(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7207547号
(P7207547)

(45)発行日　令和5年1月18日(2023.1.18)

(24)登録日　令和5年1月10日(2023.1.10)

(51)国際特許分類

		FI		
G05B 19/418 (2006.01)		G05B	19/418	Z
G06N 20/00 (2019.01)		G06N	20/00	

請求項の数　11　（全16頁）

(21)出願番号　特願2021-534591(P2021-534591)
(86)(22)出願日　令和2年6月9日(2020.6.9)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/022637
(87)国際公開番号　WO2021/014804
(87)国際公開日　令和3年1月28日(2021.1.28)
審査請求日　令和3年6月3日(2021.6.3)
(31)優先権主張番号　特願2019-134701(P2019-134701)
(32)優先日　令和1年7月22日(2019.7.22)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)
前置審査

(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　110002147
弁理士法人酒井国際特許事務所
(72)発明者　茂森 弘靖
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 知的財産部内
審査官　堀内 亮吾

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　品質予測モデル生成方法、品質予測モデル、品質予測方法、金属材料の製造方法、品質予測モデル生成装置および品質予測装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

一つまたは複数の工程を経て製造される金属材料の品質予測モデル生成方法であって、

各工程の製造条件を、予め定めた前記金属材料の所定範囲ごとに収集する第一の収集ステップと、

前記各工程を経て製造される前記金属材料の品質を、前記所定範囲ごとに評価して収集する第二の収集ステップと、

前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する保存ステップと、

保存した前記各工程における前記所定範囲ごとの製造条件から、前記金属材料の前記所定範囲ごとの品質を予測する品質予測モデルを生成するモデル生成ステップと、

を含み、

前記保存ステップは、時間単位で収集された前記製造条件および前記品質について、データの粗さを揃えるための補間を行うことにより、前記金属材料の長さ単位、かつ定周期のデータへと変換し、変換後の製造条件および品質を、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する、

品質予測モデル生成方法。

【請求項２】

前記所定範囲は、前記各工程における搬送方向に応じた前記金属材料の移動距離に基づいて決定される請求項１に記載の品質予測モデル生成方法。

【請求項３】
前記保存ステップの前に、前記各工程における前記金属材料の先尾端の入れ替えの有無と、前記各工程における前記金属材料の表裏面の入れ替えの有無と、前記各工程における前記金属材料の切断位置と、の少なくとも一以上を収集する第三の収集ステップを含み、
前記保存ステップは、前記各工程における前記金属材料の先尾端の入れ替えの有無、表裏面の入れ替えの有無および切断位置の少なくとも一以上を考慮して前記所定範囲を特定し、前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する請求項１または請求項２に記載の品質予測モデル生成方法。
【請求項４】
前記各工程を経ることにより前記金属材料の形状が変形する場合、
前記保存ステップは、前記金属材料の先端からの体積を評価して前記所定範囲を特定し、前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する請求項１または請求項２に記載の品質予測モデル生成方法。
【請求項５】
前記モデル生成ステップは、線形回帰、局所回帰、主成分回帰、ＰＬＳ回帰、ニューラルネットワーク、回帰木、ランダムフォレスト、ＸＧＢｏｏｓｔを含む機械学習を用いて前記品質予測モデルを生成する請求項１または請求項２に記載の品質予測モデル生成方法。
【請求項６】
請求項１から請求項５のいずれか一項に記載された品質予測モデル生成方法によって生成された品質予測モデル。
【請求項７】
請求項１から請求項５のいずれか一項に記載された品質予測モデル生成方法によって生成された品質予測モデルを用いて、任意の製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測する品質予測方法。
【請求項８】
製造途中で確定した製造条件を固定し、請求項７に記載された品質予測方法によって、前記固定した製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測し、その予測結果に基づいて、その後の工程の製造条件を変更する金属材料の製造方法。
【請求項９】
前記製造条件の変更は、製造される金属材料の全長に亘り含まれる全ての前記所定範囲ごとの品質が、予め定められた管理範囲内に入るように変更される請求項８に記載の金属材料の製造方法。
【請求項１０】
一つまたは複数の工程を経て製造される金属材料の品質予測モデル生成装置であって、
各工程の製造条件を、予め定めた前記金属材料の所定範囲ごとに収集する手段と、
前記各工程を経て製造される前記金属材料の品質を、前記所定範囲ごとに評価して収集する手段と、
前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する手段と、
保存した前記各工程における前記所定範囲ごとの製造条件から、前記金属材料の前記所定範囲ごとの品質を予測する品質予測モデルを生成する手段と、
を備え、
前記各工程の製造条件と前記金属材料の品質とを前記所定範囲ごとに関連付けて保存する手段は、時間単位で収集された前記製造条件および前記品質について、データの粗さを揃えるための補間を行うことにより、前記金属材料の長さ単位、かつ定周期のデータへと変換し、変換後の製造条件および品質を、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する、
品質予測モデル生成装置。
【請求項１１】

請求項１０に記載された品質予測モデル生成装置によって生成された品質予測モデルを用いて、任意の製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測する品質予測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、品質予測モデル生成方法、品質予測モデル、品質予測方法、金属材料の製造方法、品質予測モデル生成装置および品質予測装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

任意の要求条件に対する品質を予測する方法としては、例えば実績データベースに格納されている過去の複数の観測条件と、所望の要求条件との距離を算出し、算出した距離から観測データ（実績データ）の重みを算出し、算出した重みから要求条件の近傍をフィッティングする関数を作成し、作成した関数を用いて要求条件に対する品質を予測する方法が知られている（例えば特許文献１～８参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【文献】特開２００４－３５５１８９号公報
特開２００６－３０９７０９号公報
特開２００８－１１２２８８号公報
特開２００９－２３０４１２号公報
特開２０１４－０１３５６０号公報
特開２０１４－０７１８５８号公報
特開２０１４－０７１８５９号公報
特開２０１７－１２０６３８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

特許文献１～８に開示された方法では、任意の要求条件に対する品質を実績データベースに格納されているデータから算出している。この実績データベースには、複数の製造条件の実績値と、これらの製造条件の下で製造した金属材料の品質の実績値とが格納されているが、これらの製造条件および品質は、一つの金属材料に対して、それぞれ一つの平均値等の代表値が格納されている。

【０００５】

一方、各工程の製造条件の実績値は、センサにより金属材料の長手方向に細かく収集されている。しかしながら、従来技術では、このように細かく収集された製造条件の実績値が有効に活用されていないため、金属材料の品質の予測精度の向上に限界があった。

【０００６】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、任意の製造条件に対する品質を高精度に予測することができる品質予測モデル生成方法、品質予測モデル、品質予測方法、金属材料の製造方法、品質予測モデル生成装置および品質予測装置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】

【０００７】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る品質予測モデル生成方法は、一つまたは複数の工程を経て製造される金属材料の品質予測モデル生成方法であって、各工程の製造条件を、予め定めた前記金属材料の所定範囲ごとに収集する第一の収集ステップと、前記各工程を経て製造される前記金属材料の品質を、前記所定範囲ごとに評価して収集する第二の収集ステップと、前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造

される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する保存ステップと、保存した前記各工程における前記所定範囲ごとの製造条件から、前記金属材料の前記所定範囲ごとの品質を予測する品質予測モデルを生成するモデル生成ステップと、を含む。

【０００８】

また、本発明に係る品質予測モデル生成方法は、上記発明において、前記所定範囲が、前記各工程における搬送方向に応じた前記金属材料の移動距離に基づいて決定される。

【０００９】

また、本発明に係る品質予測モデル生成方法は、上記発明において、前記保存ステップの前に、前記各工程における前記金属材料の先尾端の入れ替えの有無と、前記各工程における前記金属材料の表裏面の入れ替えの有無と、前記各工程における前記金属材料の切断位置と、の少なくとも一以上を収集する第三の収集ステップを含み、前記保存ステップが、前記各工程における前記金属材料の先尾端の入れ替えの有無、表裏面の入れ替えの有無および切断位置の少なくとも一以上を考慮して前記所定範囲を特定し、前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する。

【００１０】

また、本発明に係る品質予測モデル生成方法は、上記発明において、前記各工程を経ることにより前記金属材料の形状が変形する場合、前記保存ステップが、前記金属材料の先端からの体積を評価して前記所定範囲を特定し、前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する。

【００１１】

また、本発明に係る品質予測モデル生成方法は、上記発明において、前記モデル生成ステップが、線形回帰、局所回帰、主成分回帰、ＰＬＳ回帰、ニューラルネットワーク、回帰木、ランダムフォレスト、ＸＧＢｏｏｓｔを含む機械学習を用いて前記品質予測モデルを生成する。

【００１２】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る品質予測モデルは、前記した品質予測モデル生成方法によって生成される。

【００１３】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る品質予測方法は、前記した品質予測モデル生成方法によって生成された品質予測モデルを用いて、任意の製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測する。

【００１４】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る金属材料の製造方法は、製造途中で確定した製造条件を固定し、前記した品質予測方法によって、前記固定した製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測し、その予測結果に基づいて、その後の工程の製造条件を変更する。

【００１５】

また、本発明に係る金属材料の製造方法は、上記発明において、前記製造条件の変更が、製造される金属材料の全長に亘り含まれる全ての前記所定範囲ごとの品質が、予め定められた管理範囲内に入るように変更される。

【００１６】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る品質予測モデル生成装置は、一つまたは複数の工程を経て製造される金属材料の品質予測モデル生成装置であって、各工程の製造条件を、予め定めた前記金属材料の所定範囲ごとに収集する手段と、前記各工程を経て製造される前記金属材料の品質を、前記所定範囲ごとに評価して収集する手段と、前記各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される前記金属材料の品質とを、前記所定範囲ごとに関連付けて保存する手段と、保存した前記各工程における前記所定範囲ごとの製造条件から、前記金属材料の前記所定範囲ごとの品質を予測する品質予測モデルを生成する手段と、を備える。

【００１７】
上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る品質予測装置は、前記した品質予測モデル生成装置によって生成された品質予測モデルを用いて、任意の製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測する。
【発明の効果】
【００１８】
本発明によれば、各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される金属材料の品質とを、所定範囲ごとに関連付けた品質予測モデルを生成することにより、任意の製造条件に対する金属材料の品質を、従来よりも高精度に予測することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１９】
【図１】図１は、本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成装置および品質予測装置の構成を示すブロック図である。
【図２】図２は、本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成方法および品質予測方法の流れを示すフローチャートである。
【図３】図３は、本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成方法において、製造実績収集部１１によって収集された実績データの一例を示す図である。
【図４】図４は、本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成方法において、製造実績編集部１２によって編集された実績データの一例を示す図である。
【図５】図５は、本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成方法において、複数の工程を経て金属材料を製造する場合の一例を示す図である。
【図６】図６は、本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成方法において、各工程における金属材料の一例を示す図である。
【図７】図７は、本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成方法において、一貫工程実績編集部によって編集された実績データの一例を示す図である。
【図８】図８は、従来および本発明の実績データベースの構成を概略的に示す図である。
【図９】図９は、高加工性高強度冷延鋼板の引張強度の予測において、従来手法および本発明手法の予測誤差を示す図である。
【図１０】図１０は、厚鋼板の表裏面硬度の予測において、従来手法および本発明手法の予測誤差を示す図である。
【図１１】図１１は、溶融亜鉛鍍金鋼板の表裏面欠陥の予測において、従来手法および本発明手法の誤答率を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００２０】
本発明の実施形態に係る品質予測モデル生成方法、品質予測モデル、品質予測方法、金属材料の製造方法、品質予測モデル生成装置および品質予測装置について、図面を参照しながら説明する。
【００２１】
本実施形態に係る品質予測装置および品質予測モデル生成装置の構成について、図１を参照しながら説明する。品質予測装置は、一つまたは複数の工程（プロセス）を経て製造される金属材料の品質を予測するための装置である。なお、本実施形態における金属材料としては、例えば鉄鋼製品であって、スラブ等の半製品や、このスラブを圧延して製造される鋼板等の製品が挙げられる。
【００２２】
品質予測装置１は、具体的にはパーソナルコンピュータやワークステーション等の汎用の情報処理装置によって実現されるものであり、例えばＣＰＵ（Central Processing Unit）等からなるプロセッサと、ＲＡＭ（Random Access Memory）やＲＯＭ（Read Only Memory）等からなるメモリ（主記憶部）等を主要構成部品としている。
【００２３】
品質予測装置１は、図１に示すように、製造実績収集部１１と、製造実績編集部１２と

、先尾端入替実績収集部１３と、表裏面入替実績収集部１４と、切断実績収集部１５と、一貫工程実績編集部１６と、実績データベース１７と、モデル生成部１８と、予測部１９と、を備えている。なお、本実施形態に係る品質予測モデル生成装置は、品質予測装置１のうちの予測部１９を除いた要素により構成される。以下では、品質予測装置１の説明の中で品質予測モデル生成装置についても説明することとする。

【００２４】

製造実績収集部１１には、図示しないセンサが接続されている。製造実績収集部１１は、このセンサの計測周期に合わせて、各工程の製造実績を収集し、一貫工程実績編集部１６へと出力する。前記した「製造実績」としては、各工程の製造条件と、各工程を経て製造される金属材料の品質とが含まれる。また、前記した「製造条件」としては、各工程における金属材料の成分、温度、圧力、板厚、通板速度等が含まれる。また、前記した「金属材料の品質」としては、引張強度や欠陥混入率（単位長さあたりに表出する欠陥数）等が含まれる。

【００２５】

なお、製造実績収集部１１が収集する各工程の製造条件には、センサによって計測された製造条件の実測値のみならず、予め設定した製造条件の設定値も含まれる。すなわち、工程によってはセンサが設置されてない場合もあるため、このような場合は実績値のかわりに設定値を製造実績として収集する。

【００２６】

製造実績収集部１１は、各工程の製造条件を、予め定めた金属材料の所定範囲ごとに収集する。また、製造実績収集部１１は、各工程を経て製造される金属材料の品質を、前記した所定範囲ごとに評価して収集する。なお、前記した「所定範囲」とは、例えば金属材料がスラブや鋼板の場合、金属材料の長手方向における一定の範囲のことを示している。この所定範囲は、各工程における搬送方向に応じた金属材料の移動距離（通板速度）に基づいて決定される。製造実績収集部１１による具体的な処理内容については後記する（図２参照）。

【００２７】

ここで、図１で示した構成では、製造実績収集部１１が一つのみ設けられており、この一つの製造実績収集部１１によって各工程の製造実績のデータ（以下、「実績データ」という）を収集することを想定しているが、例えば製造実績収集部１１を各工程の数に合わせて複数設け、各工程の実績データを別々の製造実績収集部１１によってそれぞれ収集してもよい。

【００２８】

製造実績編集部１２は、製造実績収集部１１から入力された各工程の実績データを編集する。すなわち、製造実績編集部１２は、製造実績収集部１１によって時間単位で収集された実績データを、金属材料の長さ単位の実績データに編集し、一貫工程実績編集部１６へと出力する。製造実績編集部１２による具体的な処理内容については後記する（図２参照）。

【００２９】

先尾端入替実績収集部１３には、各工程に金属材料を装入するための図示しない材料装入機が接続されている。先尾端入替実績収集部１３は、この材料装入機を通じて、前工程から後工程へと金属材料が装入される際に当該金属材料の先尾端が入れ替えられたか（反転したか）否かの実績データを、金属材料ごとに収集する。そして、先尾端入替実績収集部１３は、金属材料の先尾端の入れ替えの有無に関する実績データを一貫工程実績編集部１６へと出力する。

【００３０】

表裏面入替実績収集部１４には、前記した材料装入機が接続されている。表裏面入替実績収集部１４は、この材料装入機を通じて、前工程から後工程へと金属材料が装入される際に当該金属材料の表裏面が入れ替えられたか（反転したか）否かの実績データを、金属材料ごとに収集する。そして、表裏面入替実績収集部１４は、金属材料の表裏面の入れ替

えの有無に関する実績データを一貫工程実績編集部１６へと出力する。
【００３１】
切断実績収集部１５には、金属材料の先端部および尾端部を切断するための図示しない切断機が接続されている。切断実績収集部１５は、この切断機を通じて、金属材料の切断位置（切断時の金属材料の先端からの距離）および切断回数（以下、「切断位置等」という）等の実績データを、金属材料ごとに収集する。そして、切断実績収集部１５は、金属材料の切断位置等に関する実績データを一貫工程実績編集部１６へと出力する。
【００３２】
なお、先尾端入替実績収集部１３、表裏面入替実績収集部１４および切断実績収集部１５は、前記した製造実績収集部１１と同様に、一つのみ設けてもよく、あるいは各工程の数に合わせて複数設けてもよい。
【００３３】
一貫工程実績編集部１６は、製造実績編集部１２、先尾端入替実績収集部１３、表裏面入替実績収集部１４および切断実績収集部１５から入力された実績データを編集する。一貫工程実績編集部１６は、各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される金属材料の品質とを、所定範囲ごとに関連付けて実績データベース１７に保存する。
【００３４】
また、一貫工程実績編集部１６は、各工程における金属材料の先尾端の入れ替えの有無、表裏面の入れ替えの有無および切断位置を考慮して所定範囲を特定する。そして、一貫工程実績編集部１６は、各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される金属材料の品質とを、各工程における金属材料の先尾端の入れ替えの有無、表裏面の入れ替えの有無および切断位置が区別できる形で、所定範囲ごとに関連付けて実績データベース１７に保存する。
【００３５】
さらに、一貫工程実績編集部１６は、例えば各工程が圧延工程であり、各工程を経ることにより金属材料の形状が変形する場合、金属材料の先端からの体積を評価して所定範囲を特定し、各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される金属材料の品質とを、所定範囲ごとに関連付けて実績データベース１７に保存する。この実績データベース１７には、一貫工程実績編集部１６によって編集された実績データが蓄積される。
【００３６】
モデル生成部１８は、実績データベース１７に保存した各工程における所定範囲ごとの製造条件から、金属材料の所定範囲ごとの品質を予測する品質予測モデルを生成する。モデル生成部１８は、機械学習の手法として例えばＸＧＢｏｏｓｔを用いる。なお、機械学習の手法としては、その他にも、線形回帰、局所回帰、主成分回帰、ＰＬＳ回帰、ニューラルネットワーク、回帰木、ランダムフォレスト等の様々な手法を用いることができる。
【００３７】
予測部１９は、モデル生成部１８で生成された品質予測モデルを用いて、任意の製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測する。例えば予測対象となる金属材料がスラブである場合、従来の方法ではスラブ全体の品質を予測していたが、本実施形態ではスラブの長さ方向の所定範囲の品質を予測することができる。
【００３８】
本実施形態に係る品質予測方法および品質予測モデル生成方法について、図２～図７を参照しながら説明する。本実施形態に係る品質予測方法は、図２に示したステップＳ１～ステップＳ６の処理を行う。また、本実施形態に係る品質予測モデル生成方法は、同図に示したステップＳ６を除いたステップＳ１～ステップＳ５の処理を行う。
【００３９】
まず製造実績収集部１１は、各工程の製造条件および品質に関する実績データを収集する（ステップＳ１）。製造実績収集部１１は、各工程の製造条件および品質の実績データを、金属材料ごと、かつ工程ごとに収集する。
【００４０】

製造実績収集部１１によって収集される実績データは、例えば図３の表に示すように、時間ごとに複数の製造条件の実績値（または設置値）が並べられたデータである。同図に示した実績データは、時間t^1，t^2…と、当該時間における金属材料の速度（通板速度）v^1，v^2…と、当該時間にセンサによって計測された複数の製造条件$x_1{}^1$，$x_1{}^2$…，$x_2{}^1$，$x_2{}^2$…と、からなる項目を有している。なお、複数の工程のうち、最終工程で収集された実績データには、同図で示した項目に加えて、金属材料の品質に関する項目が含まれている。

【００４１】

続いて、先尾端入替実績収集部１３、表裏面入替実績収集部１４および切断実績収集部１５は、各工程における金属材料の先尾端の入れ替えの有無、各工程における金属材料の表裏面の入れ替えの有無および各工程における金属材料の切断位置等に関する実績データを収集する（ステップＳ２）。

【００４２】

続いて、製造実績編集部１２は、製造実績収集部１１によって収集された実績データを金属材料の長さ単位に変換する（ステップＳ３）。すなわち、製造実績編集部１２は、図３に示したような時間単位で収集された実績データを、図４に示すような金属材料の長さ単位の実績データへと変換する。以下、図３の実績データを図４の実績データへと変換する方法について説明する。

【００４３】

まず製造実績編集部１２は、時間と速度（通板速度）を掛けると距離になる性質を利用して、図３の各時間における金属材料の位置を算出する。次に、製造実績編集部１２は、各工程に設置されているセンサを金属材料が通過している時に実績データが計上され、金属材料が通過していない時は欠損値が計上される性質を利用して、金属材料の先尾端を検出する。次に、製造実績編集部１２は、金属材料がセンサを通過していない場合を除いて、金属材料の先端から尾端までの位置に対応する実績データを作成する。

【００４４】

そして、このままでは金属材料の長さ単位のデータではあるものの、定周期のデータではないため、例えば線形補間等を行うことにより、金属材料の長さ単位、かつ定周期の実績データへと変換する。すなわち、各工程において、金属材料の通板速度が遅い場合は収集できる実績データが細かくなり、金属材料の通板速度が速い場合は収集できる実績データが粗くなる。そのため、実績データの粗さを揃えるために上記のような補間を行う。製造実績編集部１２は、以上のような処理を行うことにより、図４に示すような金属材料の長さ単位の実績データを作成する。

【００４５】

続いて、一貫工程実績編集部１６は、全工程の実績データを、金属材料の長さ単位で揃えて結合する（ステップＳ４）。一貫工程実績編集部１６は、製造実績編集部１２によって作成された金属材料の長さ単位の実績データと、先尾端入替実績収集部１３、表裏面入替実績収集部１４および切断実績収集部１５によって収集された金属材料の先尾端の入れ替えの有無、金属材料の表裏面の入れ替えの有無および金属材料の切断位置等に関する実績データとをもとに、全工程の金属材料の複数の製造条件および品質の実績データを、最終工程の出側における金属材料の長さ単位で揃えて結合する。

【００４６】

このようにして、一貫工程実績編集部１６は、各工程の製造条件と、この製造条件の下で製造される金属材料の品質とを、金属材料の長さ方向における所定範囲ごとに関連付け、実績データベース１７に保存する。以下、一貫工程実績編集部１６による処理の一例について説明する。

【００４７】

例えば図５に示すように、工程１、工程２および工程３を経て金属材料（材料）を製造する場合を考える。工程１～工程３は、例えば圧延工程であり、工程を経るごとに材料の長手方向の長さが大きくなる。また、同図に示すように、工程１から工程２に移る際に材

料Ａが材料Ａ１および材料Ａ２へと分割され、工程２から工程３に移る際に材料Ａ１が材料Ａ１１および材料Ａ１２へと分割される。

【００４８】

図６は、各工程の材料のイメージを示しており、図５のＢ部に着目した図である。例えば工程１の材料Ａは、製造実績収集部１１によって、先端から尾端までの長さ５３００ｍｍの範囲において、５０ｍｍごとに例えば$X_1{}^1$～$X_1{}^{M1}$のＭ１個の項目の実績データが収集される。また、材料Ａは、切断実績収集部１５によって、０ｍｍ（先端）～２５０ｍｍの先端部が切り捨てられ、２５０ｍｍ～３３００ｍｍで材料Ａ１がとられ、３３００ｍｍ～４９５０ｍｍで材料Ａ２がとられ、４９５０ｍｍ～５３００ｍｍ（尾端）の尾端部が切り捨てられた実績データが収集される。

【００４９】

続いて、工程２の材料Ａ１は、先尾端入替実績収集部１３によって、「先尾端の入れ替え有り」の実績データが収集される。また、材料Ａ１は、製造実績収集部１１によって、先端から尾端までの長さ６８０００ｍｍの範囲において、１００ｍｍごとに例えば$X_2{}^1$～$X_2{}^{M2}$のＭ２個の項目の実績データが収集される。また、材料Ａ１は、切断実績収集部１５によって、０ｍｍ（先端）～５００ｍｍの先端部が切り捨てられ、５００ｍｍ～３４５００ｍｍで材料Ａ１１がとられ、３４５００ｍｍ～６６８００ｍｍで材料Ａ１２がとられ、６６８００ｍｍ～６８０００ｍｍ（尾端）の尾端部が切り捨てられた実績データが収集される。

【００５０】

続いて、工程３の材料Ａ１１は、先尾端入替実績収集部１３によって、「先尾端の入れ替え無し」の実績データが収集される。また、材料Ａ１１は、製造実績収集部１１によって、先端から尾端までの長さ６５０００ｍｍの範囲において、５００ｍｍごとに例えば$X_3{}^1$～$X_3{}^{M3}$のＭ３個の項目の実績データが収集される。また、材料Ａ１１は、切断実績収集部１５によって、０ｍｍ（先端）～２５００ｍｍの先端部が切り捨てられ、２５００ｍｍ～５９７００ｍｍで材料Ａ１１がとられ、５９７００ｍｍ～６５０００ｍｍ（尾端）の尾端部が切り捨てられた実績データが収集される。

【００５１】

一貫工程実績編集部１６は、各工程における金属材料の先尾端の入れ替えの有無、表裏面の入れ替えの有無および切断位置等の実績データを考慮しながら、図示しないセンサによって長手方向に細かく収集されている全工程の実績データを最終工程における金属材料の長さ単位に結合するために、図５に示すように、最終工程である工程３の材料長さに合わせて、工程２および工程１の材料長さをスケーリングする（同図の破線参照）。

【００５２】

そして、一貫工程実績編集部１６は、各工程で切り捨てた先端部および尾端部を考慮しながら、各金属材料をとった位置を特定し、最終工程の金属材料の各所定範囲において、所定範囲の品質と、当該所定範囲における全工程の製造条件とを関連付け、実績データベース１７に保存する。例えば図６では、最終工程である工程３で材料Ａ１１をとった網掛け部分を、工程２の材料Ａ１、工程１の材料Ａに遡って特定する。このような処理を全ての金属材料について繰り返し行うことにより、図７に示すように、全工程における金属材料の複数の製造条件（および品質）の実績データを、金属材料の長さ単位で揃えて結合した実績データを作成する。以下、図２に戻って説明を続ける。

【００５３】

モデル生成部１８は、各工程における所定範囲ごとの製造条件から、金属材料の所定範囲ごとの品質を予測する品質予測モデルを生成する（ステップＳ４）。続いて、予測部１９は、モデル生成部１８で生成された品質予測モデルを用いて、任意の製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測する（ステップＳ５）。

【００５４】

以上説明したような本実施形態に係る品質予測モデル生成方法、品質予測モデル、品質予測方法、品質予測モデル生成装置および品質予測装置によれば、各工程の製造条件と、

この製造条件の下で製造される金属材料の品質とを、所定範囲ごとに関連付けた品質予測モデルを生成することにより、任意の製造条件に対する金属材料の品質を、従来よりも高精度に予測することができる。

【００５５】

すなわち、本実施形態に係る品質予測モデル生成方法、品質予測モデル、品質予測方法、品質予測モデル生成装置および品質予測装置では、全工程の複数の製造条件（および品質）の実績データを、各工程における先尾端の入れ替え、表裏面の入れ替えおよび切断位置等を考慮して、最終工程の出側における金属材料の長さ単位で揃えて結合する。そのため、センサにより金属材料の長手方向に細かく収集されている製造条件の実績データを有効に活用して品質の予測を行うため、従来よりも高精度に品質を予測することができる。

【００５６】

なお、本実施形態に係る品質予測方法を金属材料の製造方法に適用した場合、例えば以下のような処理を行う。まず金属材料の製造途中で確定した製造条件を固定した後、本実施形態に係る品質予測方法によって、固定した製造条件の下で製造される金属材料の品質を所定範囲ごとに予測する。そして、その予測結果に基づいて、その後の工程の製造条件を変更する。また、製造条件の変更は、製造される金属材料の全長に亘り含まれる全ての所定範囲ごとの品質が、予め定められた管理範囲内に入るように変更される。このように本実施形態に係る品質予測方法を金属材料の製造方法に適用することにより、製造途中の段階で最終的な金属材料の品質を予測することができ、それに応じて製造条件を変更することができるため、製造する金属材料の品質が向上する。

【実施例】

【００５７】

本実施形態に係る品質予測方法の実施例について説明する。本実施例では、本実施形態に係る品質予測方法を、冷延薄鋼板の一種である高加工性高強度冷延鋼板の引張強度の予測に対して適用した。

【００５８】

本実施例における品質予測の目的変数（品質）は、製品（高加工性高強度冷延鋼板）の引張強度であり、説明変数（製造条件）は、製鋼工程における金属材料の化学成分、鋳造工程における金属材料の温度、加熱工程における金属材料の温度、熱間圧延工程における金属材料の温度、冷却工程における金属材料の温度、冷間圧延工程における金属材料の温度、焼鈍工程における金属材料の温度等である。

【００５９】

本実施例では、各製造条件および品質について、一つの製品に対して、それぞれ一つの平均値等の代表値が格納されている従来の実績データベース（図８（ａ）参照）から予測する場合と、本実施形態に係る品質予測方法の実績データベース（図８（ｂ）参照）から生成した品質予測モデルから予測する場合とで予測結果を比較した。実績データベースのサンプル数は４００００、説明変数の数は４５、予測手法は局所回帰を用いた。予測の結果、図９に示すように、本実施形態に係る品質予測方法による予測誤差（図９（ｂ）参照）は、従来の品質予測方法による予測誤差（図９（ａ）参照）と比較して、根平均二乗誤差（ＲＭＳＥ：Root Mean Square Error）を２３％低減できることが確認された。

【００６０】

また、本実施形態に係る品質予測方法を、厚鋼板の表裏面硬度の予測に対して適用した。目的変数は、製品の表裏面の硬度であり、説明変数は、製鋼工程の化学成分、鋳造工程の表裏面温度、加熱工程の表裏面温度、圧延工程の表裏面温度、冷却工程の表裏面温度等である。

【００６１】

各製造条件および品質について、一つの製品に対して、それぞれ一つの平均値等の代表値が格納されている従来の実績データベース（図８（ａ）参照）から予測する場合と、本実施形態に係る品質予測方法の実績データベース（図８（ｂ）参照）から生成した品質予測モデルから予測する場合とで予測結果を比較した。実績データベースのサンプル数は１

００００、説明変数の数は３０、予測手法は線形回帰を用いた。予測の結果、図１０に示すように、本実施形態に係る品質予測方法による予測誤差（図１０（ｂ）参照）は、従来の品質予測方法による予測誤差（図１０（ａ）参照）と比較して、根平均二乗誤差（ＲＭＳＥ）を２６％低減できることが確認された。

【００６２】

また、本実施形態に係る品質予測方法を、冷延薄鋼板の一種である溶融亜鉛鍍金鋼板の表裏面欠陥の予測に対して適用した。目的変数は、製品の表裏面の欠陥有無であり、説明変数は、製錬工程の化学成分、鋳造工程の表裏面温度、メニスカス流速、モールド湯面レベル、加熱工程の表裏面温度、熱間圧延工程の表裏面温度、冷却工程の表裏面温度、酸洗工程の酸濃度、酸温度、冷圧工程の表裏面温度、焼鈍工程の表裏面温度、鍍金工程の鍍金付着量、合金化度等である。

【００６３】

各製造条件および品質について、一つの製品に対して、それぞれ一つの平均値等の代表値が格納されている従来の実績データベース（図８（ａ）参照）から予測する場合と、本実施形態に係る品質予測方法の実績データベース（図８（ｂ）参照）から生成した品質予測モデルから予測する場合とで予測結果を比較した。実績データベースのサンプル数は４０００、説明変数の数は２５０、予測手法は決定木を用いた。予測の結果、図１１に示すように、本実施形態に係る品質予測方法による誤答率（図１１（ｂ）参照）は、従来の品質予測方法による誤答率（図１１（ａ）参照）と比較して、１４％低減できることが確認された。

【００６４】

また、本実施形態に係る品質予測方法を、冷延薄鋼板の一種である高強度冷延鋼板の引張強度予測に対して適用し、その予測結果に基づいて、その後の工程の製造条件の変更を行った。ここでは、製鋼工程、熱延工程および延工程の最終段階前までの製造条件の実績値までが得られている製造途中の段階で、冷延工程の最終段階の製造条件である焼鈍後冷却温度を変更する例について述べる。

【００６５】

製鋼工程、熱延工程および冷延工程の最終段階前までの製造条件の実績値、並びに冷延工程の最終段階の製造条件である焼鈍後冷却温度の基準値をもとに、本実施形態に係る品質予測方法を用いて予測した製品の全長の各位置の引張強度予測値を以下のように示す。

【数１】

$$\hat{y}^1, \hat{y}^2, \cdots \hat{y}^L$$

【００６６】

また、焼鈍温度後の冷却温度が基準値からΔμだけ変化したとき、本実施形態に係る品質予測方法を用いて予測した製品の全長の各位置の引張強度の変化量を以下のように示す。

【数２】

$$\Delta\hat{y}^1(\Delta u), \Delta\hat{y}^2(\Delta u), \cdots \Delta\hat{y}^L(\Delta u)$$

【００６７】

以上を踏まえて、下記式（１）で表現される最適化問題を解く。

【数３】

$$\Delta u^* = arg\min_{\Delta u}|\Delta u| \cdots subject\ to \cdots \quad \cdots (1)$$
$$y_{LL} \leq \hat{y}^k + \Delta\hat{y}^k(\Delta u) \leq y_{UL}, (k = 1,2,\cdots,L)$$

【００６８】

ここで、上記式（１）において、y_{LL}およびy_{UL}は、それぞれ引張強度の管理下限および管理上限であり、$\Delta\mu^*$は、この最適化問題の最適解である。この最適化問題は、分枝限定法等の数理計画法によって解くことができる。焼鈍温度後の冷却温度を$\Delta\mu^*$だけ変更することにより、全長の引張強度が管理範囲を外れることのない、すなわち全長に亘って品質不良のない冷延鋼板を得ることができる。

【００６９】

このように、本実施形態に係る品質予測方法の実績データベースに格納されている実績データは、最終工程の金属材料の各所定範囲において、先尾端の入れ替えの有無、表裏面の入れ替えの有無および切断位置等の実績データを考慮しながら、硬度または欠陥有無と全工程の製造条件の精密な実績データを遡って結合できるようになる。そして、そのように構築した実績データベースから生成した品質予測モデルをもとに、任意の製造条件における予測値を算出するため、金属材料の品質を高精度で予測することが可能となる。

【００７０】

以上、本発明に係る品質予測モデル生成方法、品質予測モデル、品質予測方法、金属材料の製造方法、品質予測モデル生成装置および品質予測装置について、発明を実施するための形態および実施例により具体的に説明したが、本発明の趣旨はこれらの記載に限定されるものではなく、請求の範囲の記載に基づいて広く解釈されなければならない。また、これらの記載に基づいて種々変更、改変等したものも本発明の趣旨に含まれることはいうまでもない。

【００７１】

例えば前記した実施形態において、一貫工程実績編集部１６は、各工程における金属材料の先尾端の入れ替えの有無、表裏面の入れ替えの有無および切断位置を考慮して所定範囲を特定していたが、金属材料の先尾端の入れ替え、金属材料の表裏面の入れ替え、金属材料の切断の各処理は、必ずしも全てを含まないケースもある。そのため、一貫工程実績編集部１６は、金属材料の先尾端の入れ替えの有無、金属材料の表裏面の入れ替えの有無および金属材料の切断位置の実績データのうちの、少なくとも一以上を考慮して所定範囲を特定することとしてもよい。

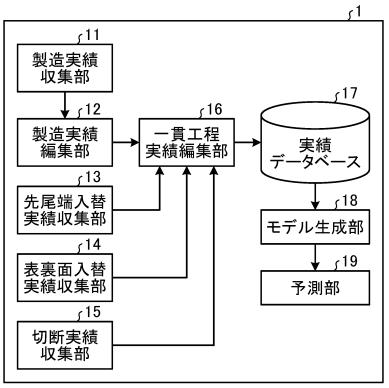
【符号の説明】

【００７２】

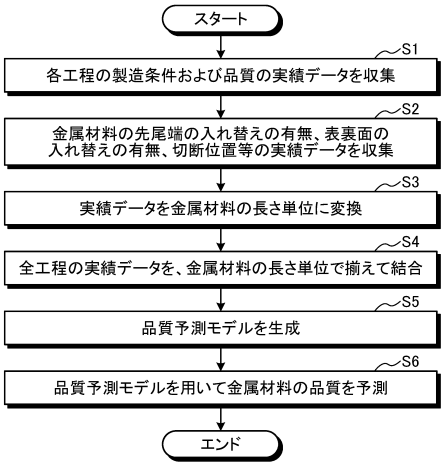
１　品質予測装置
１１　製造実績収集部
１２　製造実績編集部
１３　先尾端入替実績収集部
１４　表裏面入替実績収集部
１５　切断実績収集部
１６　一貫工程実績編集部
１７　実績データベース
１８　モデル生成部
１９　予測部

【図面】

【図１】



【図２】



【図３】

複数の製造条件(および品質)の実績値

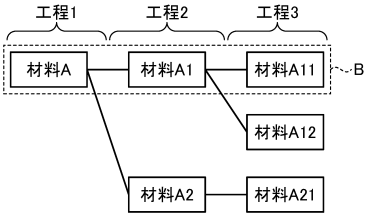
	時間	速度	製造条件1	製造条件2	…
複数の定周期の観測データ（時間単位）	t^1	v^1	x_1^1	x_2^1	…
	t^2	v^2	x_1^2	x_2^2	…
	⋮	⋮	⋮	⋮	

【図４】

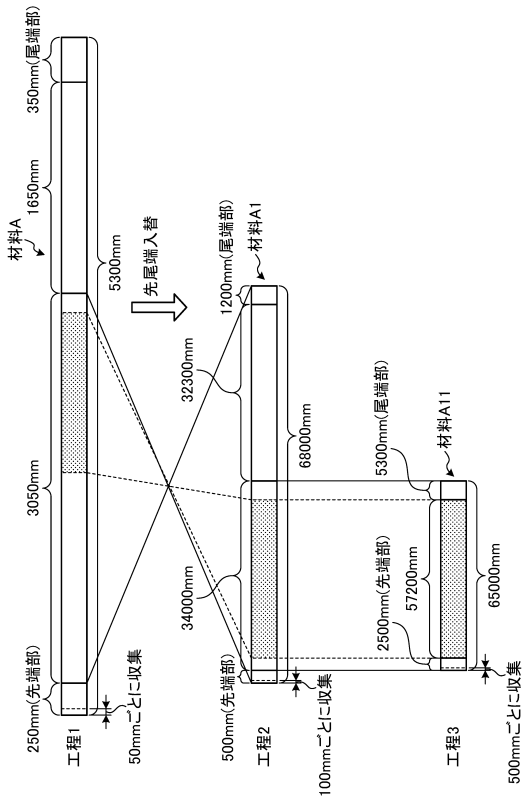
複数の製造条件(および品質)の実績値

	長さ	製造条件1	製造条件2	…
複数の定周期の観測データ（長さ単位）	l^1	x_1^1	x_2^1	…
	l^2	x_1^2	x_2^2	…
	⋮	⋮	⋮	

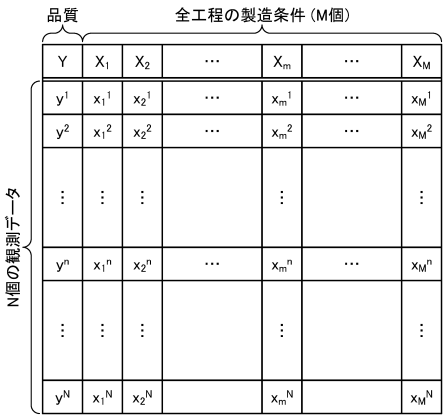
【図５】


工程1
工程2
工程3
材料A
材料A1
材料A11
B
材料A12
材料A2
材料A21

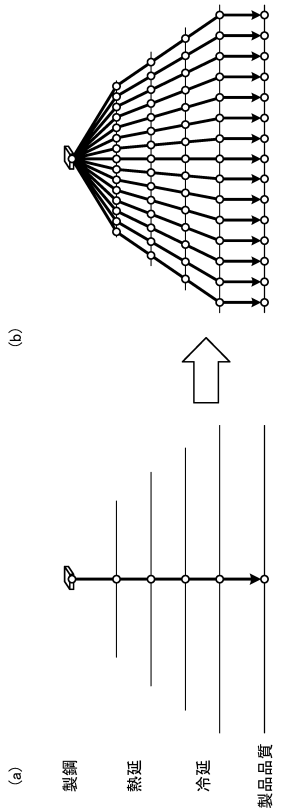
【図６】


材料A
350mm(尾端部)
1650mm
3050mm
250mm(先端部)
5300mm
先尾端入替
工程1
50mmごとに収集
32300mm
34000mm
1200mm(尾端部)
材料A1
68000mm
500mm(先端部)
工程2
100mmごとに収集
5300mm(尾端部)
材料A11
2500mm(先端部)
57200mm
65000mm
工程3
500mmごとに収集

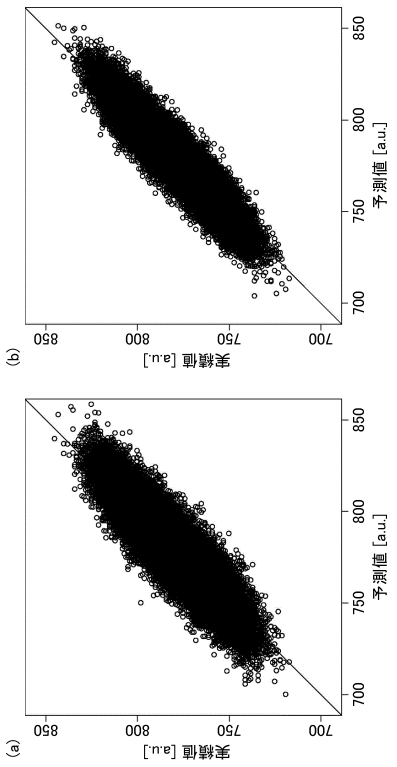
【図７】


品質
全工程の製造条件（M個）
N個の観測データ
Y
X1
X2
…
Xm
…
XM
y1
x11
x21
xm1
xM1
y2
x12
x22
xm2
xM2
yn
x1n
x2n
xmn
xMn
yN
x1N
x2N
xmN
xMN

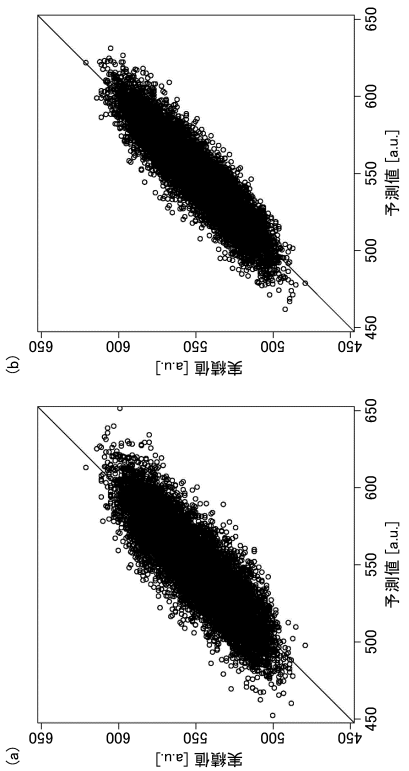
【図８】


(a)
製鋼
熱延
冷延
製品品質
(b)

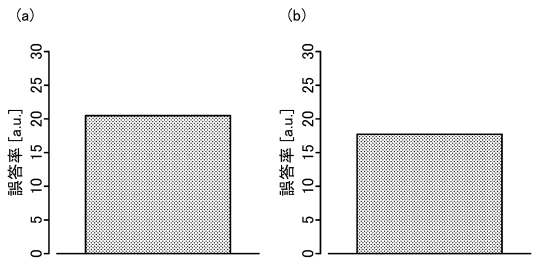
【図９】


(a)
(b)
実績値 [a.u.]
予測値 [a.u.]
700
750
800
850

【図１０】


(a)
(b)
実績値 [a.u.]
予測値 [a.u.]
450
500
550
600
650

【図１１】


(a)
(b)
誤答率 [a.u.]
0
5
10
15
20
25
30

フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１９－０７４９６９（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－１９５９２９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０５Ｂ １９／４１８
Ｇ０６Ｎ ２０／００