

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7664708号
(P7664708)

(45)発行日 令和7年4月18日(2025.4.18)

(24)登録日 令和7年4月10日(2025.4.10)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 2 S	50/00 (2014.01)	H 0 2 S	50/00
H 0 2 J	3/00 (2006.01)	H 0 2 J	3/00 1 7 0
H 0 2 J	3/38 (2006.01)	H 0 2 J	3/38 1 3 0
H 0 2 S	10/00 (2014.01)	H 0 2 S	10/00
請求項の数 18 (全21頁)			
(21)出願番号	特願2021-19557(P2021-19557)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号
(22)出願日	令和3年2月10日(2021.2.10)	(74)代理人	100118762 弁理士 高村 順
(65)公開番号	特開2022-122373(P2022-122373 A)	(72)発明者	松田 啓史 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内
(43)公開日	令和4年8月23日(2022.8.23)	(72)発明者	安並 一浩 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和6年1月25日(2024.1.25)	審査官	佐竹 政彦
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 太陽光発電出力予測装置、電力系統制御システム、需給制御システム、日射強度予測装置、学習装置、太陽光発電出力予測方法および太陽光発電出力予測プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】
時系列データとして得られる日射強度の予測値のうち日出時刻から日入時刻までの期間内の1つ以上の時刻に対応する1つ以上のデータである日射強度予測値と、前記時系列データの時間間隔より短い時間帯ごとの太陽光発電出力を示す値の実績値とを取得するデータ取得部と、
前記時間帯ごとに、前記時間帯内の前記実績値の統計量を算出し、前記日射強度予測値である第1の日射強度予測値と前記第1の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、前記入力データと前記入力データに対応する前記統計量とを含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから太陽光発電出力を示す値の前記時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成するモデル生成部と、
前記データ取得部によって取得される、予測対象日の前記日射強度予測値である第2の日射強度予測値と前記第2の日射強度予測値に対応する月とを前記学習済モデルに入力することによって前記学習済モデルの出力として太陽光発電出力を示す値の統計量を前記時間帯ごとに予測する予測部と、
を備え、
前記実績値は、前記時間帯ごとに、前記時間帯内の複数の時刻に対応する複数のデータを含み、
前記モデル生成部および前記予測部が利用する前記日射強度予測値に対応する時刻は、対応する前記時間帯内の時刻を含むことを特徴とする太陽光発電出力予測装置。

【請求項 2】

前記統計量はパーセンタイルおよび平均値のうち少なくとも1つであることを特徴とする請求項 1 に記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 3】

前記統計量は、前記時間帯内の前記実績値の最大値、最小値および中央値のうちの少なくとも1つであることを特徴とする請求項 2 に記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 4】

前記統計量は、前記時間帯内の前記実績値の最大値および最小値であることを特徴とする請求項 2 に記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 5】

前記第 1 の日射強度予測値および前記第 2 の日射強度予測値は、1 日のうちの第 1 の時刻から第 2 の時刻までの時系列データであることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 6】

前記第 1 の時刻は日出時刻であり、前記第 2 の時刻は日入時刻であることを特徴とする請求項 5 に記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 7】

前記第 1 の日射強度予測値および前記第 2 の日射強度予測値は、1 つ以上の地点の日射強度予測値であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 つに記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 8】

前記学習済モデルは前記太陽光発電出力を示す値の統計量の予測対象の地点である予測地点ごとに生成され、

前記 1 つ以上の地点は、前記予測地点を含む複数の地点であることを特徴とする請求項 7 に記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 9】

前記学習済モデルは前記時間帯ごとに生成されることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 つに記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 10】

前記太陽光発電出力を示す値は日射強度であり、

前記予測部は、前記時間帯ごとに、予測した前記統計量を用いて太陽光発電出力の統計量を算出することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 つに記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 11】

前記太陽光発電出力を示す値は前記太陽光発電出力自体であることを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 つに記載の太陽光発電出力予測装置。

【請求項 12】

時系列データとして得られる日射強度の予測値のうち日出時刻から日入時刻までの期間内の 1 つ以上の時刻に対応する 1 つ以上のデータである日射強度予測値と、前記時系列データの時間間隔より短い時間帯ごとの太陽光発電出力を示す値の実績値とを取得するデータ取得部と、

前記時間帯ごとに、日射強度予測値と月とから太陽光発電出力を示す値の前記時系列データの時間間隔より短い時間帯内の統計量を予測するための学習済モデルを記憶する学習済モデル記憶部と、

前記データ取得部によって取得される、予測対象日の前記日射強度予測値と月とを前記学習済モデルに入力することによって前記学習済モデルの出力として太陽光発電出力を示す値の統計量を前記時間帯ごとに予測する予測部と、

を備え、

前記実績値は、前記時間帯ごとに、前記時間帯内の複数の時刻に対応する複数のデータを含み、

10

20

30

40

50

前記予測部が利用する前記日射強度予測値に対応する時刻は、対応する前記時間帯内の時刻を含むことを特徴とする太陽光発電出力予測装置。

【請求項 13】

請求項 1 から 12 のいずれか 1 つに記載の太陽光発電出力予測装置と、
前記太陽光発電出力予測装置によって予測された太陽光発電出力を示す値の統計量を用いて電力系統の監視制御を行う電力系統制御装置と、
を備えることを特徴とする電力系統制御システム。

【請求項 14】

請求項 1 から 12 のいずれか 1 つに記載の太陽光発電出力予測装置と、
前記太陽光発電出力予測装置によって予測された太陽光発電出力を示す値の統計量を用いて電力の需給制御を行う需給制御装置と、
を備えることを特徴とする需給制御システム。

【請求項 15】

時系列データとして得られる日射強度の予測値のうち日出時刻から日入時刻までの期間内の 1 つ以上の時刻に対応する 1 つ以上のデータである日射強度予測値と、前記時系列データの時間間隔より短い時間帯ごとの日射強度の実績値とを取得するデータ取得部と、前記時間帯ごとに、前記時間帯内の前記実績値の統計量を算出し、前記日射強度予測値である第 1 の日射強度予測値と前記第 1 の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、前記入力データと前記入力データに対応する前記統計量とを含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから日射強度の前記時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成するモデル生成部と、

前記データ取得部によって取得される、予測対象日の前記日射強度予測値である第 2 の日射強度予測値と前記第 2 の日射強度予測値に対応する月とを前記学習済モデルに入力することによって前記学習済モデルの出力として日射強度の統計量を前記時間帯ごとに予測する予測部と、

を備え、

前記実績値は、前記時間帯ごとに、前記時間帯内の複数の時刻に対応する複数のデータを含み、

前記モデル生成部および前記予測部が利用する前記日射強度予測値に対応する時刻は、対応する前記時間帯内の時刻を含むことを特徴とする日射強度予測装置。

【請求項 16】

時系列データとして得られる日射強度の予測値のうち日出時刻から日入時刻までの期間内の 1 つ以上の時刻に対応する 1 つ以上のデータである日射強度予測値と、前記時系列データの時間間隔より短い時間帯ごとの太陽光発電出力を示す値の実績値とを取得するデータ取得部と、

前記時間帯ごとに、前記時間帯内の前記実績値の統計量を算出し、前記日射強度予測値である第 1 の日射強度予測値と前記第 1 の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、前記入力データと前記入力データに対応する前記統計量とを含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから太陽光発電出力を示す値の前記時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成するモデル生成部と、

を備え、

前記実績値は、前記時間帯ごとに、前記時間帯内の複数の時刻に対応する複数のデータを含み、

前記モデル生成部が利用する前記日射強度予測値に対応する時刻は、対応する前記時間帯内の時刻を含むことを特徴とする学習装置。

【請求項 17】

太陽光発電出力予測装置における太陽光発電出力予測方法であって、
時系列データとして得られる日射強度の予測値のうち日出時刻から日入時刻までの期間内の 1 つ以上の時刻に対応する 1 つ以上のデータである日射強度予測値を取得する第 1 取得ステップと、

前記時系列データの時間間隔より短い時間帯ごとの太陽光発電出力を示す値の実績値を取得する第2取得ステップと、

前記時間帯ごとに、前記時間帯内の前記実績値の統計量を算出する算出ステップと、
前記時間帯ごとに、前記日射強度予測値である第1の日射強度予測値と前記第1の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、前記入力データと前記入力データに対応する前記統計量を含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから太陽光発電出力を示す値の前記時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成する生成ステップと、

前記第1取得ステップによって取得される、予測対象日の前記日射強度予測値である第2の日射強度予測値と前記第2の日射強度予測値に対応する月とを前記学習済モデルに入力することによって前記学習済モデルの出力として太陽光発電出力を示す値の統計量を前記時間帯ごとに予測する予測ステップと、

を含み、

前記実績値は、前記時間帯ごとに、前記時間帯内の複数の時刻に対応する複数のデータを含み、

前記生成ステップおよび前記予測ステップで利用される前記日射強度予測値に対応する時刻は、対応する前記時間帯内の時刻を含むことを特徴とする太陽光発電出力予測方法。

【請求項18】

コンピュータシステムに、

時系列データとして得られる日射強度の予測値のうち日出時刻から日入時刻までの期間内の1つ以上の時刻に対応する1つ以上のデータである日射強度予測値を取得する第1取得ステップと、

前記時系列データの時間間隔より短い時間帯ごとの太陽光発電出力を示す値の実績値を取得する第2取得ステップと、

前記時間帯ごとに、前記時間帯内の前記実績値の統計量を算出する算出ステップと、
前記時間帯ごとに、前記日射強度予測値である第1の日射強度予測値と前記第1の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、前記入力データと前記入力データに対応する前記統計量を含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから太陽光発電出力を示す値の前記時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成する生成ステップと、

前記第1取得ステップによって取得される、予測対象日の前記日射強度予測値である第2の日射強度予測値と前記第2の日射強度予測値に対応する月とを前記学習済モデルに入力することによって前記学習済モデルの出力として太陽光発電出力を示す値の統計量を前記時間帯ごとに予測する予測ステップと、

を実行させ、

前記実績値は、前記時間帯ごとに、前記時間帯内の複数の時刻に対応する複数のデータを含み、

前記生成ステップおよび前記予測ステップで利用される前記日射強度予測値に対応する時刻は、対応する前記時間帯内の時刻を含むことを特徴とする太陽光発電出力予測プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、太陽光発電出力を予測する太陽光発電出力予測装置、電力系統制御システム、需給制御システム、日射強度予測装置、学習装置、太陽光発電出力予測方法および太陽光発電出力予測プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、再生可能エネルギーの利用を拡大することの重要性が高まっており、太陽光発電設備などの分散型電源を設置し、電力系統（送配電系統）に電力を供給する需要家が増え

10

20

30

40

50

てきている。一方、太陽光発電設備は、火力発電設備のように、その発電出力を任意に調整することが難しく、また、日射強度（太陽光）の変動でその発電出力が変動する電源であるため、その発電出力変動を正確に予測する必要がある。このため、各所で、各需要家が設置した太陽光発電設備の発電出力を予測するために必要となる技術開発が行われている。例えば、特許文献1には、日射強度の予測値を用いて太陽光発電設備の発電出力を予測する技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2016-136807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に記載の技術では、太陽光発電出力の時間分解能は、気象情報として得られる日射強度の予測値の時間分解能に依存する。一方、電力システムの運用（特に、電力系統制御）などの用途では、日射強度の予測値の時間分解能よりも高い時間分解能で太陽光発電出力の予測値が必要となる場合があり、このような場合、特許文献1に記載の技術では、太陽光発電出力の予測値の時間分解能が要件を満足できないため、電力系統制御では活用できない可能性がある。このため、取得した日射強度の予測値の時間分解能より高い時間分解能で太陽光発電出力の予測を行うことが望まれている。

【0005】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、取得した日射強度の予測値の時間分解能より高い時間分解能で太陽光発電出力の予測を行うことができる太陽光発電出力予測装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示にかかる太陽光発電出力予測装置は、時系列データとして得られる日射強度の予測値のうち日出時刻から日入時刻までの期間内の1つ以上の時刻に対応する1つ以上のデータである日射強度予測値と、時系列データの時間間隔より短い時間帯ごとに太陽光発電出力を示す値の実績値とを取得するデータ取得部と、時間帯ごとに、時間帯内の実績値の統計量を算出し、日射強度予測値である第1の日射強度予測値と第1の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、入力データと入力データに対応する統計量とを含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから太陽光発電出力を示す値の時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成するモデル生成部と、を備える。太陽光発電出力予測装置は、データ取得部によって取得される、予測対象日の日射強度予測値である第2の日射強度予測値と第2の日射強度予測値に対応する月とを学習済モデルに入力することによって学習済モデルの出力として太陽光発電出力を示す値の統計量を時間帯ごとに予測する予測部と、を備え、実績値は、時間帯ごとに、時間帯内の複数の時刻に対応する複数のデータを含み、モデル生成部および予測部が利用する日射強度予測値に対応する時刻は、対応する時間帯内の時刻を含む。

【発明の効果】

【0007】

本開示によれば、取得した日射強度の予測値の時間分解能より高い時間分解能で太陽光発電出力の予測を行うことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施の形態にかかる太陽光発電出力予測装置を含む電力系統制御システムの構成例を示す図

【図2】太陽光発電出力予測装置における学習済モデルの生成手順の一例を示すフローチ

10

20

30

40

50

ャート

【図 3】外部予測値の区画の一例を示す図

【図 4】学習済モデルの生成に用いられる外部予測値の一例を示す図

【図 5】外部予測値の時系列データの一例をグラフとして示した模式図

【図 6】日射強度実績値と時間窓内の最大値および最小値の一例を示す図

【図 7】ニューラルネットワークの一例を示す模式図

【図 8】日射強度の統計量の予測処理手順の一例を示すフローチャート

【図 9】予測対象日の外部予測値と日射強度の最大値および最小値の予測結果との一例を示す図

【図 10】太陽光発電出力予測装置を実現するコンピュータシステムの構成例を示す図

【図 11】電力系統制御システムの別の構成例を示す図

【図 12】太陽光発電出力予測装置を含む需給制御システムの構成例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に、実施の形態にかかる太陽光発電出力予測装置、電力系統制御システム、需給制御システム、日射強度予測装置、学習装置、太陽光発電出力予測方法および太陽光発電出力予測プログラムを図面に基づいて詳細に説明する。

【0010】

図 1 は、実施の形態にかかる太陽光発電出力予測装置を含む電力系統制御システムの構成例を示す図である。本実施の形態の太陽光発電出力予測装置 10 は、外部から取得した日射強度（あるいは、太陽光発電出力）の予測値を用いて所望の時間分解能の日射強度を予測し、予測した日射強度を用いて太陽光発電出力を予測する。具体的には、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置 10 は、外部から取得した日射強度（あるいは、太陽光発電出力）の予測値を用いて所望の時間分解能の日射強度の統計量を予測する。以下では、日射強度の予測値を用いて所望の時間分解能の日射強度を予測する例を挙げて説明するが、後述するように、太陽光発電出力を用いて日射強度を予測してもよい。太陽光発電出力予測装置 10 が予測する日射強度の統計量は、例えばパーセンタイル（特に、0 パーセンタイルである最小値、または、100 パーセンタイルである最大値など）、平均値である。

【0011】

図 1 に示すように、例えば、太陽光発電出力予測装置 10 は、電力系統の電圧、電流などの監視制御を行う電力系統制御装置 20 とともに、電力系統制御システム 30 を構成する。太陽光発電出力予測装置 10 は、電力系統制御システム 30 に限らず、後述するように電力の需給制御のために用いられてもよく、太陽光発電出力予測装置 10 の用途は、この例に限定されない。ここでは、まず、図 1 に示すように、太陽光発電出力予測装置 10 によって予測される太陽光発電出力が電力系統の監視制御に用いられる例について説明する。

【0012】

太陽光発電出力予測装置 10 は、データ取得部 11、データ記憶部 12、モデル生成部 13、学習済モデル記憶部 14、予測部 15、送信部 16 および表示部 17 を備える。

【0013】

データ取得部 11 は、外部予測値提供システム 40 から日射強度の予測値である日射強度予測値を取得し、取得した日射強度予測値をデータ記憶部 12 に格納する。外部予測値提供システム 40 から提供される日射強度予測値は、日時と予測値とが対応付けられた情報である。以下、外部予測値提供システム 40 から取得された日射強度予測値を外部予測値とも呼ぶ。外部予測値は、太陽光発電出力の予測値であってもよい。外部予測値提供システム 40 は、GSM (Global Spectral Model) データを提供するシステムであってもよいし、MSM (Meso-Scale Model) データを提供するシステムであってもよいし、日射強度予測値を提供するその他のシステムであってもよい。また、図 1 では、外部予測値提供システム 40 を 1 つ図示しているが、外部予測値提供システム 40 は、複数であってもよく、複数の外部予測値提供システム 40 は、それぞれ異なる手法で日射強度予測値

10

20

30

40

50

を提供してもよい。

【0014】

また、データ取得部11は、実績値提供装置41から、外部から取得した実績値である日時と対応付けられた日射強度の実績値を取得し、取得した実績値をデータ記憶部12に格納する。このように、データ取得部11は、日射強度予測値と、日射強度の実績値を取得する。日射強度の実績値は、後述するように、日射強度の予測のための学習済モデルの生成において正解データとして用いられる。以下、実績値提供装置41から取得された日射強度の実績値を外部実績値とも呼ぶ。日射強度の実績値は、日射計により実測された値であってもよいし、衛星画像やアメダス計測値等から推定された値であってもよい。また、外部実績値として、太陽光発電出力の実績値を用いてもよい。太陽光発電出力の実績値は、太陽光発電出力の計測値を用いてもよいし、精度の高い手法により推定された太陽光発電出力の推定値であってもよい。太陽光発電出力の計測値は、例えば、電力量の自動検針を行う計量装置であるスマートメータのうち、発電量と消費電力量とを個別に計測可能なスマートメータによって計測された値を用いてもよいし、太陽光発電設備におけるPCS (Power Conditioning System) により計測された値であってもよいし、その他の計測装置により太陽光発電設備において太陽光発電出力が計測された値であってもよい。精度の高い太陽光発電出力の推定方法としては、例えば、地理的に距離の近い位置における、太陽光発電出力の計測値または日射強度の実績値を用いた推定方法が挙げられるがこれに限定されない。なお、以下では、外部実績値を日射強度の実績値とした例について説明する。

10

20

【0015】

モデル生成部13は、データ記憶部12に格納されている外部予測値および日射強度の実績値を用いて、日射強度の予測のための学習済モデル、詳細には日射強度の統計量を予測するための学習済モデルを生成し、生成した学習済モデルを学習済モデル記憶部14へ格納する。学習済モデルの詳細については後述する。

【0016】

予測部15は、学習済モデル記憶部14に記憶されている学習済モデルを読み出し、データ記憶部12に記憶されている外部予測値のうち予測対象の期間に対応するデータを学習済モデルへ入力することで、予測対象の期間の日射強度の統計量を予測する。予測部15は、日射強度の統計量の予測結果を用いて太陽光発電出力の統計量を予測し、太陽光発電出力の統計量の予測結果を送信部16および表示部17へ出力する。

30

【0017】

送信部16は、太陽光発電出力の統計量の予測結果を電力系統制御装置20へ送信する。表示部17は、太陽光発電出力の統計量の予測結果を表示する。また、表示部17は、予測部15における予測の入力に用いられたデータを表示することもできる。

【0018】

次に、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10の動作について説明する。本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10は、GSMデータ、MSMデータなどをはじめとした日射強度予測値である外部予測値を用いて太陽光発電出力を予測するが、これらの外部予測値は、例えば、1時間ごとといったように時間分解能が定められている。一方、電力系統の監視制御などの電力系統の運用においては、例えば30分ごとといったように、これらの外部予測値の時間分解能より高い時間分解能で太陽光発電出力を予測することが望まれている。なお、電力系統の運用には、電力系統の監視制御を行う電力系統制御と、電力の需要（電力需要）と供給（発電量）のバランスを管理する電力需給制御が含まれる。

40

【0019】

本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10は、日射強度の実績値を外部予測値より高い時間分解能で取得し、要求される時間分解能に対応する予め定められた長さの時間窓ごとに、実績値の統計量を求める。そして、太陽光発電出力予測装置10は、日出時刻から日入時刻までの時間帯の外部予測値の時系列データと、当該時系列データに対応する日時のうちの「月」とを特徴量とし、外部予測値の予測対象日時における上記実績値の統計量

50

を正解データとして、教師あり機械学習により学習済モデルを、時間枠ごとに生成する。日出時刻および日入時刻は、固定値（たとえば、6時および18時など）を用いられてもよいし、月ごとの平均値が用いられてもよいし、季節ごとの平均値が用いられてもよい。太陽光発電出力予測装置10は、この学習済モデルを用いることで、予測対象の日時の外部予測値を用いて時間窓ごとの日射強度の統計量を予測する。時間窓の長さは要求される時間分解能に対応しているため、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10は、外部予測値の時間分解能に依存せずに、要求される時間分解能で日射強度の統計量を予測することができる。これにより、太陽光発電出力予測装置10は、要求される時間分解能で太陽光発電出力の統計量を予測することができる。電力系統の運用においては、最過酷な条件などのように特定の条件を想定した場合の太陽光発電出力を予測することが望まれている。このため、最大値（100パーセント）、最小値（0パーセント）、中央値（50パーセント）などのように、各時間帯の太陽光発電出力のパーセントを予測することで電力系統の運用に反映することができる。したがって、日射強度の統計量は、例えば、時間帯内の日射強度の実績値の最大値、最小値および中央値のうちの少なくとも1つである。

【0020】

図2は、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10における学習済モデルの生成手順の一例を示すフローチャートである。太陽光発電出力予測装置10は、予測対象の地点ごとに、例えば、図2に例示する処理により、学習済モデルを生成する。なお、図2では、日射強度の統計量の一例として、最大値および最小値を算出する例を示すが、日射強度の統計量はこれに限定されず、最大値および最小値のいずれか一方であってもよいし、中央値、25パーセント、75パーセントなどであってもよく、また平均値であってもよい。また、最大値、最小値および中央値といったように3つ以上の値であってもよい。

【0021】

図2に示すように、太陽光発電出力予測装置10は、予測地点周辺の複数地点における日出時刻から日入時刻までの日射強度予測値（外部予測値）を取得する（ステップS1）。詳細には、データ取得部11が、例えば、定期的に外部予測値提供システム40から外部予測値を取得してデータ記憶部12に蓄積しておき、モデル生成部13が、データ取得部11から予測地点を含む複数地点における日出時刻から日入時刻までの外部予測値を抽出して読み出すことで外部予測値を取得する。または、図2の処理の開始後に、データ取得部11が予測地点周辺の複数地点における日出時刻から日入時刻までの日射強度予測値を取得してデータ記憶部12に格納し、モデル生成部13がデータ記憶部12からこれらのデータを読み出してもよい。ステップS1で取得されるデータは後述するように、学習済モデルの生成において特徴量として用いられる。また、日出時刻および日入時刻は、オペレータなどによって入力されることで太陽光発電出力予測装置10に設定されてもよいし、図示しない他の装置から送信されて太陽光発電出力予測装置10に設定されてもよい。また、予測地点および複数地点についても、同様に、オペレータなどによって太陽光発電出力予測装置10に入力されることで指定されてもよいし、図示しない他の装置から指定されてもよい。

【0022】

ここで、ステップS1で太陽光発電出力予測装置10が取得する外部予測値について説明する。GSMデータ、MSMデータなどをはじめとした外部予測値は、例えば、 $X \text{ km} \times X \text{ km}$ （ X は正の実数）の空間分解能で提供される。すなわち、外部予測値は、例えば、 $X \text{ km} \times X \text{ km}$ を1区画として区画ごとに提供される。なお、外部予測値の空間分解能は、 $X \text{ km} \times X \text{ km}$ に限らず、1区画は緯度経度で規定されていてもよく各区画の大きさは等しくなくてもよい。

【0023】

図3は、本実施の形態の外部予測値の区画の一例を示す図である。図3では、 $X \text{ km} \times X \text{ km}$ の区画が35個示されている。各区画を識別する識別情報を地点番号と呼ぶこととすると、図3では、地点番号1から地点番号35までの35個の区画が示されている。な

お、以下では区画単位的位置を地点とも呼ぶ。本実施の形態では、地点番号18の区画を太陽光発電出力の予測対象の地点である予測地点200とすると、例えば、予測地点200に加えて図3に示す34個の区画に対応する外部予測値の日出時刻から日入時刻までの時間帯の時系列データを用いて学習済モデルを生成する。このように、複数地点の外部予測値を用いると、予測地点200自体の影響だけでなく周辺の地点（区画）の影響を反映した学習済モデルを生成することができるため、学習済モデルの精度を向上させることができる。予測地点200の日射強度の統計量を予測する際には、同様に、予測地点200に加えて図3に示す34個の地点に対応する外部予測値の日出時刻から日入時刻までの時間帯の時系列データを学習済モデルに入力する。

【0024】

図4は、学習済モデルの生成に用いられる外部予測値の一例を示す図である。図4は、6月のある一日における事例を示している。図4に示すように、学習済モデルの生成には、外部予測値に対応する「月」と、各区画、すなわち各地点における、日出時刻から日入時刻までの時間帯の日射強度の予測値の時系列データと、が特徴量として用いられる。なお、図3および図4に示した例では特徴量として35個の地点の外部予測値を用いるが、図3および図4は一例であり、特徴量として予測値を用いる地点の数は1以上であればよい。また、特徴量として予測値を用いる地点は、予測地点200の周辺の地点であるが、予測地点200自体を含んでいてもよいし含んでいなくてもよい。例えば、予測地点200の外部予測値だけを特徴量として用いてもよいし、予測地点200に隣接する複数地点の外部予測値だけを特徴量として用いてもよい。図3および図4に示す例では、予測地点200と、予測地点200に経度方向の両側のそれぞれに連続して隣接する2地点ずつと、予測地点200に緯度方向の両側のそれぞれに連続して隣接する3地点ずつとの外部予測値を用いている。このように、緯度方向と経度方向とで、外部予測値を用いる地点の数を異ならせてもよい。

【0025】

図4に示した例では、外部予測値は1時間ごとの予測値であるが、外部予測値の時間分解能は図4に示した例に限定されない。また、日出時刻から日入時刻は、「月」にかかわらず固定としてもよく、「月」ごとに定めてもよい。図4に示した例では、6月の値を例示しており、日出時刻を6時とし、日入時刻を18時としている。なお、日入時刻および日出時刻はこの例に限定されない。なお、外部予測値において、例えば、6時の日射強度予測値は6時から7時までの平均値の予測値である。このように各時刻の日射強度予測値は当該時刻から次に時刻までの間の予測値であるため、図4では、日出時刻から日入時刻までの時間帯を6時から18時までの時間帯としたときの時系列データとして、6時から17時までのデータが示されている。

【0026】

図5は、外部予測値の時系列データの一例をグラフとして示した模式図である。図5では、ある1つの地点の外部予測値の時系列データを示している。図5では、図4に示した例と同様に、日出時刻から日入時刻までの時間帯を6時から18時までの時間帯とし、6時から17時までの12点のデータが示されている。図2に示したステップS1では、例えば、図3に示すように35地点の外部予測値が用いられる場合には、ある日の外部予測値に関して図5に例示した本実施の形態の12点の時系列データが35地点分取得されることになる。ステップS1では、「月」ごとに1日分以上の外部予測が取得されればよい。

【0027】

図2の説明に戻る。ステップS1の後、太陽光発電出力予測装置10は、初期時刻を設定する（ステップS2）。詳細には、モデル生成部13が、時刻 t を初期時刻 T_1 に設定する。 T_1 は、上述した日出時刻である。

【0028】

次に、太陽光発電出力予測装置10は、時刻 t における時間窓である U 分窓内の日射強度実績値の最大値と最小値を取得する（ステップS3）。なお、日射強度実績値は、実績値提供装置41から取得した日射強度の実績値であり、外部予測値より高い時間分解能で

10

20

30

40

50

得られた計測値または推定値である。日射強度実績値は、データ取得部 11 によって取得されてデータ記憶部 12 に格納されている。モデル生成部 13 は、データ記憶部 12 に格納されている日射強度実績値を読み出し、時刻 t を起点とした U 分間を時間窓として、時間窓内の日射強度実績値の最大値および最小値を求めることで、時刻 t の最大値および最小値を取得する。

【0029】

図 6 は、日射強度実績値と時間窓内の最大値および最小値の一例を示す図である。図 6 では、日出時刻から日入時刻までの時間帯のうちの一部を拡大して示している。図 6 に示した例では、時間窓 U を 30 としており、30 分の時間窓内における実績値の最大値および最小値が算出される例を示している。図 6 に黒丸で示した点は実績値を示し、白四角で示した点は算出された最大値を示し、白三角形で示した点は算出された最小値を示している。例えば、9 時から 9 時 30 分までの 30 分間の間の最大の実績値である実績値 301 が、9 時に対応する最大値 303 として算出され、9 時から 9 時 30 分までの 30 分間の間の最小の実績値である実績値 302 が、9 時に対応する最小値 304 として算出される。このようにして、時刻 t における U 分窓内の日射強度実績値の最大値と最小値が算出される。

【0030】

図 2 の説明に戻る。ステップ S3 の後、太陽光発電出力予測装置 10 は、外部予測値と「月」を特徴量とし実績値を正解データとして機械学習で学習済モデルを生成する（ステップ S4）。詳細には、モデル生成部 13 は、ステップ S1 で取得した外部予測値と当該外部予測値に対応する「月」とを特徴量とし、ステップ S3 で取得された時刻 t の最大値および最小値とを正解データとするデータセットを学習用データとして、教師あり学習により学習済モデルを生成する。なお、正解データには、その学習済モデルが対象とする予測対象時間帯における時刻 t の最大値および最小値を用いる。この学習済モデルは、外部予測値と当該外部予測値に対応する「月」とから、時刻 t における日射強度の統計量の一例である最大値および最小値を推論するための学習済モデルである。

【0031】

例えば、ある「月」のある日について、外部予測値と日射強度実績値との両方があれば、これらの特徴量および正解データとする 1 組の学習用データとすることができ、これらのデータセットを複数組用いることで学習済モデルを生成することができる。また、時間窓 U の時間分解能と比較して、外部予測値の時間分解能が低いことも想定されるが、その場合は、学習データの特徴量である外部予測値は同じ値を用いる。たとえば、時間窓 U が 30 分で、外部予測値の時間分解能が 1 時間である場合等が想定される。その場合、たとえば、外部予測値は 9 時～10 時の平均値が 9 時の予測値となるが、9 時～9 時 30 分の学習データの特徴量としては、9 時の外部予測値と「月」を、学習データの正解データとしては、9 時～9 時 30 分における最大値および最小値を利用し、9 時 30 分～10 時の学習データの特徴量としては、9 時の外部予測値と「月」を、学習データの正解データとしては、9 時 30 分～10 分における最大値および最小値を利用する。なお、上記の事例では、学習データの特徴量として、学習済モデルが対象とする予測対象時間帯における外部予測値のみを利用する事例を説明したが、学習データの特徴量としては、対象日一日における外部予測値をすべて利用することにしてもよいし、その一部を利用することにしてもよい。

【0032】

このように、モデル生成部 13 は、外部予測値である日射強度予測値の時間間隔より短い時間帯内の日射強度の実績値の統計量を算出し、外部予測値である第 1 の日射強度予測値と第 1 の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、入力データと入力データに対応する月の上記の統計量とを含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから日射強度の各時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成する。

【0033】

10

20

30

40

50

教師あり学習のアルゴリズムとしては、回帰型の機械学習のアルゴリズムであればどのようなものを用いてもよい。例えば、ニューラルネットワーク（深層学習を含む）、決定木、重回帰、ランダムフォレスト、勾配ブースティング、サポートベクトル回帰などを用いることができる。ニューラルネットワークは、複数のニューロンからなる入力層、複数のニューロンからなる中間層（隠れ層）、および複数のニューロンからなる出力層で構成される。中間層は、1層、又は2層以上でもよい。

【0034】

図7は、ニューラルネットワークの一例を示す模式図である。例えば、図7に示すような3層のニューラルネットワークであれば、複数の入力が入力層（ $X_1 - X_3$ ）に入力されると、その値に重み W_1 （ $w_{11} - w_{16}$ ）を掛けて中間層（ $Y_1 - Y_2$ ）に入力され、その結果にさらに重み W_2 （ $w_{21} - w_{26}$ ）を掛けて出力層（ $Z_1 - Z_3$ ）から出力される。この出力結果は、重み W_1 と W_2 の値によって変わる。

【0035】

本実施の形態においては、入力層に上述した学習用データの特徴量が入力されたときの出力層からの出力が正解データに近づくように、重み W_1 と W_2 を調整することで、特徴量と正解データとの関係が学習される。なお、機械学習のアルゴリズムは、上述のとおり、ニューラルネットワークに限定されない。

【0036】

図2の説明に戻る。ステップS4の後、太陽光発電出力予測装置10は、時刻をU分だけ進める（ステップS5）。詳細には、モデル生成部13が、時刻 t の値を $t+U$ に更新する。次に、太陽光発電出力予測装置10は、終了時刻まで計算したかを判断する（ステップS6）。詳細には、モデル生成部13が、時刻 t が終了時刻である T_2 を超えたか否かを判断する。 T_2 は上述した日入時刻である。

【0037】

終了時刻まで計算した場合（ステップS6 Yes）、太陽光発電出力予測装置10は、学習済モデルの生成処理を終了する。終了時刻まで計算していない場合（ステップS6 No）、太陽光発電出力予測装置10は、ステップS3からの処理を繰り返す。以上の処理により、日出時刻から日入時刻までのU分ごとの各時刻に対応する学習済モデルが生成される。すなわち、時間帯ごとに学習済モデルが生成される。例えば、日出時刻を6時とし、日入時刻を18時とし、Uを30とした場合、6時から30分おきの17時30分までの合計24個の学習済モデルが生成される。なお、Uは30に限定されず、要求される時間分解能に応じて決定されればよい。

【0038】

予測地点が複数想定される場合には、予測地点ごとに、図2に示した処理を行うことで、各予測地点に関する学習済モデルを作成しておく。

【0039】

次に、学習済モデルを用いた日射強度の統計量の予測について説明する。図8は、本実施の形態の日射強度の統計量の予測処理手順の一例を示すフローチャートである。図8では、図2に示した例と同様に、統計量として最大値および最小値を予測する例を説明する。

【0040】

太陽光発電出力予測装置10は、予測地点周辺の複数地点における日出時刻から日入時刻までの日射強度予測値（外部予測値）を取得する（ステップS11）。詳細には、予測部15が、データ記憶部12に格納されている外部予測値のうち、予測対象日における予測地点周辺の複数地点における日出時刻から日入時刻までの日射強度予測値（外部予測値）を抽出して読み出すことで外部予測値を取得する。なお、予測対象日、予測地点および複数地点は、オペレータなどによって太陽光発電出力予測装置10に入力されることで指定されてもよいし、図示しない他の装置から指定されてもよい。

【0041】

次に、太陽光発電出力予測装置10は、初期時刻を設定する（ステップS12）。詳細には、予測部15が、時刻 t を初期時刻 T_1 に設定する。次に、太陽光発電出力予測装置

10

20

30

40

50

10は、時刻 t における学習済モデルを呼び出す（ステップS13）。詳細には、予測部15が、学習済モデル記憶部14から時刻 t に対応する学習済モデルを読み出すことで、学習済モデルを呼び出す。

【0042】

次に、太陽光発電出力予測装置10は、外部予測値および「月」を学習済モデルに入力し、時刻 t におけるU分窓内の日射強度の最大値と最小値を予測する（ステップS14）。詳細には、予測部15が、ステップS11で取得した外部予測値を学習済モデルに入力し、学習済モデルから出力される、日射強度の最大値および最小値を得ることで、時刻 t の日射強度の最大値と最小値を予測する。

【0043】

このように、予測部15は、データ取得部11によって取得される、予測対象日の日射強度予測値である第2の日射強度予測値と第2の日射強度予測値に対応する月とを学習済モデルに入力することによって学習済モデルの出力として日射強度の統計量を時間帯ごとに予測する。

【0044】

次に、太陽光発電出力予測装置10は、時刻をU分だけ進める（ステップS15）。詳細には、予測部15が、時刻 t の値を $t+U$ に更新する。次に、太陽光発電出力予測装置10は、終了時刻まで計算したかを判断する（ステップS16）。詳細には、予測部15が、時刻 t が終了時刻である T_2 を超えたか否かを判断する。

【0045】

終了時刻まで計算した場合（ステップS16 Yes）、太陽光発電出力予測装置10は、予測処理を終了する。終了時刻まで計算していない場合（ステップS16 No）、太陽光発電出力予測装置10は、ステップS13からの処理を繰り返す。以上の処理により、予測対象日における予測地点の日出時刻から日入時刻までのU分ごとの各時刻の日射強度の最大値および最小値が算出される。また、予測部15は、日射強度の最大値および最小値の予測結果を用いて太陽光発電出力の最大値および最小値の予測値を算出し、算出した予測値を送信部16へ出力する。日射強度から太陽光発電出力を算出する方法は、太陽光発電設備の定格容量および係数を日射強度に乗算する方法などのように、一般的な任意の方法を用いることができる。また、日射強度を太陽光発電出力に変換する変換係数を実績値に基づいて求めておき、この変換係数を用いて日射強度から太陽光発電出力を算出してもよい。送信部16は、予測部15によって算出された予測値を電力系統制御装置20へ送信する。なお、送信部16は、予測部15によって予測された日射強度の統計量を電力系統制御装置20へ送信し、電力系統制御装置20が日射強度の統計量から太陽光発電出力の予測値を求めてもよい。

【0046】

また、予測部15は、日射強度の最大値および最小値、および太陽光発電出力の最大値および最小値の予測値を表示部17へ渡し、表示部17は、日射強度の最大値および最小値、および太陽光発電出力の最大値および最小値の予測値を表示する。なお、図8に示した例では、日出時刻から日入時刻までの日射強度の最大値および最小値を算出したが、ある日のある時刻の日射強度の最大値および最小値を予測したい場合には、上記ステップS12で用いる T_1 、ステップS16で用いる T_2 を、それぞれ日出時刻、日入時刻とする代わりに、予測対象の時刻を T_1 とし、 T_2 を T_1 以降で T_1+U 以前の値に設定すればよい。

【0047】

図9は、本実施の形態の予測対象日の外部予測値と日射強度の最大値および最小値の予測結果との一例を示す図である。図9の上段には予測部15の予測処理において入力データとなる外部予測値、すなわちステップS11で取得した予測対象日の外部予測値を示しており、図9の下段には、日射強度の最大値および最小値の予測結果を示している。図9では、日出時刻を6時とし、日入時刻を18時とし、時間窓Uを30としている。図9からわかるように、外部予測値の時間分解能は1時間であるが、予測結果である日射強度の

10

20

30

40

50

最大値および最小値の予測値は、30分ごとに得られている。このように、本実施の形態では、外部予測値の時間分解能より高い分解能で日射強度の予測結果が得られる。このため、太陽光発電出力についても、外部予測値の時間分解能より高い分解能で予測することができる。

【0048】

表示部17は、図9の上段に示した外部予測値、図9の下段に示した日射強度の最大値および最小値の予測結果などを表示することができる。同様に、図示は省略するが、表示部17は、太陽光発電出力の最大値および最小値の予測値を表示することができる。

【0049】

なお、上記の例では、特徴量として日出時刻から日入時刻までの全時間帯の外部予測値を用いた。すなわち、上記の例では、学習済モデルの生成に用いられる外部予測値である第1の日射強度予測値、および予測処理において学習済モデルに入力される外部予測値である第2の日射強度予測値は、1日のうちの第1の時刻から第2の時刻までの時系列データであり、第1の時刻は、日出時刻であり、第2の時刻は日入時刻であった。外部予測値の時系列データの長さを決める第1の時刻および第2の時刻はこれに限定されず、予測対象の時刻 t を含む1つ以上の時間枠の外部予測値が用いられればよい。例えば、9時に対応する学習済モデルの生成には特徴量として外部予測値の9時の値だけが用いられてもよいし、外部予測値の8時、9時および10時の3つの時刻の値が用いられてもよい。

【0050】

また、太陽光発電出力予測装置10は、外部予測値として、複数の種類の日射強度の予測値を取得し、これら複数の種類の日射強度の予測値を用いて学習用データを作成して同様に学習済モデルを作成し、作成した学習済モデルに予測対象日の複数の種類の日射強度の予測値を入力することで、日射強度すなわち日射強度の統計量を予測してもよい。この場合、複数の種類の日射強度の予測値の時間分解能が異なっても、日出時刻から日入時刻までの予測値をそのまま並べて特徴量として入力すればよい。また、複数の種類の日射強度の予測値の空間分解能が異なっても種類ごとに、同様に、各予測地点に対応する学習済モデルに用いる1つ以上の地点を決定しておき、種類ごとの1つ以上の外部予測値の時系列データの特徴量として入力すればよい。これらの複数の種類の日射強度の予測値を用いて機械学習が行われることで、自動的に、予測対象の時刻 t の予測地点の日射強度と関連性が高い（学習に有効な）外部予測値が選択されて予測に用いられることになる。

【0051】

上記の例では、外部予測値が日射強度の予測値であるとして説明したが、上述したように外部予測値は太陽光発電出力であってもよい。また、上記の例では、正解データとして日射強度の実績値を用いて日射強度の統計量を予測する学習済モデルを生成したが、正解データとして太陽光発電出力の実績値を用いて、日射強度の統計量を予測する学習済モデルまたは太陽光発電出力の統計量を予測する学習済モデルを生成してもよい。この場合、外部実測値としては、太陽光発電設備における発電出力のスマートメータによる計測値、PCSによる計測値などを用いてもよいし、精度の高い手法により推定された太陽光発電出力の推定値を用いてもよい。

【0052】

日射強度と太陽光発電出力の組み合わせに関してまとめると以下のとおりである。まず、（1）外部予測値（学習済モデルの入力データ）、（2）外部実績値（正解データ）および（3）予測対象の統計量、に関して、以下のように分類する。

（1）外部予測値

（1a）日射強度

（1b）太陽光発電出力

（2）外部実績値

（2a）日射強度

（2b）太陽光発電出力

（3）予測対象の統計量

(3 a) 日射強度

(3 b) 太陽光発電出力

【0053】

(3 a)を得るときには、(1 a) - (2 a)、(1 b) - (2 a)の2パターンのうちのいずれかであり、(3 b)を得るときには、(1 a) - (2 a)、(1 a) - (2 b)、(1 b) - (2 a)、(1 b) - (2 b)の4パターンのうちのいずれかである。なお、(3 b)を得るために、(1 a) - (2 a)、(1 b) - (2 a)の2パターンのうちのいずれかをを用いる場合は、学習済モデルの出力である日射強度の統計量を、太陽光発電出力の統計量に変換する必要がある。また、(2 a)と(2 b)を混在させて用いてもよい。(2 a)と(2 b)を混在させる場合には、(2 a)の日射強度を太陽光発電出力に変換する。

10

【0054】

また、上記の例では、正解データとして日射強度の実績値を用いて日射強度の統計量を予測する学習済モデルを生成したが、正解データとして太陽光発電出力の実績値を用いて、太陽光発電出力の統計量を予測する学習済モデルを生成してもよい。この場合、モデル生成部13は、実測値として太陽光発電設備における発電出力のスマートメータによる計測値などを用いて算出された太陽光発電出力を用いることができる。また、日射強度の計測値が得られる場合には、当該日射強度を太陽光発電出力に変換して太陽光発電出力の実績値として用いてもよい。太陽光発電出力の統計量を予測する学習済モデルが生成される場合、予測部15は、この学習済モデルに、予測対象日の予測地点に対応する複数地点の外部予測値と対応する「月」とを入力することで太陽光発電出力の統計量の予測値を求めることができる。つまり、本実施の形態における学習済モデルは、太陽光発電出力を示す値を予測するためのモデルであればよく、太陽光発電出力を示す値は、太陽光発電出力自体であってもよく、日射強度であってもよい。

20

【0055】

ここで、太陽光発電出力予測装置10のハードウェア構成について説明する。本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10は、コンピュータシステム上で、太陽光発電出力予測装置10における処理が記述されたプログラムである太陽光発電出力予測プログラムが実行されることにより、コンピュータシステムが太陽光発電出力予測装置10として機能する。図10は、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10を実現するコンピュータシステムの構成例を示す図である。図10に示すように、このコンピュータシステムは、制御部101と入力部102と記憶部103と表示部104と通信部105と出力部106とを備え、これらはシステムバス107を介して接続されている。

30

【0056】

図10において、制御部101は、例えば、CPU (Central Processing Unit) 等のプロセッサであり、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10における処理が記述された太陽光発電出力予測プログラムを実行する。入力部102は、たとえばキーボード、マウスなどで構成され、コンピュータシステムの使用者が、各種情報の入力を行うために使用する。記憶部103は、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory) などの各種メモリおよびハードディスクなどのストレージデバイスを含み、上記制御部101が実行すべきプログラム、処理の過程で得られた必要なデータ、などを記憶する。また、記憶部103は、プログラムの一時的な記憶領域としても使用される。表示部104は、ディスプレイ、LCD (液晶表示パネル) などで構成され、コンピュータシステムの使用者に対して各種画面を表示する。通信部105は、通信処理を実施する受信機および送信機である。出力部106は、プリンタなどである。なお、図10は、一例であり、コンピュータシステムの構成は図10の例に限定されない。

40

【0057】

ここで、本実施の形態の太陽光発電出力予測プログラムが実行可能な状態になるまでのコンピュータシステムの動作例について説明する。上述した構成をとるコンピュータシステムには、たとえば、図示しないCD (Compact Disc) - ROMドライブまたはDVD

50

(Digital Versatile Disc)－ROMドライブにセットされたCD-ROMまたはDVD-ROMから、太陽光発電出力予測プログラムが記憶部103にインストールされる。そして、太陽光発電出力予測プログラムの実行時に、記憶部103から読み出された太陽光発電出力予測プログラムが記憶部103に格納される。この状態で、制御部101は、記憶部103に格納されたプログラムに従って、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置10としての処理を実行する。

【0058】

なお、上記の説明においては、CD-ROMまたはDVD-ROMを記録媒体として、太陽光発電出力予測装置10における処理を記述したプログラムを提供しているが、これに限らず、コンピュータシステムの構成、提供するプログラムの容量などに応じて、たとえば、通信部105を経由してインターネットなどの伝送媒体により提供されたプログラムを用いることとしてもよい。

【0059】

図1に示したモデル生成部13および予測部15は、図10に示した記憶部103に記憶された太陽光発電出力予測プログラムが図10に示した制御部101により実行されることにより実現される。図1に示したデータ記憶部12および学習済モデル記憶部14は、図10に示した記憶部103の一部である。図1に示したデータ取得部11および送信部16は、図10に示した通信部105および制御部101により実現される。図1に示した表示部17は、図10に示した表示部104により実現される。太陽光発電出力予測装置10は複数のコンピュータシステムにより実現されてもよい。また、太陽光発電出力予測装置10は、クラウドシステムにより実現されてもよい。

【0060】

例えば、本実施の形態の太陽光発電出力予測プログラムは、コンピュータシステムに、日射強度の予測値である日射強度予測値の時間間隔より短い時間帯内の太陽光発電出力を示す値の実績値の統計量を算出するステップと、日射強度予測値である第1の日射強度予測値と第1の日射強度予測値に対応する月とを入力データとし、入力データと入力データに対応する月の統計量とを含む学習用データを用いて、機械学習により、日射強度予測値と月とから太陽光発電出力を示す値の時間帯における統計量を予測するための学習済モデルを生成するステップと、を実行させる。さらに、太陽光発電出力予測プログラムは、予測対象日の日射強度予測値である第2の日射強度予測値と第2の日射強度予測値に対応する月とを学習済モデルに入力することによって学習済モデルの出力として太陽光発電出力を示す値の統計量を時間帯ごとに予測するステップと、をコンピュータシステムに実行させる。

【0061】

<変形例1>

なお、図1に示した例では、太陽光発電出力予測装置10が学習済モデルの生成と、学習済モデルを用いた予測との両方を行ったが、学習済モデルの生成と、学習済モデルを用いた予測とをそれぞれ別の装置が行ってもよい。

【0062】

図11は、本実施の形態の電力系統制御システムの別の構成例を示す図である。図11に示した構成例では、学習済モデルの生成と、学習済モデルを用いた予測とをそれぞれ別の装置が行う。図1に示した太陽光発電出力予測装置10と同様の機能を有する構成要素は、図1と同一の符号を付して重複する説明を省略する。図11に示した構成例では、学習済モデルの生成は学習装置70によって行われ、学習済モデルを用いた予測は太陽光発電出力予測装置10aによって行われる。図11に示した電力系統制御システム30aは、太陽光発電出力予測装置10aおよび電力系統制御装置20を備える。学習装置70は、データ取得部71、データ記憶部72、モデル生成部73および学習済モデル記憶部74を備える。データ取得部71、データ記憶部72、モデル生成部73および学習済モデル記憶部74の機能は、上述した太陽光発電出力予測装置10の学習済モデルの生成に関するデータ取得部11、データ記憶部12、モデル生成部13および学習済モデル記憶部

14の機能と同様である。

【0063】

太陽光発電出力予測装置10aは、太陽光発電出力予測装置10からモデル生成部13およびデータ記憶部12が削除されており、太陽光発電出力予測装置10と同様に予測処理を行う。学習済モデル記憶部14には、学習装置70によって生成された学習済モデル、すなわち学習装置70の学習済モデル記憶部74に記憶された学習済モデルが格納される。なお、太陽光発電出力予測装置10aでは、データ取得部11から予測対象日の外部予測値が予測部15に入力されるが、太陽光発電出力予測装置10aが図示しないデータ記憶部を備えて、データ取得部11が取得した外部予測値をデータ記憶部に格納し、予測部15が予測対象日に対応する外部予測値をデータ記憶部から読み出してもよい。

10

【0064】

図11では、学習装置70を電力系統制御システム30aの外部としているが、学習装置70を電力系統制御システム30a内に含めてもよい。学習装置70および太陽光発電出力予測装置10aも、太陽光発電出力予測装置10と同様にコンピュータシステムにより実現される。

【0065】

<変形例2>

図1では、電力系統制御装置20とともに電力系統制御システム30を構成する太陽光発電出力予測装置10を例に挙げて説明したが、上述した構成および動作は、例えば、電力の需給バランスを監視制御する需給制御システム(EMS:Energy Management System)にも適用可能である。図12は、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置を含む需給制御システムの構成例を示す図である。図12に示した需給制御システム60は、太陽光発電出力予測装置10bと需給制御装置50とを備える。太陽光発電出力予測装置10bは、太陽光発電出力予測装置10に集計部18が追加され、表示部17の代わりに表示部17aを備える以外は、図1に示した太陽光発電出力予測装置10と同様である。図1に示した太陽光発電出力予測装置10と同様の機能を有する構成要素は、図1と同一の符号を付して重複する説明を省略する。

20

【0066】

需給制御装置50では、一般に、電力系統の監視制御に比べて広い範囲で太陽光発電出力を予測することが望まれる。例えば、電力会社の管轄区域全体または管轄区域全体をいくつか分割した例えば都道府県などの単位で太陽光発電出力を予測することが望まれる。このため、図12に示した太陽光発電出力予測装置10bでは、集計部18が、複数の予測地点の予測結果を集計することで、複数の予測地点に対応する広い範囲における太陽光発電出力の予測結果を算出し、予測結果を需給制御装置50に送信する。集計部18は、算出した予測結果を表示部17aに出力する。表示部17aは、図1に示した表示部17と同様に、予測部15から出力される予測地点単位での予測結果を表示可能であるとともに、集計部18によって集計された広い範囲における太陽光発電出力の予測結果を表示することも可能である。太陽光発電出力予測装置10bも、太陽光発電出力予測装置10と同様にコンピュータシステムにより実現される。なお、図1に示した太陽光発電出力予測装置10が需給制御装置50に太陽光発電出力の統計量の予測値を送信し、需給制御装置50が予測値を集計してもよい。なお、送信部16は、予測部15によって予測された日射強度の統計量を需給制御装置50へ送信し、需給制御装置50が日射強度の統計量から太陽光発電出力の予測値を求めてもよい。また、変形例1と同様に、学習装置と太陽光発電出力を予測する太陽光発電出力予測装置とが別に設けられてもよい。

30

40

【0067】

また、上述した太陽光発電出力予測装置10, 10a, 10bによる予測結果は、電力取引における市場価格の予測、市場取引の計画作成などに用いることもできる。さらに、以上では、太陽光発電出力の予測のために日射強度を予測する例を説明したが、太陽光発電出力の予測値を行わずに、日射強度の予測、すなわち日射強度の統計量の予測が行われてもよい。この場合、図1に示した太陽光発電出力予測装置10は、日射強度を予測する

50

日射強度予測装置として機能する。また、この場合、予測部 15 は、日射強度の統計量を予測すればよく、日射強度から太陽光発電出力を算出する必要はない。日射強度予測装置により予測された日射強度の統計量は、他の装置において太陽光発電出力を予測するために用いられてもよいし、太陽光発電設備の設置計画のために用いられてもよいし、農業などその他の用途に用いられてもよい。

【0068】

以上のように、本実施の形態の太陽光発電出力予測装置 10、10b および学習装置 70 は、外部から取得した 1 つ以上の地点の日射強度の予測値である外部予測値と外部予測値に対応する「月」とを含む特徴量と、外部予測値の時間間隔より短い時間帯内の太陽光発電出力を示す値の実績値の統計量とを学習用データとして取得する。そして、太陽光発電出力予測装置 10、10b および学習装置 70 は、学習用データを用いて、機械学習により、外部予測値および対応する「月」とから日射強度の統計量を予測するための学習済モデルを生成する。本実施の形態の太陽光発電出力予測装置 10、10a、10b は、学習済モデルに外部予測値と外部予測値に対応する「月」とを入力することで、太陽光発電出力を示す値の統計量を時間枠に対応する時間分解能で予測する。これにより、取得した日射強度の予測値の時間分解能より高い時間分解能で太陽光発電出力の予測を行うことができる。

【0069】

以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略、変更することも可能である。

【符号の説明】

【0070】

10、10a、10b 太陽光発電出力予測装置、11、71 データ取得部、12、72 データ記憶部、13、73 モデル生成部、14、74 学習済モデル記憶部、15 予測部、16 送信部、17、17a 表示部、18 集計部、20 電力系統制御装置、30、30a 電力系統制御システム、40 外部予測値提供システム、41 実績値提供装置、50 需給制御装置、60 需給制御システム、70 学習装置。

10

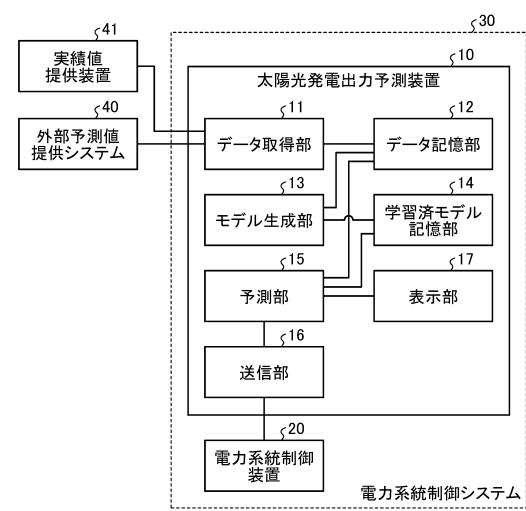
20

30

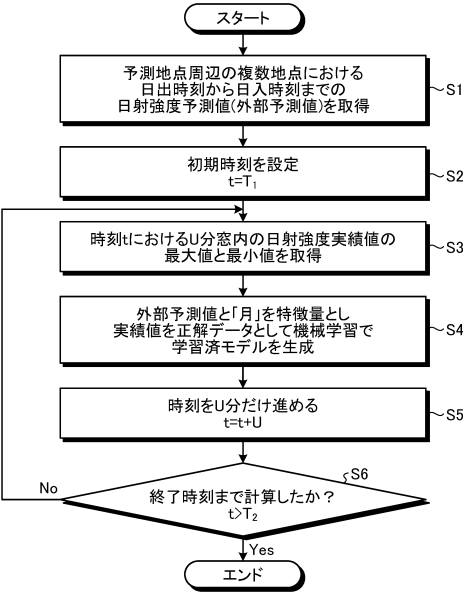
40

50

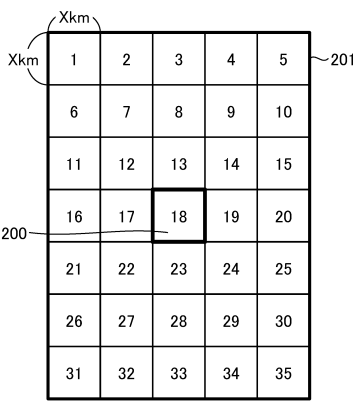
【図面】
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

6月		日射強度予測値(kW/m ²)			
時刻	地点番号	1	2		35
	6:00	0.20	0.23	...	0.15
	7:00	0.32	0.31	...	0.28
	8:00	0.40	0.42	...	0.35
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	17:00	0.19	0.22		0.20

10

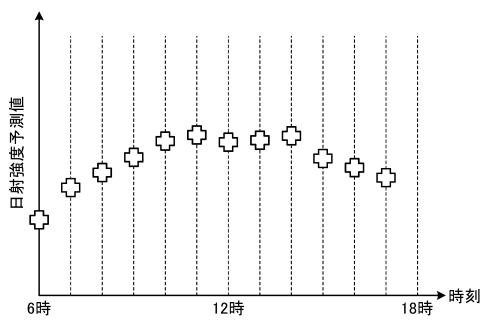
20

30

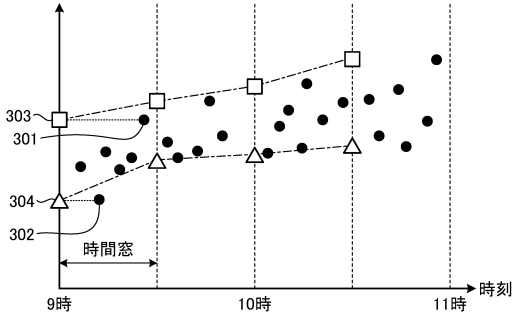
40

50

【図 5】



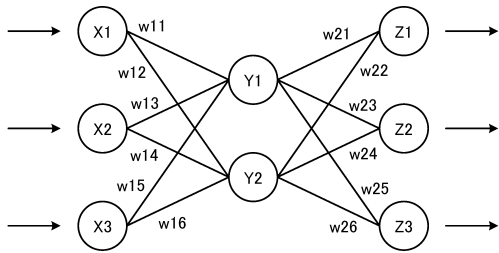
【図 6】



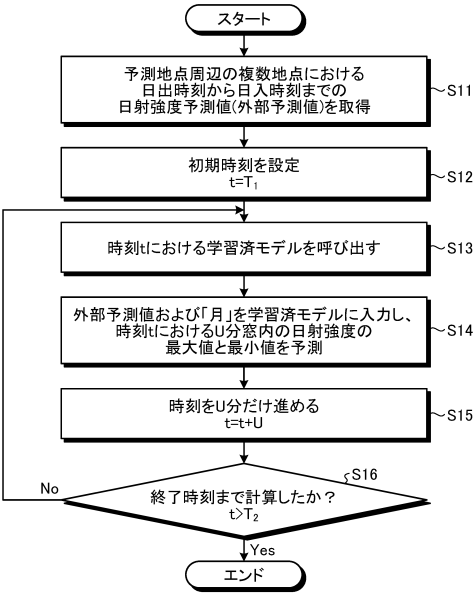
10

20

【図 7】



【図 8】

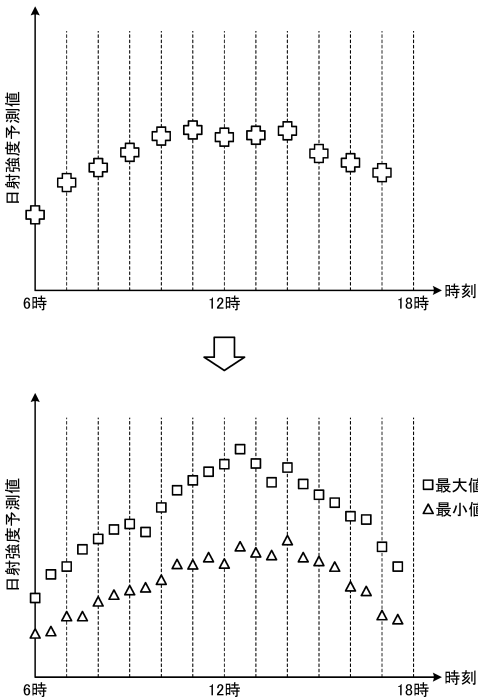


30

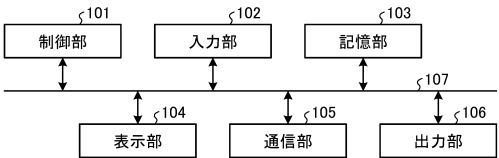
40

50

【図 9】



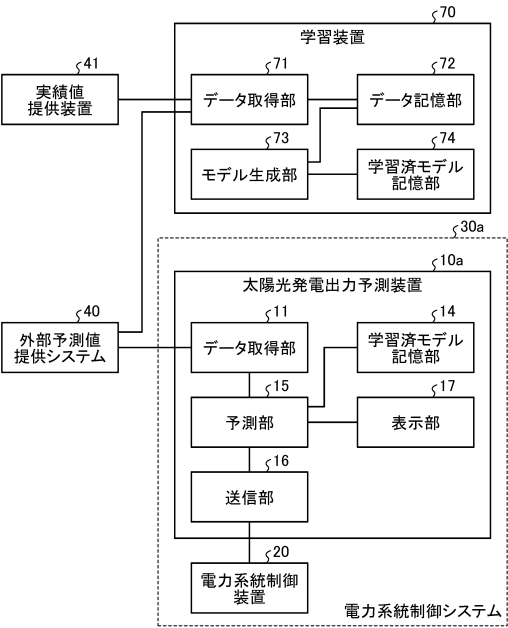
【図 10】



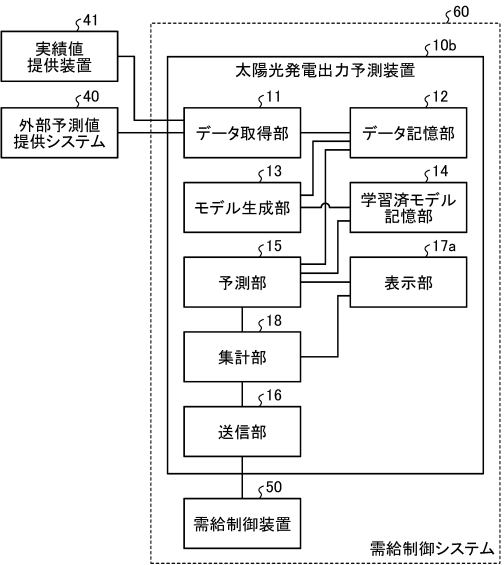
10

20

【図 11】



【図 12】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2018-007312 (JP, A)
特開2013-036820 (JP, A)
特開2011-200040 (JP, A)
特開2013-073537 (JP, A)
韓国登録特許第10-2092860 (KR, B1)
特開2017-127140 (JP, A)
国際公開第2011/158363 (WO, A1)
特開2013-253805 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H10F 10/00-19/90
H02S 10/00-99/00
H02J 3/00-3/50
H02J 7/35
G06Q 50/06
JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)