(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4968388号
(P4968388)
(45)発行日　平成24年7月4日(2012.7.4)　(24)登録日　平成24年4月13日(2012.4.13)

(51)Int.Cl.　F I
G01K 13/02 (2006.01)　G01K 13/02

請求項の数 22　(全 45 頁)

(21)出願番号　特願2011-2440(P2011-2440)
(22)出願日　平成23年1月7日(2011.1.7)
(65)公開番号　特開2011-180124(P2011-180124A)
(43)公開日　平成23年9月15日(2011.9.15)
審査請求日　平成23年9月8日(2011.9.8)
(31)優先権主張番号　特願2010-24851(P2010-24851)
(32)優先日　平成22年2月5日(2010.2.5)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

早期審査対象出願

(73)特許権者　000001258
ＪＦＥスチール株式会社
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号
(74)代理人　100089118
弁理士　酒井　宏明
(72)発明者　▲高▼橋　功一
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者　安藤　誠
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者　浅野　一哉
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】流体系の温度推定方法、流体系における物質成分の濃度および温度推定方法、流体系の温度分布推定方法、流体系の温度モニタリング方法、溶融金属設備の溶融金属温度制御方法、溶融金属設

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
熱供給および／または熱排出を行なう流体系の温度推定方法であって、
前記流体系において設定された２以上の任意の温度実測点において、該温度実測点に配置した温度計測手段により流体温度を計測する温度計測ステップと、
前記流体系において設定された任意の温度推定点において、実験的にまたは数値流体シミュレーションにより求めた該温度推定点における前記流体系の流れ場に関する指標である、前記流体が前記温度実測点と前記温度推定点との間で移動するのに要する時間を取得し、前記指標と前記温度計測ステップで計測した温度とに基づき、前記温度推定点の温度を推定する推定ステップと、
を含むことを特徴とする流体系の温度推定方法。
【請求項２】
前記指標は、前記流体が前記温度実測点から前記温度推定点まで間を移動するのに要する下流側伝達時間と、前記流体が前記温度推定点から前記温度実測点まで移動するのに要する上流側伝達時間とであり、
前記推定ステップは、前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間とに対し単調非増加関数となる重み関数を用いて前記温度推定点に対する前記温度実測点の重みを算出し、該重みと計測した実測温度との重み付き平均を前記温度推定点の温度として推定することを特徴とする請求項１に記載の流体系の温度推定方法。
【請求項３】

前記推定ステップは、前記温度推定点に対する前記温度実測点の重み算出に際し、前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間との小さいほうの値を最小伝達時間として選択し、前記最小伝達時間に対し単調非増加関数となる重み関数を用いて前記温度推定点に対する前記温度実測点の重みを算出し、該重みと計測した実測温度との重み付き平均を前記温度推定点の温度として推定することを特徴とする請求項２に記載の流体系の温度推定方法。

【請求項４】

熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系の温度推定方法であって、

前記温度推定点における温度推定時間を指定する推定時間指定ステップと、を含み、

前記温度計測ステップは、前記温度実測点の流体温度を時系列で計測し、

前記推定ステップは、前記温度推定時間と前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間とに基づき決定される抽出時間における前記温度実測点の実測温度と前記重みとの重み付き平均を前記温度推定点の温度として推定し、

前記抽出時間は、前記下流側伝達時間に対し単調非増加関数であり、かつ前記温度推定時間および前記上流側伝達時間に対し単調非減少関数となることを特徴とする請求項３に記載の流体系の温度推定方法。

【請求項５】

前記抽出時間は、前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間のうち、下流側伝達時間のほうが小さい場合は、前記温度推定時間から下流側伝達時間だけ以前の時間を前記抽出時間とし、上流側伝達時間のほうが小さい場合は、前記温度推定時間から上流側伝達時間だけ以後の時間を前記抽出時間として、前記温度推定点の温度を推定することを特徴とする請求項４に記載の流体系の温度推定方法。

【請求項６】

前記抽出時間において前記温度実測点で流体温度が計測されていない場合は、計測された時系列温度測定値から抽出時間における温度を補間、補外したものを前記抽出時間における実測温度として前記温度推定点の温度を推定し、または前記抽出時間に最も近い時間に計測された温度を前記抽出時間における実測温度として前記温度推定点の温度を推定することを特徴とする請求項５に記載の流体系の温度推定方法。

【請求項７】

前記流体系は溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛であることを特徴とする請求項１～６のいずれか一項に記載の流体系の温度推定方法。

【請求項８】

前記流体系は溶銑保持炉内の溶銑であることを特徴とする請求項１～６のいずれか一項に記載の流体系の温度推定方法。

【請求項９】

前記流体系はタンディッシュ内の溶鋼であることを特徴とする請求項１～６のいずれか一項に記載の流体系の温度推定方法。

【請求項１０】

物質成分が濃度分布を有するとともに、温度分布を有する流体系における物質成分の濃度および温度推定方法であって、

前記流体系において設定された２以上の任意の濃度実測点において、該濃度実測点に配置した濃度計測手段により物質成分の濃度を計測、または前記濃度実測点において採取したサンプル中の物質成分濃度を計測する濃度計測ステップと、

前記流体系において設定された任意の濃度推定点において、実験的にまたは数値流体シミュレーションにより求めた該濃度推定点における前記流体系の流れ場に関する指標を取得し、前記指標と前記濃度計測ステップで計測した物質成分の濃度とに基づき、前記濃度推定点における物質成分の濃度を推定する濃度推定ステップと、

を含み、前記各ステップにより前記濃度推定点における物質成分の濃度を推定するとともに、請求項１～６のいずれか一項に記載の方法で温度推定点の温度を推定することを特徴とする流体系における物質成分の濃度および温度推定方法。

【請求項１１】

前記濃度推定点における前記流体系の流れ場に関する指標は、前記流体が前記濃度実測点と前記濃度推定点との間を移動するのに要する
時間であることを特徴とする請求項１０に記載の流体系における物質成分の濃度および温度推定方法。
【請求項１２】
熱供給および／または熱排出を行なう流体系の温度分布推定方法であって、
請求項１～６のいずれか一項に記載の方法を使用して設定されたすべての温度推定点の温度を推定し、
該推定した温度により実測温度を補間して流体系の温度分布を求めることを特徴とする流体系の温度分布推定方法。
【請求項１３】
熱供給および／または熱排出を行なう流体系の温度モニタリング方法であって、
請求項１２に記載の方法により求めた流体系の温度分布データから、任意の断面の温度分布データを抽出し、抽出した温度分布データを可視化することを特徴とする流体系の温度モニタリング方法。
【請求項１４】
溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度制御方法であって、
請求項７に記載の流体系の温度推定方法により推定した前記溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度データから、前記溶融亜鉛めっきポット内の所定の領域における溶融亜鉛の温度を抽出する温度抽出ステップと、
抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定ステップと、
前記判定ステップにおいて、前記抽出した温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内となるよう前記溶融亜鉛めっきポットの加熱手段の出力を操作する制御ステップと、
を含むことを特徴とする溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度制御方法。
【請求項１５】
請求項１４に記載の溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度制御方法を用いて製造したことを特徴とする溶融亜鉛めっき鋼板。
【請求項１６】
溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛の温度制御および溶融亜鉛中のアルミニウム濃度管理方法であって、
請求項１０または１１に記載の流体系における物質成分の濃度および温度推定方法により推定した前記溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度データから、前記溶融亜鉛めっきポット内の所定の領域における溶融亜鉛の温度が所定の閾値範囲内であるか否かを判定する温度判定ステップと、
請求項１０または１１に記載の流体系における物質成分の濃度および温度推定方法により推定した前記溶融亜鉛めっきポット内のアルミニウム濃度データから、前記溶融亜鉛めっきポット内の所定の領域におけるアルミニウム濃度が所定の閾値範囲内であるか否かを判定する濃度判定ステップと、
前記温度判定ステップにおいて、前記温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記温度が閾値範囲内となるよう前記溶融亜鉛めっきポットの加熱手段を操作する制御ステップと、
前記濃度判定ステップにおいて、前記アルミニウム濃度が閾値範囲外と判定された場合に、前記アルミニウム濃度が閾値範囲外である旨警告する警告ステップと、
を含むことを特徴とする溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛の温度制御および溶融亜鉛中のアルミニウム濃度管理方法。
【請求項１７】
請求項１６に記載の溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛の温度制御および溶融亜鉛中のアルミニウム濃度管理方法を用いて製造したことを特徴とする溶融亜鉛めっき鋼板。
【請求項１８】

溶銑保持炉内の溶銑温度制御方法であって、
請求項８に記載の流体系の温度推定方法により推定した前記溶銑保持炉内の溶銑温度データから、前記溶銑保持炉内の所定の領域における溶銑の温度を抽出する温度抽出ステップと、
抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定ステップと、
前記判定ステップにおいて、前記抽出した温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内となるよう前記溶銑保持炉の加熱手段の出力を操作する制御ステップと、
を含むことを特徴とする溶銑保持炉内の溶銑温度制御方法。
【請求項１９】
タンディッシュ内の溶鋼温度制御方法であって、
請求項９に記載の流体系の温度推定方法により推定した前記タンディッシュ内の溶鋼温度データから、前記タンディッシュ内の所定の領域における溶鋼の温度を抽出する温度抽出ステップと、
抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定ステップと、
前記判定ステップにおいて、前記抽出した温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内となるよう前記タンディッシュの加熱手段の出力を操作する制御ステップと、
を含むことを特徴とするタンディッシュ内の溶鋼温度制御方法。
【請求項２０】
熱供給および熱排出を行なう流体系の温度推定装置であって、
前記流体系において設定された２以上の任意の温度実測点において、該温度実測点の流体温度を計測する温度計測手段と、
実験的または数値流体シミュレーションにより求めた、前記流体系において任意に設定された温度推定点における前記流体系の流れ場に関する指標を記憶する記憶手段と、
前記温度計測手段により計測された実測温度と、前記記憶手段に記憶された前記温度推定点の流れ場に関する指標である、前記流体が前記温度実測点と前記温度推定点との間で移動するのに要する時間とに基づき、前記温度推定点の温度を推定する温度推定手段と、
を備えることを特徴とする流体系の温度推定装置。
【請求項２１】
前記記憶手段は、前記温度推定手段が推定した温度により実測温度を補間した温度分布データを記憶し、
前記温度分布データから、任意の断面の温度分布データを抽出し、抽出した温度分布データを可視化する温度データ抽出手段と、
前記温度データ抽出手段により抽出され可視化された、任意の断面の温度分布データを表示する表示手段と、
を備えることを特徴とする請求項２０に記載の流体系の温度推定装置。
【請求項２２】
前記温度データ抽出手段は、前記温度分布データから、前記流体系内の所定の領域における、前記流体の温度を抽出し、
抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定手段と、
前記判定手段が前記抽出した温度を閾値範囲外と判定した場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内となるよう前記流体系の加熱手段の出力を操作する制御手段と、
を備えることを特徴とする請求項２１に記載の流体系の温度推定装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、熱供給および熱排出を定常的または非定常的に行なう流体系における温度推定方法、流体系における物質成分の濃度および温度推定方法、流体系の温度推定方法を用いる流体系の温度分布推定方法、流体系の温度モニタリング方法および溶融金属設備の溶

融金属温度制御方法、溶融金属設備の濃度および温度推定方法ならびに流体系の温度推定装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

産業プロセスの流体設備や壁で区切られた空間などがある流体系において、該流体系内の流体の温度分布をモニタするためには、温度分布の特徴を捉えるのに十分な数・配置で温度を計測する温度計等を含む温度計測手段を流体中に配置する必要がある。しかしながら、産業プロセスにおける流体設備や建造物内部などは複雑な形状をしていることが多く、温度計を配置できない場所も存在する。また、流体が高温な場合や高腐食性である場合も温度計測が制限されてしまうことがあり、温度分布を知るのに十分な数・配置で温度計測手段を設置できないことが多い。

【０００３】

温度実測点の不足を補い流体系の温度分布をモニタするためには、計測した数点の実測温度値から流体系全体の温度分布を推定・補間することが必要になる。対象が均一な固体において、スプライン補間などのよく知られた補間法を使用して温度実測点と温度推定点との幾何学的位置を考慮して比較的容易に温度を推定し、補間されている。また、推定点と実測点との距離に基づき該推定点の温度等を含む各種の値を推定し、補間する逆距離加重法と呼ばれる推定方法も提示されている（たとえば、非特許文献１参照）。

【０００４】

一方、流体系の温度分布を推定する方法の一つとして、給湯システムにおいて、温水の移動速度と貯湯槽内での実測温度の履歴に基づいて貯湯槽内の温度分布を推定する温度分布推定システムが提案されている（たとえば、特許文献１参照）。

【０００５】

また、航法装置で得た位置データである航跡と水温計により得た水温データとともに、潮流計で得た潮流ベクトルデータを重ねて表示する水温分布表示装置が開示されている（たとえば、特許文献２参照）。

【０００６】

さらに、屋内に設けたセンサーの実測値をもとに境界条件を構築し、指定箇所の温度、湿度、二酸化炭素濃度などの環境状態を熱伝導に関する式またはナビエストークスの式を用いて推定する空調用センサーシステムが開示されている（たとえば、特許文献３参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【特許文献１】特開２００６－２１４６２２号公報

【特許文献２】特開昭６１－１５１４２８号公報

【特許文献３】特開２００８－７５９７３号公報

【非特許文献】

【０００８】

【非特許文献１】Shepard, D.:A two-dimensional interpolating function for irregularly spaced data. Proc. ACM. Nat. Conf., 517-524, 1968.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

非特許文献１の推定手法は、実測点ｉの位置と推定点との距離l_iを算出し、距離l_iが大きい実測点ほど重みが小さくなるような重み付けをし、重み付き平均として推定点における値を推定する方法であり、距離の逆数（l/l_i）の累乗を重みとした下式（１）を用いて温度等の各種値を推定する。

【００１０】

【数１】

$$Te^{I} = \frac{\sum_{i} (l_i)^{-u} \cdot T_i}{\sum_{i} (l_i)^{-u}} \quad \cdots式(1)$$

式（１）において、Ｔｅ^{I}は推定点における推定温度、ｌ$_{i}$は温度実測点ｉと推定点との距離、ｕは正の値をとるパラメータ、Ｔ$_{i}$は温度実測点ｉで計測された実測温度値である。

【００１１】

しかしながら、非特許文献１の逆距離加重法は、温度実測点ｉと温度推定点ｊの距離ｌ$_{i}$のみに基づいた重みを用い、重み付け平均によって温度を推定する方法の為、得られる温度推定結果には流体の流れの影響が反映されない。その為、実際の流体プロセスなど熱輸送に対する流動の寄与が非常に大きい流体系では、流速が大きい場合と小さい場合で温度分布が大きく異なるにもかかわらず、同じ温度分布が推定されてしまう。したがって、流体の流れによる熱輸送が支配的となる流体系に対しては、適用することは困難である。

【００１２】

また、特許文献１の温度分布推定方法では、1次元の流体流れの対象にしか適用できず、3次元の流体流れ場を有する流体系に適用することは困難である。

【００１３】

さらに、特許文献２のものでは、水温の分布が潮流の方向およびその速さに相関があることは記されているものの、その相関を具体的にどのように求めて水温分布とするかは開示されておらず、流体系が必要とする非計測箇所の推定の精度が得られず、また、水温データと潮流ベクトルデータは、２次元の海面上の場合のみ想定されているため、３次元の流体流れ場を有する流体系へは適用困難である。

【００１４】

さらにまた、特許文献３のものでは、センサーの温度実測値等を基に境界条件を構築し、熱伝導に関する式又はナビエストークスの式のいずれか１つを用いて、前記室内における指定された指定箇所の環境状態を推定するとされるが、熱伝導に関する式またはナビエストークスの式を用いる方法では、原理的に温度実測点から見て下流側の位置の温度しか推定できないため、流体系全体の温度分布を推定するためには、空気の流れの最上流位置、すなわち空気が室内に流入する窓や空調設備の噴出し口などの位置すべてにセンサーを配置することが必須となる。よって流体の流入位置にセンサーを配置できないような流体系には適用困難である。

【００１５】

本発明は、上記実情に鑑みて考案されたものであり、複雑な３次元の流れ場を有する流体系に対しても、複数点の限られた実測温度のみから、温度計測装置の配置に制約を与えることなく流体全体の温度を推定できる流体系の温度推定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１６】

上記目的を達成するため、本発明の流体系の温度推定方法は、熱供給および／または熱排出を行なう流体系の温度推定方法であって、前記流体系において設定された２以上の任意の温度実測点において、該温度実測点に配置した温度計測手段により流体温度を計測する温度計測ステップと、前記流体系において設定された任意の温度推定点において、実験的にまたは数値流体シミュレーションにより求めた該温度推定点における前記流体系の流れ場に関する指標を取得し、前記指標と前記温度計測ステップで計測した温度とに基づき、前記温度推定点の温度を推定する推定ステップと、を含むことを特徴とする。

【００１７】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記指標は、前記流体が

前記温度実測点と前記温度推定点との間で移動するのに要する時間であることを特徴とする。

【００１８】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記指標は、前記流体が前記温度実測点から前記温度推定点まで間を移動するのに要する下流側伝達時間と、前記流体が前記温度推定点から前記温度実測点まで移動するのに要する上流側伝達時間とであり、前記推定ステップは、前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間とに対し単調非増加関数となる重み関数を用いて前記温度推定点に対する前記温度実測点の重みを算出し、該重みと計測した実測温度との重み付き平均を前記温度推定点の温度として推定することを特徴とする。

【００１９】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記推定ステップは、前記温度推定点に対する前記温度実測点の重み関数の算出に際し、前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間との小さいほうの値を最小伝達時間として選択し、前記最小伝達時間に対し単調非増加関数となる重み関数を用いて前記温度推定点に対する前記温度実測点の重みを算出し、該重みと計測した実測温度との重み付き平均を前記温度推定点の温度と推定することを特徴とする。

【００２０】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系の温度推定方法であって、前記温度推定点における温度推定時間を指定する推定時間指定ステップと、を含み、前記温度計測ステップは、前記温度実測点の流体温度を時系列で計測し、前記推定ステップは、前記温度推定時間と前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間とに基づき決定される抽出時間における前記温度実測点の実測温度と前記重みとの重み付き平均を前記温度推定点の温度として推定し、前記抽出時間は、前記下流側伝達時間に対し単調非増加関数であり、かつ前記温度推定時間および前記上流側伝達時間に対し単調非減少関数となることを特徴とする。

【００２１】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記抽出時間は、前記下流側伝達時間と前記上流側伝達時間のうち、下流側伝達時間のほうが小さい場合は、前記温度推定時間から下流側伝達時間だけ以前の時間を前記抽出時間とし、上流側伝達時間のほうが小さい場合は、前記温度推定時間から上流側伝達時間だけ以後の時間を前記抽出時間として、前記温度推定点の温度を推定することを特徴とする。

【００２２】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記抽出時間において前記温度実測点で流体温度が計測されていない場合は、計測された時系列温度測定値から抽出時間における温度を補間、補外したものを前記抽出時間における実測温度として前記温度推定点の温度を推定し、または前記抽出時間に最も近い時間に計測された温度を前記抽出時間における実測温度として前記温度推定点の温度を推定することを特徴とする。

【００２３】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記流体系は溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛であって、前記推定ステップは、前記溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛が前記温度実測点と前記温度推定点との間を移動するのに要する時間を前記指標として前記重みを算出し、前記温度計測ステップで計測した溶融亜鉛温度を前記実測温度として前記溶融亜鉛めっきポット内の温度推定点の溶融亜鉛温度を推定することを特徴とする。

【００２４】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記流体系は溶銑保持炉内の溶銑であって、前記推定ステップは、前記溶銑保持炉内の溶銑が前記温度実測点と前記温度推定点との間を移動するのに要する時間を前記指標として前記重みを算出し、前記温度計測ステップで計測した溶銑温度を前記実測温度として前記溶銑保持炉内の温度推定

点の溶銑温度を推定することを特徴とする。

【００２５】

また、本発明の流体系の温度推定方法は、上記発明において、前記流体系はタンディッシュ内の溶鋼であって、前記推定ステップは、前記タンディッシュ内の溶鋼が前記温度実測点と前記温度推定点との間を移動するのに要する時間を前記指標として前記重みを算出し、前記温度計測ステップで計測した溶鋼温度を前記実測温度として前記タンディッシュ内の温度推定点の溶鋼温度を推定することを特徴とする。

【００２６】

また、本発明の流体系における物質成分の濃度および温度推定方法は、物質成分が濃度分布を有するとともに、温度分布を有する流体系における物質成分の濃度推定および温度推定方法であって、前記流体系において設定された２以上の任意の濃度実測点において、該濃度実測点に配置した濃度計測手段により物質成分の濃度を計測、または前記濃度実測点において採取したサンプル中の物質成分濃度を計測する濃度計測ステップと、前記流体系において設定された任意の濃度推定点において、実験的にまたは数値流体シミュレーションにより求めた該濃度推定点における前記流体系の流れ場に関する指標を取得し、前記指標と前記濃度計測ステップで計測した物質成分の濃度とに基づき、前記濃度推定点における物質成分の濃度を推定する濃度推定ステップと、を含み、前記各ステップにより前記濃度推定点における物質成分の濃度を推定するとともに、上記のいずれか一つに記載の方法で温度推定点の温度を推定することを特徴とする。

【００２７】

また、本発明の流体系における物質成分の濃度および温度推定方法は、上記発明において、前記指標は、前記流体が前記濃度実測点と前記濃度推定点との間で移動するのに要する時間であることを特徴とする。

【００２８】

また、本発明の流体系の温度分布推定方法は、熱供給および／または熱排出を行なう流体系の温度分布推定方法であって、上記に記載の方法を使用して設定されたすべての温度推定点の温度を推定し、該推定した温度により実測温度を補間して流体系の温度分布を求めることを特徴とする。

【００２９】

また、本発明の流体系の温度モニタリング方法は、熱供給および／または熱排出を連続的または断続的に行なう流体系の温度モニタリング方法であって、上記に記載の方法により求めた流体系の温度分布データから、任意の断面の温度分布データを抽出し、抽出した温度分布データを可視化することを特徴とする。

【００３０】

また、本発明は、溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度制御方法であって、上記に記載の流体系の温度推定方法により推定した前記溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度データから、前記溶融亜鉛めっきポット内の所定の領域における溶融亜鉛の温度を抽出する温度抽出ステップと、抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定ステップと、前記判定ステップにおいて、前記抽出した温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内となるよう前記溶融亜鉛めっきポットの加熱手段の出力を操作する制御ステップと、を含むことを特徴とする。

【００３１】

また、本発明の溶融亜鉛めっき鋼板は、上記に記載の溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度制御方法を用いて製造したことを特徴とする。

【００３２】

また、本発明は、溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛の温度制御および溶融亜鉛中のアルミニウム濃度管理方法であって、上記のいずれか一つに記載の流体系における物質成分の濃度推定および温度推定方法により推定した前記溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛温度データから、前記溶融亜鉛めっきポット内の所定の領域における溶融亜鉛の温度が所定の閾値範囲内であるか否かを判定する温度判定ステップと、上記のいずれか一つに記載の

流体系における物質成分の濃度推定および温度推定方法により推定した前記溶融亜鉛めっきポット内のアルミニウム濃度データから、前記溶融亜鉛めっきポット内の所定の領域におけるアルミニウム濃度が所定の閾値範囲内であるか否かを判定する濃度判定ステップと、前記温度判定ステップにおいて、前記温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記温度が閾値範囲内となるよう前記溶融亜鉛めっきポットの加熱手段を操作する制御ステップと、前記濃度判定ステップにおいて、前記アルミニウム濃度が閾値範囲外と判定された場合に、前記アルミニウム濃度が閾値範囲外である旨警告する警告ステップと、を含むことを特徴とする。

【００３３】

また、本発明の溶融亜鉛めっき鋼板は、上記に記載の溶融亜鉛めっきポット内の溶融亜鉛の温度制御および溶融亜鉛中のアルミニウム濃度管理方法を用いて製造したことを特徴とする。

【００３４】

また、本発明は、溶銑保持炉内の溶銑温度制御方法であって、上記に記載の流体系の温度推定方法により推定した前記溶銑保持炉内の溶銑温度データから、前記溶銑保持炉内の所定の領域における溶銑の温度を抽出する温度抽出ステップと、抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定ステップと、前記判定ステップにおいて、前記抽出した温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内となるよう前記溶銑保持炉の加熱手段の出力を操作する制御ステップと、を含むことを特徴とする。

【００３５】

また、本発明は、タンディッシュ内の溶鋼温度制御方法であって、上記に記載の流体系の温度推定方法により推定した前記タンディッシュ内の溶鋼温度データから、前記タンディッシュ内の所定の領域における溶鋼の温度を抽出する温度抽出ステップと、抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定ステップと、前記判定ステップにおいて、前記抽出した温度が閾値範囲外と判定された場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内となるよう前記タンディッシュの加熱手段の出力を操作する制御ステップと、を含むことを特徴とする。

【００３６】

また、本発明は、熱供給および熱排出を連続的または断続的に行なう流体系の温度推定装置であって、前記流体系において設定された２以上の任意の温度実測点において、該温度実測点の流体温度を計測する温度計測手段と、実験的または数値流体シミュレーションにより求めた、前記流体系において任意に設定された温度推定点における前記流体系の流れ場に関する指標を記憶する記憶手段と、前記温度計測手段により計測された実測温度と、前記記憶手段に記憶された前記温度推定点の流れ場に関する指標とに基づき、前記温度推定点の温度を推定する温度推定手段と、を備えることを特徴とする。

【００３７】

また、本発明の流体系の温度推定装置は、上記発明において、前記指標は、前記流体が前記温度実測点と前記温度推定点との間で移動するのに要する時間であることを特徴とする。

【００３８】

また、本発明の流体系の温度推定装置は、上記発明において、前記記憶手段は、前記温度推定手段が推定した温度により実測温度を補間した温度分布データを記憶し、前記温度分布データから、任意の断面の温度分布データを抽出し、抽出した温度分布データを可視化する温度データ抽出手段と、前記温度データ抽出手段により抽出され可視化された、任意の断面の温度分布データを表示する表示手段と、を備えることを特徴とする。

【００３９】

また、本発明の流体系の温度推定装置は、上記発明において、前記温度データ抽出手段は、前記温度分布データから、前記流体系内の所定の領域における、前記流体の温度を抽出し、抽出した温度が、所定の閾値範囲内であるか否かを判定する判定手段と、前記判定手段が前記抽出した温度が閾値範囲外と判定した場合に、前記抽出した温度が閾値範囲内

となるよう前記流体系の加熱手段の出力を操作する制御手段と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【００４０】

本発明によれば、実験的にまたは数値流体シミュレーションにより求めた温度推定点における流体系の流れ場に関する指標に基づき流体の温度を推定するようにしたので、流体の流れによる熱輸送が支配的となる流体系に対しても精度よく温度推定することができる。また、本発明では、単純な１次元流れの流体系のみならず複雑な３次元流れとなる流体系まで、幅広い流動状態の流体系に対しても適応することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００４１】

【図１】図１は、流体系のモデルの一例を示す図である。

【図２】図２は、図１の流体系における下流側伝達時間を説明する図である。

【図３】図３は、図２における下流側伝達時間を算出するための温度と時間の相関図である。

【図４】図４は、図１の流体系における上流側伝達時間を説明する図である。

【図５】図５は、図４における上流側伝達時間を算出するための温度と時間の相関図である。

【図６】図６は、数値流体シミュレーションを用いた重みＷの算出手順を示すフローチャートである。

【図７】図７は、図６で算出した重みを用いた温度推定処理にかかるフローチャートである。

【図８】図８は、図６で算出した重みを用いた、熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系における温度推定処理のフローチャートである。

【図９】図９は、本発明の適用対象となる水槽を概念的に示した側面図である。

【図１０】図１０は、図９の水槽の上面図である。

【図１１】図１１は、本発明の実施の形態１にかかる流体系の温度推定装置の構成例を模式的に示すブロック図である。

【図１２】図１２は、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である。

【図１３】図１３は、従来方法（逆距離加重法）を使用して推定した水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である。

【図１４】図１４は、水槽内の温度計の追加設置位置を示す図である。

【図１５ａ】図１５ａは、水槽内の位置Ｐ－１１で測定された温度の時間推移を示す図である。

【図１５ｂ】図１５ｂは、水槽内の位置Ｐ－１２で測定された温度の時間推移を示す図である。

【図１５ｃ】図１５ｃは、水槽内の位置Ｐ－１３で測定された温度の時間推移を示す図である。

【図１５ｄ】図１５ｄは、水槽内の位置Ｐ－１４で測定された温度の時間推移を示す図である。

【図１５ｅ】図１５ｅは、水槽内の位置Ｐ－１５で測定された温度の時間推移を示す図である。

【図１５ｆ】図１５ｆは、水槽内の位置Ｐ－１６で測定された温度の時間推移を示す図である。

【図１６ａ】図１６ａは、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である（流入水温変化より１分後）。

【図１６ｂ】図１６ｂは、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である（流入水温変化より２分後）。

【図１６ｃ】図１６ｃは、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図で

ある（流入水温変化より３分後）。
【図１６ｄ】図１６ｄは、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である（流入水温変化より４分後）。
【図１６ｅ】図１６ｅは、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である（流入水温変化より５分後）。
【図１６ｆ】図１６ｆは、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である（流入水温変化より６分後）。
【図１７】図１７は、本発明の適用対象となる溶融亜鉛めっきポットを概念的に示した側面図である。
【図１８】図１８は、本発明の実施の形態２にかかる流体系の温度推定装置の構成例を模式的に示すブロック図である。
【図１９】図１９は、図１７の溶融亜鉛めっきポットの紙面手前側の側壁面から所定の鉛直断面における温度分布を示す図である。
【図２０】図２０は、流体系のモデルの一例を示す図である。
【図２１】図２１は、図２０の流体系における下流側伝達時間を説明する図である。
【図２２】図２２は、図２１における下流側伝達時間を算出するための温度と時間の相関図である。
【図２３】図２３は、図２０の流体系における上流側伝達時間を説明する図である。
【図２４】図２４は、図２３における上流側伝達時間を算出するための温度と時間の相関図である。
【図２５】図２５は、数値流体シミュレーションを用いた重みWの算出手順を示すフローチャートの一例である。
【図２６】図２６は、図２５の温度推定用の重みの算出手順を示すフローチャートの一例である。
【図２７】図２７は、図２５の濃度推定用の重みの算出手順を示すフローチャートの一例である。
【図２８】図２８は、図２５で算出した重みWを用いた温度および濃度推定処理にかかるフローチャートである。
【図２９】図２９は、本発明の適用対象となる溶融亜鉛めっきポットを概念的に示した側面図である。
【図３０】図３０は、本発明の実施の形態２の変形例１にかかる流体系の温度濃度推定装置の構成例を模式的に示すブロック図である。
【図３１】図３１は、図２８の溶融亜鉛めっきポットのシンクロール軸中央から所定の鉛直断面における溶融亜鉛中のアルミニウム濃度分布を示す図である。
【図３２】図３２は、本発明の適用対象となる溶銑保持炉の斜視図である。
【図３３】図３３は、図３２の溶銑保持炉の一部側面図である。
【図３４】図３４は、本発明の実施の形態３にかかる流体系の温度推定装置の構成例を模式的に示すブロック図である。
【図３５】図３５は、図３２の溶銑保持炉の側壁面から所定の鉛直断面における温度分布を示す図である。
【図３６】図３６は、本発明の適用対象となるタンディッシュの斜視図である。
【図３７】図３７は、図３６のタンディッシュの右側面図の一部である。
【図３８】図３８は、本発明の実施の形態４にかかる流体系の温度推定装置の構成例を模式的に示すブロック図である。
【図３９】図３９は、図３６のタンディッシュの側壁面から所定の鉛直断面における温度分布を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００４２】
以下、添付図面を参照しながら本発明に係る流体系の温度推定方法、流体系の温度分布推定方法、流体系の温度モニタリング方法および溶融金属設備の溶融金属温度制御方法、

ならびに流体系の温度推定装置の好適な実施の形態について詳細に説明する。ここで、流体系とは、温度推定や濃度推定の対象となる流体と、対象流体の流動挙動や熱挙動や物質濃度挙動に影響を与える周囲の部位、たとえば流体容器、流体中の構造物、加熱装置、流体の流入出部位などを含む系である。なお、本明細書において、流体とは、液体、気体などの一定の形状を有しない液状、気体状のものに加え、砂などの固体などの固体粒子群を例とする流動性を有する物質を含むものとする。

【００４３】

本発明は、流体系の流れが特に重要となる対象、例えば、流体が流れる容器内が仕切り板で部分的に区切られている流体設備等に適用される。このような流体設備に対して、上述した非特許文献１のように温度推定点と温度実測点との距離という幾何学的な情報のみを指標として重みを算出し、重み付け平均により温度推定を行なうと、仕切り板の有無にかかわらず温度推定点と温度実測点の直線距離を指標として温度推定を行うため、仕切り板を越えて連続となる温度分布が推定されてしまう。しかしながら、現実の温度は、前記流体設備では仕切り板により流体の流れがさえぎられて仕切り板を境に不連続となるため、現実の温度分布と大きく異なる温度分布を推定することになり好ましくない。

【００４４】

そこで、仕切り板などによる温度の不連続現象までうまく推定できる温度推定方法について熟考した結果、流体系の流れに基づく指標を用いる本発明を思いついた。本発明では、移流拡散によって流体が温度実測点ｉから温度推定点ｊへ移動するのに要する時間τ_{1ij}、および流体が温度推定点ｊから温度実測点ｉへ移動するのに要する時間τ_{2ij}を温度推定の指標として用いる。そして２つの指標値(τ_{1ij},τ_{2ij})に対し、単調非増加関数となるような重み関数ｆ(τ_{1ij},τ_{2ij})を用い、温度推定点ｊにおける温度実測点ｉの重みをW(τ_{1ij},τ_{2ij})として算出し、各温度実測値T_iと該重みW(τ_{1ij},τ_{2ij})とを用いた重み付き平均によって温度推定を行う。

【００４５】

具体的には、温度推定点ｊの推定温度Te_jと温度実測点ｉの温度実測値T_iとの関係は、式（２）にて表される。

【数２】

$$Te_j = \frac{\sum_i W(\tau_{1ij}, \tau_{2ij}) \cdot T_i}{\sum_i W(\tau_{1ij}, \tau_{2ij})} \qquad \cdots式(2)$$

【００４６】

τ_{1ij}は温度実測点ｉから見て流れの下流側の温度推定点ｊの方向へ流体が移動するのに要する時間なので、下流側伝達時間と呼び、同様に、τ_{2ij}は温度実測点ｉから見て流れの上流側の温度推定点ｊの方向から流体が移動するのに要する時間なので、上流側伝達時間と呼ぶ。また、以下、下流側伝達時間と上流側伝達時間の対(τ_{1ij}、τ_{2ij})を伝達時間と呼ぶ。伝達時間は、移流拡散によって流体が温度実測点ｉから温度推定点ｊへ移動するのに要する時間および温度推定点ｊから温度実測点ｉへ流体が移動するのに要する時間と対応する指標であれば何でも良く、定義方法は特に限定されない。

【００４７】

流体力学の原理によると、流体系において流体がある２点間を移動する時間は、流体中の熱エネルギーや流体中に含まれる物質成分が２点間を移動する際にかかる時間と等価であることが知られている。よって、伝達時間は、流体の温度や流体中に溶解している成分の濃度や温度を実測したり、あるいは計算することにより算出することができる。したがって、移流拡散によって所定量の熱が温度実測点ｉから温度推定点ｊへ移動するのに要する時間を下流側伝達時間と、所定量の熱が温度推定点ｊから温度実測点ｉへ移動するのに要する時間を上流側伝達時間と定義することもできる。

【００４８】

ここで、図１～図５を参照して、流体系における温度推定の指標となる下流側伝達時間τ_{1ij}、上流側伝達時間τ_{2ij}を熱の移動により算出する方法について説明する。図１は、上部が開放された容器に流体が収容された流体系のモデルの一例を示す図である。図２は、図１の流体系における下流側伝達時間τ_{1ij}を説明する図である。図３は、図２における下流側伝達時間τ_{1ij}を算出するための温度と時間の相関図である。図４は、図１の流体系における上流側伝達時間τ_{2ij}を説明する図である。図５は、図４における上流側伝達時間τ_{2ij}を算出するための温度と時間の相関図である。

【００４９】

図１に示すように、流体系１は、上部が開放された容器２に流体４を収容し、容器２内部には、流体４の流れを妨げる仕切り板３が配置されている。容器２内の左側には黒丸で示す位置Ｐ－１に温度実測点ｉ、右側には白丸で示す位置Ｐ－２に温度推定点ｊを配置する。容器２内の流体４は、破線で示すように、上部液面近辺は左から右に流れ、仕切り板３で一旦下降し、その後上昇した後、右側壁面で再度上部から下部に下降し、底面近辺において右から左方向に流れを変え、再度左側壁面で下部から上部に上昇するように流れている。

【００５０】

流体系１において、黒丸で示す位置Ｐ－１に配置する温度実測点ｉから白丸で示す位置Ｐ－２に配置する温度推定点ｊへの熱の移動は、図２の破線矢印で示す流体４の流れとともに実線矢印のように移動する。所定量の熱が温度実測点ｉから温度推定点ｊへ移動するのに要する下流側伝達時間τ_{1ij}は、図２に示すように、温度実測点ｉである位置Ｐ－１で発熱させ、位置Ｐ－１から流体４の流れとともに移動する熱（図２の実線矢印）を温度推定点ｊである位置Ｐ－２で計測することにより行うことができる。図３に示すように、温度推定点ｊにおいて初期温度T_0から閾値温度T_Cまで温度が上昇するのに要した時間を下流側伝達時間τ_{1ij}として算出できる。

【００５１】

同様に、流体系１において、白丸で示す位置Ｐ－２に配置する温度推定点ｊから黒丸で示す位置Ｐ－１に配置する温度実測点ｉへの熱の移動は、図４の破線矢印で示す流体４の流れとともに実線矢印のように移動する。所定量の熱が温度推定点ｊから温度実測点ｉへ移動するのに要する上流側伝達時間τ_{2ij}は、図４に示すように、温度推定点ｊである位置Ｐ－２で発熱させ、位置Ｐ－２から流体４の流れとともに移動する熱（図４の実線矢印）を温度実測点ｉである位置Ｐ－１で計測することにより行う。図５に示すように、温度実測点ｉにおいて初期温度T_0から閾値温度T_Cまで温度が上昇するのに要した時間を上流側伝達時間τ_{2ij}として算出できる。

【００５２】

あるいは、流体が電解質水溶液である流体系において、流体の溶質である電解質濃度を電気伝導度計により測定することにより、伝達時間を算出することも出来る。流体系の温度実測点iと温度推定点ｊを設定し、まず温度実測点iの位置で食塩のような電解質を投入し、温度推定点jで電気伝導度計を用いて電解質濃度を計測する。電解質を投入してから電気伝導度計で電解質濃度がある閾値を超えるまでにかかる時間τ_{1ij}を計測する。さらに、温度推定点jで電解質を投入し、温度実測点iの位置で電気伝導度を計測し、閾値を越えるまでにかかる時間τ_{2ij}を計測することにより、伝達時間(τ_{1ij}、τ_{2ij})を実測することができる。

【００５３】

なお、数値流体シミュレーションを用いて、上記実験と同様の数値シミュレーションを行うことによっても伝達時間を算出することができる。

【００５４】

以下、数値流体シミュレーションを用いて伝達時間を算出する方法を例にして、温度推定点ｊにおける温度算出方法について説明する。まず、上述した式（２）における重みW(τ_{1ij}、τ_{2ij})の算出方法の具体的な手順を、図６を参照して説明する。図６は、数値流体シミュレーションを用いた重みW(τ_{1ij}、τ_{2ij})の算出手順を示すフロー

チャートである。

【００５５】

まず、数値流体シミュレーションを用い、流体系の代表的な境界条件を設定した後（ステップＳ１０１）、設定した境界条件に基づいて流れ場を算出する（ステップＳ１０２）。

【００５６】

流れ場計算は、対象の流体系の特徴にあわせて、２次元、３次元のいずれでも可能である。流れ場計算は、流体の流れ場と温度場を計算することができる熱流体解析ソルバーならば、市販品を含め何を用いても良く、例えば、ＡＮＳＹＳ　ＦＬＵＥＮＴ（登録商標）などにより流れ場計算を行うことができる。

【００５７】

次に、流体系の温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）と温度推定点ｊ（ｊ＝１～Ｍ）を設定し（ステップＳ１０３）、設定した温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）と温度推定点ｊ（ｊ＝１～Ｍ）から、重みW_{ij}を算出する温度実測点ｉと温度推定点ｊを指定する（ステップＳ１０４）。なお、温度実測点の数Ｎは、少なくとも２以上設定するものとする。

【００５８】

続いて、流体系全体に初期温度T_0(単位Ｋ)を与えるとともに（ステップＳ１０５）、温度実測点ｉの位置に発熱量Ｓ(単位Ｗ)を設定する（ステップＳ１０６）。この条件で温度分布の非定常計算を行い（ステップＳ１０７）、温度推定点ｊにおける温度上昇挙動を計算する。温度推定点ｊの温度が閾値温度T_C(単位Ｋ)に到達したら、温度がT_0からT_Cに到達するまでにかかった時間τ_{1ij}を記録する（ステップＳ１０８）。τ_{1ij}が下流側伝達時間となる。初期温度T_0(単位Ｋ)は、伝達時間に影響を与えない値なので、どのような値を与えても良い。発熱量Ｓ(単位Ｗ)および閾値温度T_C(単位Ｋ)に関しては、対象の流体系によって最適値が異なる。例えば、溶融亜鉛めっきポット、溶銑保持炉およびタンディッシュの一般的な場合、Ｓ＝２，０００ＫＷ、$T_C=T_0+1$Ｋ程度とすればよい。

【００５９】

同様にして、流体系全体に初期温度T_0を与えた後（ステップＳ１０９）、温度推定点ｊの位置に発熱量Ｓ(単位Ｗ)を与え（ステップＳ１１０）、温度分布の非定常計算を行い（ステップＳ１１１）、温度実測点ｉの位置の温度がT_0からT_Cに到達するまでにかかった時間τ_{2ij}を記録する（ステップＳ１１２）。τ_{2ij}が上流側伝達時間となる。

【００６０】

以上のようにして、温度実測点ｉと温度推定点ｊとの間の伝達時間(τ_{1ij}、τ_{2ij})を得た後、後述するガウス分布関数などの重み関数Ｗ(τ_{1ij}、τ_{2ij})を用いて重みW_{ij}を算出する（ステップＳ１１３）。

【００６１】

ここで、重み関数Ｗ(τ_{1ij}、τ_{2ij})は、任意のτ_{2ij}に対してτ_{1ij}の単調非増加関数となり、かつ任意のτ_{1ij}に対してτ_{2ij}の単調非増加関数となるような関数である。すなわち、下式（３）となる関数である。

【数３】

$$\frac{\partial W(\tau_{1ij},\tau_{2ij})}{\partial \tau_{1ij}} \le 0, \quad \frac{\partial W(\tau_{1ij},\tau_{2ij})}{\partial \tau_{2ij}} \le 0 \quad \cdots式(3)$$

【００６２】

この$W(\tau_{1ij}、\tau_{2ij})$は流体系の空間スケールや流速スケール、温度実測点配置間隔などによって最適な関数形が変わってくるが、比較的幅広い対象に利用できる重み関数Ｗとしては、下式（４）に示す最小伝達時間を用いたガウス分布関数を用いるのが最も望ましい。

【数４】

$$W(\tau_{1ij},\tau_{2ij})=\exp\left(-\frac{\tau_{min}^{2}}{2\sigma^{2}}\right) \qquad \cdots式(4)$$

【００６３】

式（４）におけるτ_{min}は最小伝達時間であり、伝達時間(τ_{1ij}、τ_{2ij})のうち小さいほうの値として定義される。σはガウス分布の標準偏差であり、σを大きくして推定・補間すると空間的に平滑化した温度分布となり、σを小さくして推定・補間すると急峻な温度分布となる。対象となる流体系によってσの最適値は異なるが、一般的な溶融亜鉛めっきポット、溶融金属保持炉およびタンディッシュの場合はσ＝６０ｓｅｃ程度を用いると良い。

【００６４】

また、温度実測点iの近傍に発熱源や吸熱源があり、かつ発熱源や吸熱源が温度実測点iから見て流れの上流側にある場合には、重み関数Wは、式（４）の代わりに下流側伝達時間を用いたガウス分布関数（下式（５））を用いる。

【数５】

$$W(\tau_{1ij},\tau_{2ij})=\exp\left(-\frac{\tau_{1ij}^{2}}{2\sigma^{2}}\right) \qquad \cdots式(5)$$

【００６５】

同様に、温度実測点ｉの近傍に発熱源や吸熱源があり、かつ発熱源や吸熱源が温度実測点iから見て流れの下流側にある場合には、重み関数Wは、式（４）の代わりに上流側伝達時間を用いたガウス分布関数（下式（６））を用いる。

【数６】

$$W(\tau_{1ij},\tau_{2ij})=\exp\left(-\frac{\tau_{2ij}^{2}}{2\sigma^{2}}\right) \qquad \cdots式(6)$$

【００６６】

上述のようにして重みW_{ij}を算出するが、流体系全体の温度分布を推定し、可視化するためには、流体系全体に設定した温度推定点ｊ（ｊ＝１～Ｍ）について各温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）との間の重みW_{ij}を算出し（ステップＳ１１４）、算出した重みW_{ij}をデータベースとして格納しておくことが好ましい（ステップＳ１１５）。

【００６７】

以上のように、重みW_{ij}を求めた後、重みW_{ij}を用いて任意の温度推定点ｊにおける温度を算出する。続いて、温度推定点ｊにおける温度推定処理を、図７を使用して説明する。図７は、図６の処理により算出した重みW_{ij}を用いた温度推定処理にかかるフローチャートである。

【００６８】

まず、設定した温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）において、温度計測手段により温度を測定し、温度実測値T_{i}（ｉ＝１～Ｎ）を取得する（ステップＳ２０１）。続いて、温度を推定する温度推定点ｊを指定し（ステップＳ２０２）、指定された温度推定点ｊに対する温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）毎の重みW_{ij}（ｉ＝１～Ｎ）をデータベースから取得する（ステップＳ２０３）。ステップＳ２０１で取得した温度実測値T_{i}（ｉ＝１～Ｎ）とステップＳ２０３において取得した重みW_{ij}（ｉ＝１～Ｎ）とを、下式（７）に当てはめて重み付平均処理を行い、温度推定点ｊに対する推定温度Te_{j}を算出する（ステップＳ２０４）。

【数７】

$$Te_j = \frac{\sum_i W_{ij} \cdot T_i}{\sum_i W_{ij}} \quad \cdots式(7)$$

【００６９】

一方、熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系において、経時的に変動する温度を推定する場合は、温度推定時間ｔａを指定し、該温度推定時間ｔａと、流体系の流れ場の指標である下流側伝達時間τ_{1ij}と上流側伝達時間τ_{2ij}とにより抽出時間tb_{ij}を決定した後、温度Te_jを推定することが好ましい。本発明では、下流側伝達時間τ_{1ij}と上流側伝達時間τ_{2ij}とに対し単調非増加関数となる重み関数W(τ_{1ij}、τ_{2ij})を用いて温度推定点ｊに対する温度実測点ｉの重みW_{ij}を算出し、前記重みW_{ij}と実測温度T_iとの重み付き平均を温度推定点ｊの温度Te_jとして推定しているが、非定常的に熱供給および／または熱排出が行われる流体系では温度実測点ｉの温度T_iも経時的に変動している。したがって、下流側伝達時間τ_{1ij}および／または上流側伝達時間τ_{2ij}が大きい場合、温度推定点ｊの温度推定時間ｔａの温度を推定する際に、温度推定時間ｔａの実測温度T_i（ｔａ）をそのまま重み付き平均の算出に使用すると、流れ場を反映することができず、正確な推定を行うことができない場合がある。このため、熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系の温度を推定する際には、温度推定時間ｔａに対し流体系の流れ場を考慮した抽出時間tb_{ij}の実測温度T_i（tb_{ij}）を重み付き平均の算出に使用することにより、非定常的な熱供給および／または熱排出が行われる流体系において、温度推定点ｊの経時的に変動する温度Te_jをより正確に推定することができる。

【００７０】

熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系においても、上記したのと同様に、数値流体シミュレーションを用いて、下流側伝達時間τ_{1ij}および上流側伝達時間τ_{2ij}を算出し、単調非増加関数となる重み関数W(τ_{1ij}、τ_{2ij})を用いて重みW_{ij}を算出する。算出した重みW_{ij}および下流側伝達時間τ_{1ij}、上流側伝達時間τ_{2ij}は、データベースとして格納しておく。

【００７１】

重みW_{ij}と抽出時間tb_{ij}における温度実測値T_i（tb_{ij}）とを用いて温度推定点ｊにおける温度を算出する。温度推定点ｊにおける温度推定処理について、図８を使用して説明する。図８は、図６の処理により算出した重みW_{ij}および抽出時間tb_{ij}における温度実測値T_i（tb_{ij}）を用いた温度推定処理にかかるフローチャートである。

【００７２】

まず、設定した温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）において、温度T_iの時間推移を測定し、時系列の温度実測値T_i（ｔ）［ｉ＝１～Ｎ、ｔは測定された時間］を取得する（ステップＳ３０１）。続いて、温度を推定する温度推定点ｊを指定するとともに（ステップＳ３０２）、温度を推定する時間である温度推定時間ｔａを指定する（ステップＳ３０３）。そして、指定された温度推定点ｊに対する温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）毎の下流側伝達時間τ_{1ij}、上流側伝達時間τ_{2ij}および重みW_{ij}（ｉ＝１～Ｎ）をデータベースから取得し（ステップＳ３０４）、取得した下流側伝達時間τ_{1ij}、上流側伝達時間τ_{2ij}と温度推定時間ｔａから、温度抽出時間tb_{ij}＝ｔｂ（ｔａ、τ_{1ij}、τ_{2ij}）を決定する（ステップＳ３０５）。ここでｔｂ（ｔａ、τ_{1ij}、τ_{2ij}）は、下式（８）に示すように、τ_{1ij}の単調非増加関数かつｔａ、τ_{2ij}の単調非減少関数となる。

【数８】

$$\frac{\partial(tb)}{\partial\tau_{1ij}} \le 0 \quad \frac{\partial(tb)}{\partial\tau_{2ij}} \ge 0 \quad \frac{\partial(tb)}{\partial(ta)} \ge 0 \qquad \cdots式(8)$$

【００７３】

この抽出時間関数ｔｂ(ｔａ、τ_{1ij}、τ_{2ij})はさまざまな関数系が考えられるが、比較的幅広い対象に利用できる抽出時間関数tb_{ij}としては、下式（９）に示すものが望ましい。すなわち、下流側伝達時間τ_{1ij}が上流側伝達時間τ_{2ij}より小さければ、温度推定時間ｔａから下流側伝達時間τ_{1ij}だけ以前の時間を抽出時間tb_{ij}とし、上流側伝達時間τ_{2ij}が下流側伝達時間τ_{1ij}より小さければ、温度推定時間ｔａから上流側伝達時間だけ以後の時間を抽出時間tb_{ij}とする。

【数９】

$$tb_{ij} = tb(ta, \tau_{1ij}, \tau_{2ij}) = \begin{cases} ta - \tau_{1ij} & [\tau_{1ij} \le \tau_{2ij}] \\ ta + \tau_{2ij} & [\tau_{1ij} > \tau_{2ij}] \end{cases} \qquad \cdots式(9)$$

【００７４】

ステップＳ３０５で決定した抽出時間tb_{ij}における温度実測値$T_i(tb_{ij})$［ｉ＝１～Ｎ］をステップＳ３０１で求めた時系列の温度実測値T_i（ｔ）から取得し、ステップＳ３０４で取得した重みW_{ij}（ｉ＝１～Ｎ）と温度実測値$T_i(tb_{ij})$とを、下式（１０）に当てはめて重み付平均処理を行い、温度推定点ｊに対する推定温度Ｔｅｊを算出する（ステップＳ３０６）。温度推定点ｊが複数ある場合は、ステップＳ３０１～ステップＳ３０６を繰り返し行い、各温度推定点ｊ（ｊ＝１～Ｍ）における推定温度Te_jを繰り返し算出する。

【数１０】

$$Te_j = \frac{\sum_i W_{ij} \cdot T_i(tb_{ij})}{\sum_i W_{ij}} \qquad \cdots式(10)$$

【００７５】

もし抽出時間tb_{ij}における温度実測値$T_i(tb_{ij})$が未知の場合は、既知の温度データから抽出時間における温度を補間、補外する、もしくは最も抽出時間tb_{ij}に近い時間に測定された温度を温度実測値$T_i(tb_{ij})$とすればよい。たとえば、リアルタイムで温度推定を行っている場合は現在時間より以後の時間における温度実測値T_iはすべて未知となる。このとき、ある温度推定点ｉと温度実測点ｊにおいて、上流側伝達時間τ_{2ij}が下流側伝達時間τ_{1ij}より小さくなったとき、抽出時間tb_{ij}は現在時間よりも以後の時間となるため、温度実測値T_iは未知となる。そのようなときは、たとえば現在時間ｔを抽出時間tb_{ij}とし、現在測定されている温度T_i（ｔ）を温度実測値T_iとして用いればよい。

【００７６】

上述したように、流体系全域に温度推定点ｊ（ｊ＝１～Ｍ、Ｍは複数）を配置し、各温度推定点ｊに対してそれぞれ温度実測点ｉとの重みW_{ij}を作成してデータベースに保存しておくことにより、図７に示すようにして、温度実測値T_i（ｉ＝１～Ｎ）と重みW_{ij}を読み込み、式（７）に代入するだけで、複数の温度推定点ｊの温度Te_jを算出して、瞬時に流体系全体の温度分布を推定することができる。また、各温度推定点ｊに対する温度実測点ｉとの重みW_{ij}に加えて、下流側伝達時間τ_{1ij}、上流側伝達時間τ_{2ij}とをデータベースに保存しておくことにより、熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系において、流体系の流れ場を考慮した抽出時間tb_{ij}を、温度推定時間ｔａと下流側伝達時間τ_{1ij}と上流側伝達時間τ_{2ij}とにより決定し、図８に示す

ようにして、抽出時間tb_{ij}の温度実測値$T_i(tb_{ij})$と重みW_{ij}とを、式（１０）に代入するだけで、複数の温度推定点ｊの温度Te_jを算出して、瞬時に流体系全体の温度分布を推定することができる。よって、リアルタイムの計算が不可欠な産業プロセスのオンラインモニタリングにも十分に活用でき、操業管理や制御機構に利用することが可能となる。また、本発明では、流体系の任意の位置における温度を推定することができるため、温度計測が困難な部位の温度をも取得することが可能となり、流体系において高精度な温度把握が可能となる。

【００７７】

一方、上記した温度推定結果を等値線図などで可視化する場合は、温度推定点ｊは注目している現象を再現できる空間分解で配置するとよい。例えば、溶融亜鉛めっき浴の温度分布をモニタリングする場合は、浴中ロールや鋼板などの流体内部の構造物形状が再現できるレベル以上の解像度が望ましい。ただし、本発明の温度推定方法によれば、空間の推定点間隔を荒くしても各点の温度推定精度は悪化しないので、必ずしも物理現象をすべて再現できる解像度は必要ではなく、必要に応じて温度推定点の数を増減させて調整してもかまわない。また、可視化は、同一温度の地点を曲線で結んだ等値線図として表すほか、等値線図に色彩を施したり、温度を色分けのみで示してもよい。

【００７８】

なお、モニタリング装置としては異なる２つの時刻ｔとｔ＋Δｔ（Δｔ＞０）における温度分布を用いて、上記手法でそれぞれ温度分布を算出し、時刻ｔ＋Δｔにおける温度推定値から時刻ｔにおける温度推定値を差し引いた値を計算して図示する方法も効果的である。この方法を用いると、時間の経過とともに温度が上昇しているところでは正の値となり、温度が下降しているところでは負の値となるため、温度変化の分布を捉えやすくなる。最適な時間幅Δｔは観測したい現象の時間スケールによって変わる。たとえば溶融金属めっきポットでは、様々な時間スケールの現象が起こっているので、１分程度から１時間程度まで複数の時間幅Δｔに対して温度変化の分布を取得すると良い。なお上記の温度モニタリングを行う場合は、熱供給および／または熱排出が非定常的に行われる流体系の温度を推定する式（９）および式（１０）の方法による温度推定値Te_jを用いることが好ましい。

【００７９】

（実施の形態１）

本発明の実施の形態１として、水槽における温度推定および温度分布の可視化について説明する。図９は、本発明の実施の形態１の適用対象となる水槽を概念的に示した側面図である。図１０は、図９の水槽の上面図である。

【００８０】

図９および図１０に示すように、水槽１００は、奥行方向１ｍ、幅方向１ｍ、深さ０．５ｍの直方体形状の容器１１０を有し、容器１１０中は水で満たされている。水槽１００の左側の両角にパイプ１０１、１０２が配置されており、水が注入されるようになっている。パイプ１０１からは１０℃の水、パイプ１０２からは５０℃の水が注入される。また、水槽１００の右手側中央にもパイプ１０３が配置されており、パイプ１０１、１０２から流入した水の総量と同じ量の水が流出するようになっている。

【００８１】

また、水槽１００には、水槽１００の幅方向の半分だけを区切った仕切り板１０４が配置されており、水槽１００の中央を通る垂直断面１０５に対し、０．２ｍだけパイプ１０１側に寄った配置になっている。温度計１０６（１０６－１、１０６－２、１０６－３、１０６－４、１０６－５、１０６－６）は、図９および図１０に×で示した位置（Ｐ－１１、Ｐ－１２、Ｐ－１３、Ｐ－１４、Ｐ－１５、Ｐ－１６）に配置される。温度計１０６の深さ方向の配置は、水槽１００のちょうど中央深さとなる位置とした。

【００８２】

図１１は、本発明の実施の形態１にかかる流体系の温度推定装置２００の構成例を模式的に示すブロック図である。以下、温度推定装置２００による図９に示した水槽１００内

の温度推定および温度分布の可視化を説明する。図１１に示すように、温度推定装置２００は、入力部２０１と、表示部２０２と、記憶部２０３と、制御部２０４とを備える。

【００８３】

入力部２０１は、水槽１００の温度推定に必要な情報等を入力する。入力部２０１は、キーボード、タッチパネルまたはマウス等を用いて実現される。操作者が入力部２０１を介して入力した情報は、制御部２０４に入力される。

【００８４】

表示部２０２は、後述する温度推定部２０５が推定した温度情報、および温度データ抽出部２０６が水槽１００の特定断面について抽出し、等値線図化した温度分布情報を画面表示する。表示部２０２は、ＣＲＴディスプレイ等の各種ディスプレイを用いて実現され、制御部２０４によって表示制御される各種情報を表示する。

【００８５】

記憶部２０３は、水槽１００について設定された温度実測点ｉおよび温度推定点ｊ毎に算出した重みW_{ij}をデータベースとして格納する。また、温度推定部２０５が推定し、作成した温度分布データも記憶し、格納する。記憶部２０３は、ＲＡＭまたはフラッシュメモリ等の各種ＩＣメモリ、あるいはハードディスクと、フロッピー（登録商標）ディスク、ＣＤ（Compact Disk）またはＤＶＤ（Digital Versatile Disk）等の光ディスク、あるいは光磁気ディスクに対してデータの読み取りまたは書き込みが可能なドライブとを用いて実現される。

【００８６】

制御部２０４は、温度推定装置２００の各構成部の駆動制御と各構成部に入出力される情報に対する入出力制御および情報処理とを行う。制御部２０４は、温度推定部２０５と、温度データ抽出部２０６とを備える。制御部２０４は、ＣＰＵ等を用いて実現される。

【００８７】

温度推定部２０５は、水槽１００に配設された温度計１０６により計測された温度実測点ｉの実測温度T_iと、記憶部２０３に記憶された温度実測点ｉおよび温度推定点ｊ毎に算出した重みW_{ij}とを、制御部２０４を介して取得し、取得した情報に基づき温度推定点ｊの温度Te_jを推定する。また、温度推定部２０５は、水槽１００全体に設定された温度推定点ｊの温度を推定するとともに、該推定温度に温度推定点ｊの位置情報を加えた温度データを作成し、該温度データにより温度計１０６により計測された温度実測点ｉの実測温度T_iを補間して温度分布データとする。制御部２０４は温度推定部２０５が作成した温度分布データを記憶部２０３に格納する。

【００８８】

温度データ抽出部２０６は、記憶部２０３が格納する温度分布データから、予め設定されるか、または操作者が入力部２０１を介して指定した水槽１００の任意の断面の推定温度データを抽出し、等値線図化する。

【００８９】

本発明の実施の形態１において、記憶部２０３に格納する重みW_{ij}算出用の伝達時間は数値流体シミュレーションを用いて算出した。数値流体シミュレーションは有限体積法を用い、乱流モデルとして標準ｋ－ε乱流モデルを利用した。上述した図６のステップＳ１０２における流れ場計算では、パイプ１０１上端から流量０．７６５Ｌ／ｓで水が流入し、パイプ１０２上端から流量１．５３１Ｌ／ｓで水が流入し、パイプ１０３下端では圧力一定で流出することとし、水槽１００の上面は滑り条件、側壁、底壁は壁の対数則を用いた壁境界条件として境界条件を与えて計算を行った。また、図６のステップＳ１０３～Ｓ１１２による伝達時間の算出は、水の初期温度２７℃、発熱量２，２００ｋＷ、閾値温度２８℃として計算した。温度推定点ｊは０．０４ｍ間隔で配置し、水槽内全域に配置した。

【００９０】

重み関数$W(\tau_{1ij}、\tau_{2ij})$は、標準偏差σ＝６０ｓ、最小伝達時間τ_{min}を用いたガウス分布とした。ただし、計算を簡単にするためτ_{min}＞１８０ｓでは重みが０

となるようにした。すなわち、重み関数W(τ_{1ij}、τ_{2ij})は、下式（１１）とした。

【数１１】

$$\begin{cases} W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = \exp\left(-\dfrac{\tau_{min}^{2}}{2\sigma^{2}}\right) & \tau_{min} \le 180s \quad (\sigma = 60s) \\ W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = 0 & \tau_{min} > 180s \end{cases} \quad \cdots式(11)$$

【００９１】

温度計１０６による水槽１００内の各位置（Ｐ－１１、Ｐ－１２、Ｐ－１３、Ｐ－１４、Ｐ－１５、Ｐ－１６）における実測温度を表１に示す。

【表１】

表1

温度実測点	P-11	P-12	P-13	P-14	P-15	P-16
実測温度[℃]	29.94	30.89	23.70	11.39	12.49	15.04

【００９２】

温度推定部２０５は、表１に示された温度実測データと、式（１１）で計算され記憶部２０３に格納された重みW_{ij}を用いて、水槽１００全体に設定した温度推定点ｊの温度Te_jを推定する。また、温度推定部２０５は、推定温度に温度推定点ｊの位置情報を加えた温度データを作成し、該温度データにより温度計１０６により計測された温度実測点ｉの実測温度T_iを補間して温度分布データとする。制御部２０４は該温度分布データを記憶部２０３に格納する。ここで、水槽１００の中央を通る水平断面における温度分布について、温度データ抽出部２０６が記憶部２０３の温度分布データから抽出し、等値線図化したものを図１２に示す。図１２は、本発明の実施の形態１の手法により推定した水槽１００の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である。

【００９３】

また、比較例として逆距離加重法を使って重み関数Wを算出し、本発明の実施の形態１と同様の手順で温度推定を行い、推定した温度から水槽１００の中央を通る水平断面における温度分布を抽出し、等値線図化したものを図１３に示す。図１３は、従来方法（逆距離加重法）を使用して推定した水槽１００の中央を通る水平断面における温度分布を示す図である。

【００９４】

なお、比較例としての逆距離加重法では、重みW_{ij}’として下式（１２）を使用した。

【数１２】

$$W_{ij}' = (l_{ij})^{-u} \quad \cdots式(12)$$

【００９５】

ここで、l_{ij}は温度実測点ｉと温度推定点ｊの直線距離であり、ｕは補間パラメータである。今回ｕ＝２を与えた。本実施の形態１の場合と同様に、表１に示した温度実測データと式（１２）で計算した重みW_{ij}’を用いて、水槽１００全体の温度を推定し、水槽１００の中央を通る水平断面における温度分布を抽出し、等値線図化した。

【００９６】

本発明の実施の形態１と比較例を比較すると、図１２および図１３に示すように、本実施の形態１では仕切り板１０４を境に温度分布が不連続となっており、仕切り板１０４によって整流された流れ場の影響を反映した温度分布を構築できている。一方、比較例では仕切り板１０４を乗り越えて温度が連続に補間されており、仕切り板１０４によって整流

された流れ場の影響を反映できていない。以上より、本実施の形態１は従来例である逆距離加重法よりも流れ場の影響を反映できることが確認できた。

【００９７】

また、水槽１００内の温度推定精度を定量的に検証するため、図１４に示すように、水槽１００内に温度計１０６（１０６－７、１０６－８、１０６－９）を追加して配設し、温度計１０６を追加設置した各位置（Ｐ－１７、Ｐ－１８、Ｐ－１９）において温度を計測するとともに、本実施の形態１および比較例により、位置Ｐ－１７、Ｐ－１８、Ｐ－１９の温度を推定した。図１４は、水槽１００内の温度計１０６の追加設置位置を示す図である。なお、追加温度計の水槽１００の深さ方向の配置は、水槽１００のちょうど中央深さとなる位置とした。

【００９８】

表２に、温度計１０６を追加設置した位置Ｐ－１７、Ｐ－１８、Ｐ－１９における実測温度、本実施の形態１による推定温度、および比較例による推定温度を示す。比較例に対し、本実施の形態１では、位置Ｐ－１７、Ｐ－１８、Ｐ－１９各点の温度が実測値に近い値となっており、本実施の形態１による温度推定精度が優れていることを確認できた。

【００９９】

【表２】

表2

実測点	P-17	P-18	P-19
実測温度[℃]	29.58	30.10	29.20
比較例による推定温度[℃]	20.83	20.93	20.23
実施の形態1による推定温度[℃]	28.52	27.82	26.80

【０１００】

（実施の形態１の変形例１）

本発明の実施の形態１の変形例１として、実施の形態１と同じ水槽で、流入水温が時間変化する場合の温度分布推定を行う。パイプ１０１からは常に１０℃の水が流入する。パイプ１０２からは一定流量の水が流入し、最初は水温が１０℃、途中から水温が５０℃になる。温度計１０６（１０６－１、１０６－２、１０６－３、１０６－４、１０６－５、１０６－６）は、実施の形態１と同じ位置（Ｐ－１１、Ｐ－１２、Ｐ－１３、Ｐ－１４、Ｐ－１５、Ｐ－１６、図９および図１０参照）に配置される。

【０１０１】

本変形例１において、下流側伝達時間τ_{1ij}、上流側伝達時間τ_{2ij}、重みW_{ij}を実施の形態１と同様に数値流体シミュレーションを用いて算出した。数値流体シミュレーションは有限体積法を用い、乱流モデルとして標準ｋ－ε乱流モデルを利用した。流れ場計算では、パイプ１０１上端から流量０．７６５Ｌ／ｓで水が流入し、パイプ１０２上端から流量１．５３１Ｌ／ｓで水が流入し、パイプ１０３下端では圧力一定で流出することとし、水槽の上面は滑り条件、側壁、底壁は壁の対数則を用いた壁境界条件として境界条件を与えて計算を行った。また、伝達時間の算出は、水の初期温度２７℃、発熱量２，２００ｋＷ、閾値温度２８℃として計算した。温度推定点ｊは０．０４ｍ間隔で配置し、水槽内全域に配置した。

【０１０２】

重み関数$W(\tau_{1ij}、\tau_{2ij})$は実施の形態１と同じく式（１１）の標準偏差σ＝６０ｓの最小伝達時間を用いたガウス分布とした。温度計による水槽内の各位置（Ｐ－１１、Ｐ－１２、Ｐ－１３、Ｐ－１４、Ｐ－１５、Ｐ－１６）において測定された温度の時間推移を図１５ａ～図１５ｆに示す。図１５ａ～図１５ｆは、水槽内の各位置（Ｐ－１１、Ｐ－１２、Ｐ－１３、Ｐ－１４、Ｐ－１５、Ｐ－１６）で測定された温度の時間推移を示

す図である。なお、図１５ａ～図１５ｆにおいて、時間０分は、パイプ１０２から流入する水温が０℃から５０℃に変化した時間である。

【０１０３】

水槽１００の中央を通る水平断面における温度分布について、上記Ｐ－１１～Ｐ－１６において測定された温度実測値T_i（ｔ）の時間推移データと式（９）と式（１０）を用いて、温度Te_jを推定した。温度推定時間ｔａとして、パイプ１０２の水温が５０℃に変わった時間から１分後、２分後、３分後、４分後、５分後、６分後の６つの時点を考え、それぞれの時間に対して等値線図化した。図１６ａ～図１６ｆは、図９の水槽の中央を通る水平断面における温度分布を示す図であり、パイプ１０２から流出する水温が５０℃に変化した時間から１分後（図１６ａ）、２分後（図１６ｂ）、３分後（図１６ｃ）、４分後（図１６ｄ）、５分後（図１６ｅ）、６分後（図１６ｆ）の温度の等値線図である。パイプ１０２の水温が１０℃から５０℃に変わると、パイプ１０２に近い位置から徐々に温度が上昇していく様子がうまく現れており、温度分布の時間推移が有る場合でも温度分布を推定することができた。

【０１０４】

（実施の形態２）

実施の形態２として、溶融亜鉛めっきポット内の温度推定および温度分布の可視化について説明する。図１７は、本発明の適用対象となる溶融亜鉛めっきポットを概念的に示す側面図である。

【０１０５】

図１７に示すように、溶融亜鉛めっきポット３００においてめっきポット３０１内の溶融亜鉛の容量は２５０（ｔ）であり、操業条件はライン速度１２０（ｍｐｍ）、板幅１，５００（ｍｍ）とした。溶融亜鉛めっきポット３００は、インゴット３０４を溶解し溶融亜鉛とする誘導加熱装置３０６を備える。めっきポット３０１は溶融亜鉛で満たされており、シンクロール３０２が設置されている。めっきポット３０１に進入する鋼板３０３はシンクロール３０２によって方向転換される。鋼板３０３への付着によって消費される亜鉛は、インゴット３０４の投入により補給される。ポット内８ヶ所に熱電対３０５（３０５－１、３０５－２、３０５－３、３０５－４、３０５－５、３０５－６、３０５－７、３０５－８）を設置した。

【０１０６】

熱電対３０５の設置位置を表３に示す。各熱電対３０５（３０５－１、３０５－２、３０５－３、３０５－４、３０５－５、３０５－６、３０５－７、３０５－８）は、図１７のめっきポット３０１の側壁面（紙面と平行となる壁、シンクロールから見て、紙面手前側に位置する）からの距離を表す。

【０１０７】

【表３】

表3

熱電対	305-1	305-2	305-3	305-4	305-5	305-6	305-7	305-8
側壁面からの距離[mm]	300	300	300	300	300	300	100	100

【０１０８】

図１８は、本発明の実施の形態２にかかる流体系の温度推定装置４００の構成例を模式的に示すブロック図である。以下、温度推定装置４００による図１７に示した溶融亜鉛めっきポット３００内の溶融亜鉛の温度推定および温度分布の可視化を説明する。本実施の形態２において、実施の形態１と同様に、流れ場および伝達時間τ_{ij}は数値流体シミュレーションを用いて算出した。数値流体シミュレーションは有限体積法を用い、乱流モデルとして標準ｋ－ε乱流モデルを利用した。伝達時間τ_{ij}は、めっきポット３０１内初期温度４８０（℃）、発熱量２，２００（ｋＷ）、閾値温度４８１（℃）として算出した

。温度推定点ｊは０．２（ｍ）間隔の格子状配置とし、溶融亜鉛浴内全域に配置した。

【０１０９】

重み関数Ｗ(τ_{1ij}、τ_{2ij})は、標準偏差σ＝６０（ｓ）、最小伝達時間τ_{min}を用いたガウス分布とした。ただし、計算を簡単にするためτ_{min}＞１８０（ｓ）では重みが０となるようにした。すなわち、重み関数Ｗは、下式（１３）とした。算出した重みW_{ij}は、図１８に示す記憶部４０３にデータベースとして格納される。または、伝達時間τ_{ij}を格納し、式（１３）により都度計算してもよい。

【数１３】

$$\begin{cases} W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = \exp\left(-\dfrac{\tau_{min}^{\,2}}{2\sigma^2}\right) & \tau_{min} \le 180s \quad (\sigma = 60s) \\ W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = 0 & \tau_{min} > 180s \end{cases} \qquad \cdots式(13)$$

【０１１０】

図１７に示す熱電対３０５で計測しためっきポット３０１内の溶融亜鉛の温度実測値を表４に示す。

【表４】

表4

熱電対	305−1	305−2	305−3	305−4	305−5	305−6	305−7	305−8
実測温度[℃]	479.55	478.75	473.30	478.20	478.65	479.45	477.60	470.15

【０１１１】

温度推定部４０５は、表４に示す溶融亜鉛の温度実測データと、式(１３)で計算し、記憶部４０３にデータベースとして格納した重みW_{ij}を用いて、めっきポット３０１全体に設定した温度推定点ｊの温度を算出する。また、温度推定部４０５は、推定温度に温度推定点ｊの位置情報を加えた温度データを作成し、該温度データにより熱電対３０５により計測された温度実測点ｉの実測温度T_iを補間して温度分布データとする。制御部４０４は該温度分布データを記憶部４０３に格納する。温度データ抽出部４０６は、記憶部４０３が格納する温度分布データから、予め設定されるか、または操作者が入力部４０１を介して指定しためっきポット３０１の任意の断面の推定温度データを抽出し、等値線図化する。あるいは、抽出した温度データから溶融亜鉛浴の平均温度を算出後、前記断面における平均温度からの差分値を算出し、該差分値について等値線図化してもよい。

【０１１２】

図１９に、めっきポット３０１側壁面から３００ｍｍの鉛直断面における溶融亜鉛浴の平均温度からの差分値の等値線図を示す。図１９によれば、本実施の形態２の手法による溶融亜鉛浴の温度分布結果は、溶融亜鉛中の流動の影響もよく反映しており、本実施の形態２は、溶融亜鉛の流動効果を考慮した温度分布を構築することができる。

【０１１３】

また、本実施の形態２では、あらかじめ伝達時間τ_{ij}または重み関数W_{ij}を作成しておくので、推定温度算出および可視化の際は温度実測値T_iから重み付平均計算を行うだけでよく、計算時間を１秒以内とすることができた。よってオンラインでの温度分布の可視化も可能である。

【０１１４】

さらに、図１９の可視化結果からも明らかなように、実施の形態２によれば、任意の位置に置ける温度を把握することができる。たとえば、鋼板３０３と接触する箇所における溶融亜鉛の温度も容易に把握できる。鋼板３０３と接触する箇所における溶融亜鉛温度が目標範囲から外れると、ドロスと呼ばれる合金微粒子が溶融亜鉛中で生成される。ドロスが生成されると鋼板表面に付着して表面欠陥となるため、鋼板３０３と接触する箇所にお

ける溶融亜鉛温度が目標範囲になるように溶融亜鉛の温度を制御し、ドロスの生成を抑制するように操業することが好ましい。また、シンクロール３０２と接触する箇所における溶融亜鉛の温度を所定の範囲内とすることで、シンクロール表面にドロスが生成して鋼板表面欠陥を引き起こす問題も防止できる。また、シンクロール３０２上部と鋼板３０３で囲われた領域における溶融亜鉛温度を所定の範囲内とすることでも、鋼板表面の欠陥を防止できる。

【０１１５】

実施の形態２にかかる温度推定装置４００は、図１８に示すように、めっきポット３０１内の所定の領域、たとえば、表面欠陥に影響を与える鋼板３０３の表面と溶融亜鉛が接触する箇所や、シンクロール３０２と溶融亜鉛が接触する箇所や、シンクロール３０２上部と鋼板３０３で囲われた領域における溶融亜鉛温度が所定の閾値内であるか否かを判定する温度判定部４０７と、溶融亜鉛めっきポット３００の誘導加熱装置３０６の出力を操作して溶融亜鉛温度を制御する温度制御部４０８とを備える。溶融亜鉛温度の閾値は予め温度判定部４０７に入力されるか、操作者により入力部４０１を介して入力され、温度判定部４０７は、温度データ抽出部４０６が抽出した、所定の領域における溶融亜鉛温度が閾値内であるか否かを判定する。温度判定部４０７が、所定の領域における溶融亜鉛温度が閾値範囲外と判定した場合、温度制御部４０８は、所定の領域における溶融亜鉛の温度が閾値範囲内となるよう誘導加熱装置３０６の出力を操作する。本実施の形態２によれば、温度制御部４０８による誘導加熱装置３０６を制御することにより、所定の領域における溶融亜鉛温度を制御することが可能となる。これにより、鋼板３０３の表面欠陥を防止できる。

【０１１６】

また、温度判定部４０７が、所定の領域における溶融亜鉛温度が閾値範囲外と判定した場合、温度制御部４０８により誘導加熱装置３０６の出力を操作するとともに、溶融亜鉛めっきポット３００へ進入する鋼板３０３の温度を制御して、所定の領域における溶融亜鉛温度を制御してもよい。溶融亜鉛めっきポット３００へ進入する鋼板３０３の温度は、溶融亜鉛めっきポット３００の前プロセスである焼鈍炉内の加熱・冷却設備の出力を適宜調整することで制御可能である。

【０１１７】

（実施の形態２の変形例１）

実施の形態２の変形例１として、溶融亜鉛めっきポット内の温度推定とアルミニウム濃度の推定を同時に行う推定装置が例示される。鋼板の表面欠陥には、溶融亜鉛温度に加えて、溶融亜鉛めっきポット内のアルミニウム濃度も影響するので、実施の形態２の手法で溶融亜鉛温度を推定するとともに、温度推定と同様の手法を用いて溶融亜鉛めっきポット内のアルミニウム濃度を推定することにより、鋼板の表面欠陥を効果的に防止することができる。

【０１１８】

溶融亜鉛めっきポット内のアルミニウム濃度の推定は、溶融亜鉛温度の推定と同様に、移流拡散によって流体が濃度実測点ｐから濃度推定点ｑへ移動するのに要する時間τ_{1pq}、および流体が濃度推定点ｑから濃度実測点ｐへ移動するのに要する時間τ_{2pq}を濃度推定の指標として用いる。そして２つの指標値(τ_{1pq},τ_{2pq})に対し、単調非増加関数となるような重み関数ｆ(τ_{1pq},τ_{2pq})を用い、濃度推定点ｑにおける濃度実測点ｐの重みをW(τ_{1pq},τ_{2pq})として算出し、各濃度実測値T_pと重みW(τ_{1pq},τ_{2pq})とを用いた重み付き平均によって濃度推定を行う。

【０１１９】

具体的には、濃度推定点ｑの推定濃度Ce_qと濃度実測点ｐの濃度C_pとの関係は、式（１４）にて表される。

【数１４】

$$Ce_q = \frac{\sum_p W(\tau_{1pq}, \tau_{2pq}) \cdot C_p}{\sum_p W(\tau_{1pq}, \tau_{2pq})} \quad \cdots式(14)$$

【０１２０】

τ_{1pq}は濃度実測点ｐから見て流れの下流側の濃度推定点ｑの方向へ流体が移動するのに要する時間なので、下流側伝達時間と呼び、同様に、τ_{2pq}は濃度実測点ｐから見て流れの上流側の濃度推定点ｑの方向から流体が移動するのに要する時間なので、上流側伝達時間と呼ぶ。また、以下、下流側伝達時間と上流側伝達時間の対(τ_{1pq}、τ_{2pq})を伝達時間と呼ぶ。伝達時間は、移流拡散によって流体が濃度実測点ｐから濃度推定点ｑへ移動するのに要する時間および濃度推定点ｑから濃度実測点ｐへ流体が移動するのに要する時間と対応する指標であれば何でも良く、定義方法は特に限定されない。

【０１２１】

流体力学の原理によると、流体系において流体がある２点間を移動する時間は、流体中の熱エネルギーや流体中に含まれる物質成分が２点間を移動する際にかかる時間と等価であることが知られている。よって、伝達時間は、流体の濃度や流体中に溶解している成分の濃度や温度を実測したり、あるいは計算することにより算出することができる。したがって、移流拡散によって物質成分が濃度実測点ｐから濃度推定点ｑへ移動するのに要する時間を下流側伝達時間τ_{1pq}と、物質成分が濃度推定点ｑから濃度実測点ｐへ移動するのに要する時間を上流側伝達時間τ_{2pq}と定義することもできる。

【０１２２】

ここで、図２０～図２４を参照して、流体系における濃度推定の指標となる下流側伝達時間τ_{1pq}、上流側伝達時間τ_{2pq}を物質成分の移動により算出する方法について説明する。図２０は、上部が開放された容器に流体が収容された流体系のモデルの一例を示す図である。図２１は、図２０の流体系における下流側伝達時間τ_{1pq}を説明する図である。図２２は、図２１における下流側伝達時間τ_{1pq}を算出するための濃度と時間の相関図である。図２３は、図２０の流体系における上流側伝達時間τ_{2pq}を説明する図である。図２４は、図２３における上流側伝達時間τ_{2pq}を算出するための濃度と時間の相関図である。

【０１２３】

図２０に示すように、流体系５１は、上部が開放された容器５２に流体５４を収容し、容器５２内部には、流体５４の流れを妨げる仕切り板５３が配置されている。容器５２内の左側には黒丸で示す濃度実測点ｐ、右側には白丸で示す濃度推定点ｑが配置される。容器５２内の流体５４は、破線で示すように、上部液面近辺は左から右に流れ、仕切り板５３で一旦下降し、その後上昇した後、右側壁面で再度上部から下部に下降し、底面近辺において右から左方向に流れを変え、再度左側壁面で下部から上部に上昇するように流れている。

【０１２４】

流体系５１において、黒丸で示す位置Ｐ－５１に配置する濃度実測点ｐから白丸で示す位置Ｐ－５２に配置する濃度推定点ｑへの物質成分の移動は、図２１の破線矢印で示す流体５４の流れとともに実線矢印のように移動する。物質成分が濃度実測点ｐから濃度推定点ｑへ移動するのに要する下流側伝達時間τ_{1pq}は、図２１に示すように、濃度実測点ｐである位置Ｐ－５１で物質成分を供給し、位置Ｐ－５１から流体５４の流れとともに移動する物質成分（図２１の実線矢印）を濃度推定点ｑである位置Ｐ－５２で計測することにより行うことができる。図２２に示すように、濃度推定点ｑにおいて初期濃度C_0から閾値濃度C_Cまで濃度が上昇するのに要した時間を下流側伝達時間τ_{1pq}として算出できる。

【０１２５】

同様に、流体系５１において、白丸で示す位置Ｐ－５２に配置する濃度推定点ｑから黒丸で示す位置Ｐ－５１に配置する濃度実測点ｐへの物質成分の移動は、図２３の破線矢印で示す流体５４の流れとともに実線矢印のように移動する。物質成分が濃度推定点ｑから濃度実測点ｐへ移動するのに要する上流側伝達時間τ_{2pq}は、図２３に示すように、濃度推定点ｑである位置Ｐ－５２で物質成分を供給し、位置Ｐ－５２から流体５４の流れとともに移動する物質成分（図２３の実線矢印）を濃度実測点ｐである位置Ｐ－５１で計測することにより行う。図２４に示すように、濃度実測点ｐにおいて初期濃度C_0から閾値濃度C_Cまで濃度が上昇するのに要した時間を上流側伝達時間τ_{2pq}として算出できる。

【０１２６】

あるいは、流体に熱供給し、温度計で温度上昇を測定することにより、伝達時間を算出することが出来る。流体系の濃度実測点ｐと濃度推定点ｑを設定し、まず濃度実測点ｐの位置で発熱させ、濃度推定点ｑの位置で温度計を用いて温度を計測する。発熱させてから流体温度がある閾値を超えるまでにかかる時間τ_{1pq}を計測する。さらに、濃度推定点ｑで発熱させ、濃度実測点ｐの位置で温度を計測し、閾値を越えるまでにかかる時間τ_{2pq}を計測することにより、伝達時間(τ_{1pq}、τ_{2pq})を実測することができる。

【０１２７】

なお、数値流体シミュレーションを用いて、上記実験と同様の数値シミュレーションを行うことによっても伝達時間を算出することができる。

【０１２８】

以下、数値流体シミュレーションを用いて伝達時間を算出する方法を例にして、温度推定点ｊにおける温度算出および濃度推定点ｑにおける濃度算出方法について説明する。まず、上述した式（２）における重み$W(\tau_{1ij}、\tau_{2ij})$および式（１４）における重み$W(\tau_{1pq}、\tau_{2pq})$の算出方法の具体的な手順を、図２５～図２７を参照して説明する。図２５は、数値流体シミュレーションを用いた重み$W(\tau_{1ij}、\tau_{2ij})$および重み$W(\tau_{1pq}、\tau_{2pq})$の算出手順を示すフローチャートである。図２６は、図２５の温度推定用の重みW_{ij}の算出手順を示すフローチャートの一例である。図２７は、図２５の濃度推定用の重みW_{pq}の算出手順を示すフローチャートの一例である。

【０１２９】

まず、数値流体シミュレーションを用い、流体系の代表的な境界条件を設定した後（ステップＳ４０１）、設定した境界条件に基づいて流体解析ソルバーにより流れ場を算出する（ステップＳ４０２）。

【０１３０】

次に、流体系の温度測定用の重みW_{ij}を算出し（ステップＳ４０３）、次に濃度測定用の重みW_{pq}を算出する（ステップＳ４０４）。温度測定用の重みW_{ij}の算出は、図２６のフローに示す様にして行う。図２６に示すステップＳ５０１～ステップＳ５１２は、図６に示すステップＳ１０３～ステップＳ１１４と同様である。

【０１３１】

濃度測定用の重みW_{pq}の算出は、図２７に示すように、流体系の濃度実測点ｐ（ｐ＝１～Ｋ）と濃度推定点ｑ（ｑ＝１～Ｌ）を設定し（ステップＳ６０１）、設定した濃度実測点ｐ（ｐ＝１～Ｋ）と濃度推定点ｑ（ｑ＝１～Ｌ）から重みW_{pq}を算出する濃度実測点ｐと濃度推定点ｑを指定する（ステップＳ６０２）。なお、濃度実測点の数Ｋは、少なくとも２以上設定するものとする。

【０１３２】

続いて、流体系全体に初期濃度C_0(ｍａｓｓ％)を与えるとともに（ステップＳ６０３）、濃度実測点ｐの位置に物質成分供給量Ｓ(ｋｇ／ｓ)を設定する（ステップＳ６０４）。この条件で濃度分布の非定常計算を行い（ステップＳ６０５）、濃度推定点ｑにおける濃度上昇挙動を計算する。濃度推定点ｑの濃度が閾値濃度C_C(ｍａｓｓ％)に到達したら、濃度がC_0からC_Cに到達するまでにかかった時間τ_{1pq}を記録する（ステップＳ６０６）。τ_{1pq}が下流側伝達時間となる。初期濃度C_0(ｍａｓｓ％)は、伝達時間に影

響を与えない値なので、どのような値を与えても良い。物質成分供給量Ｓ(ｋｇ/ｓ)および閾値濃度$Ｃ_{C}$(ｍａｓｓ%)に関しては、対象の流体系によって最適値が異なる。例えば、溶融亜鉛めっきポット、溶銑保持炉およびタンディッシュの一般的な場合、Ｓ＝５０（ｋｇ/ｓ）、$Ｃ_{C}＝Ｃ_{0}＋１$（ｍａｓｓ%）程度とすればよい。

【０１３３】

同様にして、流体系全体に初期濃度$Ｃ_{0}$を与えた後（ステップＳ６０７）、濃度推定点ｑの位置に物質成分供給量Ｓ(ｋｇ/ｓ)を与え（ステップＳ６０８）、濃度分布の非定常計算を行い（ステップＳ６０９）、濃度実測点ｐの位置の濃度が$Ｃ_{0}$から$Ｃ_{C}$に到達するまでにかかった時間$τ_{2pq}$を記録する（ステップＳ６１０）。$τ_{2pq}$が上流側伝達時間となる。

【０１３４】

以上のようにして、濃度実測点ｐと濃度推定点ｑとの間の伝達時間($τ_{1pq}$、$τ_{2pq}$)を得た後、後述するガウス分布関数などの重み関数Ｗ($τ_{1pq}$、$τ_{2pq}$)を用いて重み$Ｗ_{pq}$を算出する（ステップＳ６１１）。

【０１３５】

ここで、重み関数Ｗ($τ_{1pq}$、$τ_{2pq}$)は、任意の$τ_{2pq}$に対して$τ_{1pq}$の単調非増加関数となり、かつ任意の$τ_{1pq}$に対して$τ_{2pq}$の単調非増加関数となるような関数である。すなわち、下式（１５）となる関数である。

【数１５】

$$\frac{\partial W(\tau_{1pq},\tau_{2pq})}{\partial \tau_{1pq}} \le 0,\ \frac{\partial W(\tau_{1pq},\tau_{2pq})}{\partial \tau_{2pq}} \le 0 \qquad \cdots式(15)$$

【０１３６】

このＷ($τ_{1pq}$、$τ_{2pq}$)は流体系の空間スケールや流速スケール、濃度実測点配置間隔などによって最適な関数形が変わってくるが、比較的幅広い対象に利用できる重み関数Ｗとしては、下式（１６）に示す最小伝達時間を用いたガウス分布関数を用いるのが最も望ましい。

【数１６】

$$W(\tau_{1pq},\tau_{2pq}) = \exp\left(-\frac{\tau_{min}^{\ 2}}{2\sigma^2}\right) \qquad \cdots式(16)$$

【０１３７】

式（１６）における$τ_{min}$は最小伝達時間であり、($τ_{1pq}$、$τ_{2pq}$)のうち小さいほうの値として定義される。σはガウス分布の標準偏差であり、σを大きくして推定・補間すると空間的に平滑化した濃度分布となり、σを小さくして推定・補間すると急峻な濃度分布となる。対象となる流体系によってσの最適値は異なるが、一般的な溶融亜鉛めっきポットの場合はσ＝６０ｓｅｃ程度を用いると良い。

【０１３８】

また、濃度実測点ｐの近傍に物質成分供給源や物質成分排出源があり、かつ物質成分供給源や物質成分排出源が濃度実測点ｐから見て流れの上流側にある場合には、重み関数Ｗは、式（１６）の代わりに下流側伝達時間を用いたガウス分布関数（下式（１７））を用いる。

【数１７】

$$W(\tau_{1pq},\tau_{2pq}) = \exp\left(-\frac{\tau_{1pq}^{\ 2}}{2\sigma^2}\right) \qquad \cdots式(17)$$

【０１３９】

同様に、濃度実測点ｐの近傍に物質成分供給源や物質成分排出源があり、かつ物質成分

供給源や物質成分排出源が濃度実測点ｐから見て流れの下流側にある場合には、重み関数Ｗは、式（１６）の代わりに上流側伝達時間を用いたガウス分布関数（下式（１８））を用いる。

【数１８】

$$W(\tau_{1pq},\tau_{2pq})=\exp\left(-\frac{\tau_{2pq}^{2}}{2\sigma^{2}}\right) \qquad \cdots式(18)$$

【０１４０】

上述のようにして、流体系全体に設定した濃度推定点ｑ（ｑ＝１～Ｌ）について各濃度実測点ｐ（ｐ＝１～Ｋ）との間の重みＷ$_{pq}$を算出する（ステップＳ６１２）。算出した重みＷ$_{ij}$および重みＷ$_{pq}$はデータベースとして格納する（ステップＳ４０５）。

【０１４１】

以上のように、重みＷ$_{ij}$および重みＷ$_{pq}$を求め、重みＷ$_{ij}$を用いて任意の温度推定点ｊにおける温度を算出するとともに、重みＷ$_{pq}$を用いて任意の濃度推定点ｑにおける濃度を算出する。温度推定点ｊにおける温度推定および濃度推定点ｑにおける濃度推定処理を、図２８を使用して説明する。図２８は、図２５の処理により算出した重みＷ$_{ij}$および重みＷ$_{pq}$を用いた温度推定および濃度推定処理にかかるフローチャートである。

【０１４２】

図２８に示すように、設定した温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）において、温度計測手段により温度を測定し、温度実測値Ｔ$_{i}$（ｉ＝１～Ｎ）を取得し（ステップＳ７０１）、温度を推定する温度推定点ｊを指定し（ステップＳ７０２）、指定した温度推定点ｊに対する温度実測点ｉ（ｉ＝１～Ｎ）毎の重みＷ$_{ij}$（ｉ＝１～Ｎ）をデータベースから取得する（ステップＳ７０３）。ステップＳ７０１で取得した温度実測値Ｔ$_{i}$（ｐ＝１～Ｎ）とステップＳ７０３において取得した重みＷ$_{ij}$（ｉ＝１～Ｎ）とを、下記式（１９）に当てはめて重み付平均処理を行い、温度推定点ｊに対する推定温度Ｔｅ$_{j}$を算出する（ステップＳ７０４）。すべての温度推定点ｊの温度推定が終了するまで推定温度Ｔｅ$_{j}$を算出する（ステップＳ７０５）。

【数１９】

$$Te_{j}=\frac{\sum_{i} W_{ij}\cdot T_{i}}{\sum_{i} W_{ij}} \qquad \cdots式(19)$$

【０１４３】

温度推定処理の後に、設定した濃度実測点ｐ（ｉ＝１～Ｋ）において、濃度計測手段により濃度を測定し、濃度実測値Ｃ$_{p}$（ｐ＝１～Ｋ）を取得し（ステップＳ７０６）、濃度を推定する濃度推定点ｑを指定し（ステップＳ７０７）、指定した濃度推定点ｑに対する濃度実測点ｐ（ｐ＝１～Ｋ）毎の重みＷ$_{pq}$（ｐ＝１～Ｋ）をデータベースから取得する（ステップＳ７０８）。ステップＳ７０６で取得した濃度実測値Ｃ$_{p}$（ｐ＝１～Ｋ）とステップＳ７０８において取得した重みＷ$_{pq}$（ｐ＝１～Ｋ）とを、下記式（２０）に当てはめて重み付平均処理を行い、濃度推定点ｑに対する推定濃度Ｃｅ$_{q}$を算出する（ステップＳ７０９）。すべての濃度推定点ｑの温度推定が終了するまで推定温度Ｃｅ$_{q}$を算出する（ステップＳ７１０）。

【数２０】

$$Ce_{q}=\frac{\sum_{q} W_{pq}\cdot C_{p}}{\sum_{q} W_{pq}} \qquad \cdots式(20)$$

【０１４４】
上記の手法により、溶融亜鉛めっきポットの溶融亜鉛の温度を推定し、かつ溶融亜鉛内のアルミニウム濃度を推定する実施の形態２の変形例１について説明する。図２９は、本発明の適用対象となる溶融亜鉛めっきポットを概念的に示した側面図である。図３０は、温度濃度推定装置４００Ａの構成例を模式的に示すブロック図である。以下、温度推定装置４００Ａによる図２９の溶融亜鉛めっきポット３００Ａ内の溶融亜鉛の温度推定および溶融亜鉛中のアルミニウム濃度推定、ならびに温度分布および濃度分布の可視化を説明する。

【０１４５】
本変形例１では、実施の形態２と同様に、めっきポット３０１内の溶融亜鉛の容量は２５０（ｔ）であり、操業条件はライン速度１３０（ｍｐｍ）、板幅１，５００（ｍｍ）とし、溶融亜鉛めっきポット３００Ａは、インゴット３０４を溶解し溶融亜鉛とする誘導加熱装置３０６を備える。鋼板３０３への付着によって消費される亜鉛およびアルミニウムは、インゴット３０４の投入により補給される。溶融亜鉛めっきポット３００Ａ内に収容される溶融亜鉛中のアルミニウムの濃度分布を推定するために、めっきポット３０１内８ヶ所のサンプル採取位置（Ｐ－２１、Ｐ－２２、Ｐ－２３、Ｐ－２４、Ｐ－２５、Ｐ－２６、Ｐ－２７、Ｐ－２８）でサンプル採取を行うとともに、前記サンプル採取位置（Ｐ－２１、Ｐ－２２、Ｐ－２３、Ｐ－２４、Ｐ－２５、Ｐ－２６、Ｐ－２７、Ｐ－２８）には、熱電対３０５（３０５－１、３０５－２、３０５－３、３０５－４、３０５－５、３０５－６、３０５－７、３０５－８）をそれぞれ設置した。

【０１４６】
サンプル採取位置を表５に示す。サンプル採取位置（Ｐ－２１、Ｐ－２２、Ｐ－２３、Ｐ－２４、Ｐ－２５、Ｐ－２６、Ｐ－２７、Ｐ－２８）は、図２９のシンクロール３０２軸中央をとおる鉛直断面からの距離（手前方向）を表す。熱電対３０５の設置位置は、実施の形態２と同様である（上記表３参照）。

【０１４７】
【表５】

表5

サンプル採取位置	P-21	P-22	P-23	P-24	P-25	P-26	P-27	P-28
シンクロール軸中央からの距離[mm]	1500	1500	1500	1500	1700	1700	1700	1700

【０１４８】
本変形例１において、流れ場ならびに伝達時間τ_{ij}、伝達時間τ_{pq}は、実施の形態１および２と同様に数値流体シミュレーションを用いて算出した。数値流体シミュレーションは有限体積法を用い、乱流モデルとして標準ｋ－ε乱流モデルを利用した。伝達時間τ_{ij}は、めっきポット３０１内初期温度４８０（℃）、発熱量２，２００（ｋＷ）、閾値温度４８１（℃）として算出し、伝達時間τ_{pq}は、めっきポット３０１内のアルミニウム初期濃度C_0＝０ｍａｓｓ％、アルミニウム投入速度Ｓ＝４４ｋｇ／ｓ、閾値濃度C_c＝１ｍａｓｓ％として算出した。温度推定点ｊおよび濃度推定点ｑは、０．２（ｍ）間隔の格子状配置（ｊ＝ｑ）とし、溶融亜鉛浴内全域に配置した。

【０１４９】
重み関数W(τ_{1ij}、τ_{2ij})および重み関数W(τ_{1pq}、τ_{2pq})は、いずれも標準偏差σ＝６０（ｓ）の最小伝達時間τ_{min}を用いたガウス分布とした。ただし、計算を簡単にするためτ_{min}＞１８０（ｓ）では重みが０となるようにした。すなわち、重み関数Wは、下式（２１）とした。算出した重みW_{ij}および重みW_{pq}は、図３０に示す記憶部４０３にデータベースとして格納される。または、伝達時間τ_{ij}および伝達時間τ_{pq}を格納し、式（２１）により都度計算してもよい。

【数２１】

$$\begin{cases} W = \exp\left(-\dfrac{\tau_{min}^{\ 2}}{2\sigma^2}\right) & \tau_{min} \leq 180s \qquad (\sigma = 60s) \\ W = 0 & \tau_{min} > 180s \end{cases} \qquad \cdots式(21)$$

【０１５０】

図２９に示すサンプル採取位置で採取したサンプルについて、オフラインで高周波誘導結合プラズマ（ＩＣＰ）発光分光分析法などにより分析しためっきポット３０１内に収容される溶融亜鉛中のアルミニウムの濃度実測値を表６に示す。図２９に示すサンプル採取位置に設置した熱電対３０５で計測しためっきポット３０１内の溶融亜鉛の温度実測値は、実施の形態２と同様である（上記表４参照）。

【表６】

サンプル採取位置	P-21	P-22	P-23	P-24	P-25	P-26	P-27	P-28
実測濃度[mass%]	0.1717	0.1694	0.1664	0.1710	0.1746	0.1722	0.1720	0.1761

【０１５１】

オフラインで分析した溶融亜鉛浴のアルミニウム濃度は、操作者により入力部４０１を介し入力される。温度推定部４０５は、表４に示す温度実測データと、（２１）式で計算し、記憶部４０３にデータベースとして格納した重みW_{ij}とを用いて、めっきポット３０１全体に設定した温度推定点ｊの溶融亜鉛濃度を算出する。濃度推定部４０９は、表６に示すアルミニウムの濃度実測データと、（２１）式で計算し、記憶部４０３にデータベースとして格納した重みW_{pq}とを用いて、めっきポット３０１全体に設定した濃度推定点ｑのアルミニウム濃度を算出する。

【０１５２】

濃度推定部４０９は、推定濃度に濃度推定点ｑの位置情報を加えた濃度データを作成し、該濃度データによりサンプル採取位置（濃度実測点ｐ）で採取され、分析された実測濃度C_pを補間して濃度分布データとする。制御部４０４Ａは該濃度分布データを記憶部４０３に格納する。濃度データ抽出部４１０は、記憶部４０３が格納する濃度分布データから、予め設定されるか、または操作者が入力部４０１を介して指定しためっきポット３０１の任意の断面の溶融亜鉛中のアルミニウム濃度分布データを抽出し、等値線図化する。あるいは、抽出した濃度データから溶融亜鉛浴のアルミニウム平均濃度を算出後、前記断面における平均濃度からの差分値を算出し、該差分値について等値線図化してもよい。

【０１５３】

温度推定部４０５は、表４に示す溶融亜鉛の温度実測データと、式(２１)で計算し、記憶部４０３にデータベースとして格納した重みW_{ij}を用いて、めっきポット３０１全体に設定した温度推定点ｊの温度を算出する。また、温度推定部４０５は、推定温度に温度推定点ｊの位置情報を加えた温度データを作成し、該温度データにより熱電対３０５により計測された温度実測点ｉの実測温度T_iを補間して温度分布データとする。制御部４０４は該温度分布データを記憶部４０３に格納する。温度データ抽出部４０６は、記憶部４０３が格納する温度分布データから、予め設定されるか、または操作者が入力部４０１を介して指定しためっきポット３０１の任意の断面の推定温度データを抽出し、等値線図化する。

【０１５４】

図３１に、めっきポット３０１のシンクロール軸中央から手前方向に１．５ｍｍの鉛直断面における溶融亜鉛浴のアルミニウム平均濃度からの差分値の等値線図を示す（めっきポット３０１側壁面から３００ｍｍの鉛直断面における溶融亜鉛浴の平均温度からの差分

値の等値線図は図１９を参照）。図３１および図１９によれば、本変形例１の手法による溶融亜鉛浴のアルミニウム濃度分布および溶融亜鉛の温度分布結果は、溶融亜鉛の流動の影響をよく反映しており、本変形例１は、溶融亜鉛の流動効果を考慮した溶融亜鉛温度およびアルミニウム濃度分布を構築することができる。

【０１５５】

また、本変形例１において、図３０に示すように、制御部４０４Ａは、温度推定部４０５と、温度データ抽出部４０６と、濃度推定部４０９と、濃度データ抽出部４１０とに加え、温度判定部４０７と、温度制御部４０８と、濃度判定部４１１とを備える。温度判定部４０７は、所定の領域、たとえば表面欠陥に影響を与える鋼板３０３の表面と溶融亜鉛が接触する箇所や、シンクロール３０２と溶融亜鉛が接触する箇所や、シンクロール３０２上部と鋼板３０３で囲われた領域における溶融亜鉛温度が所定の閾値内であるか否かを判定する。溶融亜鉛温度の閾値は予め温度判定部４０７に入力されるか、操作者により入力部４０１を介して入力され、温度判定部４０７は、温度データ抽出部４０６が抽出した、所定の領域における溶融亜鉛温度が閾値内であるか否かを判定する。温度判定部４０７が、所定の領域における溶融亜鉛温度が閾値範囲外と判定した場合、温度制御部４０８は、溶融亜鉛の温度が閾値範囲内となるよう誘導加熱装置３０６の出力を操作する。

【０１５６】

濃度判定部４１１は、めっきポット３０１内の所定の領域、たとえば表面欠陥に影響を与える鋼板３０３の表面と溶融亜鉛が接触する箇所や、シンクロール３０２と溶融亜鉛が接触する箇所や、シンクロール３０２上部と鋼板３０３で囲われた領域における溶融亜鉛中のアルミニウム濃度が所定の閾値内であるか否かを判定する。アルミニウム濃度の閾値は予め濃度判定部４１１に入力されるか、操作者により入力部４０１を介して入力され、濃度判定部４１１は、濃度データ抽出部４１０が抽出した所定の領域における溶融亜鉛中のアルミニウムの濃度が、溶融亜鉛浴のアルミニウムの目標濃度として設定された閾値内であるか否かを判定する。濃度判定部４１１が、抽出した濃度が閾値範囲外と判定した場合、表示部４０２は、溶融亜鉛浴のアルミニウムの濃度が閾値外である旨を表示して操作者に警告する。

【０１５７】

本変形例１によれば、前記警告に基づき、操作者がアルミニウム供給量を増加または低減させることにより、めっきポット３０１内のアルミニウム濃度が表面欠陥に影響を与えやすい領域におけるアルミニウム濃度の制御が可能となるとともに、誘導加熱装置３０６を操作することにより溶融亜鉛温度が表面欠陥に影響を与えやすい領域における溶融亜鉛温度を制御することが可能となる。これにより、鋼板３０３の表面欠陥を防止できる。

【０１５８】

さらに、本変形例１では、めっきポット３０１の任意の断面における溶融亜鉛温度および溶融亜鉛浴のアルミニウム濃度を可視化することができるため、溶融亜鉛温度分布およびアルミニウム濃度分布を視覚的に捕らえることができる。さらにまた、めっきポット３０１の任意の位置における溶融亜鉛浴のアルミニウム濃度を推定することができるため、サンプリングが困難な鋼板近傍やシンクロール近傍のアルミニウム濃度についても取得することが可能となる。以上の効果に加え、予め伝達時間をデータとして格納しておくことにより、溶融亜鉛温度およびアルミニウムの実測濃度を入力後、極めて短時間でめっきポット３０１内に収容される溶融亜鉛温度の温度分布および溶融亜鉛中のアルミニウムの濃度分布が予測可能となる。したがって、将来的にアルミニウム濃度などの添加金属濃度をオンラインで測定される技術が確立されれば、溶融亜鉛浴の各種添加金属濃度をオンラインで可視化し、操業管理に活用できる利点が見込まれる。

【０１５９】

なお、実施の形態２の変形例１では、溶融亜鉛めっきポットの溶融亜鉛の温度を式（１９）により、溶融亜鉛中のアルミニウム濃度を式（２０）により推定しているが、溶融亜鉛の温度および溶融亜鉛中のアルミニウム濃度が非定常である場合は、実施の形態１の変形例１のように、温度推定時間および濃度推定時間を指定して、温度および濃度の推定に

使用する抽出時間を導入し、該抽出時間の実測温度Ｔｉおよび実測濃度Ｃｉを使用して温度および濃度推定を行えば、より精度よく推定を行うことができる。

【０１６０】

（実施の形態３）

実施の形態３として、溶銑保持炉内の温度分布の補間および温度分布の可視化について説明する。図３２は、本発明の適用対象となる溶銑保持炉５００の斜視図である。図３３は、図３２の溶銑保持炉の一部側面図である。

【０１６１】

図３２に示すように、溶銑保持炉５００は、溶銑を収容する保持炉５０１と、原料を投入する原料投入口５０２と、溶銑を加熱する誘導加熱装置５０４を備える。また、保持炉５０１に収容される溶銑の液面５０３を点線で示す。溶銑保持炉５００内の温度分布の推定および可視化のために、図３３に示すように、保持炉５０１内の１０ケ所に白金系熱電対５０５（５０５－１、５０５－２、５０５－３、５０５－４、５０５－５、５０５－６、５０５－７、５０５－８、５０５－９、５０５－１０）を設置して温度を計測した。

【０１６２】

溶銑保持炉５００は、幅が５ｍ、高さ５ｍ、長さ１０ｍの直方体形状であり、溶銑保持炉５００下部に４基の誘導加熱装置５０４が設けられている。溶銑保持炉５００には溶銑１，０００（ｔ）を投入し、上部の原料投入口５０２からスクラップを１５ｔ投入した。溶銑保持炉５００は半分ほど溶銑で満たされており、スクラップの潜熱および湯面・壁面からの冷却分の熱量を誘導加熱装置５０４で補償する仕様となっている。熱電対５０５は、長辺が含まれる両側の壁面から１．２５ｍの位置、すなわち溶銑保持炉幅に対して１／４の距離となる位置に配置しており、両側壁沿いにそれぞれ５箇所ずつ配置している。熱電対５０５の配置は図１８に示すとおりであり、図３３は、溶銑保持炉５００のうち溶銑で満たされている部分のみを示しており、５０５－１～５０５－５の熱電対が手前側、５０５－６～１０が奥側に配置されている。

【０１６３】

本実施の形態３において、流れ場および伝達時間τ_{ij}は数値流体シミュレーションを用いて算出した。流体シミュレーションは有限体積法を用い、乱流モデルとして標準ｋ－εモデルを利用した。また、境界条件として４基の誘導加熱装置５０４を２ＭＷで加熱するようにし、熱バランスが取れるように浴面の冷却条件を与えた。また、熱対流を考慮するためブシネスク近似を用いて溶銑の浮力を考慮した。

【０１６４】

上記流体シミュレーションで求めた流れ場を使い、前に例で示した発熱試験による伝達時間算出法により、初期温度１３５０（℃）、発熱量２，２００（ｋＷ）、閾値温度１３５１（℃）、すなわちΔＴ＝１（Ｋ）として伝達時間τ_{ij}を算出した。温度推定点ｊは１（ｍ）ごとの格子状配置とし、保持炉５０１内全体に配置した。

【０１６５】

重み関数Ｗ(τ_{1ij}、τ_{2ij})は、標準偏差σ＝６０（ｓ）、最小伝達時間τ_{min}を用いたガウス分布とした。ただし、計算を簡単にするためτ_{min}＞１８０（ｓ）では重みが０となるようにした。すなわち、重み関数Ｗ(τ_{1ij}、τ_{2ij})は、下式（２２）とした。算出した重みW_{ij}は、図３４に示す記憶部６０３にデータベースとして格納される。または、伝達時間τ_{ij}を格納し、式（２２）により都度計算してもよい。図３４は、本発明の実施の形態３にかかる流体系の温度推定装置６００の構成例を模式的に示すブロック図である。以下、温度推定装置６００による図３２に示す溶銑保持炉５００内の溶銑の温度推定および温度分布の可視化を説明する。

【数２２】

$$\begin{cases} W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = \exp\left(-\dfrac{\tau_{min}^{\ 2}}{2\sigma^2}\right) & \tau_{min} \le 180s \qquad (\sigma = 60s) \\ W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = 0 & \tau_{min} > 180s \end{cases} \qquad \cdots式(22)$$

【０１６６】

図３３に示す各熱電対５０５で計測した保持炉５０１内の溶銑の実測温度を表７に示す。

【表７】

表7

熱電対	505-1	505-2	505-3	505-4	505-5	505-6	505-7	505-8	505-9	505-10
実測温度[℃]	1347.9	1346.2	1352.2	1353.5	1353.5	1349.0	1346.7	1352.6	1354.7	1354.6

【０１６７】

温度推定部６０５は、表７に示す溶銑の温度実測データと、式（２２）で計算し、記憶部６０３にデータベースとして格納した重みW_{ij}を用いて、溶銑保持炉５００全体に設定した温度推定点ｊの温度を算出する。また、温度推定部６０５は、推定温度に温度推定点ｊの位置情報を加えた温度データを作成し、該温度データにより白金系熱電対５０５により計測された温度実測点ｉの実測温度T_iを補間して温度分布データとする。制御部６０４は該温度分布データを記憶部６０３に格納する。温度データ抽出部６０６は、記憶部６０３が格納する温度分布データから、予め設定されるか、または操作者が入力部６０１を介して指定した溶銑保持炉５００の任意の断面の推定温度データを抽出し、等値線図化する。あるいは、抽出した温度データから溶銑の平均温度を算出後、前記断面における平均温度からの差分値を算出し、該差分値について等値線図化してもよい。

【０１６８】

図３５に、保持炉５０１の長さ方向の側壁面から１．２５ｍとなる鉛直断面（熱電対を配置した断面）における溶銑の平均温度からの差分値の等値線図を示す。図３５によれば、本実施の形態３の手法による溶銑保持炉の温度分布結果は、保持炉５０１内の溶銑流動の影響、およびスクラップ投入による温度低下の様子もよく反映しており、本実施の形態３は、流動効果を考慮した温度分布を構築できることを確認できる。

【０１６９】

また本実施の形態３では、あらかじめ伝達時間τ_{ij}または重み関数W_{ij}を作成しておくので、推定温度算出および可視化の際は温度実測値から重み付平均計算を行うだけでよく、計算時間を１秒以内とすることができた。よってオンラインでの温度分布の可視化も可能となる。

【０１７０】

溶銑保持炉５００では壁面が耐火物で覆われており、耐火物は常に高温の溶銑と接触している。このとき耐火物と接触している溶銑温度が急激に変化すると耐火物に大きな熱応力が発生し、耐火物損傷の問題が起こる。よって壁面と接触する箇所における溶銑温度が所定の閾値内となるように溶銑温度を制御することが好ましい。

【０１７１】

実施の形態３にかかる温度推定装置６００は、図３４に示すように、所定の領域、すなわち溶銑保持炉５００の内壁面と接触する箇所における溶銑温度が所定の閾値内であるか否かを判定する温度判定部６０７と、溶銑保持炉５００の誘導加熱装置５０４の出力を操作して溶銑温度を制御する温度制御部６０８とを備える。溶銑温度の閾値は予め温度判定部６０７に入力されるか、操作者により入力部６０１を介して入力され、温度判定部６０

７は、温度データ抽出部６０６が抽出した所定の領域における溶銑の温度が、溶銑保持炉５００内の溶銑温度の目標温度として設定された閾値内であるか否かを判定し、温度判定部６０７が抽出した温度が閾値範囲外と判定した場合、温度制御部６０８は、溶銑保持炉５００内の溶銑の所定の領域における温度が閾値範囲内となるよう溶銑保持炉５００の誘導加熱装置５０４の出力を操作する。本実施の形態３によれば、温度制御部６０８による誘導加熱装置５０４の制御により、溶銑保持炉５００の壁面を覆う耐火物損傷を防止するように溶銑温度を制御することが可能となる。

【０１７２】

（実施の形態４）

実施の形態４として、タンディッシュ内の温度推定および温度分布の可視化について説明する。図３６は、本発明の適用対象となるタンディッシュの斜視図である。図３７は、図３６のタンディッシュの右側面図の一部である。

【０１７３】

図３６に示すように、タンディッシュ７００は、溶鋼７０２を収容する容器７０１と、取鍋から溶鋼７０２を注入するノズル７０３と、２ケ所の鋳型への流出孔７０４と、溶鋼７０２を加熱して温度を制御するプラズマ加熱装置７０７とを備える。また、容器７０１に収容される溶鋼の液面７０６を点線で示す。タンディッシュ７００内の温度分布の補間および可視化のために、図３７に示すように、容器７０１内の右側面５ケ所に熱電対７０５（７０５－１～７０５－５）を設置して温度を計測した。

【０１７４】

タンディッシュ７００は、図３６に示すように、横方向長さが８ｍ、奥行きが１ｍ、高さ１ｍの直方体形状であり、タンディッシュ７００の中央上部に取鍋からの溶鋼７０２を注入するノズル７０３、長さ方向の両端に鋳型への流出孔７０４が設けられている２ストランド仕様である。

【０１７５】

タンディッシュ７００では溶鋼７０２上部の浴面や壁面を通して溶鋼が冷却されるため、取鍋から注入された溶鋼７０２は鋳型に向かって流れるに従い、温度が低下していく。熱電対７０５は、長辺が含まれる両側の壁面からちょうど中央の位置の鉛直面上に配置しており、図３７に示すように、右側面側に５ケ所配置している。実施の形態４では、タンディッシュ７００の右側部分だけに注目し、右側の５点の実測データを用いることとした。

【０１７６】

本実施の形態４において、流れ場および伝達時間τ_{ij}は、数値流体シミュレーションを用いて算出した。流体シミュレーションは有限体積法を用い、乱流モデルとして標準ｋ－ε乱流モデルを利用した。また、タンディッシュ７００の対称性を利用し、右半分のみを取り出して溶鋼の温度を推定する。

【０１７７】

伝達時間τ_{ij}の算出は、初期温度１５５０（℃）、発熱量２，２００（ｋＷ）、閾値温度１５５１（℃）、すなわちΔＴ＝１（Ｋ）として計算した。温度推定点ｊは０．２（ｍ）ごとの格子状配置とし、タンディッシュ７００内全域に配置した。

【０１７８】

重み関数$W(\tau_{1ij}、\tau_{2ij})$は、標準偏差σ＝６０（ｓ）、最小伝達時間τ_{min}を用いたガウス分布とした。ただし、計算を簡単にするためτ_{min}＞１８０（ｓ）では重みが０となるようにした。すなわち、重み関数$W(\tau_{1ij}、\tau_{2ij})$は、下式（２３）とした。算出した重みW_{ij}は、図３８に示す記憶部８０３にデータベースとして格納される。または、伝達時間τ_{ij}を格納し、式（２３）により都度計算してもよい。図３８は、本発明の実施の形態４にかかる流体系の温度推定装置８００の構成例を模式的に示すブロック図である。以下、温度推定装置８００による図３７のタンディッシュ７００内の溶鋼の温度推定および温度分布の可視化を説明する。

【数２３】

$$\begin{cases} W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = \exp\left(-\dfrac{\tau_{min}^{\ 2}}{2\sigma^2}\right) & \tau_{min} \le 180s \qquad (\sigma = 60s) \\ W(\tau_{1ij},\tau_{2ij}) = 0 & \tau_{min} > 180s \end{cases} \qquad \cdots式(23)$$

【０１７９】

図３７に示す各熱電対７０５で計測した容器７０１内の溶鋼の実測温度を表８に示す。

【表８】

表8

熱電対	705-1	705-2	705-3	705-4	705-5
実測温度[℃]	1542.9	1546.4	1547.5	1549.2	1551.9

【０１８０】

温度推定部８０５は、表８に示す溶鋼の温度実測データと、式（２３）で計算し、記憶部８０３にデータベースとして格納した重みW_{ij}を用いて、タンディッシュ７００全体に設定した温度推定点ｊの温度を算出する。また、温度推定部８０５は、推定温度に温度推定点ｊの位置情報を加えた温度データを作成し、該温度データにより熱電対７０５により計測された温度実測点ｉの実測温度T_iを補間して温度分布データとする。温度分布データを作成し、制御部８０４は該温度分布データを記憶部８０３に格納する。温度データ抽出部８０６は、記憶部８０３が格納する温度分布データから、予め設定されるか、または操作者が入力部８０１を介して指定したタンディッシュ７００の任意の断面の推定温度データを抽出し、等値線図化する。あるいは、抽出した温度データから溶鋼の平均温度を算出後、前記断面における平均温度からの差分値を算出し、該差分値について等値線図化してもよい。

【０１８１】

図３９に、タンディッシュ７００の奥行き方向中央となる鉛直断面（熱電対を配置した断面）の右半分における溶鋼の平均温度からの差分値の等値線図を示す。図３９によれば、本実施の形態４の手法によるタンディッシュ７００の温度分布結果は、タンディッシュ７００内の溶鋼流動の影響をよく反映しており、本実施の形態４は、流動効果を考慮した温度分布を構築できることを確認できる。

【０１８２】

また、本実施の形態４では、あらかじめ伝達時間τ_{ij}または重みW_{ij}を作成しておくので、温度推定・可視化の際は温度実測値から重み付平均計算を行うだけでよく、計算時間を１秒以内とすることができ、オンラインでの温度分布の可視化も可能である。

【０１８３】

さらに、本実施の形態４では、図３９の可視化結果からも明らかなように、タンディッシュ７００の内壁面と接触する箇所における溶鋼７０２の温度も容易に把握できる。タンディッシュ７００は壁面が耐火物で覆われており、耐火物は常に高温の溶鋼と接触している。このとき耐火物と接触している溶鋼温度が急激に変化すると耐火物に大きな熱応力が発生し、耐火物損傷の問題が起こる。よって壁面と接触する箇所における溶鋼温度が所定の閾値内となるように溶鋼温度を制御することが好ましい。図３９の可視化結果から得た壁面と接触する箇所の溶鋼温度に基づき、所定の閾値内となるようにプラズマ加熱装置７０７の出力を操作して温度制御を行えば、タンディッシュ壁面を覆う耐火物損傷を防止することが可能となる。

【０１８４】

実施の形態４にかかる温度推定装置８００は、図３８に示すように、所定の領域、すなわちタンディッシュ７００の内壁面を覆う耐火物と接触する箇所における溶鋼温度が所定

の閾値内であるか否かを判定する温度判定部８０７と、タンディッシュ７００のプラズマ誘導加熱装置７０７の出力を操作して溶鋼温度を制御する温度制御部８０８とを備える。溶鋼温度の閾値は予め温度判定部８０７に入力されるか、操作者により入力部８０１を介して入力され、温度判定部８０７は、温度データ抽出部８０６が抽出した、所定の領域における溶鋼温度が閾値内であるか否かを判定する。温度判定部８０７が、所定の領域における溶鋼温度が閾値範囲外と判定した場合、温度制御部８０８は、所定の領域における溶鋼温度が閾値範囲内となるようプラズマ加熱装置７０７の出力を操作する。本実施の形態４によれば、温度制御部８０８によるプラズマ加熱装置７０７を操作することにより、溶鋼温度を制御することが可能となるため、タンディッシュ７００の内壁面を覆う耐火物損傷を防止できる。

【０１８５】

本明細書において、実施の形態として、水槽、溶融亜鉛めっきポット、溶融金属保持炉およびタンディッシュを例とする温度推定方法、温度分布推定方法、温度モニタリング方法、および溶融金属の温度制御方法、ならびに濃度および温度推定方法について説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【産業上の利用可能性】

【０１８６】

以上のように、本発明の流体系の温度推定方法、流体系における物質成分の濃度および温度推定方法、流体系の温度分布推定方法、流体系の温度モニタリング方法、溶融金属設備の溶融金属温度制御方法、溶融金属設備の濃度および温度推定方法ならびに流体系の温度推定装置は、水槽、溶融亜鉛めっきポット、溶融金属保持炉およびタンディッシュの温度推定だけでなく、たとえば連続鋳造鋳型や取鍋等の溶融金属を保持、収容する鉄鋼プロセスにおける温度分布推定等、流体にかかわる幅広い対象に活用できる。また、同様の原理で温度以外にも物質濃度の推定ができるため、鉄鋼分野以外にも化学プロセスや水処理設備など幅広い流体系に適用が可能である。

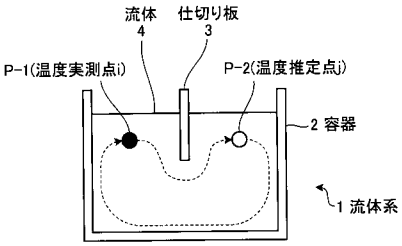
【符号の説明】

【０１８７】

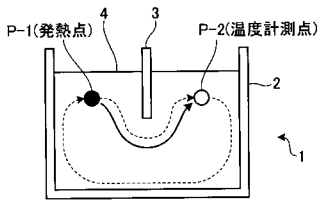
１、５１　流体系
２、５２　容器
３、５３　仕切り板
４、５４　流体
１００　水槽
１０１、１０２、１０３　パイプ
１０４　仕切り板
１０５　垂直断面
１０６　温度計
１１０　容器
２００、４００、６００、８００　温度推定装置
２０１、４０１、６０１、８０１　入力部
２０２、４０２、６０２、８０２　表示部
２０３、４０３、６０３、８０３　記憶部
２０４、４０４、４０４Ａ、６０４、８０４　制御部
２０５、４０５、６０５、８０５　温度推定部
２０６、４０６、６０６、８０６　温度データ抽出部
４００Ａ　温度および濃度推定装置
４０７、６０７、８０７　温度判定部
４０８、６０８、８０８　温度制御部
４０９　濃度推定部
４１０　濃度データ抽出部
４１１　濃度判定部

３００、３００Ａ　溶融亜鉛めっきポット
３０１　めっきポット
３０２　シンクロール
３０３　鋼板
３０４　インゴット
３０５　熱電対
３０６、５０４　誘導加熱装置
５００　溶銑保持炉
５０１　保持炉
５０２　原料投入口
５０３　液面
５０５　熱電対
７００　タンディッシュ
７０１　容器
７０２　溶鋼
７０３　ノズル
７０４　流出孔
７０５　熱電対
７０６　液面
７０７　プラズマ加熱装置

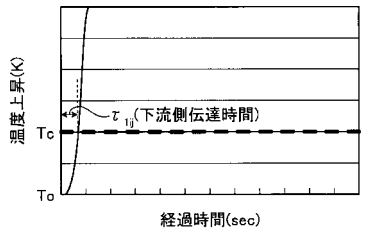
【図１】



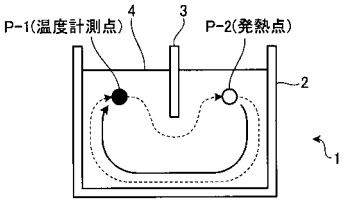
【図２】



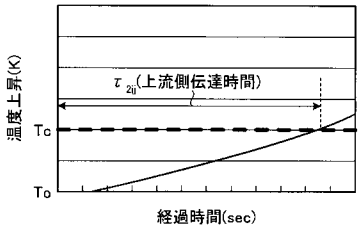
【図３】



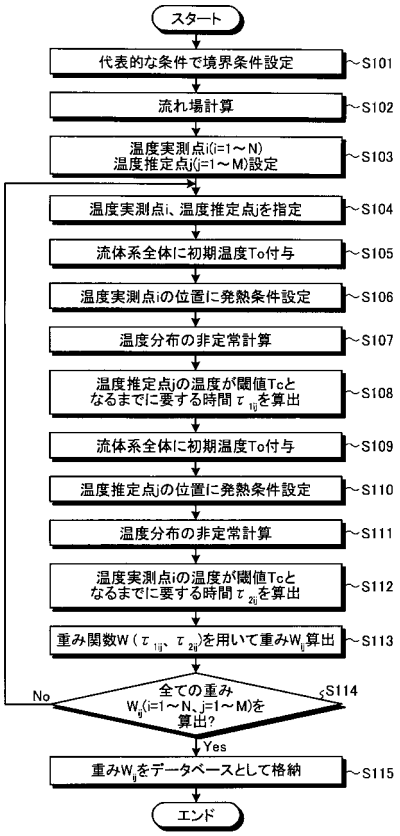
【図４】



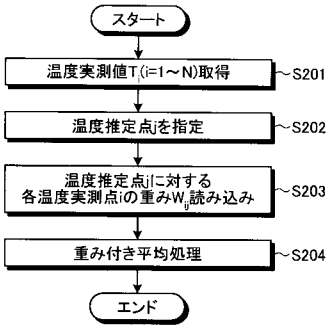
【図５】



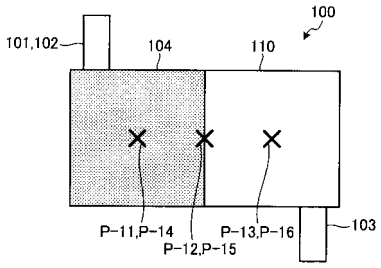
【図６】



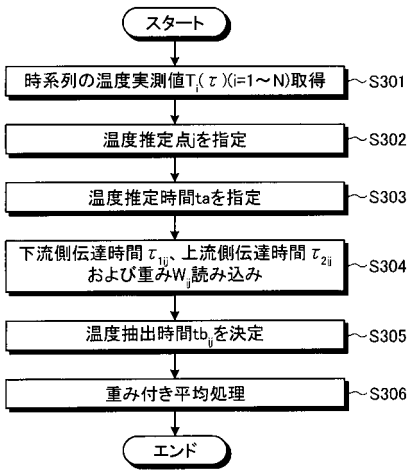
【図７】



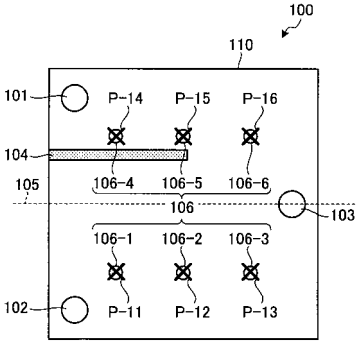
【図９】



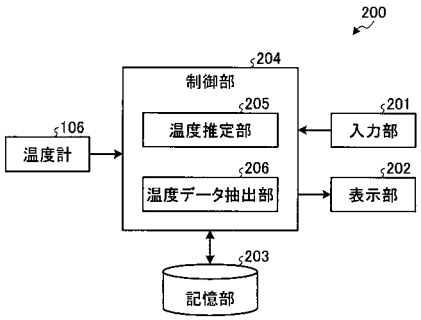
【図８】



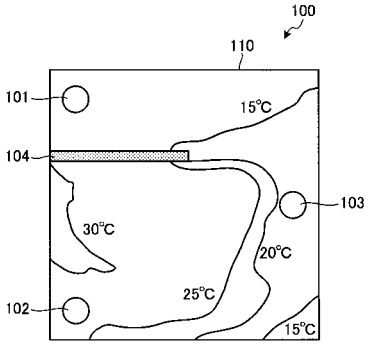
【図１０】



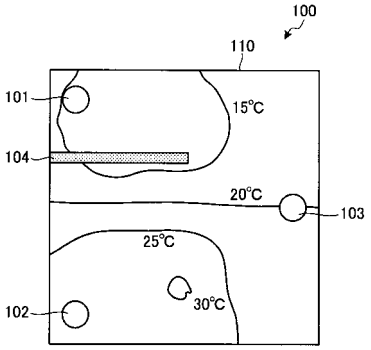
【図１１】



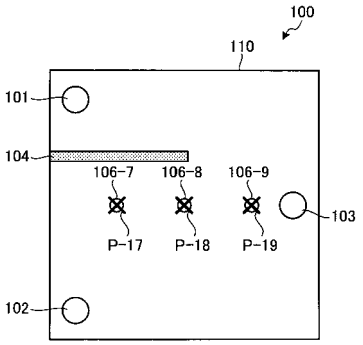
【図１２】



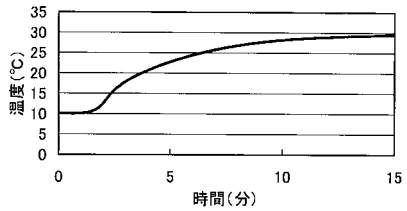
【図１３】



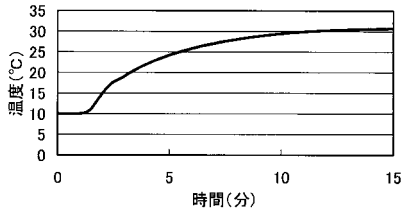
【図１４】



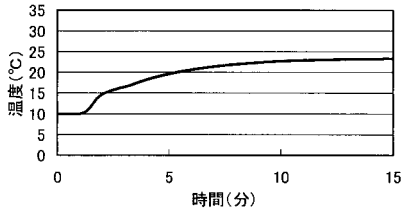
【図１５ａ】



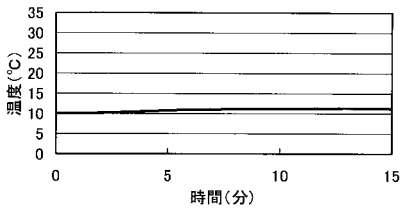
【図１５ｂ】



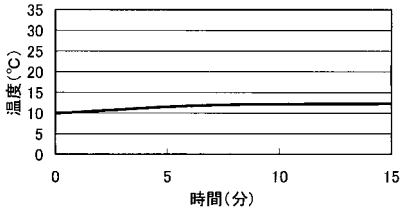
【図１５ｃ】



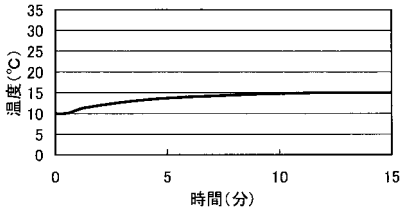
【図１５ｄ】



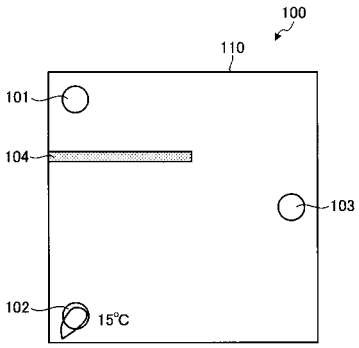
【図１５ｅ】



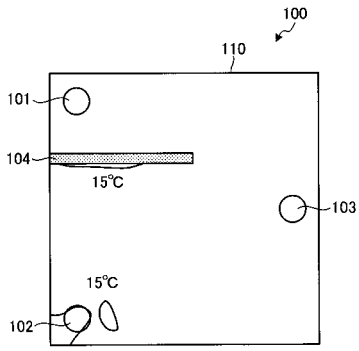
【図１５ｆ】



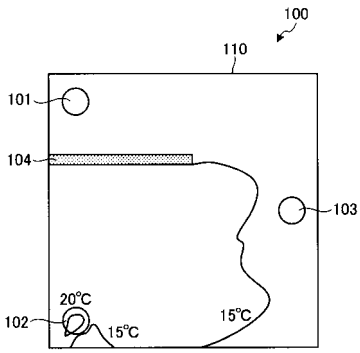
【図１６ａ】



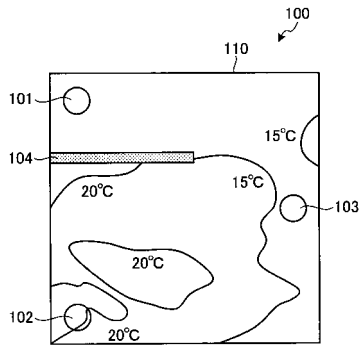
【図１６ｂ】



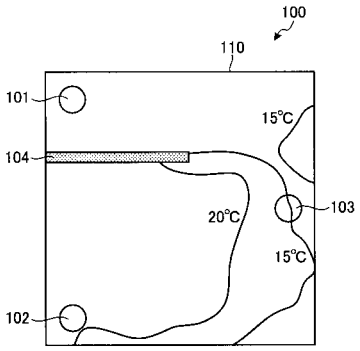
【図１６ｃ】



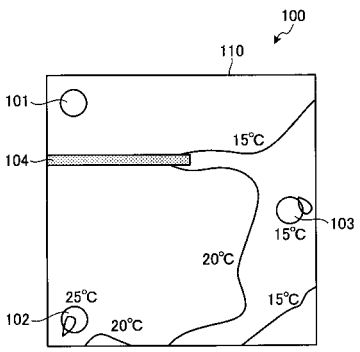
【図１６ｄ】



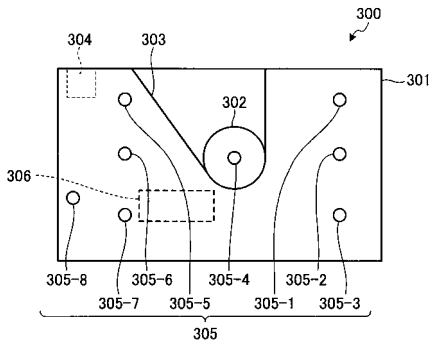
【図１６ｅ】



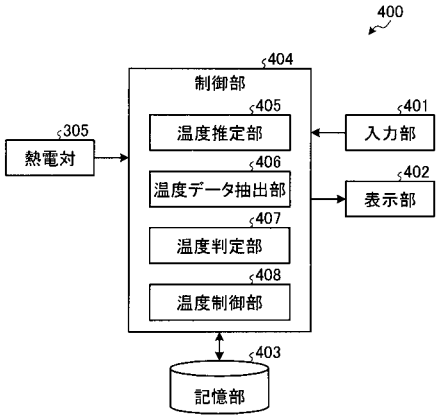
【図１６ｆ】



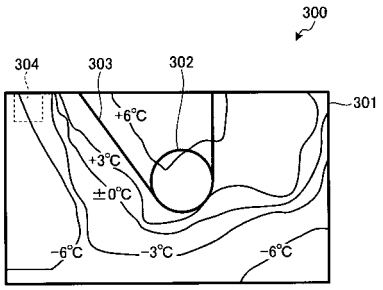
【図１７】



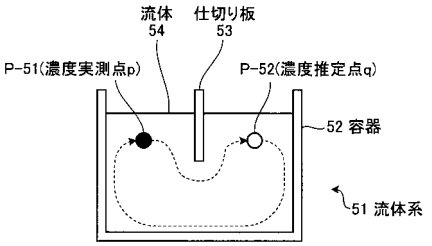
【図１８】



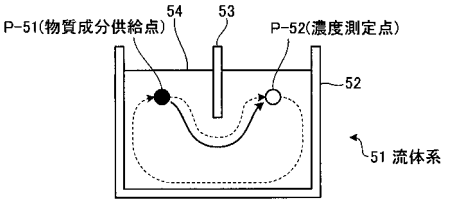
【図１９】



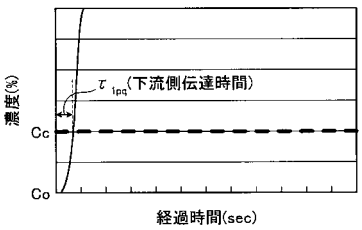
【図２０】



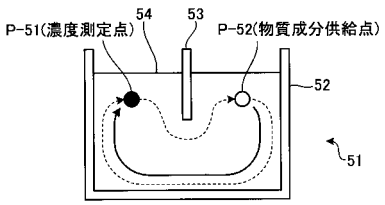
【図２１】



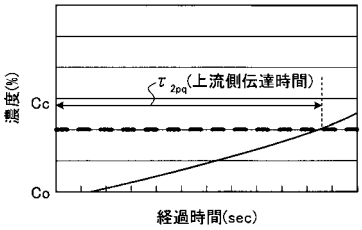
【図２２】



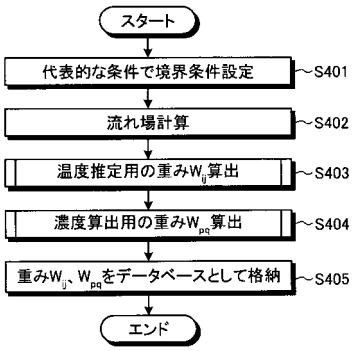
【図２３】



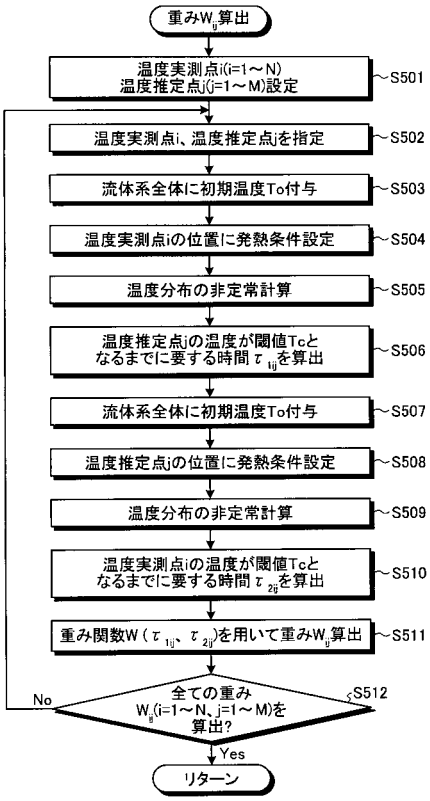
【図２４】



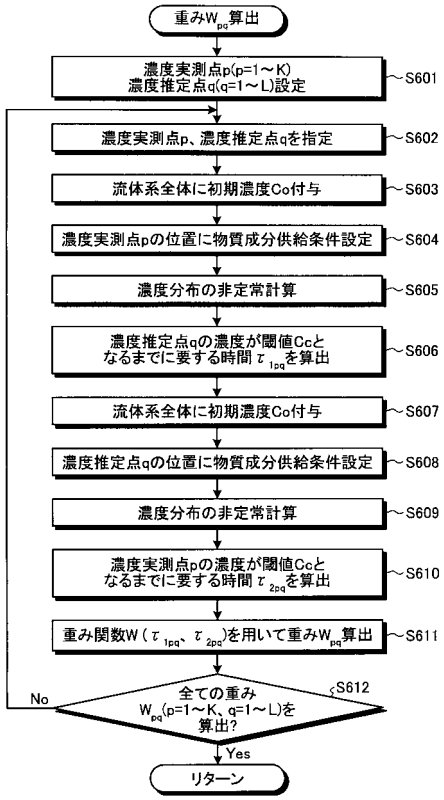
【図２５】



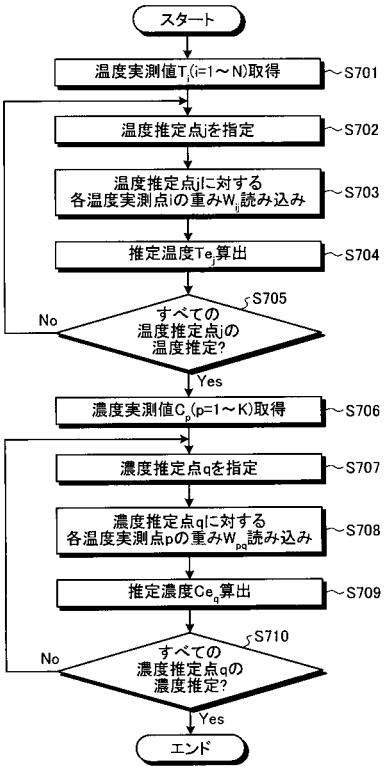
【図２６】



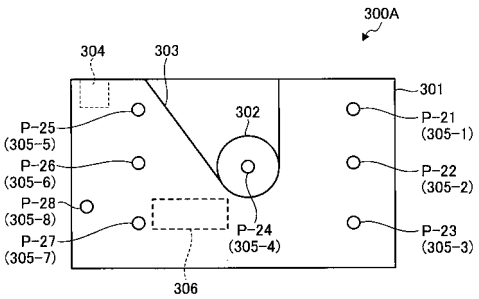
【図２７】



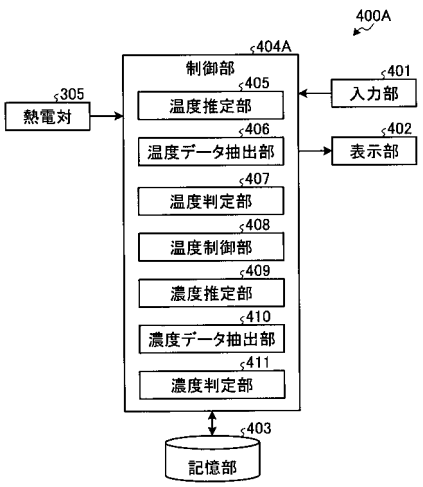
【図２８】



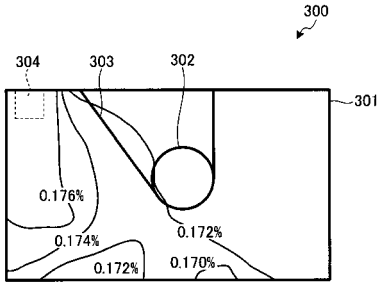
【図２９】



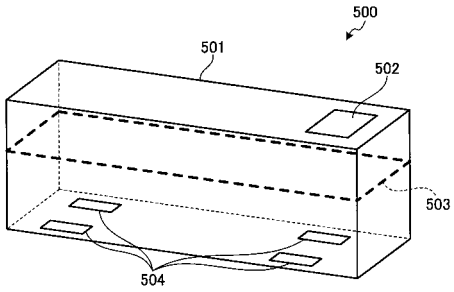
【図３０】



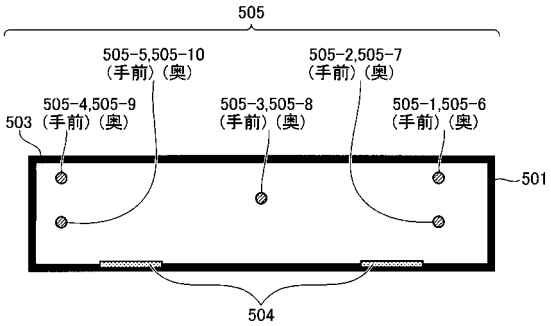
【図３１】



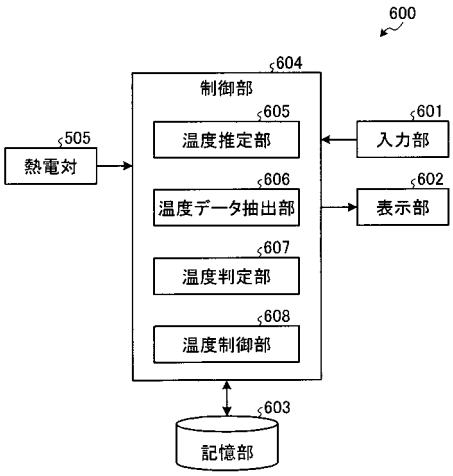
【図３２】



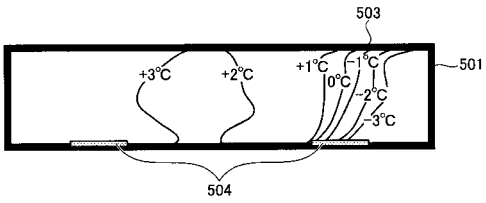
【図３３】



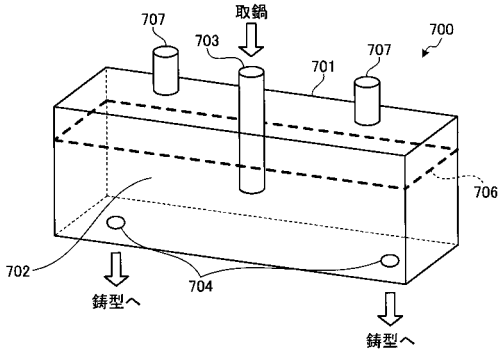
【図３４】



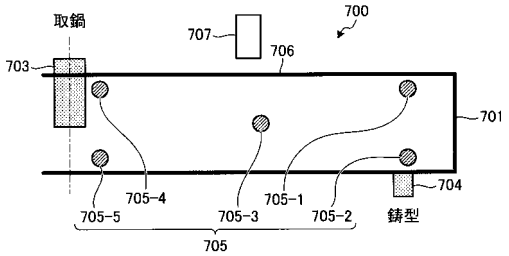
【図３５】



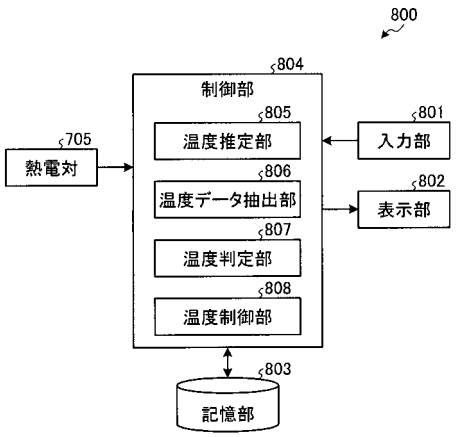
【図３６】



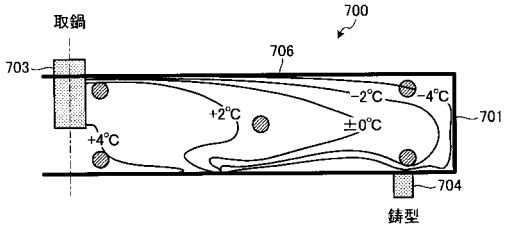
【図３７】



【図３８】



【図３９】



フロントページの続き

(72)発明者　久山　修司
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者　福井　隆之
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内
(72)発明者　国守　博巳
東京都千代田区内幸町二丁目２番３号　ＪＦＥスチール株式会社内

審査官　松浦　久夫

(56)参考文献　特開２００６－２１４６２２（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－０７５９７３（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－０６０２１３（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２４８３５３（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１７１７３６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｋ　１３／０２

(54)【発明の名称】流体系の温度推定方法、流体系における物質成分の濃度および温度推定方法、流体系の温度分布推定方法、流体系の温度モニタリング方法、溶融金属設備の溶融金属温度制御方法、溶融金属設備の濃度および温度推定方法、溶融亜鉛めっき鋼板ならびに流体系の温度推定装置