



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0054479
(43) 공개일자 2017년05월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B22D 11/18 (2006.01) G01F 23/22 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B22D 11/181 (2013.01)
G01F 23/22 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-7009861
- (22) 출원일자(국제) 2015년10월14일
심사청구일자 2017년04월12일
- (85) 번역문제출일자 2017년04월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2015/079040
- (87) 국제공개번호 WO 2016/060164
국제공개일자 2016년04월21일
- (30) 우선권주장
JP-P-2014-210712 2014년10월15일 일본(JP)

- (71) 출원인
신닛테츠스미킨 카부시키카이사
일본 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1고
- (72) 발명자
나카가와 주니치
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시키카이사 내
히라모토 유우지
일본 1008071 도쿄도 치요다쿠 마루노우찌 2쵸메 6방 1고 신닛테츠스미킨카부시키카이사 내
- (74) 대리인
양영준, 최인호, 성재동

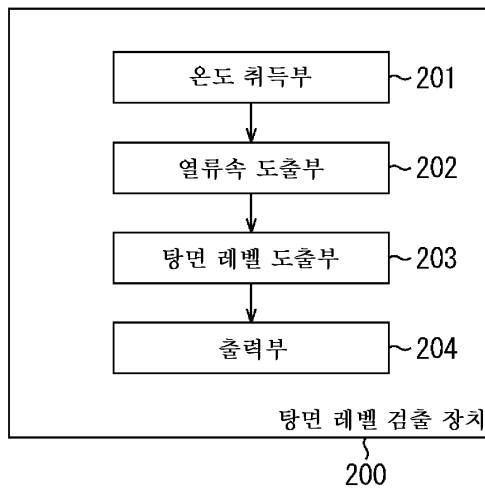
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 연속 구조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치, 방법 및 컴퓨터 판독 가능한 기억 매체

(57) 요약

열류속 도출부(202)는 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 를 도출한다. 탕면 레벨 도출부(203)는 y축 성분 벡터가 구조 방향과는 역방향인 열류속 벡터의, y축 방향 성분의 값 q_y 의 절댓값이 최대가 되는 위치를 유면 레벨로서 도출한다.

대표도 - 도2



명세서

청구범위

청구항 1

연속 주조 주형의 주조 방향을 따라서 당해 연속 주조 주형 내에 매설된 복수의 온도 측정 수단에 의해 측정된 온도를 취득하는 온도 취득 수단과,

상기 온도 취득 수단으로 도출된 온도로부터 비정상 전열 역문제 해석을 행한 결과에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값을 도출하는 열류속 도출 수단과,

상기 열류속 도출 수단으로 도출된, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내부의 탕면 레벨을 도출하는 탕면 레벨 도출 수단을 갖고,

상기 탕면 레벨 도출 수단은, 상기 주조 방향 성분의 벡터가 상기 주조 방향과는 역방향이 되는 상기 열류속 벡터의, 상기 주조 방향 성분의 값의 절댓값이 최대가 되는 위치를 상기 탕면 레벨로서 도출하는 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 비정상 전열 역문제 해석은, 비정상 열전도 방정식을 만족시키는 내외압 온도 함수를 사용한 비정상 전열 역문제 해석이며,

상기 내외압 온도 함수는, 상기 연속 주조 주형의 히트싱크 방향인 x축 방향의 위치 x, 상기 연속 주조 주형의 주조 방향인 y축 방향의 위치 y, 및 시각 t에 있어서의, 상기 연속 주조 주형의 내부 온도를 나타내는 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 인 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 내외압 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 는 중심점 j마다 정해지는 기저 함수 ϕ_j 와, 중심점 j마다 정해지는 가중치 벡터 λ_j 의 곱의, 상기 중심점 j 각각에 있어서의 값의 총합으로 표현되고,

상기 중심점 j는, 상기 연속 주조 주형의 x축 방향 및 y축 방향의 기준이 되는 위치를 나타내는 기준 위치 벡터 (x_j, y_j) 와, 기준 시각 t_j 로부터 정해지는 점이며, 상기 연속 주조 주형의 x축 방향 및 y축 방향의 위치와 시각에 따라 정해지는 3차원 좌표 상의 점이며,

상기 기저 함수 ϕ_j 는, 상기 중심점 j를 기준으로 한 경우의, 비정상 열전도 방정식을 만족시키는 기본해의 형으로 표현된 함수인 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 열류속 도출 수단은, 이하의 (A)식에 의해, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 를 도출하고,

이하의 β 는, 상기 연속 주조 주형을 구성하는 재료의 열전도율이며,

이하의 a는, 상기 연속 주조 주형을 구성하는 재료의 열확산 계수의 평방근이며,

이하의 $H(t-t_j)$ 는 헤비사이드 함수이며,

이하의 m+1은, 상기 중심점 j의 수인 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치.

$$q_y = -\beta \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \frac{y-y_j}{4a^3(t-t_j)\sqrt{\pi(t-t_j)}} H(t-t_j) \quad \dots (A)$$

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서, 상기 연속 주조 주형의 외벽면에 있어서의 위치와 시각에 따라 정해지는 점이며, 상기 연속 주조 주형의 x축 방향 및 y축 방향의 위치와 시각에 따라 정해지는 3차원 좌표 상의 점과, 상기 온도 측정 수단이 매설되는 위치와 시각에 따라 정해지는 점이며, 상기 연속 주조 주형의 x축 방향 및 y축 방향의 위치와 시각에 따라 정해지는 3차원 좌표 상의 점을 각각 정보량의 정의점으로 하고,

상기 열류속 도출 수단은, 상기 비정상 열전도 방정식과, 상기 비정상 열전도 방정식에 있어서의 경계 조건과, 열전대 온도 함수 $u(x^*, y^*, t)$ 와, 상기 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 를 만족시키도록, 상기 비정상 열전도 방정식에 있어서의 경계 조건과 상기 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 의 연립 방정식에 상기 정보량의 정의점의 정보를 대입하여 당해 연립 방정식을 푸는 것에 의해, 상기 가중치 벡터 λ_j 를 도출하고, 당해 가중치 벡터 λ_j 를 사용하여, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 y축 방향 성분의 값 q_y 를 도출하고,

상기 비정상 열전도 방정식에 있어서의 경계 조건은, 상기 연속 주조 주형의 외벽면에 있어서의 상기 x축 방향의 온도 구배와, 상기 연속 주조 주형을 구성하는 재료의 열전도율에 기초하는 열류속과, 상기 연속 주조 주형의 외벽면에 있어서의 온도와 수온의 차와, 상기 연속 주조 주형을 구성하는 재료와 물 간의 열전달 계수에 기초하는 열류속이 동등한 것을 나타내는 식이며,

상기 복수의 온도 측정 수단은, 상기 연속 주조 주형의 외벽면과 상이한 위치에, 상기 주조 방향을 따라서 당해 연속 주조 주형 내에 매설되고,

상기 열전대 온도 함수 $u(x^*, y^*, t)$ 는 상기 연속 주조 주형의 x축 방향에 있어서의 상기 온도 측정 수단의 위치 x^* , 상기 연속 주조 주형의 y축 방향에 있어서의 상기 온도 측정 수단의 위치 y^* , 및 시각 t 에 있어서 상기 온도 측정 수단에 의해 측정되는 온도를 나타내는 함수인 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 복수의 온도 측정 수단의, 상기 x축 방향의 위치는 동일한 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서, 상기 가중치 벡터 λ_j 는, 이하의 (B)식~(E)식으로 계산되고,

이하의 m 은, 상기 연속 주조 주형의 외벽면에 있어서의 위치와 시각에 따라 정해지는 상기 중심점 j 의 수이며,

이하의 l 은, 상기 온도 측정 수단의 위치와 시각에 따라 정해지는 상기 중심점 j 의 수이며

이하의 k 는, 상기 정보량의 정의점을 식별하기 위한 1부터 m 까지의 정수이며,

이하의 s 는, 상기 정보량의 정의점을 식별하기 위한 $m+1$ 부터 $m+1$ 까지의 정수이며,

이하의 j 는, 상기 중심점 j 를 식별하기 위한 1부터 $m+1$ 까지의 정수이며,

이하의 β 는, 상기 연속 주조 주형을 구성하는 재료의 열전도율이며,

이하의 γ 는, 상기 연속 주조 주형을 구성하는 재료와 물 간의 열전달 계수이며,

이하의 h_{s-m} 은, 상기 온도 측정 수단에 의해 측정된 온도이며,

이하의 g_k 는, 수온과, 상기 연속 주조 주형을 구성하는 재료와 물 간의 열전달 계수 γ 의 곱이며,

이하의 A 는, $(m+1) \times (m+1)$ 행렬이며,

이하의 A 의 [] 내의 $\beta \partial \phi / \partial x(x_k-x_j, y_k-y_j, t_k-t_j) + \gamma \phi(x_k-x_j, y_k-y_j, t_k-t_j)$ 는 행렬 A 의 k 행 j 열 성분의 값이며,

이하의 A 의 [] 내의 $\phi(x_s-x_j, y_s-y_j, t_s-t_j)$ 는 행렬 A 의 s 행 j 열 성분의 값이며,

이하의 b 는, $(m+1)$ 차원 열 벡터이며,

이하의 b 의 [] 내의 g_k 는, 행렬 b 의 k 행 성분의 값이며,

이하의 b 의 [] 내의 h_{s-m} 은, 행렬 b 의 s 행 성분의 값이며,

이하의 λ 는, $(m+1)$ 차원 열 벡터인 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치.

$$A\lambda = b \quad \dots (B)$$

$$A = \begin{bmatrix} \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) + \gamma \phi (x_k - x_j, y_k - y_j, t_k - t_j) \\ \phi (x_s - x_j, y_s - y_j, t_s - t_j) \end{bmatrix} \quad \dots (C)$$

$$\lambda = [\lambda_j] \quad \dots (D)$$

$$b = \begin{bmatrix} g_k \\ h_{s-m} \end{bmatrix} \quad \dots (E)$$

청구항 8

연속 주조 주형의 주조 방향을 따라서 당해 연속 주조 주형 내에 매설된 복수의 온도 측정 공정에 의해 측정된 온도를 취득하는 온도 취득 공정과,

상기 온도 취득 공정에서 도출된 온도로부터 비정상 전열 역문제 해석을 행한 결과에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값을 도출하는 열류속 도출 공정과,

상기 열류속 도출 공정에서 도출된, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내부의 탕면 레벨을 도출하는 탕면 레벨 도출 공정을 갖고,

상기 탕면 레벨 도출 공정은, 상기 주조 방향 성분의 벡터가 상기 주조 방향과는 역방향이 되는 상기 열류속 벡터의, 상기 주조 방향 성분의 값의 절댓값이 최대가 되는 위치를 상기 탕면 레벨로서 도출하는 것을 특징으로 하는 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 방법.

청구항 9

연속 주조 주형의 주조 방향을 따라서 당해 연속 주조 주형 내에 매설된 복수의 온도 측정 공정에 의해 측정된 온도를 취득하는 온도 취득 공정과,

상기 온도 취득 공정에서 도출된 온도로부터 비정상 전열 역문제 해석을 행한 결과에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값을 도출하는 열류속 도출 공정과,

상기 열류속 도출 공정에서 도출된, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내부의 탕면 레벨을 도출하는 탕면 레벨 도출 공정을 컴퓨터에 실행시키고,

상기 탕면 레벨 도출 공정은, 상기 주조 방향 성분의 벡터가 상기 주조 방향과는 역방향이 되는 상기 열류속 벡터의, 상기 주조 방향 성분의 값의 절댓값이 최대가 되는 위치를 상기 탕면 레벨로서 도출하는 것을 특징으로 하는 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치, 방법 및 프로그램에 관한 것으로서, 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨을 검출하기 위해 사용하기에 적합한 것이다.

배경 기술

[0002] 연속 주조 설비를 조업할 때에 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨을 검출하고, 탕면 레벨을 안정되게 제어할 필요가 있다. 용강의 오버플로우나 부유물의 말려들어감 등을 방지함으로써, 주조편의 내부 품질의 향상을 도모할 수 있기 때문이다. 탕면 레벨이란, 용강의 표면의 높이 위치를 말한다. 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨을 검출하는 기술로서, 특허문헌 1, 2에 기재된 기술이 있다. 또한, 이하의 설명에서는, 연속 주조 주형을 필요에 따라서 주형이라 약칭한다.

[0003] 특허문헌 1에는, 이하의 기술이 개시되어 있다. 주형의 주조 방향(주형의 높이 방향)을 따라서 등간격으로 복수개의 측온 소자를 주형 내에 매설한다. 각 측온 소자의 점에 있어서의 온도의 시간 변화율을 연산하고, 당해 시간 변화율의 최댓값을 나타내는 측온 소자(n)를 검출한다. 당해 측온 소자(n)의 시간 변화율과, 당해 측온 소자(n)에 인접하는 2개의 측온 소자(n-1), (n+1)의 시간 변화율을 연결하는 2차 곡선의 최댓값을 나타내는 위치를 구하고, 당해 위치를 탕면 레벨로 한다.

[0004] 또한, 특허문헌 2에는, 이하의 기술이 개시되어 있다. 주형의 주조 방향(주형의 높이 방향)을 따라서 간격을 두고 복수의 열전대를 주형 내에 매설한다. 탕면 레벨의 검출 시에, 먼저, 초기 온도 분포를 부여하는 것과, 임시 탕면 레벨(분할 위치)을 정하는 것을 행한다. 임시 탕면 레벨이 결정되면, 열전대에서 계측된 온도 변화를 사용하여, 전열 역문제 해석에 의해, 당해 임시 탕면 레벨에서의 최대의 열류속과 최소의 열류속을 산출한다. 이러한 임시 탕면 레벨에서의 최대의 열류속과 최소의 열류속을, 임시 탕면 레벨의 위치를 변경하여 산출한다. 산출한 임시 탕면 레벨의 위치 중, 미리 실험을 행함으로써 규정한 최대의 열류속 및 최소의 열류속의 차가 가장 작아지는 임시 탕면 레벨을, 실제의 탕면 레벨로 한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 소53-26230호 공보
 (특허문헌 0002) 일본 특허 제4681127호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 그러나, 특허문헌 1에 기재된 기술은, 주형의 주조 방향의 온도가 최대가 되는 위치가 탕면 근방에 있고, 이 위치가, 탕면 레벨과 어떤 상관이 있다는 경험칙에 기초하는 것이다. 이렇게 경험칙에 기초하는 경우, 탕면 레벨의 검출 정밀도가 낮아질 우려가 있다.

[0007] 또한, 특허문헌 2에 기재된 기술에서는, 비정상 이차원 열전도 방정식으로 전열 역문제 해석을 행할 때에, 온도 분포의 초기값(초기 조건)이 필요하게 된다. 또한, 주조 방향에 있어서의 열류속이 이산화된 값으로서 계산된다. 따라서, 특허문헌 2에 기재된 기술에서도, 탕면 레벨의 검출 정밀도가 낮아질 우려가 있다. 특히, 주형 내의 용강의 상태가 급격하게 변화하여, 열류속의 시간 변화가 커지는 경우에, 탕면 레벨의 검출 정밀도가 낮아질 우려가 있다.

[0008] 본 발명은 이상의 점을 감안하여 이루어진 것이며, 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨의 검출 정밀도를 높이는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치는, 연속 주조 주형의 주조 방향을 따라서 당해 연속 주조 주형 내에 매설된 복수의 온도 측정 수단에 의해 측정된 온도를 취득하는 온도 취득 수단과, 상기 온도 취득 수단으로 도출된 온도로부터 비정상 전열 역문제 해석을 행한 결과에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값을 도출하는 열류속 도출 수단과, 상기 열류속 도출 수단으로 도출된, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내부의 탕면 레벨을 도출하는 탕면 레벨 도출 수단을 갖고, 상기 탕면 레벨 도출 수단은, 상기 주조 방향 성분의 벡터가 상기 주조 방향과는 역방향인 상기 열류속 벡터의, 상기 주조 방향 성분의 값의 절댓값이 최대가 되는 위치를 상기 탕면 레벨로서 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 본 발명의 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 방법은, 연속 주조 주형의 주조 방향을 따라서 당해 연속 주조 주형 내에 매설된 복수의 온도 측정 공정에 의해 측정된 온도를 취득하는 온도 취득 공정과, 상기 온도 취득 공정에서 도출된 온도로부터 비정상 전열 역문제 해석을 행한 결과에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값을 도출하는 열류속 도출 공정과, 상기 열류속 도출 공정에서 도출된, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내부의 탕면 레벨을 도출하는 탕면 레벨 도출 공정을 갖고, 상기 탕면 레벨 도출 공정은, 상기 주조 방향 성분의 벡터가 상기 주조 방향과는 역방향이 되는 상기 열류속 벡터의, 상기 주조 방향 성분의 값의 절댓값이 최대가 되는 위치를 상기 탕면 레벨로서 도출하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 본 발명의 프로그램은, 연속 주조 주형의 주조 방향을 따라서 당해 연속 주조 주형 내에 매설된 복수의 온도 측정 공정에 의해 측정된 온도를 취득하는 온도 취득 공정과, 상기 온도 취득 공정에서 도출된 온도로부터 비정상 전열 역문제 해석을 행한 결과에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값을 도출하는 열류속 도출 공정과, 상기 열류속 도출 공정에서 도출된, 상기 연속 주조 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 상기 주조 방향 성분의 값에 기초하여, 상기 연속 주조 주형의 내부의 탕면 레벨을 도출하는 탕면 레벨 도출 공정을 컴퓨터에 실행시키고, 상기 탕면 레벨 도출 공정은, 상기 주조 방향 성분의 벡터가 상기 주조 방향과는 역방향이 되는 상기 열류속 벡터의, 상기 주조 방향 성분의 값의 절댓값이 최대가 되는 위치를 상기 탕면 레벨로서 도출하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0012] 본 발명에 따르면, 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨의 검출 정밀도를 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은, 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 시스템의 구성의 일례를 도시하는 도면이다.
- 도 2는, 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치의 기능적인 구성의 일례를 도시하는 도면이다.
- 도 3a는, 비정상 전열 역문제의 좌표계의 공간 x-시간 t의 2차원 단면의 일례를 도시하는 도면이다.
- 도 3b는, 비정상 전열 역문제의 좌표계의 공간 x-공간 y의 2차원 단면의 일례를 도시하는 도면이다.
- 도 4는, 탕면 레벨 검출 장치의 동작의 일례를 설명하는 흐름도이다.
- 도 5는, 탕면 레벨 검출 장치의 하드웨어 구성의 일례를 도시하는 도면이다.
- 도 6은, 실시예에 있어서의 열전대의 위치를 도시하는 도면이다.
- 도 7a는, 주형의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값과 y축 방향의 위치의 관계의 일례를 개념적으로 도시하는 도면이다.
- 도 7b는, 주형 내의 온도와 y축 방향의 위치의 관계를 개념적으로 도시하는 도면이다.
- 도 8은, 탕면 레벨을 실측하기 위한 장치 구성의 일례를 도시하는 도면이다.
- 도 9는, 발명예에서 검출한 탕면 레벨과, 기존의 방법으로 검출한 탕면 레벨과, 실측한 탕면 레벨을 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] (연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 시스템)
- [0015] 도 1은, 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 시스템의 구성의 일례를 도시하는 도면이다. 도 1은, 연속 주조 기를, 그 높이 방향(y축 방향)을 따라서 자른 단면을 도시한다.
- [0016] 도 1에 있어서, 연속 주조기는, 턴디쉬(11)와, 침지 노즐(12)과, 주형(몰드)(13)과, 핀치롤(14a~14d)을 갖는다. 또한, 연속 주조기는, 공지된 기술로 실현할 수 있다. 따라서, 여기에서는, 연속 주조기의 상세한 설명을 생략한다.
- [0017] 턴디쉬(11)는, 레이들로부터 공급된 용강(금속 용탕) M을 일시적으로 저류한다.
- [0018] 주형(13)은 턴디쉬(11)와 간격을 갖고, 턴디쉬(11)의 하방에 배치된다. 주형(13)은 예를 들어, 2개의 짧은 변

부(13a, 13b)와, 2개의 긴 변부를 갖는다. 2개의 짧은 변부(13a, 13b)는, 폭 방향(x축 방향)에 있어서 서로 대향하도록 간격을 갖고 배치된다. 2개의 긴 변부는, 깊이 방향(x축 및 y축과 수직인 방향)에 있어서 서로 대향하도록 간격을 갖고 배치된다. 2개의 긴 변부와 2개의 짧은 변부(13a, 13b)에 의해 둘러싸이는 영역은, 중공의 직육면체 형상의 영역이 된다. 이 영역이, 주형(13)의 내부 영역이 된다. 또한, 주형(13)의 외벽면에는 홈이 형성된다. 이 홈에 냉각수를 흐르게 함으로써, 주형(13)은 수랭된다. 또한, 도 1에서는, 표기의 사정상, 긴 변부와 짧은 변부 중, 짧은 변부만을 도시한다.

[0019] 침지 노즐(12)은 턴디쉬(11)에 저류되어 있는 용강 M을 주형(13)의 내부에 주입한다. 침지 노즐(12)은 그 기단부가 턴디쉬(11)의 저면에 위치함과 함께, 선단측의 소정의 영역이 주형(13)의 내부에 위치하도록 배치된다. 또한, 침지 노즐(12)의 내부와 턴디쉬(11)의 내부는 연통하고 있다. 또한, 턴디쉬(11)로부터 침지 노즐(12)에 공급되는 용강 M의 공급량은, 슬라이딩 노즐 또는 스토퍼에 의해 조절된다.

[0020] 주형(13)으로부터 하방으로 인출된 강의 반송 경로를 따르도록, 복수 쌍의 핀치롤(14a~14d)이 배치된다. 또한, 도 1에서는, 2대의 핀치롤(14a~14d)만을 도시한다. 그러나, 실제로는, 반송 경로의 길이에 따라, 보다 많은 핀치롤이 배치된다. 핀치롤(14a~14d)의 외측에는, 복수의 냉각 스프레이가 배치된다. 복수의 냉각 스프레이는, 주형(13)으로부터 하방으로 인출된 강을 냉각하기 위한 냉각수를 당해 강에 대하여 분사한다.

[0021] 이와 같이, 주형(13)의 내부의 주입된 용강은, 주형(13)에서 냉각되어, 그 표면으로부터 응고 쉘(15a, 15b)이 형성되어서 응고한다. 표면은 응고 쉘(15a, 15b)이 되어 있지만 내부는 응고되어 있지 않은 강이, 핀치롤(14a~14d) 사이에 끼워지면서 주형(13)의 하단부로부터 연속적으로 인출된다. 이와 같이 하여 주형(13)으로부터 인출되는 과정에서, 냉각 스프레이로부터 분사되는 냉각수에 의해 강의 냉각을 진행시킴으로써, 내부까지 강을 응고시킨다. 이와 같이 하여 응고된 강은, 연속 주조기의 하류측에서 소정의 크기로 절단되어, 슬래브, 블룸, 빌릿 등, 단면의 형상이 상이한 주조편이 제조된다.

[0022] 이상과 같이 하여 연속 주조기로 주조편을 제조할 때에, 주형(13)의 내부 용강에 파우더(17)를 수시 첨가한다. 파우더(17)의 박막은, 주형(13)의 내부 용강의 표면 외에도, 주형(13)의 내벽면과 응고 쉘(15a, 15b) 사이에도 존재한다. 이와 같이 하여 파우더(17)를 첨가함으로써, 용강의 보온과, 용강의 산화의 방지와, 용강 중의 개재물의 흡수와, 응고 쉘(15a, 15b)의 운환성의 확보와, 용강의 열의 히트싱크의 조정을 행한다. 이와 같이 하여 주형(13) 내의 메니스커스 근방에서의 응고 쉘(15a, 15b)을 균일하게 생성함으로써, 응고 쉘(15a, 15b)의 표면 균열을 방지함과 함께, 주형(13)과 응고 쉘(15a, 15b)의 시정을 방지한다.

[0023] 주형(13)에는, 주조 방향(y축 방향)을 따라서 복수의 열전대(18)가 매설된다. 복수의 열전대(18)의 수는 3 이상인 것이 바람직하다. 후술하는 열류속의 계산 정밀도에 따라, 복수의 열전대(18)의 수와, 서로 인접하는 2개의 열전대(18)의 간격을 결정할 수 있다. 또한, 도 1에 도시하는 예에서는, 복수의 열전대(18)는 주형(13)의 내벽면과 외벽면 중 상대적으로 내벽면에 가까운 영역에 매설된다. 단, 복수의 열전대(18)는 주형(13)의 내부에 매설되어 있다면, 반드시 이러한 영역에 매설되어 있지는 않아도 된다. 도 1에 도시한 바와 같이, 본 실시 형태에서는, 짧은 변부(13a)에 복수의 열전대(18)가 매설되는 경우를 예로 들어 설명한다. 그러나, 짧은 변부(13a)에 추가로 또는 대신에 짧은 변부(13b) 및 2개의 긴 변부 중 적어도 어느 하나에 복수의 열전대가 매설되어 있어도 된다. 주형(13)의 내벽면을 가동면, 외벽면을 수냉면이라고 한다. 주형(13)의 각 면 중, 용강에 접하는 면이 가동면이다. 단, 도 1에 도시한 바와 같이 파우더(17)를 첨가하는 경우에는, 주형(13)의 각 면 중, 파우더(17)와 접하는 면이 가동면이다.

[0024] (연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치(200))

[0025] 도 2는, 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치(200)의 기능적인 구성의 일례를 도시하는 도면이다. 연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치를 필요에 따라서 탕면 레벨 검출 장치라고 약칭한다.

[0026] 탕면 레벨 검출 장치(200)는 복수의 열전대(18)에 의해 측정된 온도를 사용하여, 비정상 전열 역문제 해석을 행한다. 여기서, 비정상 전열 역문제란, 계산 영역을 지배하는 비정상 열전도 방정식을 기초로 하여, 영역 내부의 온도 정보를 기지로 하여 영역 경계에서의 온도나 열류속 등의 경계 조건 또는 초기 조건을 추정하는 문제를 가리킨다. 이에 비해, 비정상 전열순 문제는, 기지인 경계 조건을 기초로 하여, 영역 내부의 온도 정보를 추정하는 문제를 가리킨다.

[0027] 탕면 레벨 검출 장치(200)는 비정상 전열 역문제 해석을 행함으로써 얻어진 내외삽 온도 함수를 사용하여, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향(주형(13)의 주조 방향) 성분의 값을 계산한다. 후술하는 바와 같이, 내외삽 온도 함수는, 위치(x, y) 및 시각 t에 있어서의 주형(13)의 온도를 나타내는 함수이다.

- [0028] 탕면 레벨 검출 장치(200)는 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값에 기초하여 탕면 레벨을 검출한다. 탕면 레벨은, 주형(13) 내의 용강의 표면의 높이 위치(y축 방향의 위치)이다.
- [0029] 주형(13)의 역할은 용강의 냉각 및 응고이다. 이 때문에, 비정상 전열 역문제 해석을 행함으로써 탕면 레벨을 검출하는 것을 검토하는 때에는, x축 방향(주형(13)의 히트싱크 방향)에 있어서의 열류속의 거동이 착안되고, y축 방향(주형(13)의 주조 방향)의 열류속의 거동은 착안되지 않았다. 또한, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값은, x축 방향 성분의 값보다도 작다. 이 때문에, 특허문헌 2에 기재된 기술과 같이 이산적인 값을 취하는 열류속을 도출하는 방법에서는, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값을 사용하면 오차가 커져서, 열류속의 계산 정밀도가 더 저하되는 요인이 된다. 이상으로부터, 지금까지, 비정상 전열 역문제 해석을 행함으로써 탕면 레벨을 검출하는 경우를 포함하여, 비정상 전열 역문제 해석을 행하여 주형(13)의 열류속을 도출하는 경우에는, 열류속 벡터의 x축 방향 성분의 값이 사용되고 있었다.
- [0030] 이에 비해, 본 발명자들은, 주형(13) 내의 탕면 상에는 파우더(17)가 공급 되기 때문에, 「주형(13) 내의 탕면 상에서는, 파우더(17)에 의한 히트싱크의 영향으로, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 벡터 중, 주조 방향과는 역방향이 되는(즉, 탕면의 법선 방향을 향하는) 벡터의 크기는, 주형(13)의 다른 부위와 비교하여 커진다」라고 하는 추론에 기초하여, 탕면 레벨을 검출하는 것에 상도하였다. 이러한 착상 하에서, 본 실시 형태의 탕면 레벨 검출 장치(200)를 실현하기에 이르렀다. 이하, 본 실시 형태의 탕면 레벨 검출 장치(200)의 구체적인 구성의 일례를 설명한다.
- [0031] 탕면 레벨 검출 장치(200)는 온도 취득부(201)와, 열류속 도출부(202)와, 열류속 도출부(202)와, 탕면 레벨 도출부(203)를 갖는다.
- [0032] <온도 취득부(201)>
- [0033] 온도 취득부(201)는 복수의 열전대(18)로 측정된 온도[K]를 입력하고, 복수의 열전대(18)에서 동일한 시각에 측정된 온도를 출력한다. 온도 취득부(201)는 이러한 온도의 출력을 소정의 샘플링 시간마다 행한다. 예를 들어, 온도 취득부(201)는 샘플링 시간이 경과할 때마다, 복수의 열전대(18)로 측정된 온도를 입력하여 출력한다.
- [0034] <열류속 도출부(202)>
- [0035] 주형(13)의 온도를 추정하기 위한 내외압 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 를 온도 취득부(201)로부터 출력된 온도에 기초하여, 주형(13)의 주조 방향(y축 방향)-히트싱크 방향(x축 방향)의 2차원 단면의 온도 분포의 시간 변화를 예측하는 수식으로 한다.
- [0036] 도 3a는, 비정상 전열 역문제의 좌표계의 일례를 도시하는 도면이다. 도 3a에서는, y축 방향의 어떤 위치에 있어서의 공간 x-시각 t의 2차원 단면 상의 정보량의 정의점을 도시한다. 도 3b도, 비정상 전열 역문제의 좌표계의 일례를 도시하는 도면이다. 도 3b에서는, 어떤 시각 t에 있어서의 공간 x-공간 y의 2차원 단면 상의 정보량의 정의점을 도시한다. 도 3a와 도 3b는, 동일한 3차원 좌표(공간 x-공간 y-시각 t의 좌표)의 2차원 단면을 도시한 것이다.
- [0037] 도 3a 및 도 3b에 있어서, x축은, 주형(13)의 내벽면을 x=0으로 하는 축이며, 주형(13)의 히트싱크 방향의 위치를 나타낸다. y축은, 주형(13)의 상단을 y=0으로 하는 축이며, 주형(13)의 주조 방향의 위치를 나타낸다. x축과 y축은 공간 축이다. t축은 시간축이다.
- [0038] 도 3a 및 도 3b에 있어서, 검정색 동그라미로 나타내는 플롯은, 각각, 정보량의 정의점이다. 이 정보량의 정의점은, 열전대(18)의 위치와 당해 열전대(18)로 온도가 측정된 시각을 나타낸다. 이 정의점에 있어서의 정보량은, 열전대(18)로 측정된 온도를 포함한다.
- [0039] 파선으로 나타내는 플롯도, 각각, 정보량의 정의점이다. 이 정보량의 정의점은, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 위치와 당해 외벽면에 있어서의 열류속을 추정하는 시각을 나타낸다. 본 실시 형태에서는, 주형(13)의 외벽면에, 열전대 등의 온도 측정 방법이 없는 경우를 예로 들어 설명한다. 따라서, 이 정의점의 정보량을, 주형(13)을 구성하는 재료와 물 간의 열전달 계수 γ 와 수온 u_w 를 기지로서 정해지는 열류속으로 한다.
- [0040] 이상의 검정색 동그라미로 나타내는 플롯과 파선으로 나타내는 플롯을 정보량의 정의점으로 한다. 즉, 도 3a에 도시하는 검정색 동그라미로 나타내는 플롯과 파선으로 나타내는 플롯과, 도 3b에 도시하는 검정색 동그라미로 나타내는 플롯과 파선으로 나타내는 플롯에 의해 나타나는, x축-y축-t축의 3차원 좌표 상의 점 각각이 정보량의

정의점이 된다.

[0041] 도 3a에 있어서, 타이밍 t_N 은, 복수의 열전대(18)로 최신의 온도가 측정된 타이밍이다. 도 3a에서는, 복수의 열전대(18)로 측정된 온도가 취득될 때마다, 새 로운 것부터 순서대로 7개의 온도 측정 타이밍(타이밍 $t_0 \sim t_N$ 의 7개의 타이밍)을 정보량의 정의점을 정하는 시각 t 로서 채용하는 경우를 예로 들어 설명한다. 즉, 열류속 도출부(202)는 새롭게 복수의 열전대(18)로 측정된 온도가 취득되면, 7개의 온도 측정 타이밍 중, 가장 낮은 온도 측정 타이밍을 포함하는 정보량의 정의점을 7개의 정보량의 정의점으로부터 제외한다. 그리고, 열류속 도출부(202)는 최신의 온도 측정 타이밍을 포함하는 정보량의 정의점을 7개의 정보량의 정의점에 첨가한다. 또한, 정보량의 정의점을 결정짓는 시각 t 의 수는, 7개에 한정되지 않는다.

[0042] 또한, 도 3b에서는, 복수의 열전대(18)가 y 축 방향을 따라서 등간격으로 7개 배치되는 경우를 예로 들어서 도시한다. 그러나, 서로 인접하는 2개의 열전대의 간격은 등간격이 아니어도 된다. 또한, 복수의 열전대(18)의 수는 7개에 한정되지 않는다.

[0043] 열류속 도출부(202)는 이상의 정보량의 정의점에 있어서의 정보량에 기초하여, 내외삼 온도 함수 $u(x, y, t)$ 에 포함되는 가중치 벡터 λ_j 를 도출한다.

[0044] 여기서, 내외삼 온도 함수 $u(x, y, t)$ 의 일례에 대하여 설명한다.

[0045] 먼저, 2차원 비정상 열전도 방정식은, 이하의 (1)식으로 표현된다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0, \quad 0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < t < t_{\max} \quad \dots (1)$$

[0046]

[0047] (1)식에 있어서, a 는, 주형을 구성하는 재료의 열확산 계수 [m^2/s]의 평방근이다. 또한, $0 < x < 1$ 및 $0 < y < 1$ 은, x 축 및 y 축의 좌표(x, y)를 $[0, 1]$ 로 규격화하고 있는 것을 나타낸다. 즉, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 x 축의 좌표가 「0」, 외벽면에 있어서의 x 축의 좌표가 「1」이 되도록, x 축의 각각의 좌표를 정한다. 또한, 주형(13)의 상단에 있어서의 y 축의 좌표가 「0」, 하단에 있어서의 y 축의 좌표가 「1」이 되도록, y 축의 각각의 좌표를 정한다.

[0048] 주형(13)의 외벽면(냉각면)에 있어서의 경계 조건은, 이하의 (2)식으로 표현된다.

$$-\beta \frac{\partial u}{\partial x}(1, y, t) = \gamma \left(u(1, y, t) - \frac{g(t)}{\gamma} \right) \quad \dots (2)$$

[0049]

[0050] (2)식에 있어서, $g(t)$ 는 수온 u_w [K]과, 주형(13)을 구성하는 재료와 물 간의 열전달 계수 γ [W/m^2K]의 곱 ($g(t) = u_w \times \gamma$)이다. β 는, 주형(13)을 구성하는 재료의 열전도율 [W/mK]이다. 수온 u_w 와, 주형(13)을 구성하는 재료와 물과의 열전달 계수 λ 와, 주형(13)을 구성하는 재료의 열전도율 β 는, 모두 미리 설정되는 값이다. 수온 u_w 로서는, 예를 들어, 소정 시간의 평균값을 사용할 수 있다.

[0051] (2)식은, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 열류속의 균형을 나타내는 식이다. 즉, (2)식은, 이하의 제1 열류속과 제2 열류속이 동등한 것을 나타내는 식이다. 제1 열류속은, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 주형(13)의 히트싱크 방향의 온도 구배와, 주형(13)을 구성하는 재료의 열전도율 β 에 기초하는 열류속이다. 제2 열류속은, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 온도 $u(1, y, t)$ 와 수온 u_w 의 차와, 주형(13)을 구성하는 재료와 물 간의 열전달 계수 γ 에 기초하는 열류속이다.

[0052] 본 실시 형태에서는, 열전대 온도 함수 $u(x^*, y^*, t)$ 를 이하의 (3)식으로 나타낸다.

$$u(x^*, y^*, t) = h(t), \quad x^* \in [0, 1], y^* \in [0, 1] \quad \dots (3)$$

[0053]

[0054] (3)식에 있어서, x^* 은, 열전대(18)의 위치의 x 축 좌표이다. y^* 은, 열전대(18)의 위치의 y 축의 좌표이다. 열전대 온도 함수 $u(x^*, y^*, t)$ 는 열전대(18)로 측정되는 온도를 나타내는 함수이며, 열전대(18)의 위치(x, y) 및 시각 t 의 함수이다. $h(t)$ 는 열전대(18)에 의해 측정된 시각 t 에 있어서의 온도이다. 또한, $x^* \in [0, 1]$ 및 $y^* \in [0, 1]$ 은, 열전대(18)의 x 축 및 y 축의 좌표(x^*, y^*)를 $[0, 1]$ 로 규격화하고 있는 것을 나타낸다. 즉, 주형

(13)의 내벽면에 있어서의 x축의 좌표가 「0」, 외벽면에 있어서의 x축의 좌표가 「1」이 되도록, 열전대(18)의 x축 좌표를 정한다. 또한, 주형(13)의 상단에 있어서의 y축의 좌표가 「0」, 하단에 있어서의 y축의 좌표가 「1」이 되도록, 열전대(18)의 y축의 좌표를 정한다.

[0055] 본 실시 형태에서는, 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 를 이하의 (4)식으로 나타낸다.

$$u^{\wedge}(x, y, t) = \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j) \quad \dots (4)$$

[0056]

[0057] (4)식에 있어서, 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 는 (1)식으로 나타내는 2차원 비정상 열전도 방정식을 만족시키는 온도이며, 온도 u 의 근사해이다.

[0058] x_j, y_j 는, 임의의 기준 위치 벡터(x_j, y_j)의 요소(x축의 좌표, y축의 좌표)이다. t_j 는, 임의의 기준 시각이다. 기준 위치 벡터(x_j, y_j) 및 기준 시각 t_j 에서 정해지는 3차원 좌표 상의 점은, 중심점이라고 불린다. 통상은, 기준 위치 벡터(x_j, y_j) 및 기준 시각 t_j 를, 전술한 정보량의 정의점과 일치시키므로, 본 실시 형태에서도 이와 같이 한다. 단, 기준 위치 벡터(x_j, y_j) 및 기준 시각 t_j 를, 전술한 정보량의 정의점과 일치시키지 않아도 된다.

[0059] j 는, 전술한 중심점(기준 위치 벡터(x_j, y_j))와 임의의 기준 시각 t_j 에 의해 정해지는 3차원 좌표 상의 점)을 식별하는 변수이며, 1부터 $m+1$ 의 범위의 정수이다.

[0060] m 은, $n_{p1} \times n_{t1}$ 로 표현되고, l 은, $n_{p2} \times n_{t1}$ 로 표현된다.

[0061] n_{p1} 은, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 중심점 j 의 수이다. 주형(13)의 외벽면에 있어서의 중심점 j 는, 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 가 (2)식을 만족시키도록 설정된다. n_{p2} 는, 열전대(18)의 위치이다. 열전대(18)의 위치는, 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 가 (3)식을 만족시키도록 설정된다. n_{t1} 는, 시각의 수이다. 이 시각은, 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 가 (2)식 및 (3)식을 만족시키도록 설정된다. 이상과 같이, m 은, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 위치와 시각에 따라 정해지는 중심점 j 의 수이다. 또한, l 은, 열전대(18)의 위치와 시각에 따라 정해지는 중심점 j 의 수이다.

[0062] 본 실시 형태에서는, 중심점 j 를 정보량의 정의점과 일치시키고 있다. 따라서, 도 3a 및 도 3b에 도시하는 예에서는, j 의 최댓값 $m+1$ 은, 검정색 동그라미로 나타내는 플롯과 파선으로 나타내는 플롯의 합계가 된다. 구체적으로, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 위치와 시각에 따라 정해지는 중심점 j 의 수는, $49(=7 \times 7)$ 이며, 열전대(18)의 위치와 시각에 따라 정해지는 중심점 j 의 수 l 은, $49(=7 \times 7)$ 이다.

[0063] $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 는 이하의 (5)식 및 (6)식으로 정해지는 기저 함수이다.

$$\phi(x, y, t) = F(x, y, t+T) \quad \dots (5)$$

[0064]

$$F(x, y, t) = \frac{1}{2a\sqrt{\pi t}} e^{-(x^2+y^2)/4a^2t} H(t) \quad \dots (6)$$

[0065]

[0066] (6)식에 있어서, $H(t)$ 는 헤비사이드 함수이다. (6)식은, (1)식에 나타내는 2차원 비정상 열전도 방정식을 만족시키는 기본해의 형태로 표현된 식이다. 또한, 기본해란, 온도 u 의 초기 조건이 δ 함수로 표현되는 경우에 2차원 비정상 열전도 방정식의 해(온도 u)이다. (5)식에 있어서, T 는, 2차원 비정상 열전도 방정식의 기본해의 확산 프로필을 조정하는 파라미터이며, 미리 설정된다. T 는 0을 상회하는 값이다.

[0067] 이상과 같이, 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 는 중심점 j (기준 벡터(x_j, y_j) 및 기준 시각 t_j)를 기준으로 한 경우의, 2차원 비정상 열전도 방정식을 만족시키는 기본해의 형태로 표현된 함수이다.

[0068] λ_j 는, 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 의 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 에 대한 가중치를 나타내는 가중치 벡터이다. 가중치 벡터 λ_j 는, 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 의 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 에 대한 영향과, 당해 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 와 상이한 다른 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 의 내외삽 온도 함수 $u^{\wedge}(x,$

y, t)에 대한 영향의 밸런스로 정해진다. 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 는 중심점 j마다 존재하고, 가중치 벡터 λ_j 도 중심점 j마다 존재한다.

[0069] 이상과 같이, 내외압 온도 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 는 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 및 가중치 벡터 λ_j 의 곱의, 중심점 j 각각에 있어서의 값의 총합으로 표현된다.

[0070] 가중치 벡터 λ_j 는, 이하의 (7)식~(10)식으로 표현된다.

$$A\lambda = b \quad \dots (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} \beta \frac{\partial \phi}{\partial x}(x_k-x_j, y_k-y_j, t_k-t_j) + \gamma \phi(x_k-x_j, y_k-y_j, t_k-t_j) \\ \phi(x_s-x_j, y_s-y_j, t_s-t_j) \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

$$\lambda = [\lambda_j] \quad \dots (9)$$

$$b = \begin{bmatrix} g_k \\ h_{s-m} \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

[0071] (8)식, (10)식에 있어서, k는, 정보량의 정의점을 식별하는 변수이며, 1부터 m까지의 정수이다(k=1, . . . , m). s는, 정보량의 정의점을 식별하는 변수이며, m+1부터 m+1까지의 정수이다(s=m+1, . . . , m+1). j는, 1부터 m+1까지의 정수이다(j=1, . . . , m+1).

[0073] 행렬 A는, (m+1)×(m+1) 행렬이다. b 및 λ 는, (m+1)차원 열 벡터이다. 전술한 바와 같이, (m+1)은 중심점 j의 수이다.

[0074] (8)식에 있어서, A=[]의 [] 내의 「 $\beta \partial \phi / \partial x(x_k-x_j, y_k-y_j, t_k-t_j) + \gamma \phi(x_k-x_j, y_k-y_j, t_k-t_j)$ 」는 행렬 A의 k행 j열 성분을 나타내고, 「 $\phi(x_s-x_j, y_s-y_j, t_s-t_j)$ 」은, 행렬 A의 s행 j열 성분을 나타낸다.

[0075] b=[]의 [] 내의 g_k 에는, (2)식에 나타내는 g(t)가 부여된다. 이 [] 내의 g_k 는, 행렬 b의 k행 성분을 나타낸다. 또한, b=[]의 [] 내의 h_{s-m} 에는, (3)식에 나타내는 h(t)가 부여된다. 이 [] 내의 h_{s-m} 은, 행렬 b의 s행 성분을 나타낸다.

[0076] 전술한 바와 같이, k는, 정보량의 정의점을 식별하는 변수이며, 1부터 m까지의 정수이다(k=1, . . . , m). m은, $n_{p1} \times n_t$ 로 표현된다. n_{p1} 은, 주형(13)의 외벽면에 있어서의 중심점 j의 수이다. 주형(13)의 내벽면에 있어서의 x축의 좌표가 「0」, 외벽면에 있어서의 x축의 좌표가 「1」이 되도록, x축의 좌표를 정한다. 따라서, (8)식에 있어서, x_k 는 「1」이 된다.

[0077] (7)식~(10)식은, (1)식에 2차원 비정상 열전도 방정식, (2)식의 주형(13)의 외벽면에 있어서의 경계 조건, (3)식의 열전대 온도 함수(각 위치(x*, y*)·각 시각 t에 있어서, 주형(13)의 내부 열전대에 의해 예측되는 온도), 및 (4)식의 내외압 온도 함수를 만족시키도록, 정보량의 정의점의 정보를, (2)식 및 (4)식의 연립 방정식에 대입하여 당해 연립 방정식을 푸는 것에 의해, 가중치 벡터 λ_j 를 도출하기 위한 식이다. 연립 방정식에 대입하는 상기 정보량의 정의점의 정보에는, 정보량의 정의점의 위치, 열전대(18)의 온도, 열전대(18)의 온도 측정 타이밍, 수온 u_w , 주형(13)을 구성하는 재료의 열전도율 β , 주형(13)을 구성하는 재료와 물의 열전달 계수 γ , 및 주형(13)을 구성하는 재료의 열확산 계수 a가 포함된다. 수온 u_w , 주형(13)을 구성하는 재료의 열전도율 β , 주형(13)을 구성하는 재료와 물의 열전달 계수 γ , 및 주형(13)을 구성하는 재료의 열확산 계수 a에 대해서는, 정보량의 정의점에 따라 상이하게 해도 되고, 동일하게 해도 된다. 또한, (2)식 및 (4)식의 연립 방정식을 푸는 때에는, 중심점 j의 위치도 당해 연립 방정식에 대입한다.

[0078] 열류속 도출부(202)는 이상과 같이 해서 (7)식~(10)식에 의해, 가중치 벡터 λ_j 를 도출한다.

[0079] 열류속 도출부(202)는 온도 취득부(201)로부터 온도를 취득할 때마다, 이상의 처리를 행한다.

[0080] 본 실시 형태에서는, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 는, 이하의 (11)식으로 표현된다.

$$q_y = \beta \frac{\partial \hat{u}(x=0, y, t)}{\partial y} = -\beta \sum_{j=1}^{m+1} \lambda_j \frac{y-y_j}{4a^3(t-t_j)\sqrt{\pi(t-t_j)}} H(t-t_j) \quad \dots (11)$$

[0081]

[0082] 따라서, 열류속 도출부(202)는 주형(13)을 구성하는 재료의 열전도율 β 와, 주형(13)을 구성하는 재료의 열확산 계수 a 와, 기준 시각 t_j 와, 중심점 j 의 수 $m+1$ 과, 이상과 같이 하여 도출한 가중치 벡터 λ_j 를 (11)식에 대입함으로써, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 를 도출한다.

[0083] <탕면 레벨 도출부(203)>

[0084] 탕면 레벨 도출부(203)는 열류속 도출부(202)로 도출된 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 로부터, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 와 y축 방향의 위치의 관계를 도출한다. 탕면 레벨 도출부(203)는 이 관계로부터, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 가 음의 값을 갖고 또한 절댓값이 최대(즉 최소)가 되는 위치를, 탕면 레벨로서 도출한다. 본 실시 형태에서는, 도 1에 도시한 바와 같이 y축을 정의한다. 따라서, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 가 최소(음의 값 중 절댓값이 최대)가 되는 위치가 탕면 레벨로 결정된다. 또한, 도 1에 도시하는 방향과는 역방향으로 y축을 정의한 경우, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 가 최대가 되는 위치가 탕면 레벨로 결정된다. 이와 같이, 탕면 레벨 도출부(203)는 y축 성분 벡터가 주조 방향과는 역방향이 되는(즉, 탕면의 법선 방향을 향하는) 열류속 벡터의, y축 방향 성분의 값 q_y 의 절댓값이 최대가 되는 위치를 탕면 레벨로서 도출한다.

[0085] <출력부(204)>

[0086] 출력부(204)는 탕면 레벨 도출부(203)에 의해 도출된 탕면 레벨의 정보를 출력한다. 탕면 레벨의 정보 출력 형태로서는, 컴퓨터용 모니터에의 표시, 탕면 레벨 검출 장치(200)의 내부 기억 매체나 가변형 기억 매체에의 기억, 및 외부 장치로의 송신 중, 적어도 하나를 채용할 수 있다.

[0087] (흐름도)

[0088] 이어서, 도 4의 흐름도를 참조하면서, 본 실시 형태의 탕면 레벨 검출 장치(200)의 동작의 일례를 설명한다.

[0089] 스텝 S401에 있어서, 온도 취득부(201)는 복수의 열전대(18)로 측정된 온도를 취득한다.

[0090] 이어서, 스텝 S402에 있어서, 열류속 도출부(202)는 가중치 벡터 λ_j 의 도출에 필요한 수의 온도가 취득되었는지 여부를 판정한다. 구체적으로, 열류속 도출부(202)는 열전대(18)에 대한 정보량의 정의점의 수로서 1개의 온도가 취득될 때까지 대기한다. 도 3a 및 도 3b에 도시하는 예에서는, 열류속 도출부(202)는 y축 방향으로 7개의 정보량의 정의점이 있고, t축 방향으로 7개의 정보량의 정의점이 있으므로, 49개의 온도가 취득될 때까지 대기한다. 또한, 이미 49개의 온도가 취득되어 있는 경우에, 동일한 시각에 있어서, y축 방향으로 7개의 정보량의 정의점에 대응하는 온도가 취득되면, 열류속 도출부(202)는 동일한 시각에 있어서의, y축 방향으로 7개의 정보량의 정의점에 대응하는 온도 중, 가장 오래된 시각에 있어서의 온도를 삭제하고, 금회 취득한 온도를 추가한다.

[0091] 이 판정의 결과, 가중치 벡터 λ_j 의 도출에 필요한 수의 온도가 취득되어 있지 않은 경우에는, 스텝 S401로 복귀된다. 그리고, 가중치 벡터 λ_j 의 도출에 필요한 수의 온도가 취득될 때까지, 스텝 S401, S402의 처리를 반복하여 행한다. 그리고, 가중치 벡터 λ_j 의 도출에 필요한 수의 온도가 취득되면, 스텝 S403으로 진행한다.

[0092] 스텝 S403으로 진행하면, 열류속 도출부(202)는 (7)식~(10)식에 의해, 가중치 벡터 λ_j 를 도출한다.

[0093] 이어서, 스텝 S404에 있어서, 열류속 도출부(202)는 (11)식에 의해, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터

의 y축 방향 성분의 값 q_y 를 도출한다.

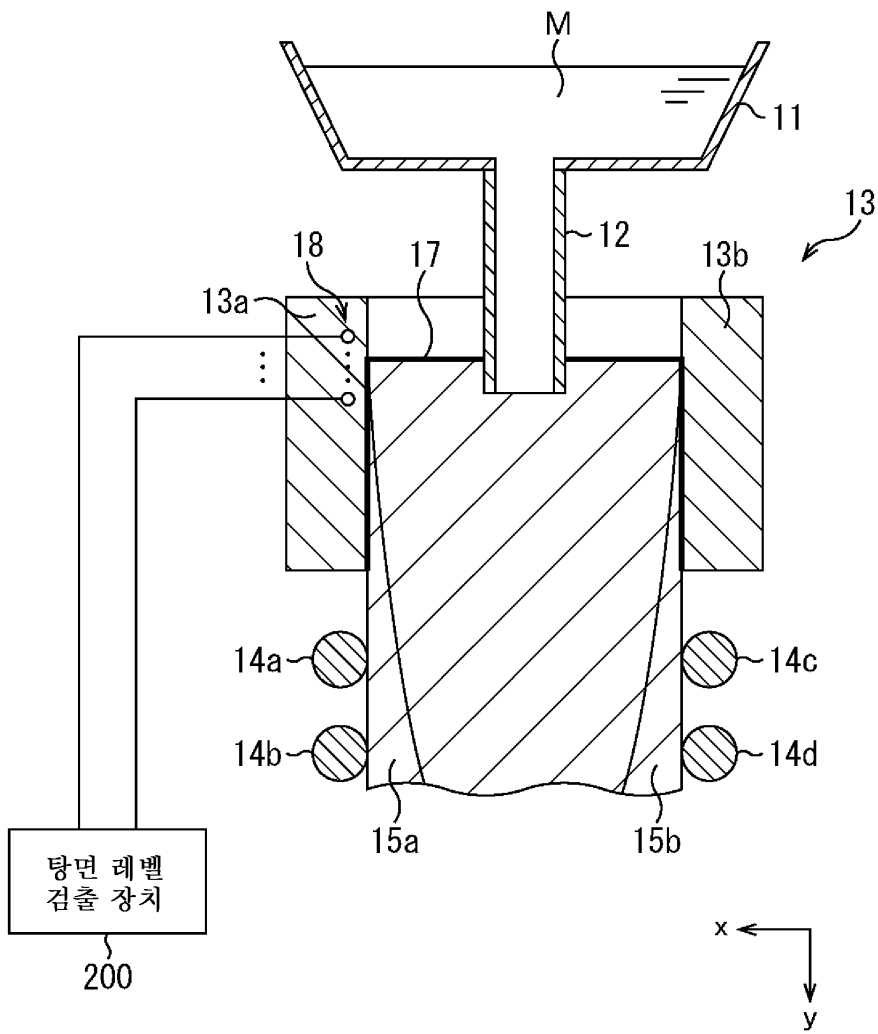
- [0094] 이어서, 스텝 S405에 있어서, 탕면 레벨 도출부(203)는 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 와 y축 방향의 위치의 관계를 도출한다. 탕면 레벨 도출부(203)는 도출한 관계로부터, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 가 음의 값을 갖고 또한 절댓값이 최대(즉 최소)가 되는 위치를, 탕면 레벨로서 도출한다.
- [0095] 이어서, 스텝 S406에 있어서, 출력부(204)는 탕면 레벨 도출부(203)에 의해 도출된 탕면 레벨의 정보를 출력한다.
- [0096] 이어서, 스텝 S407에 있어서, 탕면 레벨 검출 장치(200)는 탕면 레벨의 도출을 종료할지 여부를 판정한다. 이 판정은, 예를 들어, 탕면 레벨 검출 장치(200)에 대한 오퍼레이터에 의한 조작에 기초하여 행하여진다.
- [0097] 이 판정의 결과, 탕면 레벨의 도출을 종료하지 않는 경우에는, 스텝 S401로 복귀된다. 그리고, 스텝 S401에서 새롭게 온도가 취득될 때마다, 스텝 S402~S407의 처리를 반복하여 행한다.
- [0098] 한편, 탕면 레벨의 도출을 종료하는 경우에는, 도 4의 흐름도에 의한 처리를 종료한다.
- [0099] (연속 주조 주형 내의 탕면 레벨 검출 장치(200)의 하드웨어)
- [0100] 도 5는, 탕면 레벨 검출 장치(200)의 하드웨어 구성의 일례를 도시하는 도면이다.
- [0101] 도 5에 도시한 바와 같이, 탕면 레벨 검출 장치(200)는 CPU(Central Processing Unit)(501)와, ROM(Read Only Memory)(502)과, RAM(Random Access Memory)(503)과, PD(Pointing Device)(504)와, HD(Hard Disk)(505)와, 표시 장치(506)와, 스피커(507)와, I/F(Interface)(508)와, 시스템 버스(509)를 갖는다.
- [0102] CPU(501)는, 탕면 레벨 검출 장치(200)에 있어서의 동작을 통괄적으로 제어한다. CPU(501)는, 시스템 버스(509)를 통해, 탕면 레벨 검출 장치(200)의 각 구성부(502~508)를 제어한다.
- [0103] ROM(502)은, CPU(501)의 제어 프로그램인 BIOS(Basic Input/Output System)나 오퍼레이팅 시스템 프로그램(OS), CPU(501)가, 전술한 도 4에 도시하는 흐름도에 의한 처리를 실행하기 위하여 필요한 프로그램 등을 기억한다.
- [0104] RAM(503)은, CPU(501)의 주메모리, 워크에리어 등으로서 기능한다. CPU(501)는, 처리의 실행 시에, ROM(502)이나 HD(505)로부터 필요한 컴퓨터 프로그램이나 정보 등을 RAM(503)에 로드하고, 당해 컴퓨터 프로그램이나 당해 정보 등에 대한 처리를 실행함으로써 각종 동작을 실현한다. 전술한 도 4의 흐름도 처리를 실행하는 컴퓨터 프로그램을 HD(505)에 기억시켜도 된다.
- [0105] PD(504)는, 예를 들어, 마우스나 키보드 등으로 이루어지고, 조작자가 필요에 따라, 탕면 레벨 검출 장치(200)에 대하여 조작 입력을 행하기 위한 조작 입력 수단을 구성한다.
- [0106] HD(505)는, 각종 정보나 데이터, 파일 등을 기억하는 기억 수단을 구성한다.
- [0107] 표시 장치(506)는 CPU(501)의 제어에 기초하여, 각종 정보나 화상을 표시하는 표시 수단을 구성한다.
- [0108] 스피커(507)는 CPU(501)의 제어에 기초하여, 각종 정보에 관한 음성을 출력하는 음성 출력 수단을 구성한다.
- [0109] I/F(508)는, CPU(501)의 제어에 기초하여, 외부 장치와 각종 정보 등의 통신을 행한다. 열전대(18)로 측정된 온도는, I/F(508)를 통하여 탕면 레벨 검출 장치(200)에 입력된다.
- [0110] 시스템 버스(509)는 CPU(501), ROM(502), RAM(503), PD(504), HD(505), 표시 장치(506), 스피커(507) 및 I/F(508)를 서로 통신 가능하게 접속하기 위한 버스이다.
- [0111] (실시예)
- [0112] 본 실시 형태의 방법으로 검출한 탕면 레벨과, 기존의 방법으로 검출한 탕면 레벨과, 실제로 측정된 탕면 레벨을 비교하였다. 도 6에 도시한 바와 같이, 복수의 열전대(18)는 주형(13)의 짧은 변부(13a)에 매설된다. 도 6에 도시한 바와 같이, 정확하게 y축 방향을 따라서 복수의 열전대(18)를 주형(13)에 매설할 필요는 없다. 단, 각 열전대(18)의 x축 좌표를 동일값으로 하여, 전술한 가중치 벡터 λ_j 를 도출한다. 즉, 가중치 벡터 λ_j 의 정밀도에 영향이 없는 범위라면, 각 열전대(18)의 x축 방향의 위치는, 엄밀하게 동일하지 않아도 된다. 또한, 주형(13)의 입구측(상측)의 수온과 주형(13)의 출구측(하측)의 수온을 측정하여 그 평균값을 계산하여 냉각수의

온도로 하였다.

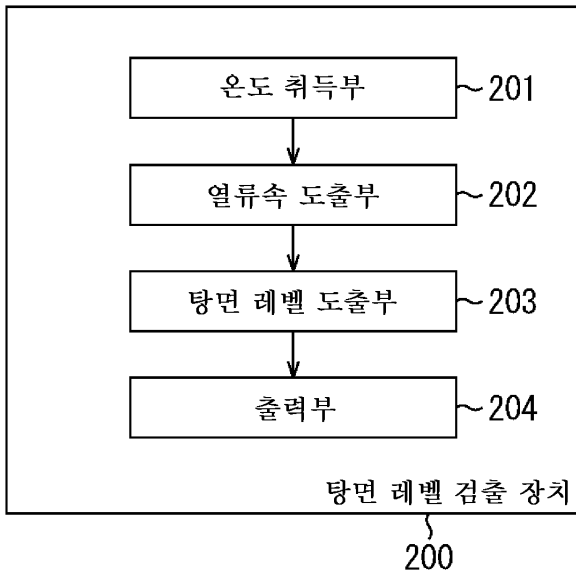
- [0113] 본 실시 형태의 방법에서는, 전술한 바와 같이, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 를 도출한다. 그리고, y축 성분 벡터가 주조 방향과는 역방향이 되는 열류속 벡터의, y축 방향 성분의 값 q_y 의 절댓값이 최대가 되는 위치를 탕면 레벨 L이라고 판정한다. 도 7a에, 본 실시 형태의 방법으로 얻어지는, 주형(13)의 내벽면에 있어서의 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 와 y축 방향의 위치의 관계의 일례를 개념적으로 도시한다.
- [0114] 한편, 기존의 방법에서는, 주형(13) 내의 온도 분포를 계산하고, 경험칙에 기초하여, 최고 온도(T_{max}) \times 0.65가 되는 위치를 탕면 레벨 L이라고 판정한다. 도 7b에, 기존의 방법으로 얻어지는, 주형(13) 내의 온도와 y축 방향의 위치의 관계의 일례를 개념적으로 도시한다.
- [0115] 도 8에 도시하는 장치를 사용하여, 탕면 레벨을 실측하였다. 주형 내의 용강의 탕면에 플로트(801)를 띄우고, 플로트(801)에 로드(802)를 배치한다. 또한, 오실레이션 측정 지그(803)를 배치한다. 그리고, 로드(802)의 선단 움직임과, 오실레이션 측정 지그(803)의 선단 움직임을 비디오 카메라(804)로 촬영한다. 비디오 카메라(804)로 촬영된 화상에 대하여 화상 처리를 행함으로써, 탕면의 y축 방향의 변위를 디지털화하여 기록한다. 이 탕면의 y축 방향의 변위로부터, 탕면 레벨을 구하였다.
- [0116] 도 9에, 본 실시 형태의 방법으로 검출한 탕면 레벨과, 기존의 방법으로 검출한 탕면 레벨과, 실제로 측정된 탕면 레벨을 나타낸다. 횡축은 시각을, 종축은 탕면 레벨을 나타낸다.
- [0117] 기존의 방법에서는, 실제로 측정된 탕면 레벨이 높아지면 검출 정밀도가 극단적으로 저하되어, 실측값에 추종할 수 없게 되어 있다.
- [0118] 그에 비하여 본 실시 형태의 방법에서는, 광범위에 걸쳐서 실측값을 추종할 수 있음을 알 수 있다. 탕면 레벨의 실측 정밀도가 5~10mm 정도의 변동이 있는 것을 감안하면, 본 실시 형태의 방법에 의해 검출한 탕면 레벨은 실제로 측정된 탕면 레벨과 좋은 대응 관계에 있다고 할 수 있다.
- [0119] 이상 설명한 바와 같이 본 실시 형태에서는, 파우더(17)에 의한 히트싱크라고 하는, 주형(13) 내의 용강 탕면 위치에 있어서의 열 이동의 영향을 파악하여 탕면 레벨을 검출한다. 즉, y축 성분 벡터가 주조 방향과는 역방향이 되는 열류속 벡터의, y축 방향 성분의 값 q_y 의 절댓값이 최대가 되는 위치를 유면 레벨로서 도출한다. 따라서, 탕면 레벨의 검출 정밀도를 높일 수 있다. 이에 의해, 탕면 레벨을 안정적으로 제어하는 것이 가능하게 되어, 용강의 오버플로우나 부유물의 휩쓸림 등을 방지하여, 주조편의 내부 품질의 향상을 도모할 수 있다. 또한, 침지 노즐(12)의 국부 용손에 의한 천공 트러블이나, 침지 노즐(12)의 선단 탈락 방지나, 주형(13) 내의 용강 편류 검지 정밀도의 향상 등, 조업 안정화, 품질 향상에 기여한다.
- [0120] 또한, 본 실시 형태에서는, 연속적으로 값을 취하는 내외압 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 를 y로 편미분한 값에, 주형(13)을 구성하는 재료의 열전도율 β 를 곱한 값을, 열류속 벡터의 y축 방향 성분의 값 q_y 로서 도출한다. 따라서, 이산적인 값으로서 열류속을 도출하는 경우에 비해, 열류속의 계산 정밀도를 높일 수 있다.
- [0121] 또한, 본 실시 형태에서는, 내외압 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 를 기저 함수 $\phi(x-x_j, y-y_j, t-t_j)$ 와 가중치 벡터 λ_j 의 곱의 총합으로 표현한다. 이와 같이 하여 표현되는 내외압 함수 $u^{\wedge}(x, y, t)$ 와, 2차원 비정상 열전도 방정식의 주형(13)의 외벽면에 있어서의 열류속의 균형을 나타내는 경계 조건을 연립 방정식으로 하여, 가중치 벡터 λ_j 를 도출한다. 따라서, 사용하는 열전대를, y축 방향을 따라서 일렬로 배치되는 복수의 열전대만으로 할 수 있다. 즉, x축의 방향에 있어서 복수 열의 열전대를 배치할 필요가 없어진다.
- 산업상 이용가능성**
- [0122] 본 발명은 연속 주조 주형 내의 용강의 탕면 레벨의 검출에 이용할 수 있다.

도면

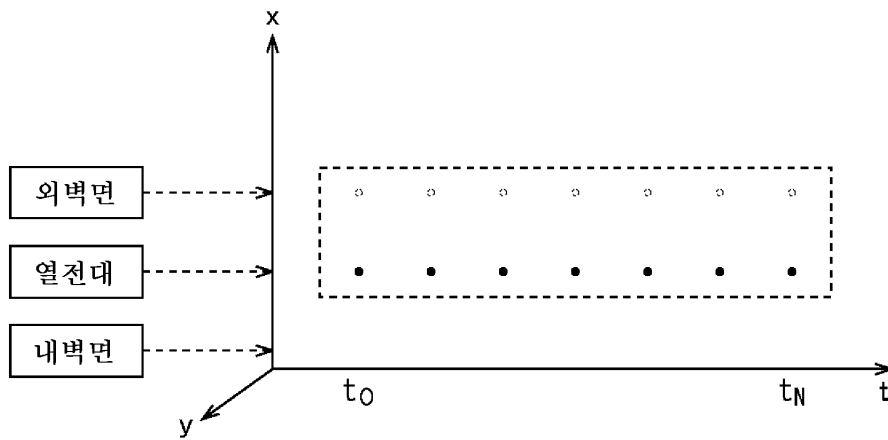
도면1



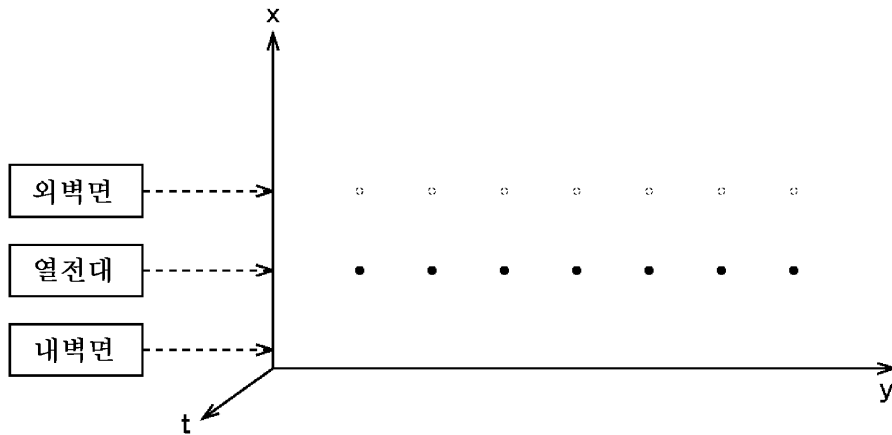
도면2



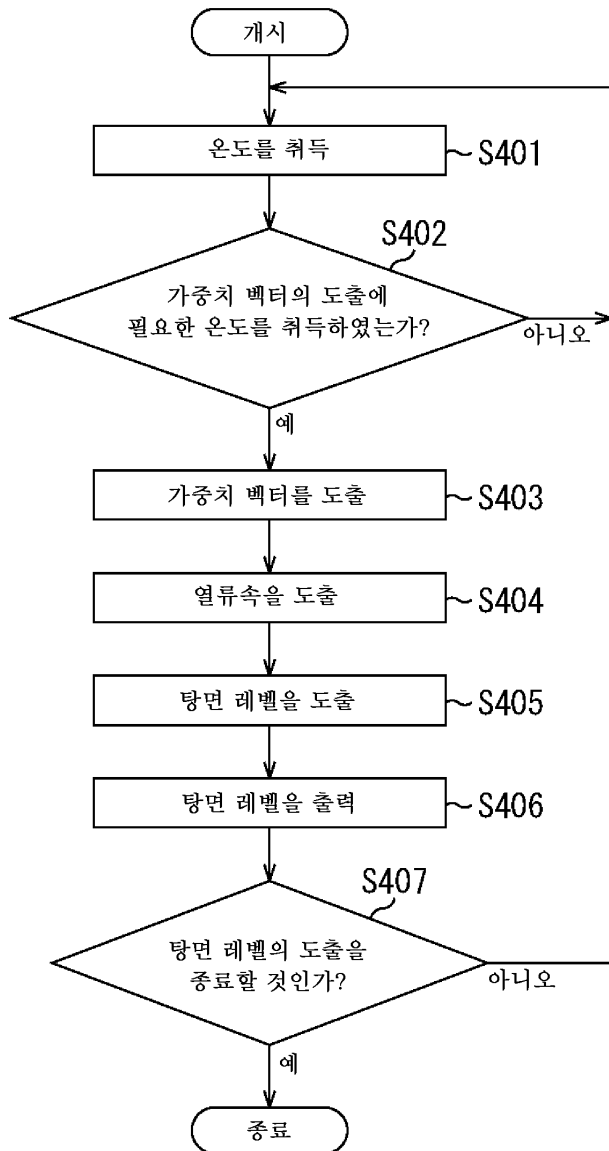
도면3a



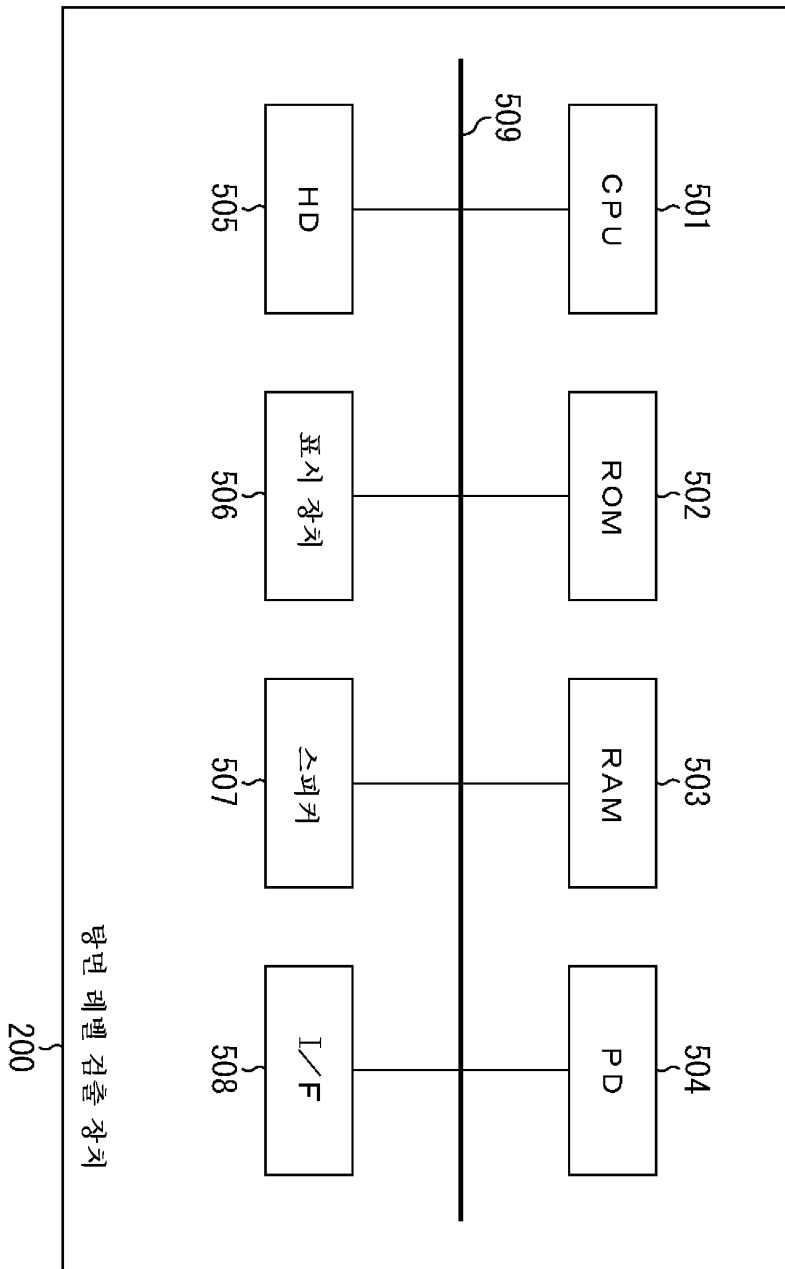
도면3b



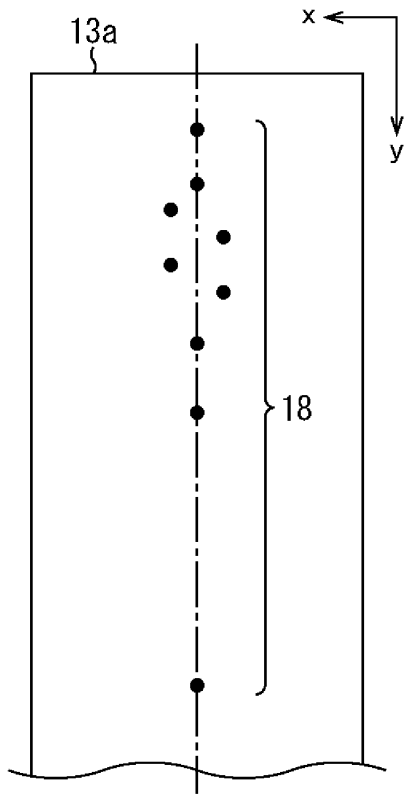
도면4



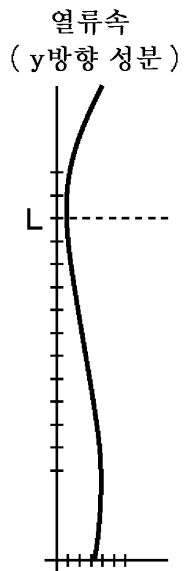
도면5



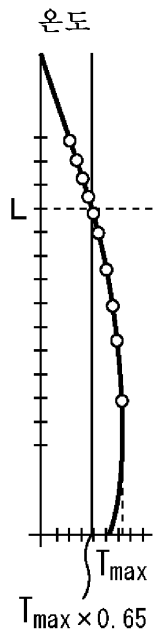
도면6



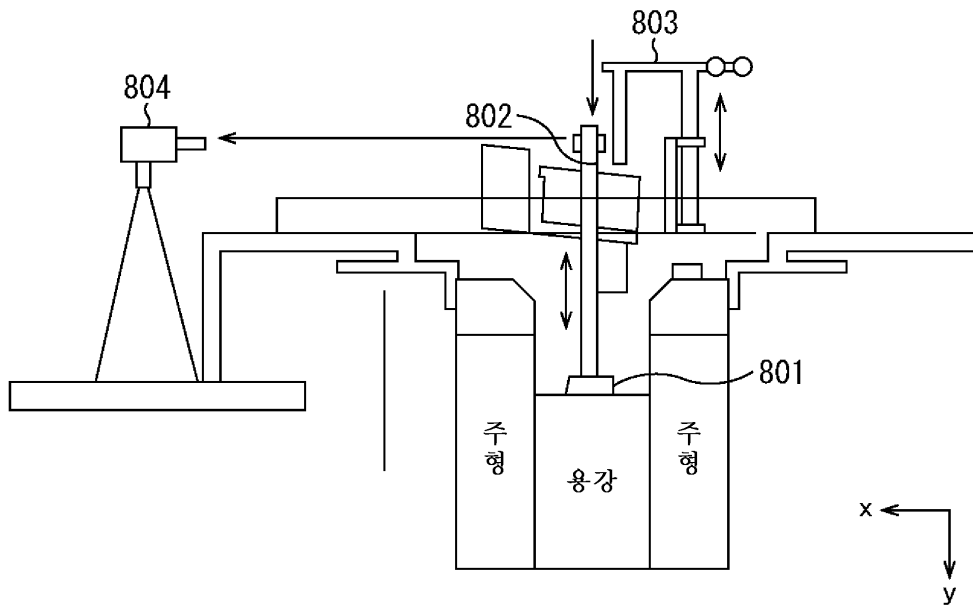
도면7a



도면7b



도면8



도면9

