

[0348] 전술한 것과 같이, 본 실시형태에 따르면, 가동자(101)가 비틀린 경우에도, 이 비틀림의 방향으로 토크 성분을 적극적으로 인가할 수 있다. 이에 따라, 가동자(101)의 비틀림을 제어할 수 있다.

[0349] 이 때문에, 본 실시형태에 따르면, 비틀림 또는 진동이 자연스럽게 멈추는 것을 기다리지 않고 적극적으로 토크를 인가하므로, 가동자(101)의 변위를 보다 단시간에 수속시킬 수 있다. 따라서, 본 실시형태에 따르면, 더 안정적으로 가동자(101)를 반송할 수 있다. 특히, 본 실시형태에 따른 구성은, 가동자(101)이 얇고 Wy 방향의 강성이 낮은 경우에 유효하다.

[0350] 이때, 상기에서는, 가동자(101)의 Wy 방향의 변위에 의해 가동자(101)의 비틀림이 생긴 경우에 대해 설명했지만, 이 경우가 이것에 한정되는 것은 아니다. Wy 방향의 경우와 마찬가지로 가동자(101)의 Wx 방향의 변위에 의해 가동자(101)의 비틀림이 발생한 경우도, Wy 방향의 경우와 동일하게 하여 가동자(101)의 비틀림을 제어할 수 있다.

[0351] 제6실시형태

[0352] 본 발명의 제6실시형태에 대해 도24a 및 도24b을 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제5실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0353] 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)의 구성에 대해 도24a를 참조하여 설명한다. 도24a는, 본 실시형태에 따른 가동자(101) 및 고정자(201)을 포함하는 반송 시스템(1)의 구성을 도시한 개략도다. 도24a는, 가동자(101)을 Z방향으로 위에서 아래로 본 도면이다. 이때, 도24a는, 보기 쉽게 하기 위해, 영구자석 요크 복합 열(111)에 대해 코일(209)를 외측으로 벗어나게 하여 나타내고 있다.

[0354] 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)은, 영구자석 열(110) 대신에 영구자석 요크 복합 열(111)이 설치되어 있는 점에서, 제4실시형태에 따른 구성과 다르다.

[0355] 도24a에 나타낸 것과 같이, 본 실시형태에 따른 가동자(101)은, 제4실시형태에서 사용한 영구자석 열(110) 대신에, 영구자석 요크 복합 열(111)을 갖고 있다.

[0356] 영구자석 요크 복합 열(111)은, 가동자(101)의 상면에 있어서, R축 및 L축 각각의 단부에 X방향에 평행하게 2열로 설치되어 있다. 2열의 영구자석 요크 복합 열(111)의 각 열은, 제4실시형태와 같은 영구자석 열 110a, 110b과, 요크 판(110c)을 갖고 있다. 요크 판(110c)은, 영구자석 열 110b 내부에 X방향에 평행하게 설치되어 있다. 요크 판(110c)은, 투자율이 큰 물질, 예를 들면, 철로 구성된 철판이다.

[0357] 본 실시형태에 있어서는, 요크 판(110c)이 설치되기 때문에, 도24b에 나타낸 것과 같이, q축 추력 상수 프로파일(601), h축 상수 프로파일(602) 및 d축 추력 상수 프로파일(603)의 형상이 제4실시형태와는 다르다. 이때, 도24a 및 도24b에 있어서 좌우로 배치된 일점쇄선은 X방향에 있어서 대응하는 위치를 나타내고 있다.

[0358] 이때, 본 실시형태에서도, 제4실시형태와 동등한 방법에 의해 코일(209)에 인가할 전류를 나타내는 코일 전류 벡터 Is를 얻을 수 있다.

[0359] 본 실시형태에서는, 영구자석 대신에 요크 판(110c)이 설치되어 있기 때문에, 코일(209)의 냉각이 용이하다. 특히, 본 실시형태에 따른 구성은, X방향 및 Y방향에의 요구 토크가 작은 경우에 바람직하다. 또한, 본 실시형태에서는, 고가의 영구자석의 사용량을 저감할 수 있으므로, 보다 작은 코스트로 반송 시스템(1)을 구성할 수 있다.

[0360] 제7실시형태

[0361] 본 발명의 제7실시형태에 대해 도25a 및 도25b을 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제6실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0362] 본 실시형태에서는, 가동자(101)이 수평방향보다도 연직방향으로 클 경우에 대해 도25a 및 도25b을 참조하여 설명한다. 도25a는, 가동자(101)이 수평방향보다도 연직방향으로 클 경우의 반송 시스템(1)의 구성의 예를 도시한 개략도다. 도25b은, 가동자(101)이 수평방향보다도 연직방향으로 클 경우의 반송 시스템(1)의 구성의 다른 예를 도시한 개략도다. 도25a 및 도25b은, 가동자(101) 및 고정자(201)을 X방향에서 본 도면이다. 본 실시형태에서는, 이하에서 설명한 바와 같이, 제4 또는 제5실시형태에서 설명한 영구자석 열(110) 및 코일(209)의 설치 장소가 변경된다.

[0363] 도25a에 나타낸 것과 같이, 가동자(101)은, 수평방향보다도 연직방향으로 더 크다. 즉, 가동자(101)은, Y방향보다도 Z방향으로 더 크다. 이때, 가동자(101)은, X방향보다도 Z방향으로 더 크거나, X방향보다도 Z방향으로 더 작아도 된다.

[0364] 도25a의 경우에, 가동자(101)의 상면에는 영구자석 열(110)이 설치되어 있다. 가동자(101)의 상면에 설치된 각각의 영구자석 열(110)은, 영구자석 열 110a, 110b를 포함하고 있다. 가동자(101)의 상면의 영구자석 열 110a에서는, 2개의 영구자석이, 고정자(201)측의 윗쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 Y방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다. 가동자(101)의 상면의 영구자석 열 110b에서는, 복수의 영구자석이, 고정자(201)측의 윗쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 X방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다.

[0365] 고정자(201)의 상부에는, 가동자(101)의 상면의 영구자석 열(110)에 Z방향을 따라 윗쪽에서 대향가능하게 코일(209)가 설치되어 있다. 이렇게 해서, 가동자(101)의 상면에 설치된 영구자석 열(110)과 코일(209) 사이에 큰 흡인력이 발생된다. 이때, 가동자(101)의 상면에는, 영구자석 열(110) 대신에 또는 이와 함께 요크 판(103)이 설치되고, 요크 판(103)에 코일(209)이 대향하도록 구성되어 있어도 된다. 또한, 코일(209)로서는, 가동자(101)의 상면의 영구자석 열(110)과 코일(209) 사이에 전류가 인가되지 않고 있을 때에도 흡인력을 발생시

키기 위해서, 코어를 갖는 마그넷을 사용할 수 있다.

[0366] 또한, 도25a에 나타낸 것과 같이, 가동자(101)의 하면에는 영구자석 열(110)이 설치되어 있다. 가동자(101)의 하면에 설치된 영구자석 열(110)은, 영구자석 열 110a, 110b를 포함하고 있다. 가동자(101)의 하면의 영구자석 열 110a에서는, 2개의 영구자석이, 고정자(201)측의 아래쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 Y방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다. 가동자(101)의 하면의 영구자석 열 110b에서는, 복수의 영구자석이, 고정자(201)측의 아래쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 X방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다.

[0367] 고정자(201)의 하부에는, 가동자(101)의 하면의 영구자석 열(110)에 Z방향을 따라 아래쪽에서 대향가능하게 코일(209)가 설치되어 있다.

[0368] 연직방향으로 더 큰 가동자(101)은, 가동자(101)의 측면에 기판 등의 워크피스(102)을 유지하도록 구성될 수 있다. 고정자(201)에는, 가동자(101)의 측면에 유지된 워크피스(102)에 대향하도록, 워크피스(102)에 대해 중착을 행하는 중착원(702)이 설치된다.

[0369] 또한, 고정자(201)에는, 가동자(101)을 추출하기 위한 개구부(802)이 설치되어 있다. 개구부(802)은 고정자(201)의 상부에 설치되어 있다. 정전, 사고 등의 이상이 발생한 경우에는, 개구부(802)을 거쳐 가동자(101)을 고정자(201)의 상측으로부터 크레인 등을 사용하여 들어올려 대피시킬 수 있다. 이것은 반송 시스템(1)을 포함하는 생산 라인의 안정적인 가동에 기여할 수 있다.

[0370] 또한, 개구부(802)은 용이하게 고정자(201)에 설치할 수 있기 때문에, 이상시에 가동자(101)을 크레인 등을 사용하여 들어올려서 회수하는데 적합한다.

[0371] 이때, 가동자(101)의 하면에 영구자석 열(110)을 설치하는 것 대신에, 도25b에 나타낸 것과 같이, 가동자(101)의 측면에 영구자석 열(110)을 설치할 수도 있다. 이렇게 구성함으로써, 종방향으로 긴 가동자(101)을 보다 안정적으로 반송할 수 있다.

[0372] 이때, 상기에서는 제4 또는 제5실시형태에서 설명한 영구자석 열(110) 및 코일(209)의 설치 장소가 변경된 경우에 대해 설명했지만, 제6실시형태에서 설명한 영구자석 요크 복합 열(111)의 설치 장소도 상기한 영구자석 열(110)과 마찬가지로 변경될 수 있다.

#### 제8실시형태

[0374] 본 발명의 제8실시형태에 대해 도26을 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제7실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0375] 본 실시형태에서는, 가동자(101)의 하면에 영구자석 열(110)이 설치된 경우에 대해 도26을 참조하여 설명한다. 도26은, 가동자(101)의 하면에 영구자석 열(110)이 설치된 경우의 반송 시스템(1)의 구성의 예를 도시한 개략도다. 도26은, 가동자(101) 및 고정자(201)을 X방향에서 본 도면이다. 본 실시형태에서는, 이하에서 설명한 바와 같이, 제4 또는 제5실시형태에서 설명한 영구자석 열(110) 및 코일(209)의 설치 장소가 변경된다.

[0376] 도26에 나타낸 것과 같이, 가동자(101)의 하면에 있어서의 L측 및 R측의 각 단부에는, 영구자석 열(110)이 설치되어 있다. L측 및 R측의 각 측의 단부에 설치된 영구자석 열(110) 각각은, 영구자석 열 110a, 110b를 포함하고 있다. 영구자석 열 110a에서는, 2개의 영구자석이, 고정자(201)측의 아래쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 Y방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다. 영구자석 열 110b에서는, 복수의 영구자석이, 고정자(201)측의 아래쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 X방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다.

[0377] 고정자(201)에는, 가동자(101)의 하면에 있어서의 L측 및 R측의 각 단부에 설치된 영구자석 열(110)에 Z방향을 따라 아래쪽에서 대향가능하게 코일(209)가 설치되어 있다.

[0378] 도26에 나타낸 영구자석 열(110) 및 코일(209)의 배치의 경우, 영구자석 열(110)과 코일(209) 사이의 힘이 양의 방향의 스프링 계수를 갖는 경우, 즉 코일(209)의 전류량이 일정하게 유지한 경우에, 가동자(101)이 하강하면 코일(209)에 의해 생성된 촉력이 커진다. 이 때문에, 가동자(101)의 위치는 Z방향으로 안정화된다. 따라서, 보다 가동자(101)의 자세를 안정화하면서 가동자(101)을 반송할 수 있다.

[0379] 이때, 상기에서는 제4 또는 제5 실시형태에서 설명한 영구자석 열(110) 및 코일(209)의 설치 장소가 변경된 경우에 대해 설명했지만, 제6실시형태에서 설명한 영구자석 요크 복합 열(111)의 설치 장소도 상기한 영구

자석 열(110)과 마찬가지로 변경될 수 있다.

#### [0380] 제9실시형태

본 발명의 제9실시형태에 대해 도27을 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제8실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

본 실시형태에서는, 실시형태에서 사용한 코일 202이 영구자석(213)을 갖는 경우에 대해 도27을 참조하여 설명한다. 도27은, X방향에서 본 본 실시형태에 따른 코일 202의 단면을 도시한 도면이다.

도27에 나타낸 것과 같이, 코일 202은, 권선(210)과, 권선(210)이 감긴 코어(211)을 갖고, 코어(211)의 내부에 영구자석(213)을 더 갖고 있다. 영구자석(213)은, 코어(211)의 권선(210)이 감긴 내측 부분의 내부에, 도27 중의 화살표로 도시한 바와 같이 N극 및 S극이 Z방향으로 배치되도록 설치되어 있다.

예를 들면, 코일에 있어서 권선의 감긴 수가 500회, 권선에 인가하는 전류값이 1A인 한 경우에, 기자력은 500A이지만, 이것을 기자력 950kA/m를 갖는 네오디뮴 자석으로 대체하면, 이 자석의 두께는 약 1.05mm이다. 이렇게, 영구자석(213)은, 권선(210)에 일정한 전류를 항상 인가하고 있는 것과 같은 효과를 나타낸다. 따라서, 기준이 되는 가동자(101)의 반송 높이를 고려하여, 권선(210)에 인가하는 전류가 작아지도록 영구자석(213)의 두께 등을 설계할 수 있다. 이와 같은 영구자석(213)의 사용에 의해, 가동자(101)의 반송중에 권선(210)에 인가하는 전류를, 가동자(101)의 자세의 변동을 보정하기 위해 사용된 양만큼으로 할 수 있어, 코일 202에 인가된 전류값을 대폭 저감할 수 있다.

이때, 전술한 코일 202 이외에, 실시형태에서 사용한 코일 207, 208, 209에 대해서도 영구자석(213)을 갖도록 구성할 수 있다.

#### [0386] 제10실시형태

본 발명의 제10실시형태에 대해 도28a를 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제9실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

본 실시형태에서는, 제4실시형태에 따른 구성에 있어서 코일(209)의 코어(211)의 형상을 변경한 경우에 대해 도28a를 참조하여 설명한다. 도28a는, X방향에서 본 본 실시형태에 따른 코일(209) 및 영구자석 열 110a의 단면을 도시한 도면이다.

본 실시형태에 따른 코일(209)은, 도22에 나타낸 제4실시형태의 경우와 마찬가지로, 영구자석 110aR, 110aL을 포함하는 영구자석 열 110a에 Z방향을 따라 대향하도록 설치되어 있다. 코일(209)은, 권선(210)과, 권선(210)이 감긴 코어(211)을 갖고 있다. 영구자석 열 110a에서는, 영구자석 110aR, 110aL이 Y방향으로 배치되도록 설치되어 있다.

한편, 도22에 나타낸 제4실시형태의 경우와는 달리, 본 실시형태에서는, 도28a에 나타낸 것과 같이, 코일(209)의 코어(211)이, 권선(210)이 감긴 중앙부와, 중앙부로부터 Y방향을 따라 권선(210)의 외측으로 뻗는 확장부를 갖고 있다. 이때, 코어(211)의 확장부는, Y방향을 따라 부분적으로 권선(210)의 외측으로 뻗거나, 권선(210)의 전체 주위에 걸쳐 외측으로 뻗어도 된다.

본 실시형태에서는, 코어(211)이 확장부를 갖는 이와 같은 구성으로 함으로써, 영구자석 열 110a가 h축 방향(Y방향)으로 이동했을 때의 쇄교 자속  $\Phi$ 의 변화가 커진다. 이 때문에, 본 실시형태은, h축 방향(Y방향)으로의 단위전류당의 힘이 커지므로 유리하다. 따라서, 본 실시형태에서는, 보다 안정적으로 가동자(101)을 반송 할 수 있다.

이때, 상기에서는 제4실시형태에 따른 구성에 있어서, 코일(209)의 코어(211)의 형상을 변경한 경우에 대해 설명했지만, 제5 및 제6실시형태에 따른 구성에 있어서도 상기와 마찬가지로 코어(211)의 형상을 변경할 수 있다.

#### [0393] 제11실시형태

본 발명의 제11실시형태에 대해 도28b를 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제10실시형태와 같은 구성요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

본 실시형태에서는, 제10실시형태에 따른 구성에 있어서, 영구자석 열 110a의 구성을 변경한 경우에 대해 도28b를 참조하여 설명한다. 도28b은, X방향에서 본 본 실시형태에 따른 코일(209) 및 영구자석 열 110a의

단면을 도시한 도면이다.

[0396] 본 실시형태에서는, 도28b에 나타낸 것과 같이, 영구자석 열 110a에 있어서의 영구자석 110aR, 110aL 중 한쪽인 영구자석 110aL이 제거된다. 이 경우에도, 영구자석 열 110a가 h축 방향(Y방향)으로 이동할 때의 쇄교 자속  $\Phi$ 의 변화가 존재하기 때문에, 가동자(101)에 대해 h축 방향(Y방향)으로 힘을 인가할 수 있다. 본 실시 형태에서는, Y방향으로 인가하는 힘의 크기가 더 작지만, 영구자석의 수를 줄일 수 있으므로, 가동자(101)의 경량화가 요구되는 경우 등에 바람직하다.

[0397] 제12실시형태

[0398] 본 발명의 제12실시형태에 대해 도29를 참조하여 설명한다. 이때, 제1 내지 제11실시형태와 같은 구성 요소에 대해서는 동일한 부호를 붙이고 설명을 생략 또는 간략하게 한다.

[0399] 본 실시형태에서는, 제4실시형태에 따른 구성에 있어서, 가동자(101)을, 상면과 하면을 교체하도록 반전 가능하게 구성한 경우에 대해 도29를 참조하여 설명한다. 도29은, 본 실시형태에 따른 반송 시스템(1)의 구성을 도시한 개략도다. 도29은, 본 실시형태에 따른 가동자(101) 및 고정자(201)을 X방향에서 본 도면이다. 본 실시형태에서는, 제4실시형태에 따른 구성에 있어서, 상면과 하면을 교체하는 가동자(101)의 반전으로 인해 영구자석 열 110a, 110b이 반전된 상태에서도, 영구자석 열 110a, 110b이 가동자(101)의 부상 반송에 이용될 수 있다.

[0400] 반송 시스템(1)과 함께 가공 시스템을 구성하는 공정장치가 중착장치인 경우, 가동자(101)에 부착된 워크피스(102)가 글래스 기판 등의 기판인 경우가 많다. 워크피스(102)로서 기판이 가동자(101)에 부착되는 경우, 워크피스(102)를 흡착 등에 의해 유지하는 가동자(101)의 워크피스 지지면을 상축으로 향하게 할 수 있으면, 작업 효율을 향상시킬 수 있어 바람직하다. 워크피스(102)을 유지할 때, 가동자(101)은, 그것의 상면 또는 하면인 워크피스 지지면, 즉 중착면 D가 상축을 향한 상태가 된다. 이 상태에서 워크피스(102)를 가동자(101)에 유지시킨 후, 워크피스(102)를 가동자(101)에 유지시킨 상태에서 Wy 방향으로 가동자(101)을 180° 회전시켜 반전시킨 후, 가동자(101)의 반송을 개시할 수 있다.

[0401] 본 실시형태에서는, 전술한 바와 같이 가동자(101)을 반송할 경우에, 가동자(101)가 초기 위치로부터 워크피스(102)을 유지시키는 위치까지 반송되는 경우와, 워크피스(102)을 유지시켜 반전시킨 후에 가동자(101)가 반송되는 경우 모두에 대해 같은 코일(209)를 사용해서 가동자(101)을 반송한다.

[0402] 본 실시형태에서는, 도29에 나타낸 것과 같이, 영구자석 열(110)이 가동자(101)의 측면에 설치되어 있다. 즉, 가동자(101)의 L측 및 R측의 각 측면에는, 영구자석 열 110a, 110b를 포함하는 영구자석 열(110)이 설치되어 있다. 영구자석 열 110a에서는, 2개의 영구자석이, 고정자(201)측의 윗쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 Y방향으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다. 영구자석 열 110b에서는, 복수의 영구자석이, 고정자(201)측의 윗쪽을 향하는 외측의 자극의 극성이 교대로 다르고 외측에 S극의 극성 및 N극의 극성이 X방으로 교대로 배치되도록 설치되어 있다.

[0403] 본 실시형태에서는, 가동자(101)의 상면 측의 영구자석 열 110a, 110b의 상면에 요크가 설치되지 않고 있다. 또한, 마찬가지로, 가동자(101)의 하면 측의 영구자석 열 110a, 110b의 하면에 요크가 설치되지 않고 있다. 요크가 설치되어 있지 않기 때문에, 영구자석 열 110a, 110b의 상면 및 하면은 모두 개방되어 있다. 이 때문에, 영구자석 열 110a, 110b은, 가동자(101)이 중착면 D를 상축으로 향하게 한 경우도 중착면 D를 하축으로 향하게 한 경우도, 고정자(201)에 설치된 코일(209)에 자극의 한쪽 또는 다른 쪽을 향하게 할 수 있다.

[0404] 전술한 바와 같이, 영구자석 열(110)이 설치된 가동자(101)은, 상면과 하면을 교체하도록 반전 가능하다. 영구자석 열(110)의 반전은, 가동자(101)의 반전을 행해야 할 장소에 설치된 반전 기구에 의해 행해진다.

[0405] 고정자(201)에는, L측 및 R측의 각 측에 있어서 브라켓(215) 및 레일(216)을 거쳐, 영구자석 열(110)에 Z방향을 따라 대향하도록 코일(209)가 설치되어 있다. L측 및 R측의 각 측에 있어서, 영구자석 열(110)에 대향하는 코일(209)은, 각각 브라켓(215)에 부착되어 설치되어 있다. 각 브라켓(215)은, 레일(216) 위를 Y방향으로 이동 가능하게 레일(216)에 설치되어 있다. 각 브라켓(215)은, 가동자(101)이 반전할 때, 레일(216) 위를 이동해서 외측으로 대피할 수 있다. 각 브라켓(215)이 대피한 동안, 반전 장치(미도시)가 가동자(101)의 상면과 하면을 교체하는 동작을 행할 수 있다.

[0406] 이렇게 해서, 본 실시형태에 있어서, 영구자석 열 110a, 110b를 포함하는 영구자석 열(110)은, 가동자(101)의 반전 전후에 있어서 복수의 코일(209)이 영구자석 열(110)에 대향 가능하게 가동자(101)에 설치되어 있

다.

[0407] 또한, 본 실시형태에 있어서는, 리니어 스케일(104), Y 타겟(105) 및 Z 타겟(106)이, 각각 가동자(101)의 상측 부분과 하측 부분에 설치되어 있다. 가동자(101)의 상측 부분과 하측 부분에 설치된 리니어 스케일(104), Y 타겟(105) 및 Z 타겟(106)은, 예를 들면, 가동자(101)이 회전해서 반전하는 반전 축을 대칭축으로 하여 각각 축대칭으로 배치되어 있다.

[0408] 고정자(201)에는, 리니어 인코더(204)이, 가동자(101)의 중착면 D가 상축을 향한 경우도 하축을 향한 경우도, 가동자(101)의 상측 부분 및 하측 부분에 설치된 리니어 스케일(104) 중에서 한쪽을 측정가능하게 설치되어 있다. 또한, 고정자(201)에는, Y 센서(205)이, 가동자(101)의 중착면 D가 상축을 향한 경우도 하축을 향한 경우도, 가동자(101)의 상측 부분 및 하측 부분에 설치된 Y 타겟(105) 중 한쪽을 측정가능하게 설치되어 있다. 또한, 고정자(201)에는, Z 센서(206)이, 가동자(101)의 중착면 D가 상축을 향한 경우도 하축을 향한 경우도, 각각 가동자(101)의 상측 부분 및 하측 부분에 설치된 Z 타겟(106) 중 한쪽을 측정가능하게 설치되어 있다. 이렇게 해서, 본 실시형태에서도, 리니어 스케일(104), Y 센서(205) 및 Z 센서(206)를 사용하여, 반전가능한 가동자(101)의 위치 자세(X, Y, Z, W<sub>x</sub>, W<sub>y</sub>, W<sub>z</sub>)을 측정할 수 있다.

[0409] 본 실시형태에 따르면, 반전가능한 가동자(101)에서도, Y방향, Z방향, W<sub>x</sub> 방향, W<sub>y</sub> 방향 및 W<sub>z</sub> 방향에 있어서 가동자(101)의 자세를 안정시키면서 X방향으로 안정적으로 가동자(101)을 비접촉 상태에서 반송할 수 있다.

[0410] 이때, 상기에서는 제4실시형태에 따른 구성에 있어서, 가동자(101)을, 상면과 하면을 교체하도록 반전 가능하게 구성한 경우에 대해 설명했지만, 제5 및 제6실시형태에 따른 구성에 있어서도 상기와 마찬가지로 가동자(101)을 반전 가능하게 구성할 수 있다.

#### 0411] 변형 실시형태

[0412] 본 발명은, 실시형태에 한정되지 않고 다양한 변형이 가능하다.

[0413] 예를 들면, 실시형태에서는, X방향, Y방향, Z방향, W<sub>x</sub> 방향, W<sub>y</sub> 방향 및 W<sub>z</sub> 방향에 있어서 가동자(101)의 위치 및 자세를 제어할 경우를 예로 들어 설명하였지만, 실시형태가 이것에 한정되는 것은 아니다. X방향, Y방향, Z방향, W<sub>x</sub> 방향, W<sub>y</sub> 방향 및 W<sub>z</sub> 방향의 적어도 어느 한쪽의 방향에 있어서 변위를 취득해서 위치 및 자세를 제어해도 된다.

[0414] 또한, 실시형태에서는, 가동자(101)을 부상시키는 부상력으로서, 코일 202, 209로부터 요크 판(103) 또는 영구자석 열 109, 110이 받는 전자력을 이용할 경우를 예로 들어 설명하였지만, 실시형태가 이것에 한정되는 것은 아니다. 예를 들면, 가동자(101)의 질량 또는 가동자(101) 위에 놓이는 워크피스(102)의 질량이 커서 연직 방향으로 인가해야 할 부상력이 큰 경우에는, 별도의 공기 등의 유체로부터의 정압을 부상용으로 사용해서 부상력을 보조해도 된다.

[0415] 또한, 실시형태에서는, 가동자(101)을 부상시켜 가동자(101)를 비접촉으로 반송하는 자기 부상형의 반송 시스템(1)에 대해 설명했지만, 실시형태가 이것에 한정되는 것은 아니다. 반송 시스템(1)은, 예를 들면, 반송 방향을 따라 설치된 가이드 레일을 따라 가이드 레일에 접촉하면서 이동할 수 있게 구성된 가동자(101)를 반송하는 시스템이어도 된다.

[0416] 또한, 실시형태에서는 복수의 코일 202, 207, 208 또는 209이 소정의 열 수로 배치되고 있는 경우를 예로 들어 설명하였지만, 실시형태가 이것에 한정되는 것은 아니다. 가동자(101)에 배치된 요크 판(103), 도전판(107) 또는 영구자석 열 109, 110에 따라, 각 코일을 소정의 열 수로 배치할 수 있다.

[0417] 또한, 본 발명에 의한 반송 시스템은, 전자기기 등의 물품을 제조하는 제조 시스템에 있어서, 물품이 되는 워크피스에 대해 각 작업 공정을 실시하는 공작기계 등의 각 공정장치의 작업 영역으로 워크피스를 가동자와 함께 반송하는 반송 시스템으로서 이용할 수 있다. 작업 공정을 실시하는 공정장치는, 워크피스에 대해 부품의 조립을 실시하는 장치, 도장을 실시하는 장치 등, 모든 장치이어도 된다. 또한, 제조되는 물품도 특정한 물품에 한정되는 것은 아니고, 모든 부품이어도 된다.

[0418] 전술한 것과 같이, 본 발명에 의한 반송 시스템을 사용해서 워크피스를 작업 영역에 반송하고, 작업 영역에 반송된 워크피스에 대해 작업 공정을 실시해서, 물품을 제조할 수 있다. 이상의 실시형태에 따르면, 가동자의 자세를 제어하면서, 안정적으로 가동자를 비접촉 상태에서 반송할 수 있다.

## [0419] 기타 실시형태

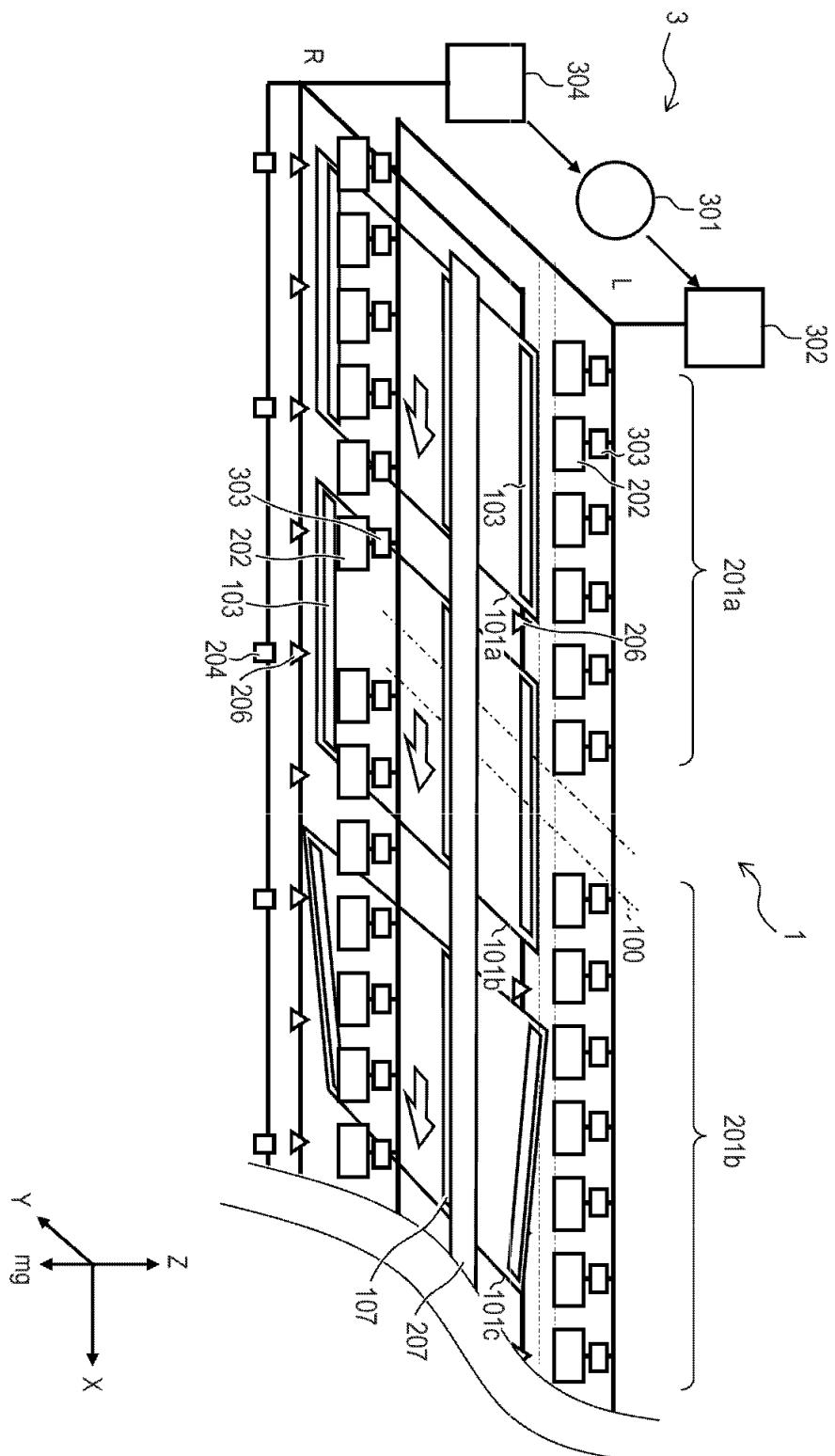
본 발명의 실시형태는, 본 발명의 전술한 실시형태(들)의 1개 이상의 기능을 수행하기 위해 기억매체 ('비일시적인 컴퓨터 판독가능한 기억매체'로서 더 상세히 언급해도 된다)에 기록된 컴퓨터 실행가능한 명령(예를 들어, 1개 이상의 프로그램)을 판독하여 실행하거나 및/또는 전술한 실시예(들)의 1개 이상의 기능을 수행하는 1개 이상의 회로(예를 들어, 주문형 반도체 회로(ASIC)를 포함하는 시스템 또는 장치의 컴퓨터나, 예를 들면, 전술한 실시형태(들)의 1개 이상의 기능을 수행하기 위해 기억매체로부터 컴퓨터 실행가능한 명령을 판독하여 실행함으로써, 시스템 또는 장치의 컴퓨터에 의해 수행되는 방법에 의해 구현될 수도 있다. 컴퓨터는, 1개 이상의 중앙처리장치(CPU), 마이크로 처리장치(MPU) 또는 기타 회로를 구비하고, 별개의 컴퓨터들의 네트워크 또는 별개의 컴퓨터 프로세서들을 구비해도 된다. 컴퓨터 실행가능한 명령은, 예를 들어, 기억매체의 네트워크로부터 컴퓨터로 주어져도 된다. 기억매체는, 예를 들면, 1개 이상의 하드디스크, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 분산 컴퓨팅 시스템의 스토리지, 광 디스크(콤팩트 디스크(CD), 디지털 다기능 디스크(DVD), 또는 블루레이 디스크(BD)<sup>TM</sup> 등), 플래시 메모리소자, 메모리 카드 등을 구비해도 된다.

본 발명은, 상기한 실시형태의 1개 이상의 기능을 실현하는 프로그램을, 네트워크 또는 기억매체를 개입하여 시스템 혹은 장치에 공급하고, 그 시스템 혹은 장치의 컴퓨터에 있어서 1개 이상의 프로세서가 프로그램을 읽어 실행하는 처리에서도 실행가능하다. 또한, 1개 이상의 기능을 실현하는 회로(예를 들어, ASIC)에 의해 서도 실행가능하다.

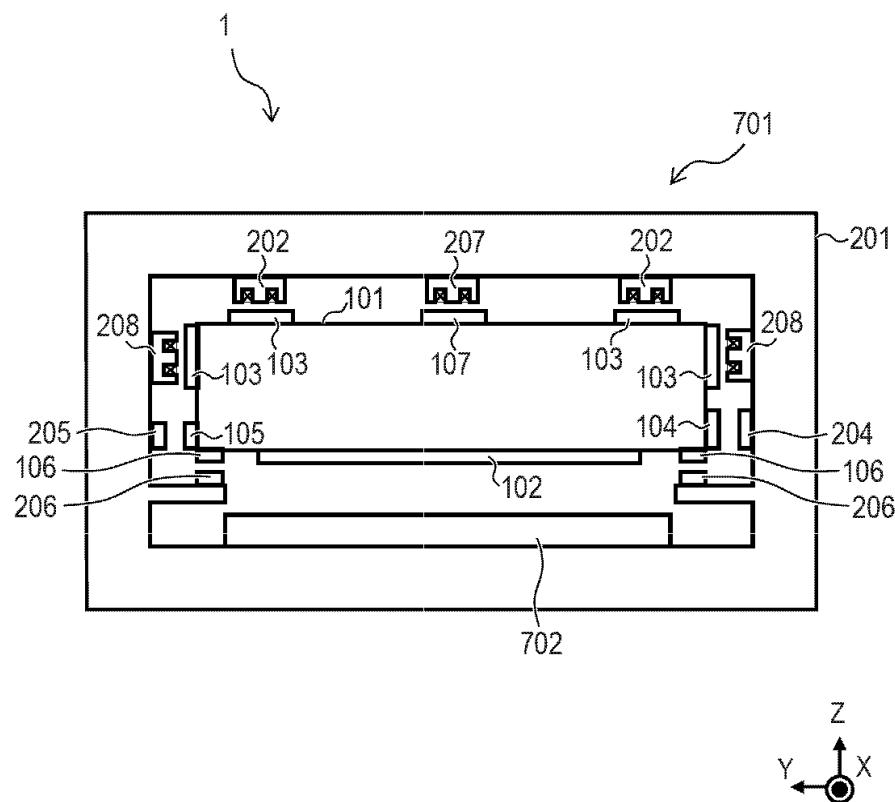
예시적인 실시형태들을 참조하여 본 발명을 설명하였지만, 본 발명이 이러한 실시형태에 한정되지 않는다는 것은 자명하다. 이하의 청구범위의 보호범위는 가장 넓게 해석되어 모든 변형, 동등물 구조 및 기능을 포함하여야 한다.

도면

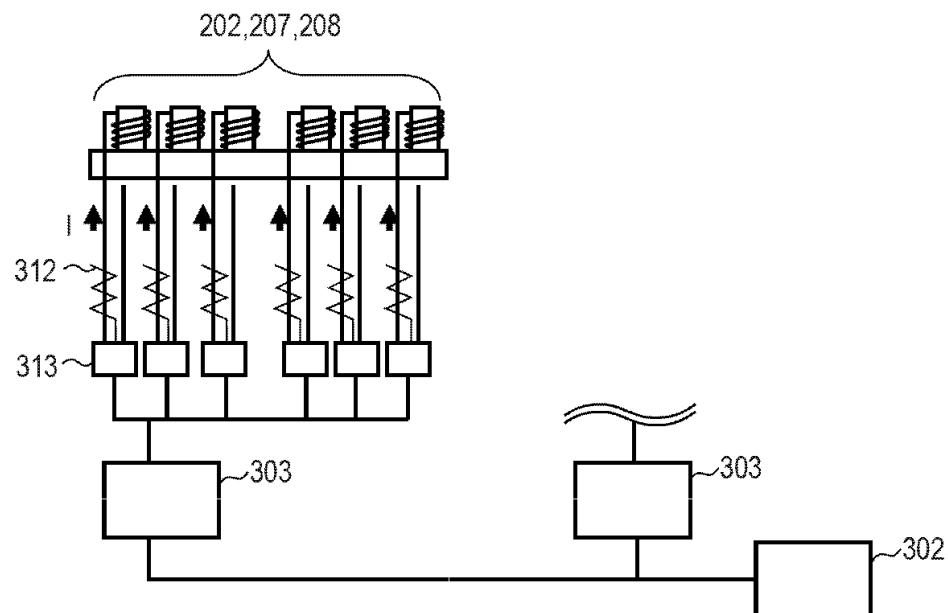
도면1



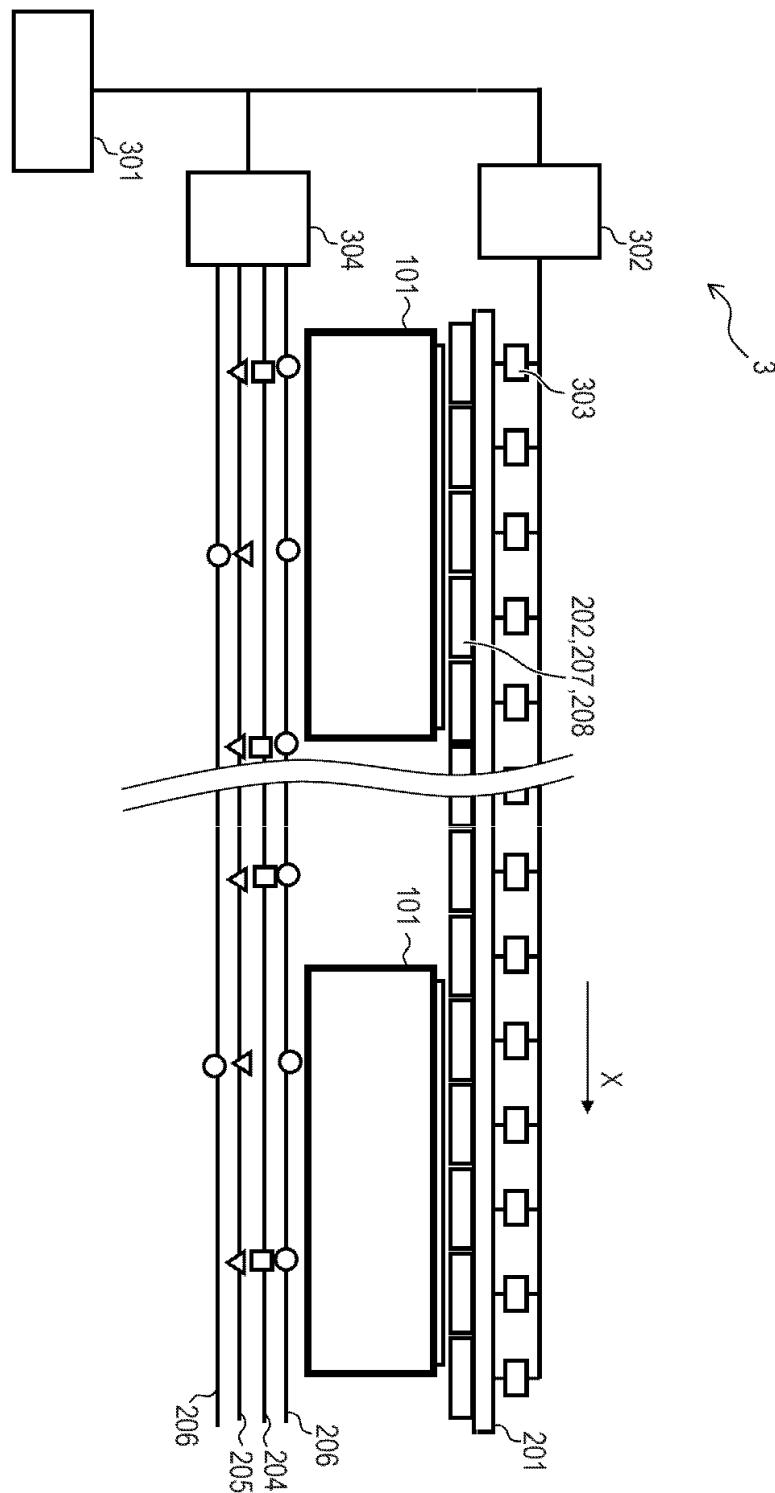
도면2



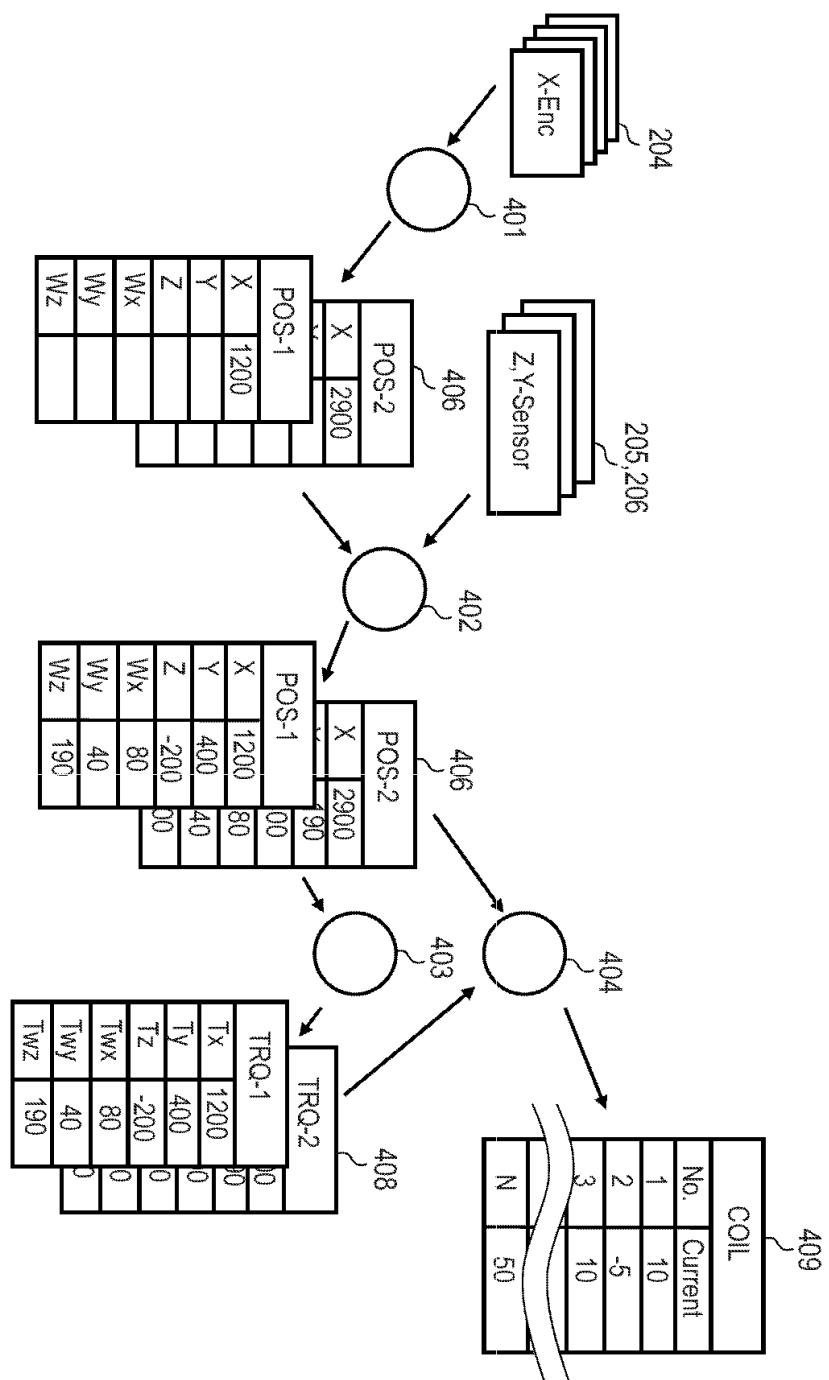
도면3



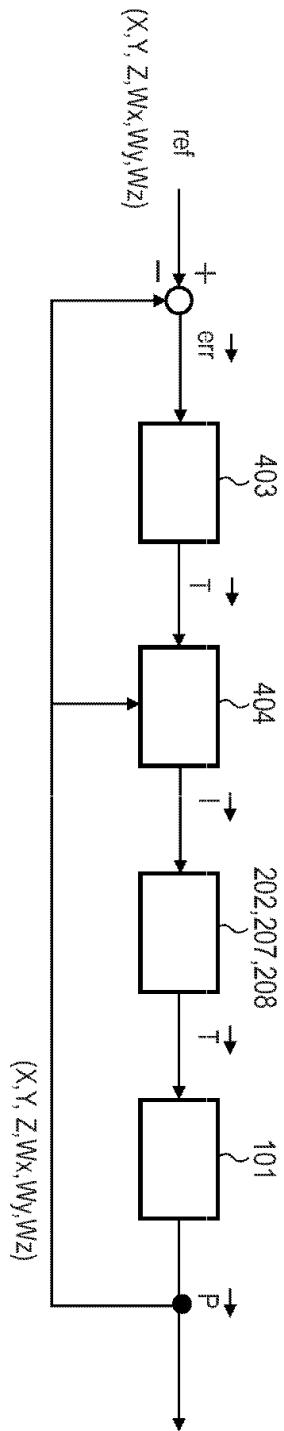
도면4



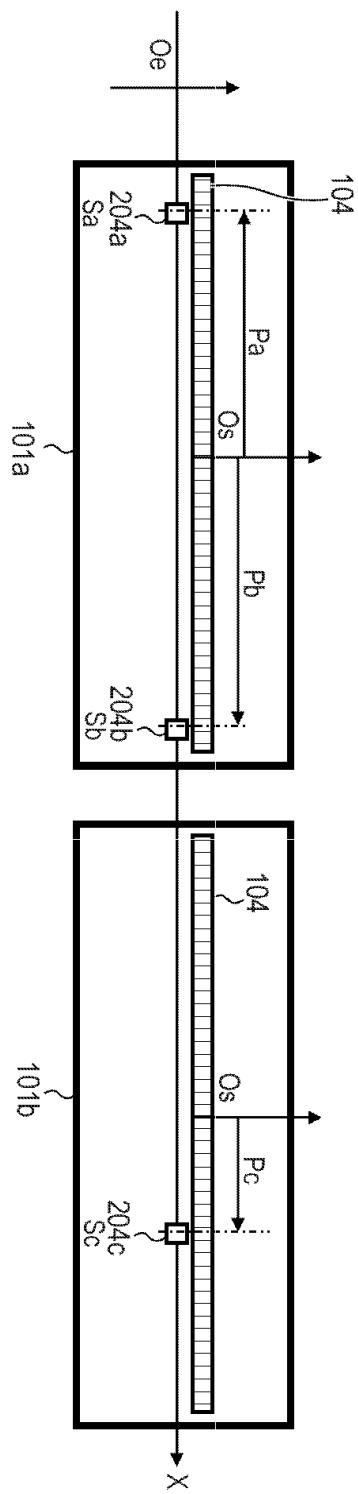
도면5



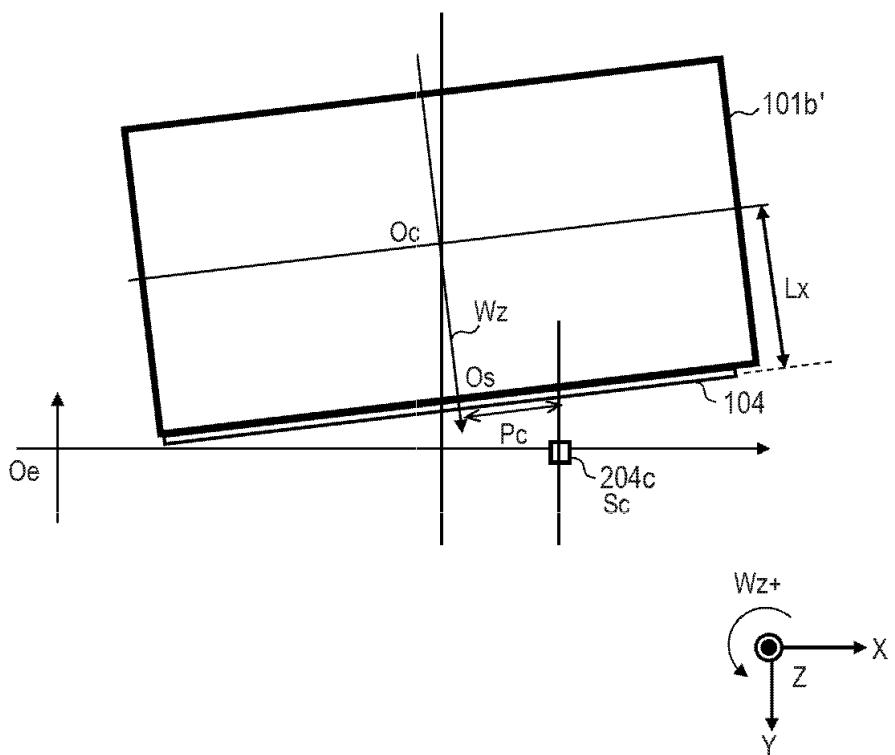
## 도면6



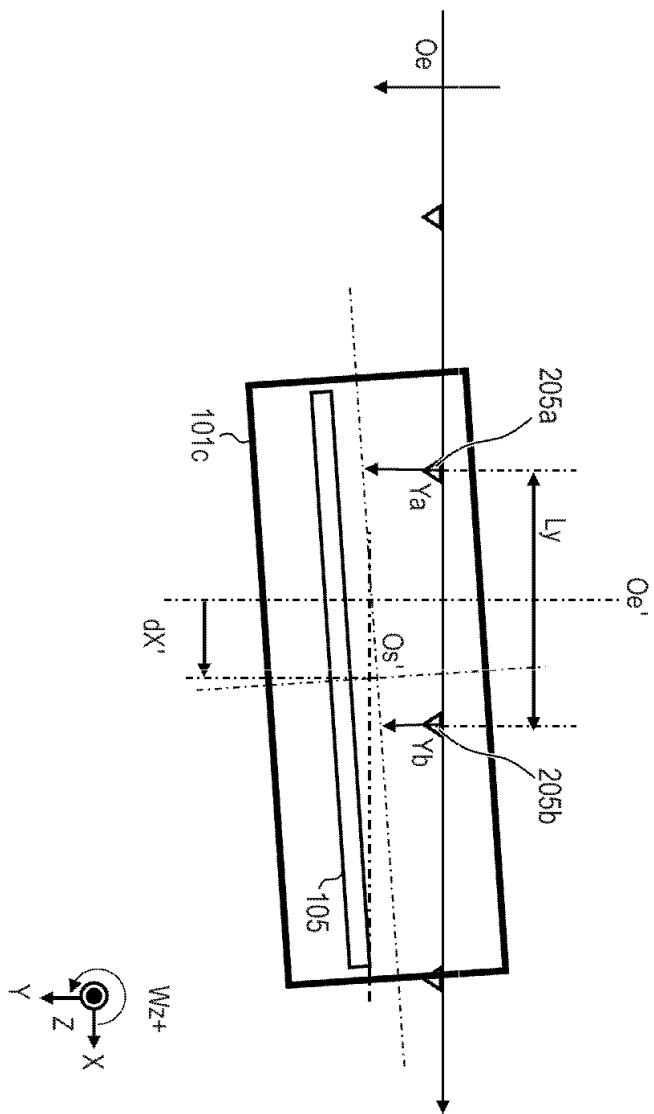
도면 7a



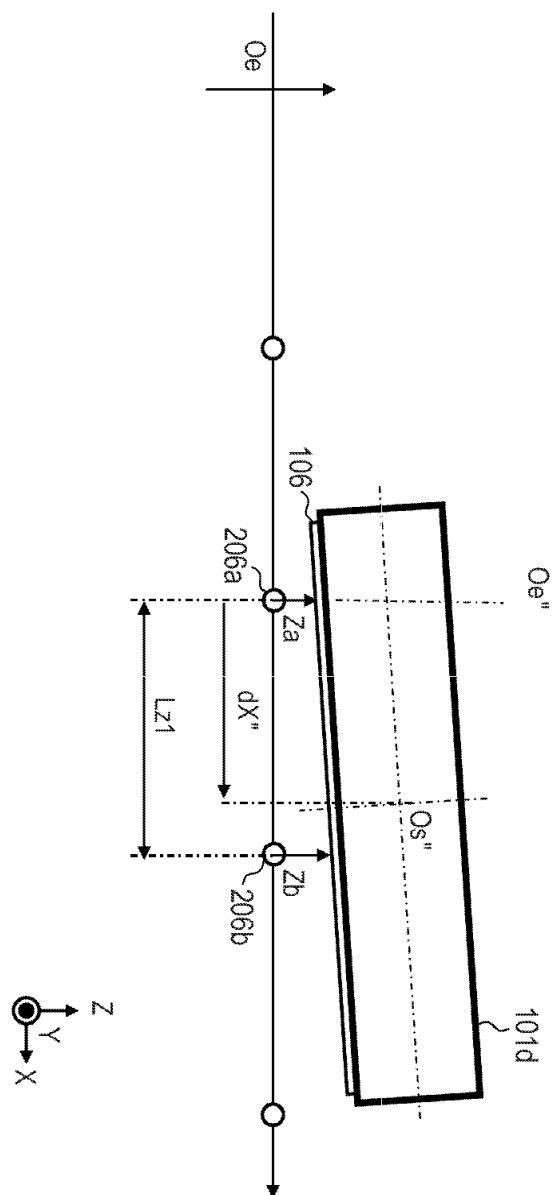
도면7b



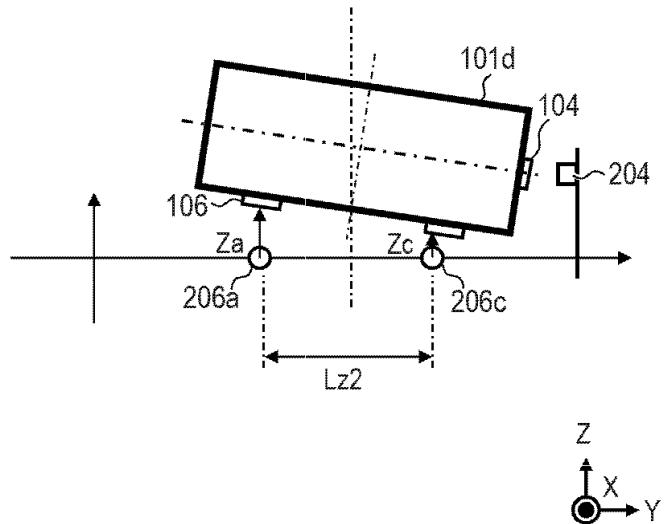
## 도면8



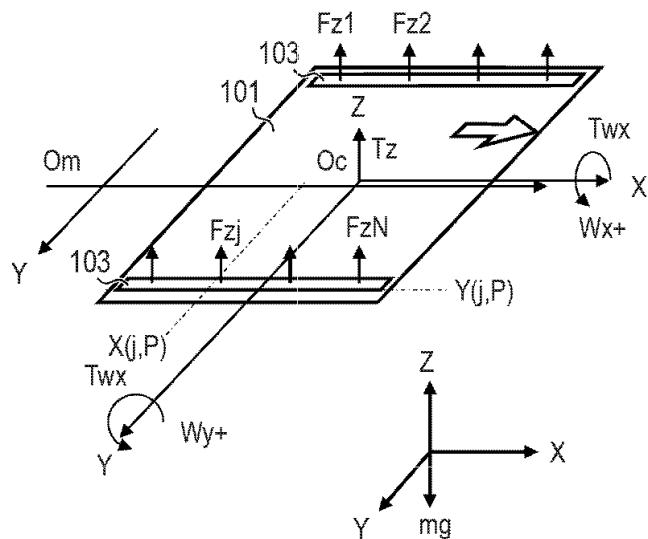
도면 9a



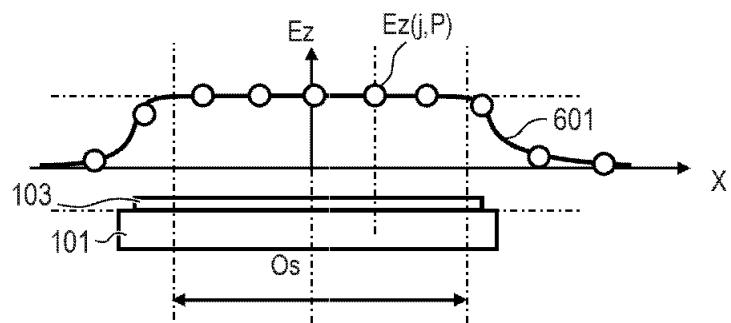
### 도면9b



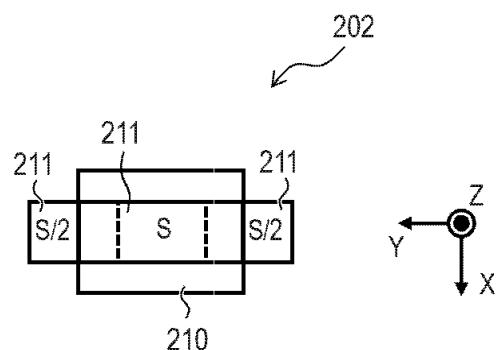
## 도면10



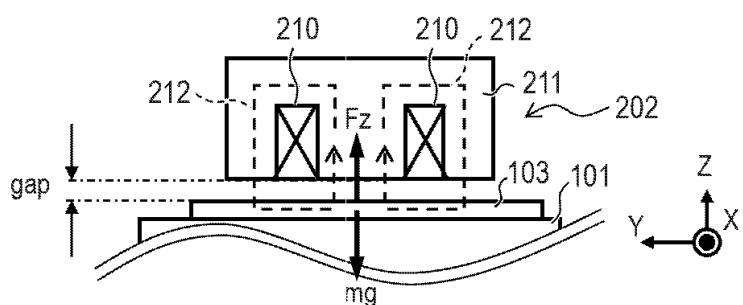
도면11



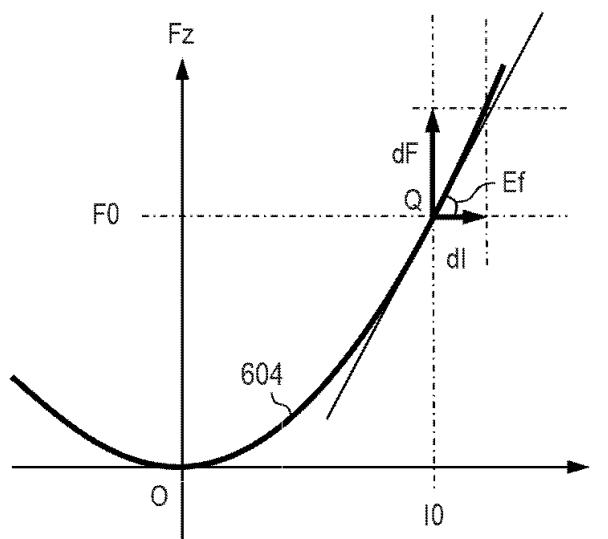
도면12a



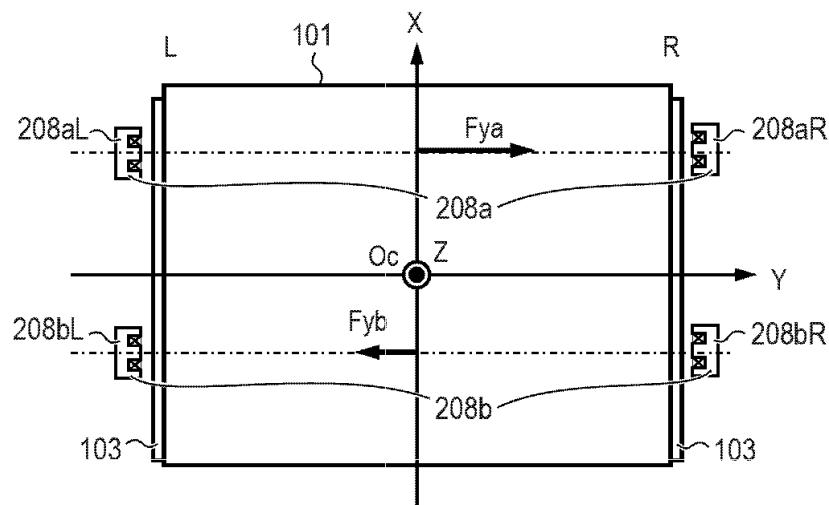
도면12b



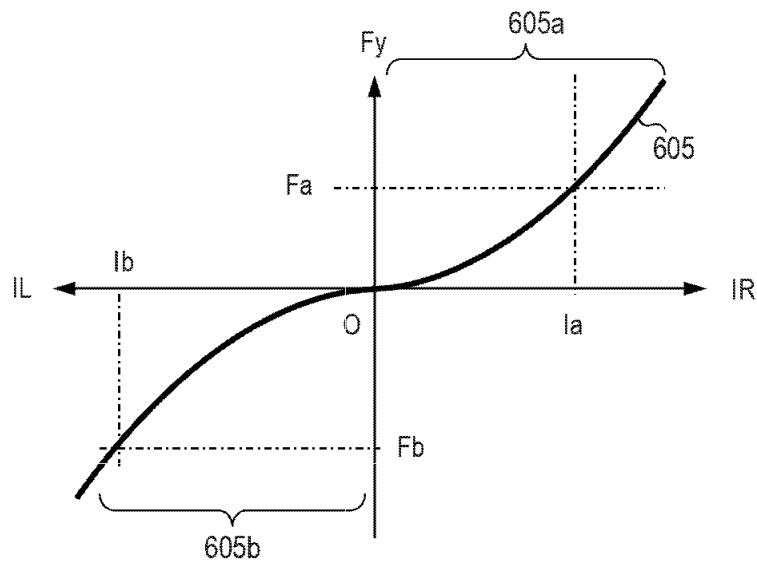
도면13



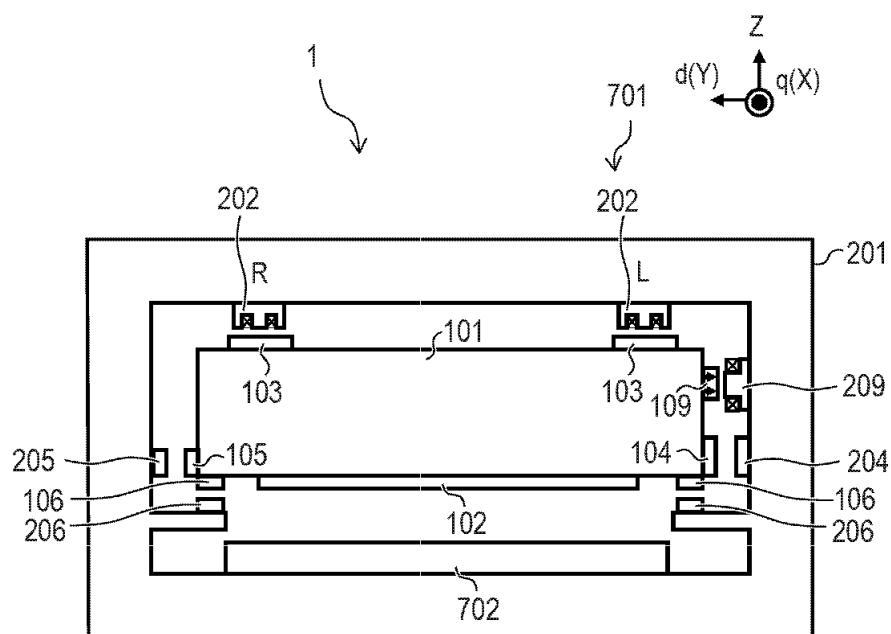
도면14



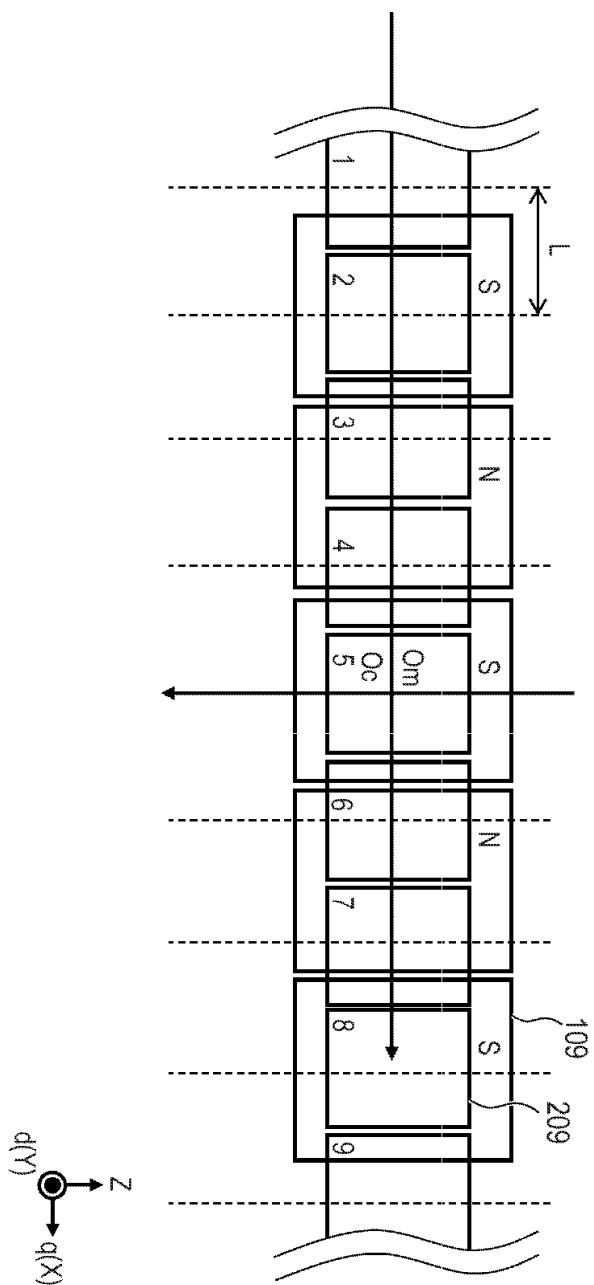
도면15



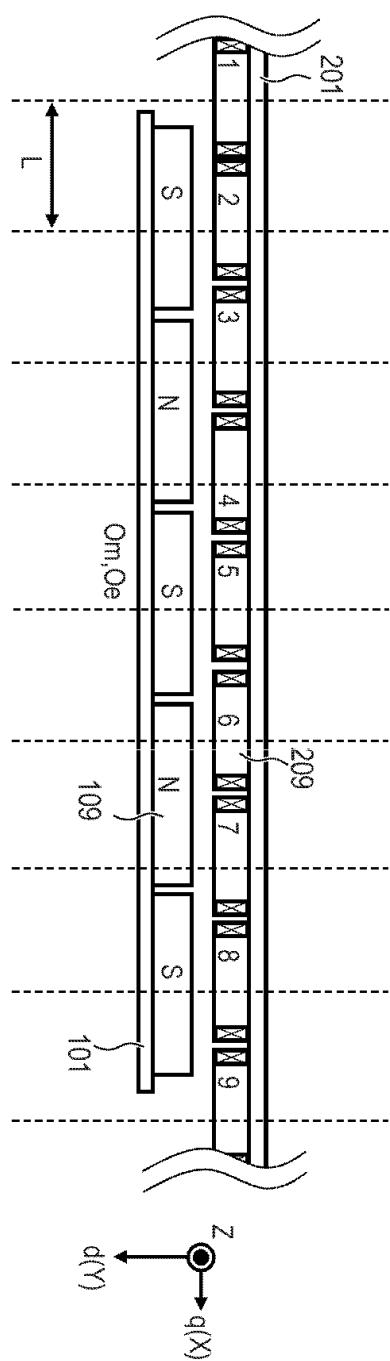
도면16



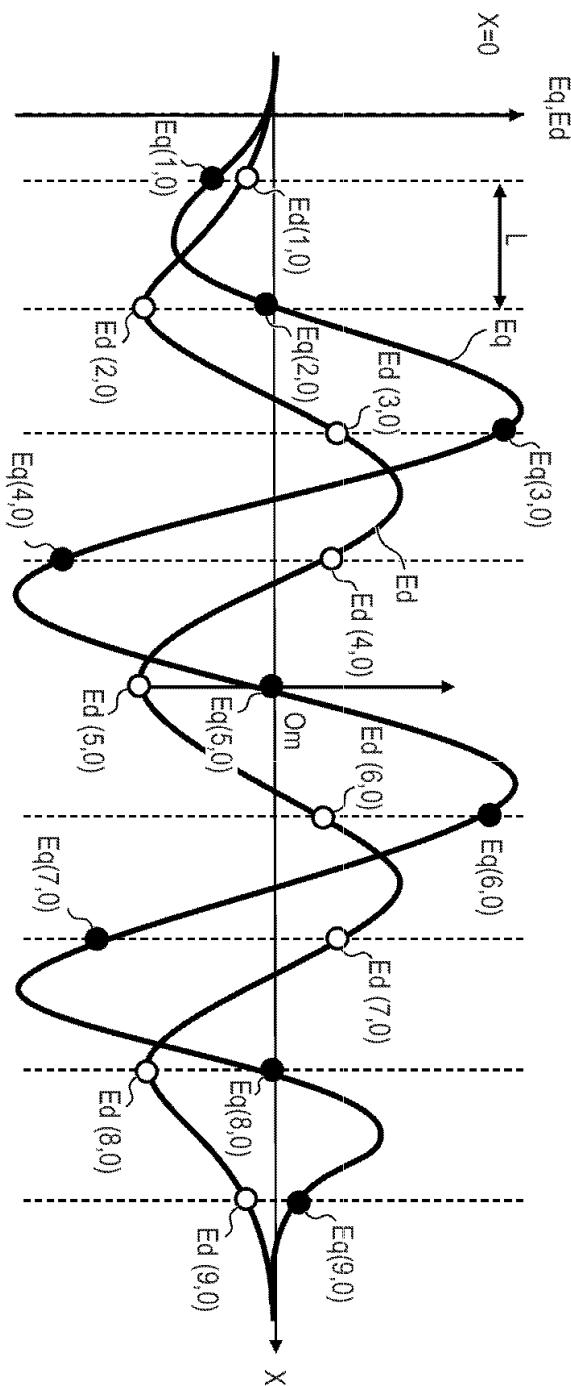
도면 17a



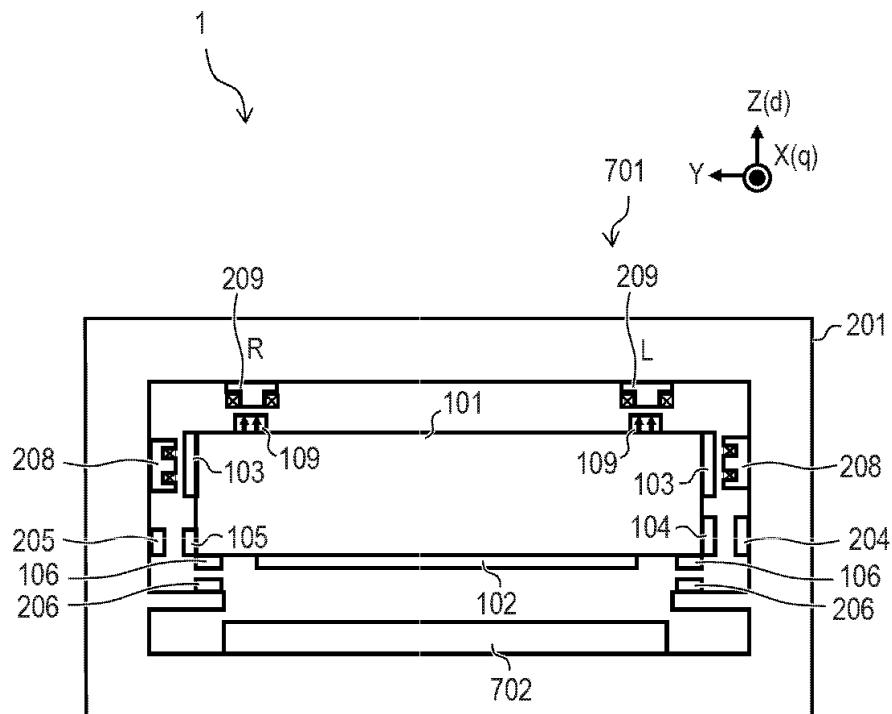
도면 17b



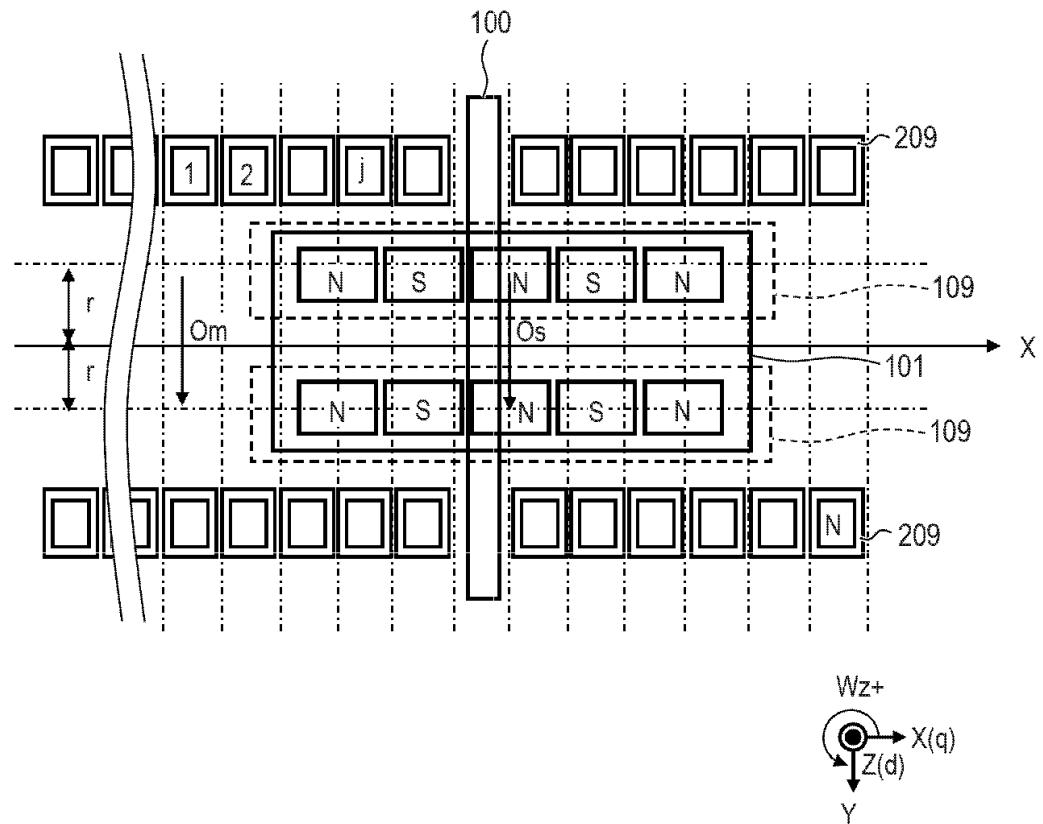
도면 17c



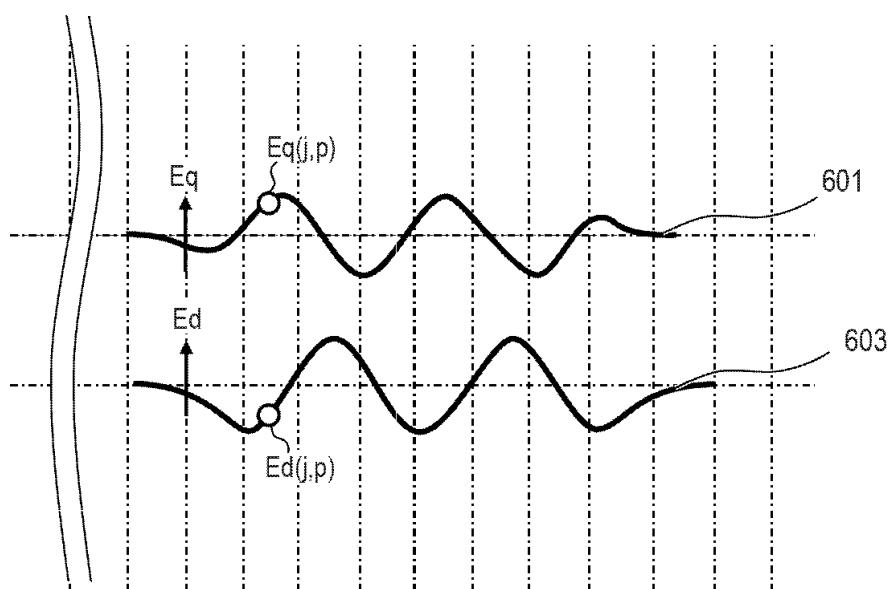
도면18



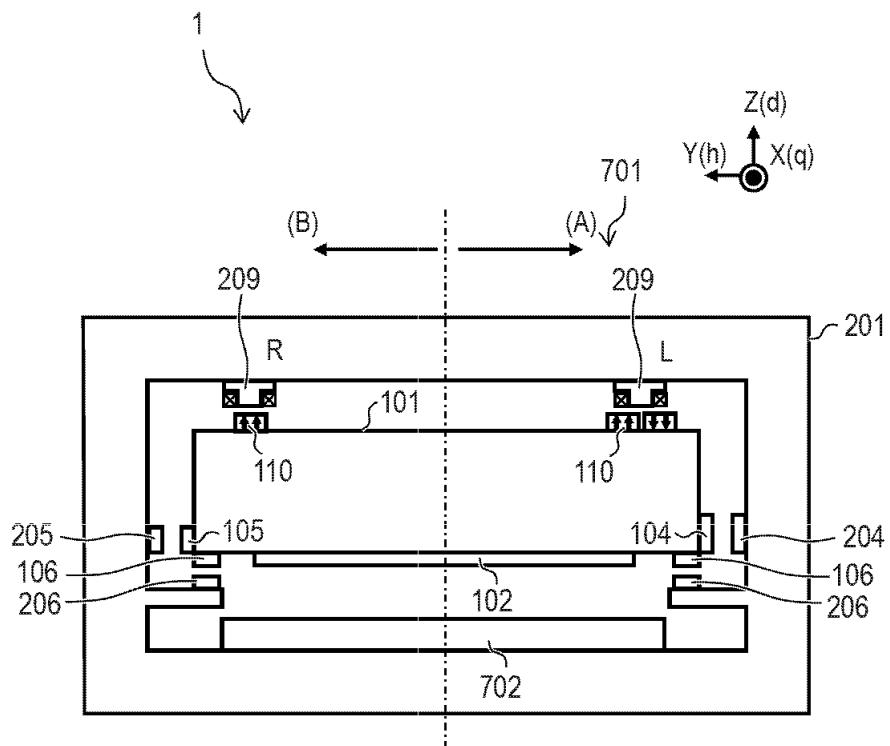
도면 19a



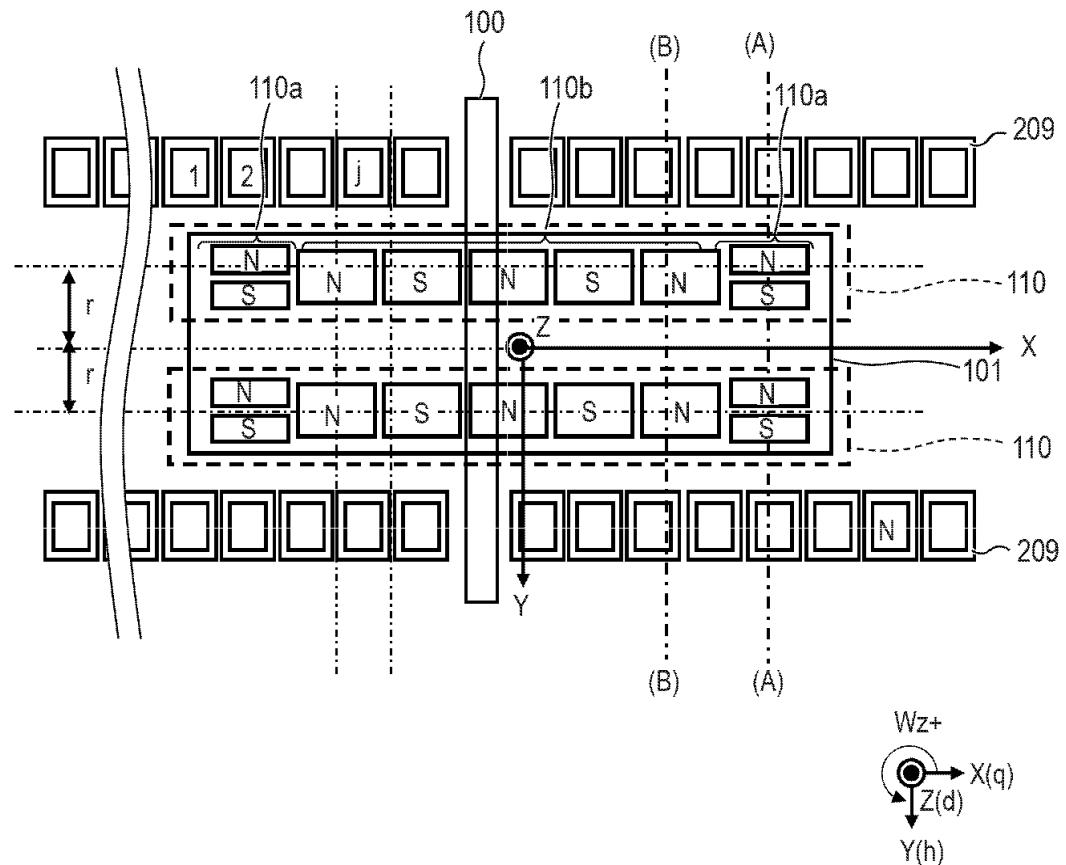
도면 19b



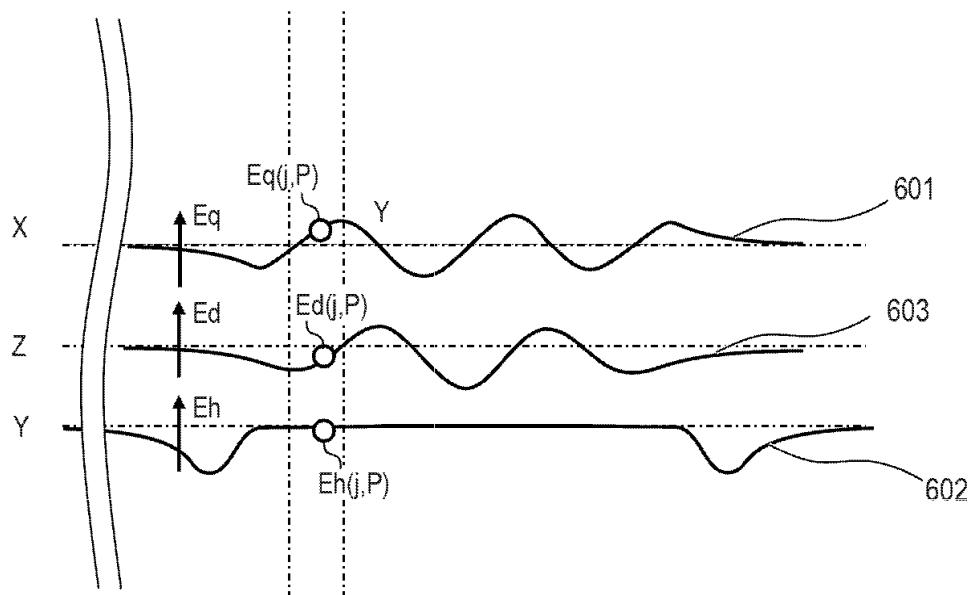
## 도면20



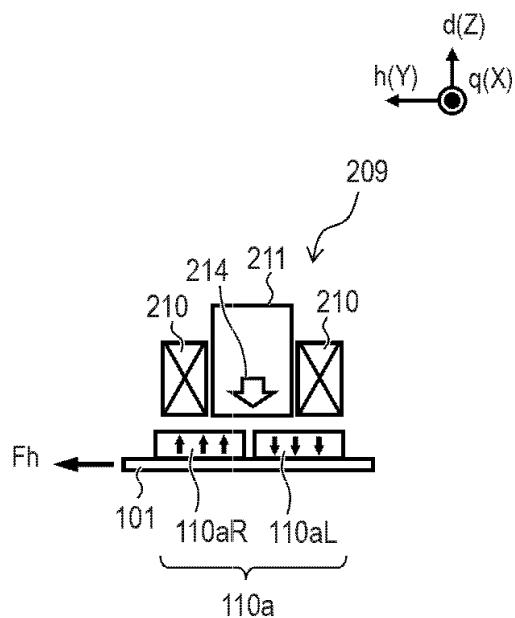
### 도면21a



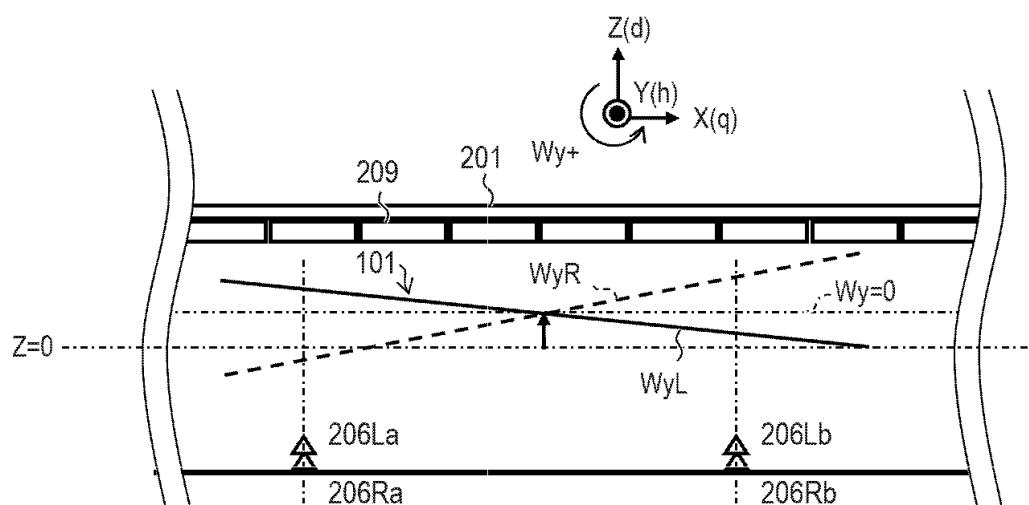
## 도면21b



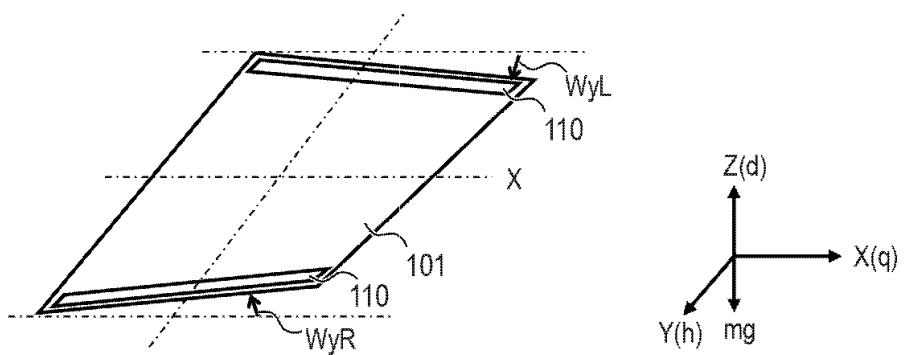
도면22



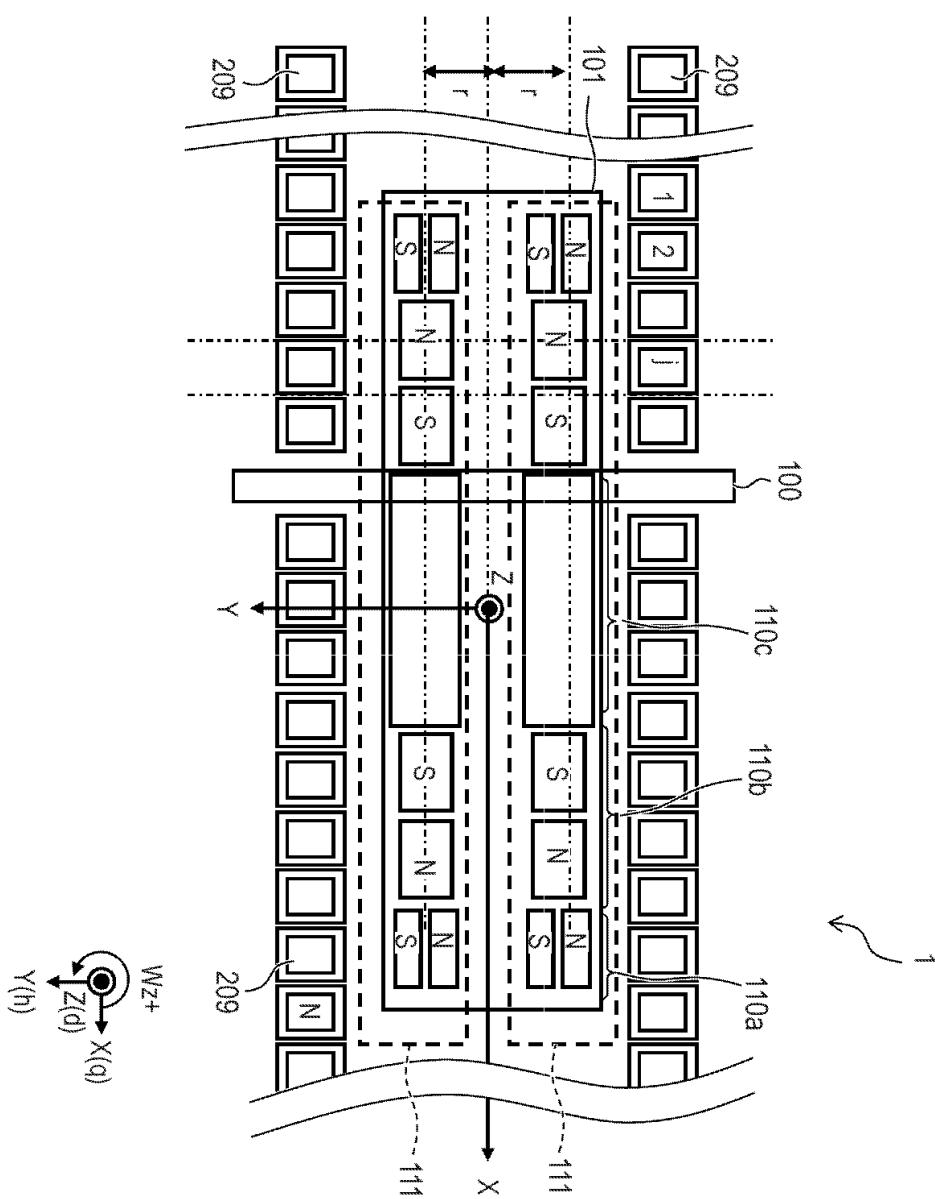
도면23a



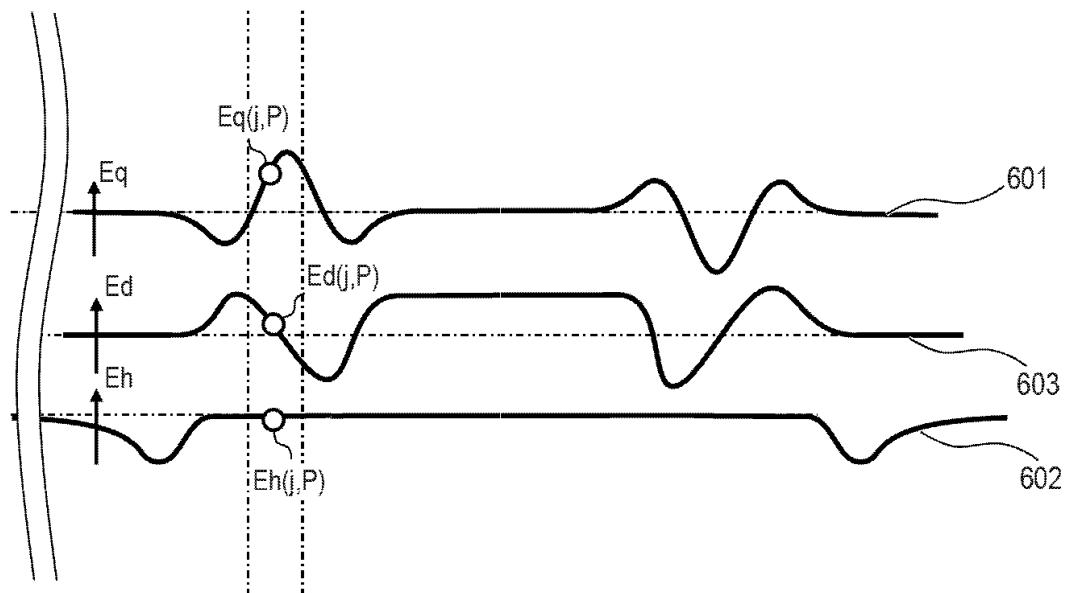
도면23b



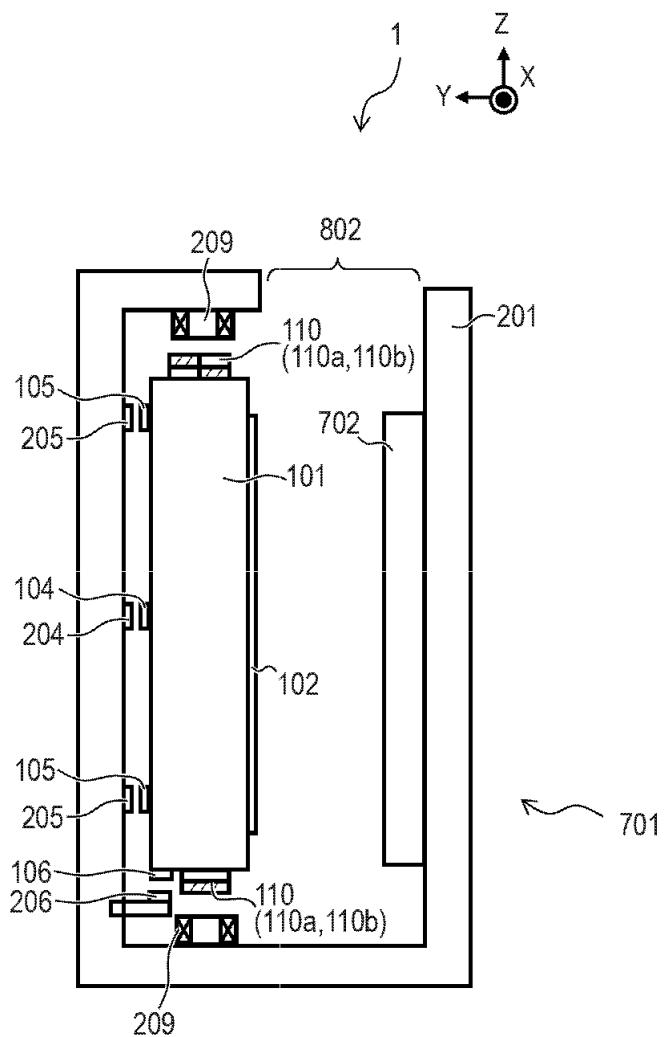
도면24a



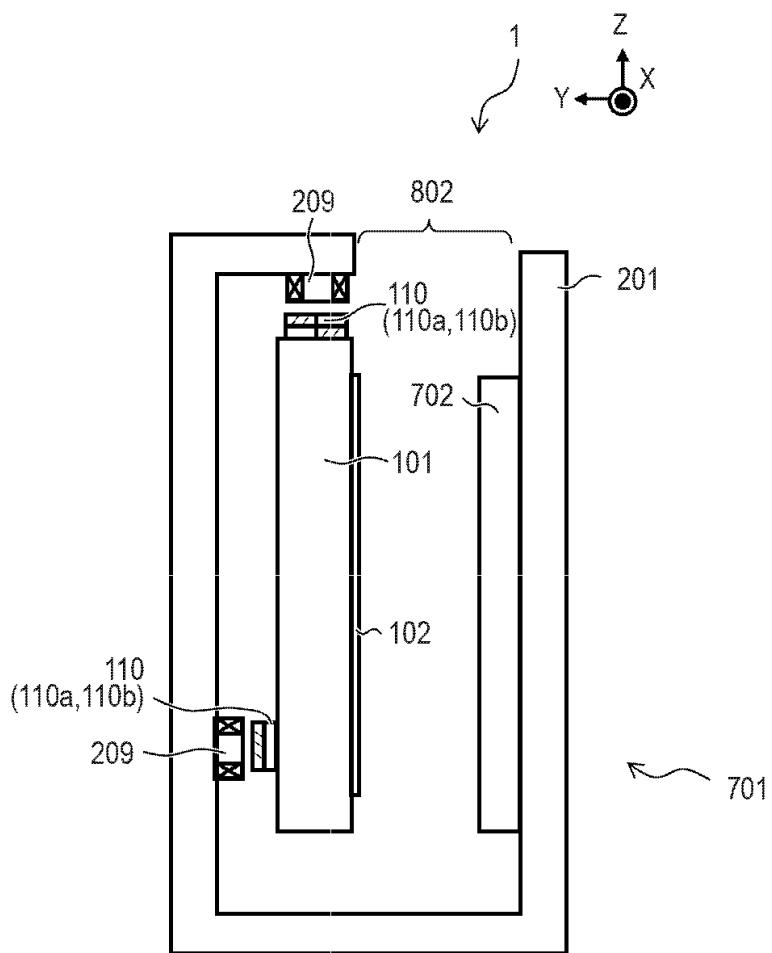
도면24b



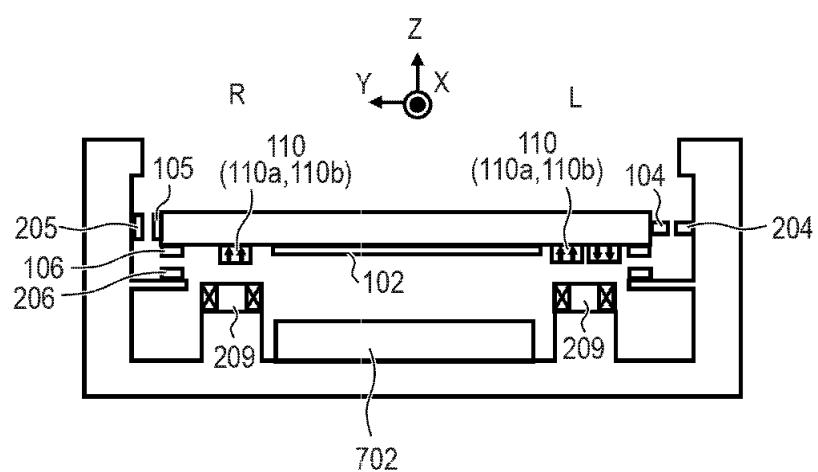
도면25a



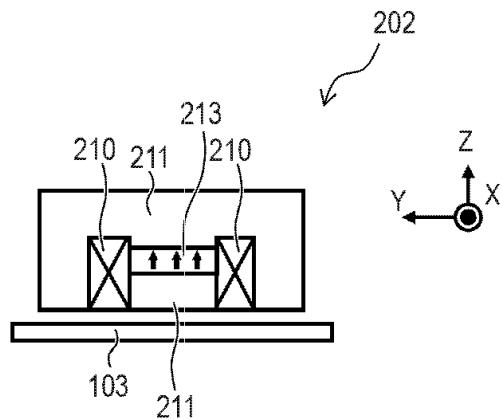
도면25b



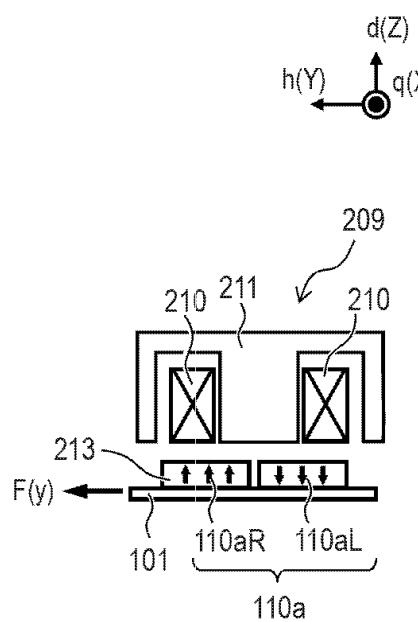
도면26



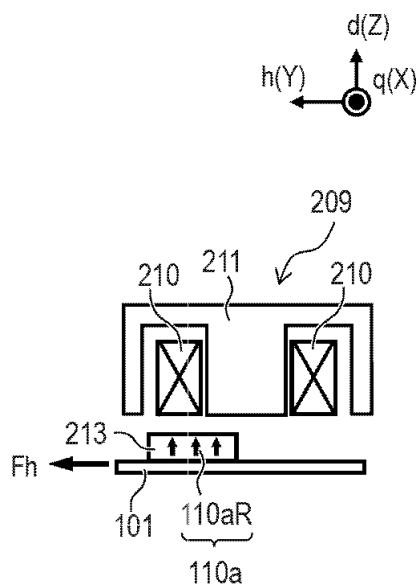
도면27



도면28a



도면28b



도면29

