

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年2月4日(04.02.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/017639 A1

- (51) 国際特許分類:
H02J 3/28 (2006.01) H02J 15/00 (2006.01)
F03D 9/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/071374
- (22) 国際出願日: 2015年7月28日(28.07.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-156756 2014年7月31日(31.07.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所(KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBELCO STEEL, LTD.))
[JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 坂本 佳直美(SAKAMOTO, Kanami), 猿田 浩樹(SARUTA, Hiroki), 松隈 正樹(MATSUKUMA, Masaki).
- (74) 代理人: 鮫島 睦, 外(SAMEJIMA, Mutsumi et al.);
〒5300017 大阪府大阪市北区角田町8番1号梅

田阪急ビルオフィスタワー青山特許事務所
Osaka (JP).

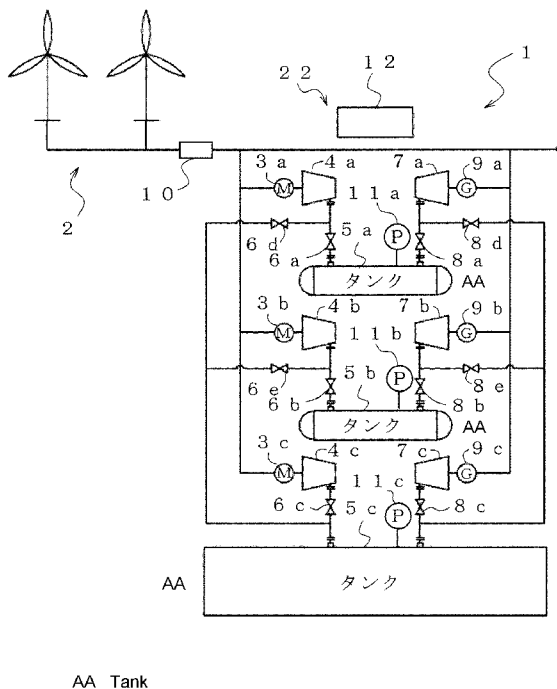
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: COMPRESSED AIR STORAGE AND POWER GENERATION DEVICE AND COMPRESSED AIR STORAGE AND POWER GENERATION METHOD

(54) 発明の名称: 圧縮空気貯蔵発電装置及び圧縮空気貯蔵発電方法

[図1]



(57) Abstract: A compressed air storage and power generation device (1) is provided with motors (3a-3c), compressors (4a-4c), compressed air storage tanks (5a-5c), injection-side valves (6a-6c), expanders (7a-7c), discharge-side valves (8a-8e), generators (9a-9c), an output sensor (10), pressure sensors (11a-11c), and a control device (12). The control device (12) uses a tank (5c) with a relatively large capacity for long-period variable power and uses tanks (5a, 5b) with relatively low capacities for short-period variable power, all such power having been generated using natural energy, and thereby performs control by which both the long-period and short-period variable power are levelled out and power is output according to the power demand. The compressed air storage power generation device (1) levels out both the long-period and short-period variable power and outputs the power according to the power demand.

(57) 要約: 圧縮空気貯蔵発電装置1は、モータ3a~3c、圧縮機4a~4c、圧縮空気貯蔵用のタンク5a~5c、注入側弁6a~6c、膨張機7a~7c、排出側弁8a~8e、発電機9a~9c、出力センサ10、圧力センサ11a~11c、及び制御装置12を備える。制御装置12は、自然エネルギーを用いて発電した電力のうち、長周期の変動電力には相対的に大容量のタンク5cを使用し、短周期の変動電力には相対的に小容量のタンク5a、5bを使用することで、長周期及び短周期の変動電力の両方を平準化して電力需要に応じた電力を出力する制御を行う。圧縮空気貯蔵発電装置1は、

長周期と短周期の変動電力の両方を平準化して電力需要に応じた電力を出力する。

WO 2016/017639 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：圧縮空気貯蔵発電装置及び圧縮空気貯蔵発電方法 技術分野

[0001] 本発明は、圧縮空気貯蔵発電装置及び圧縮空気貯蔵発電方法に関する。

背景技術

[0002] 風力発電や太陽光発電などの自然エネルギーを利用した発電は、気象条件に依存するため、出力が安定しないことがある。このため、CAES (compressed air energy storage) システム等のエネルギー貯蔵システムを使用して出力を平準化する必要がある。

[0003] 従来の圧縮空気貯蔵 (CAES : compressed air energy storage) 発電装置は、電力プラントのオフピーク時間中に電気エネルギーを圧縮空気として貯蔵し、高電力需要時間中に圧縮空気により膨張機を駆動して発電機を作動させて電気エネルギーを生成するのが一般的である。

[0004] このような自然エネルギーを利用したCAES発電装置としては、例えば特許文献1及び特許文献2に開示されている。

[0005] 特許文献1には、風力を利用したCAES発電装置が開示されている。

[0006] 特許文献2には、太陽光を利用したCAES発電装置が開示されている。

[0007] 自然エネルギーを利用した発電には、長周期と短周期の出力変動がある。長周期・短周期を分ける明確な定義は無いが、長周期は数時間から数日程度の変動である。一方、短周期は数分から1時間未満程度の変動である。例えば、太陽光を利用した発電の場合、長周期の出力変動要因は日中と夜間の違いである。短周期の出力変動要因は一時的に太陽が雲に隠れる場合である。一方、風力を利用した発電の場合、長周期の出力変動は強風や無風による発電停止の場合であり、短周期の出力変動は風速の変動による場合である。

[0008] 特許文献1及び特許文献2に開示されたものを含む従来の自然エネルギー利用のCAES発電装置は、大容量の圧縮空気貯蔵用タンクを備え、電力需要が小さいときに圧縮空気を蓄え、電力需要が大きいときに蓄えた圧縮空気

によって発電するものである。しかし、大容量のタンクは、起動時に圧縮開始から発電に適した圧力になるまで昇圧するのに長時間を要するので、短周期の出力変動の平準化には適さない。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特表2005-530074号公報

特許文献2：特開平7-317649号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 本発明は、長周期と短周期の両方の変動電力に対応できるCAES発電装置を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の好ましい態様は、自然エネルギーを用いて発電した電力により駆動される、互いに電氣的に並列に接続された複数のモータと、このモータと機械的に接続され、空気を圧縮する複数の圧縮機と、この圧縮機により圧縮された空気を貯蔵する、少なくとも2つの容量の異なるタンクと、このタンクから供給される圧縮空気によって駆動される複数の膨張機と、この膨張機と機械的に接続され、互いに電氣的に並列に接続された複数の発電機と、自然エネルギーによる発電電力のうち、長周期の変動電力には相対的に大容量のタンクを使用し、短周期の変動電力には相対的に小容量のタンクを使用することによって、長周期及び短周期の変動電力の両方を平準化して電力需要に応じた電力を出力する制御を行う制御手段とを備える圧縮空気貯蔵発電装置である。

[0012] この圧縮空気貯蔵発電装置は、長周期と短周期の各変動電力に対して、容量の異なるタンクをそれぞれ使用している。このため、長周期と短周期の変動電力の両方をそれぞれ平準化して、電力需要に応じた電力を出力できる。特に、短周期の変動電力に対して追従性の良い平準化が可能である。ここで

、追従性が良いとは、目標出力になるまでの時間遅れが少ないことを示す。

[0013] 以下に本発明の他の好ましい態様を順に説明する。少なくとも2つの容量の異なるタンクのうち、相対的に小容量のタンクは、1時間未満持続して発電できる容量であることが好ましい。また、相対的に大容量のタンクは、1時間以上持続して発電できる容量であることが好ましい。

[0014] この圧縮空気貯蔵発電装置によれば、大容量と小容量に分けたため、各タンクが長周期対応と短周期対応に適正な容量であることで、必要以上に大きなタンクを要せず、必要に足りずタンクが空になることを防止できる。また、小容量タンクは発電に適した圧力になるまで昇圧するのにかかる時間が短く、常に高めの圧力に維持しておくことが容易なので、特に短周期変動への応答性がよい。

[0015] 制御手段は、長周期の変動電力に対しては長周期需要曲線に基づいて、及び、短周期の変動電力に対しては短周期基準曲線に基づいて、長周期及び短周期の各変動電力をそれぞれ平準化して電力需要に応じた制御を行うことが好ましい。

[0016] この圧縮空気貯蔵発電装置によれば、長周期と短周期の変動電力の両方に対して平準化の目標曲線をそれぞれ設定しているため、長周期と短周期の変動電力の両方を平準化して、効率的に電力需要に応じた制御を行うことができる。このことは、長周期用の大容量タンクと短周期用の小容量タンクを設けていることと相まって、より一層効率的な制御ができる。

[0017] さらに、相対的に小容量のタンクに接続される圧縮機及び発電機は、共にスクリュ式であることが好ましい。また、相対的に大容量のタンクに接続される圧縮機及び膨張機も、共にスクリュ式であることが好ましい。

[0018] この圧縮空気貯蔵発電装置によれば、ターボ式ではなくスクリュ式の圧縮機及び発電機を採用することで、回転数制御を行うことができる。また、ターボ式に比べて小流量（低回転数）でも効率が落ちないので制御範囲を拡張できる。

[0019] さらに、相対的に大容量のタンクに接続される圧縮機及び膨張機の少なく

とも1つが、ターボ式であり、相対的に小容量のタンクに接続される圧縮機及び膨張機が、共にスクリュ式であってもよい。

[0020] この圧縮空気貯蔵発電装置によれば、既設のCAES設備に小容量のスクリュ式の圧縮機と膨張機を追加して設置することができる。既設のCAES設備は一般にターボ式であり、この既設の設備をそのまま利用できる。また、新設する場合であっても、大容量タンクに接続される圧縮機及び膨張機は長周期変動に対応することを主目的としているので、ターボ式でも対応することができる。

[0021] 短周期の変動電力には小型の圧縮機及び膨張機を少なくとも使用し、長周期の変動電力には大型の圧縮機及び膨張機を少なくとも使用することが好ましい。

[0022] この圧縮空気貯蔵発電装置によれば、小型の圧縮機及び発電機の方が入力に対する応答性が良いので、短周期変動に対する追従性が向上する。長周期変動に対しては短周期変動と比較して高精度の追従性を要求されないため、タンク容量に応じた大型の圧縮機及び発電機を利用できる。また、一般的に大型の圧縮機・発電機の方が効率良いので、長周期変動への対応に適している。

[0023] タンクの入口に圧縮機で圧縮されて温度上昇した空気を熱媒と熱交換する入口側熱交換器を設け、入口側熱交換器で熱交換された熱媒を蓄える蓄熱部を設け、タンクの出口にタンクから吐出された空気を蓄熱部から吐出された熱媒と熱交換して加熱する出口側熱交換器を設けることが好ましい。

[0024] この圧縮空気貯蔵発電装置によれば、圧縮機で発生する熱を回収し、膨張直前の空気に戻すことで充放電効率を向上できる。通常のCAESシステムでは、圧縮機で発生した熱は、圧縮空気と共にタンク内へ供給される。そして、タンクから熱が大気へ放出され、エネルギー損失が生じる。これを防止するために、タンクに圧縮空気が供給される前に、予め熱回収し、タンクの圧縮空気の温度を大気温度に近づける。このようにして、タンクにおける熱放出によるエネルギー損失を防止できる。

- [0025] 発電機の出力部にこの発電機とは別の外部発電機を設け、自然エネルギーを用いて発電した電力が過度に不安定な場合や過小の場合に発電するようにしてもよい。
- [0026] この圧縮空気貯蔵発電装置によれば、別の発電システムを有するため、自然エネルギーを用いた発電装置の出力が、故障や長期間停止など想定外に不安定な場合にも発電出力を確実に維持できる。
- [0027] 相対的に大容量のタンクに鉱山の坑道または地下空洞を使用してもよい。
- [0028] 密閉性のよい坑道であればタンクとして使用でき、設備コストが極めて低減される。一般に、CAES設備の製造にあたり、コストの主要な要因は大容量のタンクの製造であることが多い。従って、大容量のタンクに代替するものとして密閉性のよい坑道や地下空洞を使用することで大幅にコストを低減できる。大容量のタンクに限らず、小容量のタンクとして休鉱山の坑道や地下空洞を使用する場合でも同様にコスト低減には有効である。また、長年に亘って適切な維持管理を必要とする坑道（又は廃坑道）を有効利用できる。
- [0029] 制御手段は、圧縮機からいずれのタンクに圧縮空気を供給するか切り替える注入側弁と、タンクからいずれの膨張機に圧縮空気を供給するか切り替える排出側弁と、自然エネルギーの発電出力を測定する出力センサと、タンク内の圧力を測定する圧力センサと、制御装置とを含み、制御装置は、出力センサ及び圧力センサの測定値に基づいて注入側弁及び排出側弁を開閉してもよい。
- [0030] 本発明の他の態様は、自然エネルギーを用いて発電した電力により駆動される、互いに電氣的に並列に接続された複数のモータと、このモータと機械的に接続され、空気を圧縮する複数の圧縮機と、この圧縮機により圧縮された空気を貯蔵する、少なくとも2つの容量の異なるタンクと、このタンクから供給される圧縮空気によって駆動される複数の膨張機と、この膨張機と機械的に接続され、互いに電氣的に並列に接続された複数の発電機とを備えた圧縮空気貯蔵発電装置の圧縮空気貯蔵発電方法であって、自然エネルギーに

よる発電電力のうち、長周期の変動電力には相対的に大容量のタンクを使用し、短周期の変動電力には相対的に小容量のタンクを使用し、長周期及び短周期の変動電力の両方を平準化して電力需要に応じた電力を出力する制御を行う、圧縮空気貯蔵発電方法を提供する。

発明の効果

[0031] 本発明によれば、長周期と短周期の各変動電力に対して容量の異なるタンクをそれぞれ使用しているため、長周期と短周期の変動電力の両方を効率的に平準化して電力需要に応じた電力を出力することができる。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]第1実施形態の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の概略構成図。

[図2]図1の風力発電装置の1日の電力推移（自然エネルギーによる変動出力）、及び、短周期と長周期の変動電力に対する各平準化目標曲線。

[図3]図1の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の長周期変動に対する制御方法を示すフローチャート。

[図4A]図1の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の短周期変動に対する制御方法を示すフローチャート。

[図4B]図1の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の短周期変動に対する制御方法を示すフローチャート。

[図5]第1実施形態の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の変形例を示す概略構成図。

[図6A]図4A及び図4Bとは異なる場合の図1の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の短周期変動に対する制御方法を示すフローチャート。

[図6B]図4A及び図4Bとは異なる場合の図1の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の短周期変動に対する制御方法を示すフローチャート。

[図7A]図6Aの処理1に関するサブフローチャート。

[図7B]図6Aの処理2に関するサブフローチャート。

[図7C]図6Aの処理3に関するサブフローチャート。

[図7D]図6Aの処理4に関するサブフローチャート。

[図8]第2実施形態の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の概略構成図。

[図9]第3実施形態の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の概略構成図。

[図10]第4実施形態の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の概略構成図。

[図11]第5実施形態の圧縮空気貯蔵（CAES）発電装置の概略構成図。

発明を実施するための形態

[0033] 以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

[0034] （第1実施形態）

図1は、本発明の第1実施形態の圧縮空気貯蔵（CAES：compressed air energy storage）発電装置1の概要ブロック図を示している。このCAES発電装置1は、自然エネルギーを利用して発電する場合の出力変動を平準化するとともに、電力需要の変動に合わせた出力を行うためのものである。

[0035] 図1を参照して、CAES発電装置1の構成を説明する。

[0036] CAES発電装置1は、風力発電装置2（この第1実施形態では2台の風車を備えた発電設備）の出力変動を平準化する。CAES発電装置1は、モータ3a～3c、圧縮機4a～4c、圧縮空気貯蔵用のタンク5a～5c、注入側弁6a～6e、膨張機7a～7c、排出側弁8a～8e、発電機9a～9c、出力センサ10、圧力センサ11a～11c、及び制御装置12を備える。制御手段22は、注入側弁6a～6e、排出側弁8a～8e、出力センサ10、圧力センサ11a～11c、及び制御装置12を備える。

[0037] 風力発電装置2により発電された電力は、互いに電氣的に並列に接続されたモータ3a～3cに供給される。この電力によりモータ3a～3cが駆動される。モータ3a～3cは、圧縮機4a～4cに機械的にそれぞれ接続されている。圧縮機4a～4cは、モータ3a～3cを駆動させることでそれぞれ作動する。圧縮機4a～4cは、吸引した空気を圧縮し、タンク5a～5cへ圧送する。これにより、タンク5a～5cに圧縮空気としてエネルギーを蓄積できる。

[0038] 本実施形態では、3基のタンク5a～5cが設けられている。相対的に小容量のタンク（小容量タンク）5a、5bが2基、及び相対的に大容量のタ

ンク（大容量タンク）5 cが1基である。小容量タンク5 a, 5 bは、5分から20分程度（1時間未満）持続して空気を貯蔵又は発電できる容量である。大容量タンク5 cは、1～8時間程度（1時間以上）持続して空気を貯蔵又は発電できる容量である。風力や太陽光を用いて発電される変動電力に対応するには、小容量タンクと大容量タンクの閾値を1時間程度に設定するのが望ましい。小容量タンク5 a, 5 bには、空気供給路を介してモータ3 a, 3 b及び圧縮機4 a, 4 bがそれぞれ1つずつ接続されている。大容量タンク5 cには、全てのモータ3 a～3 c及び圧縮機4 a～4 cが空気供給路を介して接続されている。本発明に係るCAES発電装置1では、少なくとも2基の容量の異なるタンク5 a～5 cが、設けられていればよい。従って、例えば小容量タンク5 a, 5 bは、1基であってもよいし、又は3基以上であってもよい。大容量タンク5 cは、2基以上であってもよい。このように、小容量タンク5 a, 5 b及び大容量タンク5 cの数について、少なくとも各1基設けられていればよく、特にその数を限定しないことは後述する第2から第5実施形態においても同様である。また、小容量タンクと大容量タンクの容量についても明確な区切りがある訳ではなく、相対的に大容量なタンクと小容量なタンクがあればよい。さらに、小容量タンク5 a, 5 bは同容量である必要はなく、後述するようにタンク5 aを優先的に制御する場合は、タンク5 aをタンク5 bより小容量のものとすることもできる。

[0039] 大容量タンク5 cには、岩塩層空洞、休鉱山の坑道、下水配管・縦孔などの地下空洞や、水中に沈めた袋状の容器を使用してもよい。密閉性のよい坑道であればタンク5 a～5 cとして利用でき、設備コストが極めて低減される。一般に、CAES設備の製造にあたり、コスト増加の要因は大容量のタンク5 cの製造であることが多い。従って、大容量のタンク5 cに代替するものとして密閉性のよい坑道を使用することで、大幅に設備コストを低減できる。大容量のタンク5 cに限らず、小容量のタンク5 a, 5 bとして休鉱山の坑道を利用する場合でも同様にコスト低減には有効である。また、適切な維持管理に多年に亘って維持費を必要とする坑道（又は廃坑道）の有効利

用策としても期待できる。

[0040] 圧縮機 4 a～4 c とタンク 5 a～5 c との間の空気供給路には、注入側弁 6 a～6 e が設けられている。この注入側弁 6 a～6 e により、各圧縮機 4 a～4 c からいずれのタンク 5 a～5 c に圧縮空気を供給するか切り替える。

[0041] 小容量タンク 5 a, 5 b は、空気供給路を介して膨張機 7 a, 7 b 及び発電機 9 a, 9 b にそれぞれ接続されている。大容量タンク 5 c は、空気供給路を介して全ての膨張機 7 a～7 c 及び発電機 9 a～9 c に接続されている。

[0042] タンク 5 a～5 c に蓄積された圧縮空気は、膨張機 7 a～7 c に供給される。この圧縮空気により膨張機 7 a～7 c は駆動される。タンク 5 a～5 c と膨張機 7 a～7 c との間の空気供給路には、排出側弁 8 a～8 e が設けられている。この排出側弁 8 a～8 e により、各タンク 5 a～5 c からいずれの膨張機 7 a～7 c に圧縮空気を供給するか切り替える。膨張機 7 a～7 c は、互いに電氣的に並列に接続されており、発電機 9 a～9 c に機械的にそれぞれ接続されている。発電機 9 a～9 c は、膨張機 7 a～7 c を駆動させることで作動し、発電する。

[0043] 出力センサ 10 は風力発電装置 2 の出力を測定する。CAES 発電装置 1 の入力部分における電力等を測定してもよいし、風力発電装置 2 から出力信号として受け取ってもよい。圧力センサ 11 a～11 c は、タンク 5 a～5 c 内の圧力をそれぞれ測定する。制御装置 12 は、注入側弁 6 a～6 e 及び排出側弁 8 a～8 e と電氣的に接続されている。制御装置 12 により、出力センサ 10 及び圧力センサ 11 a～11 c の測定値に基づいて、注入側弁 6 a～6 e 及び排出側弁 8 a～8 e の開閉が制御される。

[0044] なお、風力発電装置 2 とモータ 3 a～3 c の間、及び系統と発電機 9 a～9 c との間には、トランス、インバータ、継電器、遮断機等の電力機器（図示省略）が配置されている。この実施形態では圧力センサ 11 a～11 c を用いたが、タンク内の空気残量を検出することができればよく、圧力センサ

以外の検出器を設けてもよい。

[0045] また、本第1実施形態における圧縮機4 a~4 c、膨張機7 a~7 cは同じ容量のものを使用してもよいし、圧縮機4 c>圧縮機4 b>圧縮機4 a、膨張機7 c>膨張機7 b>膨張機7 aの順に大きさを変えてもよい。一般的に言って、圧縮機・膨張機は、容量が小さいほど応答性がよく、容量が大きいほど効率が高い。これらの有利な点を活かすため、短周期変動への対応には、相対的に容量が小さい圧縮機・膨張機の使用が好ましく、長周期変動への対応には、相対的に容量が大きい圧縮機・膨張機の使用が好ましい。

[0046] このように、CAES発電装置1は、圧縮空気によるエネルギーを利用する。従って、環境に有害な物質を排出しない点で有効である。また、エネルギーの蓄積に2次電池やキャパシタを使用していない。2次電池やキャパシタは使用に際して、不利な点がある。2次電池は廃棄コストが高く、サイクル寿命（充放電のサイクル数）が短い。種類によっては、充電率、電圧の監視、及び温度管理が必要となる。キャパシタはエネルギー密度が低く、高価である。

[0047] 次に、CAES発電装置1の平準化方法及びその制御方法について詳細に説明する。

[0048] 図2は、風力発電装置2の出力変動の1日の推移例（自然エネルギーによる変動出力）と、平準化の目標とする2つの曲線（長周期需要曲線及び短周期基準曲線）を示している。風力発電装置2の出力変動は、出力センサ10によって測定され、制御装置12によって長周期変動と短周期変動とに区別して認識される。ここでは、長周期とは数時間単位の変動を示し、短周期とは数分単位の変動を示す。秒単位の変動についてはフィルタ等により除去する。短周期の変動は、主に小容量タンク5 a, 5 bを用いて平準化する。長周期の変動に対しては、主に大容量タンク5 cを用いて需要曲線に応じた電力を出力する。大容量タンク5 cと比較して、小容量タンク5 a, 5 bを利用した発電は、発電に適した圧力になるまで昇圧するのにかかる時間が短く、常に適正な圧縮空気量を蓄えた状態で発電できるので応答性がよい。従っ

て、変動周期の長さに応じて容量の異なるタンク5 a～5 cを使用することで、特に短周期変動に対して追従性よく平準化できる。

[0049] 長周期変動と短周期変動のうち、まず、長周期変動に対する制御方法について説明する。

[0050] 図3は、長周期変動に対する制御方法を示すフローチャートである。図3に示すように、長周期変動に対して発電を行う場合と蓄電を行う場合がある。長周期変動に対して発電を行う場合、大容量タンク5 cの圧縮空気を利用して、膨張機7 cを駆動して発電する。この際、排出側弁8 cを開く。長周期変動に対して蓄電を行う場合、圧縮機4 cを使用して大容量タンク5 cに圧縮空気を充填する。この際、注入側弁6 cを開く。この場合、圧縮機4 a, 4 bは使用しなくてもよいが、急速充填をする場合には圧縮機4 a, 4 bも使用してもよい。同様に、膨張機7 a, 7 bは使用しなくてもよいが、発電電力を増加させる必要がある場合には膨張機7 a, 7 bを使用してもよい。

[0051] 制御装置1 2は、発電と蓄電の切り替えや圧縮機・膨張機の回転数制御を行う。この切り替えの判断は、図2の長周期需要曲線に基づいて行われる。風力発電装置2の出力（出力センサ10の測定値）が、長周期需要曲線以上である場合には蓄電を行う。一方、長周期需要曲線よりも下にある場合には発電を行う。このように、出力センサ10の出力を、目標とする長周期需要曲線に近づけるような制御を行う。ここで、長周期需要曲線は、例えば、長年にわたって蓄積されてきた過去の電力使用量データに基づいて、当日の曜日や気象条件等によって決定する。

[0052] 次に、短周期変動に対する制御方法について説明する。

[0053] 図4 A及び図4 Bは、短周期変動に対する制御方法を示すフローチャートである。長周期変動の場合と同様に、短周期変動に対して、発電を行う場合と蓄電を行う場合がある。短周期変動に対して発電を行う場合、例えば、小容量タンク5 aの圧縮空気を利用して、膨張機7 aを回転させて発電する。この際、排出側弁8 aを開き、排出側弁8 dを閉じる。短周期変動に対して

蓄電を行う場合、例えば、圧縮機 4 a を使用して小容量タンク 5 a に圧縮空気を充填する。この際、注入側弁 6 a を開き、注入側弁 6 d を閉じる。

[0054] 制御装置 1 2 は、長周期変動に対する場合と同様に、短周期変動に対しても発電と蓄電の切り替えを行う。この切り替えの判断は、図 2 に破線で示される短周期基準曲線に基づいて行われる。風力発電装置 2 の出力（出力センサ 1 0 の測定値）が、短周期基準曲線以上である場合に蓄電を行う。一方、短周期基準曲線よりも下にある場合には発電を行う。このように風力発電装置 2 の出力（出力センサ 1 0 の測定値）が、目標とする短周期基準曲線に近づくように平準化を行う。ここで、短周期基準曲線は、例えば直前の所定時間における平均値に基づいて決定する。

[0055] 圧縮機 4 a ~ 4 c 及び膨張機 7 a ~ 7 c には、一般に、ターボ式とスクリュ式、スクロール式及びロータリー式に代表される容積式の 2 つの種類がある。ここで、小容量タンク 5 a, 5 b に接続される圧縮機 4 a, 4 b と膨張機 7 a, 7 b は共に、容積式であることが好ましい。また、大容量タンク 5 c に接続される圧縮機 4 c 及び膨張機 7 c も、共に容積式が好ましい。この構成により、ターボ式ではなく容積式を採用することで回転数制御を行うことができ、安定した発電を行うことができる。また、容積式は、ターボ式に比べて小流量（低回転数）でも効率が落ちないので、タンクに蓄えられた圧縮空気量が少ない場合でも安定した発電ができ、制御範囲を拡張できる。特に、小容量タンク 5 a, 5 b に接続される圧縮機 4 a, 4 b 及び膨張機 7 a, 7 b は短周期変動を平準化するため、良好な追従性が必要であり、容積式であることが特に有効である。なお、本実施形態の場合、圧縮機 4 a ~ 4 c 及び膨張機 7 a ~ 7 c には、容積式の中でも比較的大容量なものに適しているスクリュ式（詳しくは、ツインスクリュ式）の圧縮機および膨張機を使用している。

[0056] 上記構成以外にも、大容量タンク 5 c に接続される圧縮機 4 c 及び膨張機 7 c は、共にターボ式であり、一方、小容量タンク 5 a, 5 b に接続される圧縮機 4 a, 4 b 及び膨張機 7 a, 7 b は、共に容積式であってもよい。こ

の構成により、既設のCAES設備（タンク5c、圧縮機4c、膨張機7c）に小容量の容積式圧縮機4a、4b、容積式膨張機7a、7b、及びタンク5a、5bを追加して設置することができる。これには、既設のCAES設備は一般にターボ式であり、この既設の設備をそのまま利用できる利点がある。また、新設の場合であっても、大容量タンク5cに接続される圧縮機4c及び膨張機7cは長周期変動に対応することを主目的としているので、ターボ式でも対応することができる。

[0057] 短周期の変動電力に対しては小型の圧縮機4a、4b及び膨張機7a、7bを使用し、長周期の変動電力に対しては大型の圧縮機5c及び膨張機7cを使用することが好ましい。この構成により、小型の圧縮機4a、4b及び膨張機7a、7bの方が入力に対する応答性が良いので、短周期変動に対する追従性が向上する。

[0058] 短周期変動を平準化する場合、制御装置12は、出力センサ10を使用して測定する短周期の変動電力の振幅に基づいて、圧縮機4a、4b及び膨張機7a、7bの台数制御と回転数制御を行う。ただし、回転数制御を行う場合、圧縮機4a、4b及び膨張機7a、7bは、容積式である必要がある。例えば、台数制御に関しては、小容量タンク5aに接続された圧縮機4a及び膨張機7aを基本的に使用する。しかし、圧縮機4a及び膨張機7aでは平準化しきれない程大きく短周期基準曲線から変動電力の振幅が乖離した場合は、運転台数を増加する（圧縮機4b又は膨張機7bを合わせて使用する）。この際、圧縮機4a～4cと膨張機7a～7cの動作に合わせて注入側弁6a～6e及び排出側弁8a～8eを制御する。特に急激な変動に対応する必要がある場合には、全ての圧縮機4a～4c又は全ての膨張機7a～7cを同時に運転してもよい。このようにすることで、より広範な平準化が可能となる。回転数制御に関しても同様に、平準化の程度に応じて圧縮機4a～4c及び膨張機7a～7cの回転数（出力）を増減させ、最適な平準化を行う。

[0059] 本実施形態においては、小容量タンク5a、5bが2基設けられている。

従って、制御装置 12 は、圧力センサ 11 a ~ 11 c の測定値に基づいて、小容量タンク 5 a, 5 b のいずれを使用するのかをさらに判断する。図 4 A 及び図 4 B は、特に小容量タンク 5 a をメインタンク 5 a と設定した場合の制御を示している。

[0060] 図 4 A 及び図 4 B を参照して、短周期変動に対して発電を行う場合、小容量タンク 5 a が発電に適した充填量であれば小容量タンク 5 a を使用する（排出側弁 8 a を開き、排出側弁 8 d を閉じる）。小容量タンク 5 a が空であるか充填量が低い場合及び小容量タンク 5 b の充填量が十分である場合、小容量タンク 5 b を使用する（排出側弁 8 b を開き、排出側弁 8 e を閉じる）。小容量タンク 5 a, 5 b が共に空であるか充填量が低い場合で、かつ大容量タンクの充填量が十分である場合は、止むを得ず大容量タンク 5 c を使用する（排出側弁 8 c ~ e のいずれかを開き、その他の排出側弁を閉じる）。

[0061] なお、小容量タンク 5 a または 5 b の空気量が低い場合、適宜、大容量タンク 5 c から小容量タンク 5 a, 5 b に圧縮空気を差圧充填してもよい。これを示したのが、図 5 である。大容量タンク 5 c は、小容量タンク 5 a, 5 b に圧縮空気を供給できるように、タンク間空気供給弁 21 a, 21 b を介して接続されている。タンク間空気供給弁 21 a, 21 b としては、小容量タンクと大容量タンクの圧力差に基づいて開閉制御される電磁弁や圧力差で自動開閉する差圧制御弁を用いることができる。このように、大容量タンク 5 c から小容量タンク 5 a, 5 b に空気を差圧充填する構成とできることは、後述する第 2 から第 5 実施形態においても同様である。

[0062] 短周期変動に対して蓄電を行う場合、小容量タンク 5 a が満タンでなければ小容量タンク 5 a に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 a を開き、注入側弁 6 d を閉じる）。小容量タンク 5 a が満タンの場合で小容量タンク 5 b が満タンでない場合、小容量タンク 5 b に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 b を開き、注入側弁 6 e を閉じる）。小容量タンク 5 a, 5 b が共に満タンの場合、大容量タンク 5 c に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 c を開く）。

[0063] このようにして、仮に小容量タンク 5 a, 5 b が全て空になった場合でも

、大容量タンク 5 c の圧縮空気を使用して膨張機 7 a, 7 b を駆動することができる。従って、短周期変動が平準化されなくなるという場合を回避できる。

[0064] これに代えて、小容量タンクに優先順位の高いメインタンクを設定しない方法であってもよい。図 6 A, 6 B 及び図 7 A ~ 7 D は、小容量タンク 5 a, 5 b を交互に使用する制御方法を示している。

[0065] 短周期変動に対して発電を行う場合、制御装置 1 2 により記憶されたフラグに基づいて処理 1 ~ 4 を選択する。処理 1 では、小容量タンク 5 a が空（または圧縮空気量が少ない場合。以下同じ。）でない場合、小容量タンク 5 a を使用する（排出側弁 8 a を開き、排出側弁 8 d を閉じる）。小容量タンク 5 a が空である場合及び小容量タンク 5 b が空でない場合、フラグ = 2 に変更し、小容量タンク 5 b の使用を開始する（排出側弁 8 b を開き、排出側弁 8 e を閉じる）。小容量タンク 5 a, 5 b が共に空の場合、フラグ = 3 に変更し、大容量タンク 5 c を使用する（排出側弁 8 d, 8 e のいずれかを開き、その他の排出側弁を閉じる）。処理 2 では、小容量タンク 5 b が空でない場合、小容量タンク 5 b を使用する（排出側弁 8 b を開き、排出側弁 8 e を閉じる）。小容量タンク 5 b が空である場合及び小容量タンク 5 a が空でない場合、フラグ = 1 に変更し、小容量タンク 5 a の使用を開始する（排出側弁 8 a を開き、排出側弁 8 d を閉じる）。小容量タンク 5 b, 5 a が共に空の場合、フラグ = 4 に変更し、大容量タンク 5 c を使用する（排出側弁 8 d, 8 e いずれかを開き、その他の排出側弁を閉じる。この場合、長周期変動に対する制御は、排出側弁 8 c を開いておくことで引き続き膨張機 7 c が担う。）。処理 3 では、小容量タンク 5 b が空でない場合、フラグ = 2 に変更し、小容量タンク 5 b を使用する（排出側弁 8 b を開き、排出側弁 8 e を閉じる）。小容量タンク 5 b が空である場合、大容量タンク 5 c を使用する（排出側弁 8 a, 8 b を閉じ、排出側弁 8 d 又は / 及び 8 e を開く）。処理 4 では、小容量タンク 5 a が空でない場合、フラグ = 1 に変更し、小容量タンク 5 a を使用する（排出側弁 8 a を開き、排出側弁 8 d を閉じる）。小容

量タンク 5 a が空である場合、大容量タンク 5 c を使用する（排出側弁 8 a、8 b を閉じ、排出側弁 8 d 又は / 及び 8 e を開く）。

[0066] 短周期変動に対して蓄電を行う場合、制御装置 1 2 により記憶されたフラグにより圧縮空気を充填するタンク 5 a ~ 5 c を選択する。フラグ = 1 又はフラグ = 3 の場合、小容量タンク 5 b が満タンでなければ小容量タンク 5 b に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 b を開き、その他の弁を閉じる）。小容量タンク 5 b が満タンである場合で小容量タンク 5 a が満タンでない場合、小容量タンク 5 a に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 a を開き、その他の弁を閉じる）。小容量タンク 5 b、5 a が共に満タンの場合、大容量タンク 5 c に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 d、6 e のいずれかを開き、その他の弁を閉じる）。フラグ = 2 又はフラグ = 4 の場合、小容量タンク 5 a が満タンでなければ小容量タンク 5 a に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 a を開き、その他の弁を閉じる）。小容量タンク 5 a が満タンである場合で小容量タンク 5 b が満タンでない場合、小容量タンク 5 b に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 b を開き、その他の弁を閉じる）。小容量タンク 5 a、5 b が共に満タンの場合、大容量タンク 5 c に圧縮空気を充填する（注入側弁 6 d、6 e のいずれかを開き、その他の弁を閉じる）。

[0067] このように、小容量タンク 5 a、5 b を交互に使用することで、小容量タンク 5 a、5 b のいずれかの使用頻度が高くないようにする。従って、小容量タンク 5 a、5 b のいずれかのみが使用劣化することを防止できる。また、メインタンク 5 a を設定した場合と同様に、仮に小容量タンク 5 a、5 b が全て空の場合でも、大容量タンク 5 c の圧縮空気をを使用して膨張機 7 a、7 b を駆動する。従って、短周期変動が平準化されなくなるという場合を回避できる。なお、小容量タンク 5 a、5 b を交互に使用するだけでなく、両方を同時に使用すれば、より広範囲の変動を平滑化することができる。

[0068] メインタンク 5 a を設定する場合又はしない場合のいずれの方法においても、タンク 5 a ~ 5 c が許容圧力を超えないように図示しない安全弁が設けられている。安全弁は、許容圧力を超える恐れがある場合、タンク 5 a ~ 5

cに貯蔵した圧縮空気を許容圧力以下で大気へ開放するように予め設定されている。すべてのタンク5 a～5 cが満タンの場合で、かつ平滑化のために風力発電装置2の電力を消費する必要がある場合は、いずれかの圧縮機4 a～4 cを駆動し、発生した空気を大気放出すればよい。

[0069] メインタンク5 aを設定する場合又はしない場合のいずれの方法においても小容量タンク5 a, 5 bの使用に関しては、完全に空になるまで使用しなくてもよい。小容量タンク5 a, 5 bの残存空気量が減少すると、膨張機7 a, 7 bに供給される空気量が減少し、十分な発電量を確保できなくなる場合がある。しかし、このように残存空気量に一定の閾値を設けることで、発電に必要な一定以上の空気供給量（又は圧力）を維持した状態で圧縮空気を使用できる。

[0070] 本発明によれば、長周期と短周期の各変動電力に対して容量の異なるタンクをそれぞれ使用しているため、長周期と短周期の変動電力の両方を効率的に平準化し、需要電力に応じた電力を出力することができる。また、必要に応じて短周期変動に対しても大容量タンク5 cを使用することで、小容量タンク5 a, 5 bが全て空の場合でも、平準化を行うことができる。こういう場合を避けるために、小容量タンク5 a, 5 bの空気残量が減った場合、大容量タンク5 cから小容量タンク5 a, 5 bに差圧充填することが望ましい。

[0071] （第2実施形態）

図8は、第2実施形態のCAES発電装置1を示している。本実施形態のCAES発電装置1は、1基の小容量タンク5 aに各2台（複数）の圧縮機4 a, 4 bと膨張機7 a, 7 bが接続されていることに関する部分以外の構成は図1の第1実施形態と同様である。従って、図1に示した構成と同様の部分については同様の符号を付して説明を省略する。

[0072] 図8を参照して、第2実施形態のCAES発電装置1は、小容量タンク5 aと大容量タンク5 bがそれぞれ1基設けられている。小容量タンク5 aには、モータ3 a, 3 b、圧縮機4 a, 4 b、膨張機7 a, 7 b、及び発電機

9 a, 9 b がそれぞれ接続されている。大容量タンク 5 b には、全てのモータ 3 a ~ 3 c、圧縮機 4 a ~ 4 c、膨張機 7 a ~ 7 c、及び発電機 9 a ~ 9 c がそれぞれ接続されている。この構成により、モータ 3 a ~ 3 c、圧縮機 4 a ~ 4 c、膨張機 7 a ~ 7 c、及び発電機 9 a ~ 9 c が各タンクに対して各 1 台のみ設けられた場合と比較して、小容量タンク 5 a に急速に圧縮空気を蓄積することができる。また、小容量タンクが 1 つでよいので設備コストと設置面積を抑えることができる。

[0073] CAES 発電装置 1 の平準化方法及びその制御方法に関しては、長周期変動を平準化して電力需要に合った電力を出力する場合は、第 2 実施形態も第 1 実施形態と同様である。

[0074] 短周期変動を平準化する場合、制御装置 1 2 は、短周期基準曲線に基づいて、圧縮機 4 a ~ 4 c 及び膨張機 7 a ~ 7 c の台数制御と回転数制御を行う。小容量タンク 5 a に圧縮空気を充填し、蓄電する場合、圧縮機 4 a, 4 b を 1 台又は 2 台使用できる。例えば、圧縮機 4 a を 1 台使用する場合、注入側弁 6 a, 6 d を開き、少なくとも注入側弁 6 e を閉じる。また、圧縮機 4 a, 4 b を 2 台使用する場合、注入側弁 6 a, 6 b, 6 d, 6 e を開き、少なくとも注入側弁 6 f を閉じる。このように、使用する圧縮機 4 a, 4 b の台数を調整し、小容量タンク 5 a への圧縮空気の充填速度・充填量を調整できる。同様に、小容量タンク 5 a の圧縮空気をを使用して発電する場合、膨張機 7 a, 7 b に関して、1 台又は 2 台使用できる。例えば、1 台の膨張機 7 a (発電機 9 a) を使用する場合、排出側弁 8 a, 8 d を開き、排出側弁 8 e と必要に応じたその他の排出側弁を閉じる。また、2 台の膨張機 7 a, 7 b (発電機 9 a, 9 b) を使用する場合、排出側弁 8 a, 8 b, 8 d, 8 e を開き、少なくとも排出側弁 8 f を閉じる。このように、使用する膨張機 7 a, 7 b (発電機 9 a, 9 b) の台数を調整し、発電する電力量を調整できる。また、ここで記載した部分以外の短周期変動の平準化方法及び制御は、第 2 実施形態も第 1 実施形態と同様である。

[0075] (第 3 実施形態)

図9は、第3実施形態のCAES発電装置1を示している。本実施形態のCAES発電装置1は、各タンク5a、5bへの圧縮機4a、4b及び膨張機7a、7bの接続構成に関する部分以外の構成は図1の第1実施形態と同様である。従って、図1に示した構成と同様の部分については同様の符号を付して説明を省略する。

[0076] 図9を参照して説明する。第3実施形態のCAES発電装置1は、小容量タンク5aと大容量タンク5bがそれぞれ1基設けられている。各タンク5a、5bには、モータ3a、3b、圧縮機4a、4b、膨張機7a、7b、及び発電機9a、9bがそれぞれ1つずつ接続されている。具体的には、小容量タンク5aに対しては圧縮機4a及び膨張機7aのみが接続されている。大容量タンク5bに対しては圧縮機4b及び膨張機7bのみが接続されている。即ち、圧縮機4aから大容量タンク5bに圧縮空気を供給することはできない。また、大容量タンク5bを使用して膨張機7aに圧縮空気を供給することはできない。この構成により、各空気供給路の設計圧力が異なる場合、及び、タンク5a、5bが隣接して配設できない場合（特に大容量タンク5bが地下空洞や廃坑道等で距離が離れている場合）にも対応可能となる。

[0077] CAES発電装置1の平準化方法及びその制御方法に関しては、長周期変動を平準化して電力需要に合った電力を出力する場合は、第3実施形態も第1実施形態と同様である。

[0078] 短周期変動を平準化する場合、制御装置12は、短周期基準曲線に基づいて、圧縮機4a、4b及び膨張機7a、7bの台数制御と回転数制御を行う。小容量タンク5aに圧縮空気を充填し、蓄電する場合、圧縮機4aにより圧縮空気を充填する（注入側弁6aを開き、その他の注入側弁を閉じる）。また、小容量タンク5aの圧縮空気をを使用して発電する場合、膨張機7a及び発電機9aにより発電する（排出側弁8aを開き、その他の排出側弁を閉じる）。また、ここで記載した部分以外の短周期変動の平準化方法は、第1実施形態と同様である。

[0079] (第4実施形態)

図10は、第4実施形態のCAES発電装置1を示している。本実施形態のCAES発電装置1は、熱交換器13a~13d及び蓄熱部14a, 14bに関する部分以外の構成は図1の第1実施形態と同様である。従って、図1に示した構成と同様の部分については同様の符号を付して説明を省略する。

[0080] 図10を参照して説明する。第4実施形態のCAES発電装置1は、小容量タンク5aと大容量タンク5bがそれぞれ1基設けられている。各タンク5a, 5bには、モータ3a, 3b、圧縮機4a, 4b、膨張機7a, 7b、及び発電機9a, 9bがそれぞれ1つずつ接続されている。各タンク5a, 5bの出入口に熱交換器13a~13dと、熱交換器13a~13dに接続された蓄熱部14a, 14bとをそれぞれさらに設けている。

[0081] 圧縮機4a, 4bで圧縮されることにより温度上昇した空気は、各タンク5a, 5bに蓄積されている間、大気中に熱を放出し、CAES発電装置1の系からエネルギーが損失する。これを防止するために、圧縮機4aにより圧縮された空気は、小容量タンク5aに供給される前に、入口側熱交換器13aにおいて熱媒に熱回収(吸熱)される。入口側熱交換器13aにおいて熱交換により吸熱した熱媒は、ポンプ15aにより蓄熱部14aに供給され、蓄熱される。蓄熱部14aで蓄熱された熱は、小容量タンク5aから吐出されて膨張機7aに供給される圧縮空気に出口側熱交換器13bを介して戻される。同様に、圧縮機4bにより圧縮された空気は、大容量タンク5bに供給される前に、入口側熱交換器13cにおいて熱媒に熱回収(吸熱)される。入口側熱交換器13cにおいて吸熱した熱媒は、ポンプ15bにより蓄熱部14bに供給され、蓄熱される。蓄熱部14bにより蓄熱された熱は、小容量タンク5bから吐出されて膨張機7bに供給される圧縮空気に出口側熱交換器13dを介して戻される。

[0082] この構成により、圧縮機4a, 4bで発生する熱を各タンク5a, 5bに供給する前に回収し、膨張機7a, 7bに供給される圧縮空気に戻すことで

充放電効率を向上できる。即ち、各タンク 5 a, 5 b での圧縮空気の熱放出によるエネルギー損失を防止し、エネルギー効率を向上できる。

[0083] CAES 発電装置 1 の平準化方法及びその制御方法に関しては、長周期変動及び短周期変動共に第 3 実施形態と同様である。

[0084] 各タンク 5 a, 5 b の出口に図示しない加熱機構をさらに設けてもよい。この構成によれば、膨張直前の空気を加熱することで充放電効率を向上できる。タンクにおいて熱放出し、エネルギー損失した圧縮空気に対して、加熱機構からの加熱により熱エネルギーを加えることで、損失したエネルギーを回復できる。また、図示しない別のシステムにおいて排熱などの熱源がある場合には、その排熱を有効利用できる。さらに、第 1 実施形態のように小容量タンクを複数設けてもよい。

[0085] (第 5 実施形態)

図 11 は、第 5 実施形態の CAES 発電装置 1 を示している。本実施形態の CAES 発電装置 1 は、蒸気駆動発電機 16 及びバイナリ発電機 17 に関する部分以外の構成は図 1 の第 1 実施形態と同様である。従って、図 1 に示した構成と同様の部分については同様の符号を付して説明を省略する。

[0086] 図 11 を参照して、第 5 実施形態の CAES 発電装置 1 は、小容量タンク 5 a と大容量タンク 5 b がそれぞれ 1 基設けられている。各タンク 5 a, 5 b には、モータ 3 a, 3 b、圧縮機 4 a, 4 b、膨張機 7 a, 7 b、及び発電機 9 a, 9 b がそれぞれ 1 つずつ接続されている。本実施形態では、CAES システムの発電機 9 a, 9 b に加えて、別の蒸気源 18 からの蒸気を受けて発電する蒸気駆動発電機 16 (発電機 9 c) とバイナリ発電システム 17 の発電機 9 d の 4 つの発電機 9 a ~ 9 d を備える。

[0087] 図 11 の蒸気駆動発電機 16 は、蒸気源 18 から発生した蒸気を受けて発電する。この際、蒸気源 18 から発生した蒸気は、ドレン分離機 19 により湿分を分離され、蒸気駆動発電機 16 に供給される。蒸気駆動発電機 16 により発電された電力は、CAES 発電装置 1 により発電された電力と合わせて図示しない系統に供給される。

[0088] バイナリ発電システム 17 は、加熱源により沸点の低い媒体を加熱し、蒸発させ、その蒸気で例えばタービンを回す発電方式である。沸点の低い媒体には、例えば、ペンタン又はイソブタンといった有機物質、及び、代替フロン又はアンモニアと水の混合液などが用いられる。蒸気駆動発電機 16 を駆動させた後の蒸気（例えば 120℃程度）は、熱交換器 13 a により沸点の低い媒体と熱交換を行う。沸点の低い媒体は、熱交換器 13 a で得た熱により蒸発し、この蒸気は発電機 9 d に接続した膨張機 7 d に供給され、発電を行う。膨張機 7 d により膨張した蒸気は、熱交換器 13 b により吸熱され、凝縮する。そして、凝縮した沸点の低い媒体は、ポンプ 15 a により熱交換器 13 a に供給される。熱交換器 13 b により沸点の低い媒体と熱交換した冷却水はクーリングタワー 20 に供給され、冷却される。冷却された冷却水はポンプ 15 b により熱交換器 13 b に供給される。

[0089] この第 5 実施形態の構成によれば、CAES 発電装置 1 による発電以外の別の外部発電機（蒸気駆動発電機 16 及びバイナリ発電システム 17）を有するため、風力発電装置 2 の出力が、故障や長期間停止など想定外に過度に不安定な場合や、想定外に過小な場合にも発電出力を確実に維持できる。

[0090] CAES 発電装置 1 の平準化方法及びその制御方法に関しては、長周期変動及び短周期変動共に第 3 実施形態と同様である。

[0091] ここで記載した各実施形態では、圧縮機と膨張機の台数が等しいものを説明したが、圧縮機と膨張機の台数・容量は揃える必要はなく、圧縮機側を小さく（又は少なく）して膨張機側を大きく（又は多く）することも可能であるし、その反対も可能である。

[0092] ここで記載した各実施形態において、自然エネルギーによる発電装置 2 の対象は、風力を記載したが、本発明の CAES 発電装置 1 は、これらに限定されるものではない。具体的には、風力、太陽光、太陽熱、波力又は潮力、流水又は潮汐、及び地熱等、自然の力で定常的（もしくは反復的）に補充されるエネルギーを利用したもの全てを対象とすることが可能である。ただし、気象条件によって変動が激しい風力発電や太陽光発電に特に有効である。

符号の説明

- [0093] 1 圧縮空気貯蔵発電装置 (C A E S 発電装置)
- 2 風力発電装置
- 3 a, 3 b, 3 c モータ
- 4 a, 4 b, 4 c 圧縮機
- 5 a, 5 b, 5 c タンク
- 6 a, 6 b, 6 c, 6 d, 6 e, 6 f 注入側弁
- 7 a, 7 b, 7 c 膨張機
- 8 a, 8 b, 8 c, 8 d, 8 e, 8 f 排出側弁
- 9 a, 9 b, 9 c 発電機
- 10 出力センサ
- 11 a, 11 b, 11 c 圧力センサ
- 12 制御装置
- 13 a, 13 b, 13 c, 13 d 熱交換器
- 14 a, 14 b 蓄熱部
- 15 a, 15 b ポンプ
- 16 蒸気駆動発電機
- 17 バイナリ発電機
- 18 蒸気源
- 19 ドレン分離機
- 20 クーリングタワー
- 21 a, 21 b タンク間空気供給弁
- 22 制御手段

請求の範囲

- [請求項1] 自然エネルギーを用いて発電した電力により駆動される、互いに電氣的に並列に接続された複数のモータと、
前記モータと機械的に接続され、空気を圧縮する複数の圧縮機と、
前記圧縮機により圧縮された空気を貯蔵する、少なくとも2つの容量の異なるタンクと、
前記タンクから供給される圧縮空気によって駆動される複数の膨張機と、
前記膨張機と機械的に接続され、互いに電氣的に並列に接続された複数の発電機と、
前記自然エネルギーによる発電電力のうち、長周期の変動電力には相対的に大容量の前記タンクを使用し、短周期の変動電力には相対的に小容量の前記タンクを使用することによって、長周期及び短周期の変動電力の両方を平準化して電力需要に応じた電力を出力する制御を行う制御手段と
を備える、圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項2] 少なくとも2つの容量の異なる前記タンクのうち、相対的に小容量の前記タンクは、1時間未満持続して発電できる容量であり、少なくとも2つの容量の異なる前記タンクのうち、相対的に大容量の前記タンクは、1時間以上持続して発電できる容量である、請求項1に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項3] 前記制御手段は、前記長周期の変動電力に対しては長周期需要曲線に基づいて、及び、前記短周期の変動電力に対しては短周期基準曲線に基づいて、長周期及び短周期の各変動電力をそれぞれ平準化して電力需要に応じた電力を出力する制御を行う、請求項1又は請求項2に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項4] 相対的に小容量の前記タンクに接続される前記圧縮機及び前記膨張機は、共にスクリュ式である、請求項1又は請求項2に記載の圧縮空

気貯蔵発電装置。

- [請求項5] 相対的に大容量の前記タンクに接続される前記圧縮機及び前記膨張機も、共にスクリュ式である、請求項4に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項6] 相対的に大容量の前記タンクに接続される前記圧縮機及び前記膨張機の少なくとも1つが、ターボ式であり、相対的に小容量の前記タンクに接続される前記圧縮機及び前記膨張機は、共にスクリュ式である、請求項1又は請求項2に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項7] 前記短周期の変動電力には小型の前記圧縮機及び前記膨張機を少なくとも使用し、前記長周期の変動電力には大型の前記圧縮機及び前記膨張機を少なくとも使用する、請求項1又は請求項2に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項8] 前記タンクの入口に前記圧縮機で圧縮されて温度上昇した空気を熱媒と熱交換する入口側熱交換器を設け、該入口側熱交換器で熱交換された熱媒を蓄える蓄熱部を設け、前記タンクの出口に前記タンクから吐出された空気を前記蓄熱部から吐出された熱媒と熱交換して加熱する出口側熱交換器を設けた、請求項1又は請求項2に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項9] 前記発電機の出力部に前記発電機とは別の外部発電機を設け、自然エネルギーを用いて発電した電力が過度に不安定な場合や過小の場合に発電する、請求項1又は請求項2に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項10] 相対的に大容量の前記タンクに鉱山の坑道又は地下空洞を使用した、請求項1又は請求項2に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。
- [請求項11] 前記制御手段は、
前記圧縮機からいずれの前記タンクに圧縮空気を供給するか切り替える注入側弁と、
前記タンクからいずれの前記膨張機に圧縮空気を供給するか切り替える排出側弁と、

前記自然エネルギーの発電出力を測定する出力センサと、
前記タンク内の圧力を測定する圧力センサと、
制御装置とを含み、

前記制御装置は、前記出力センサ及び前記圧力センサの測定値に基づいて前記注入側弁及び前記排出側弁を開閉する、請求項 1 又は請求項 2 に記載の圧縮空気貯蔵発電装置。

[請求項12]

自然エネルギーを用いて発電した電力により駆動される、互いに電氣的に並列に接続された複数のモータと、

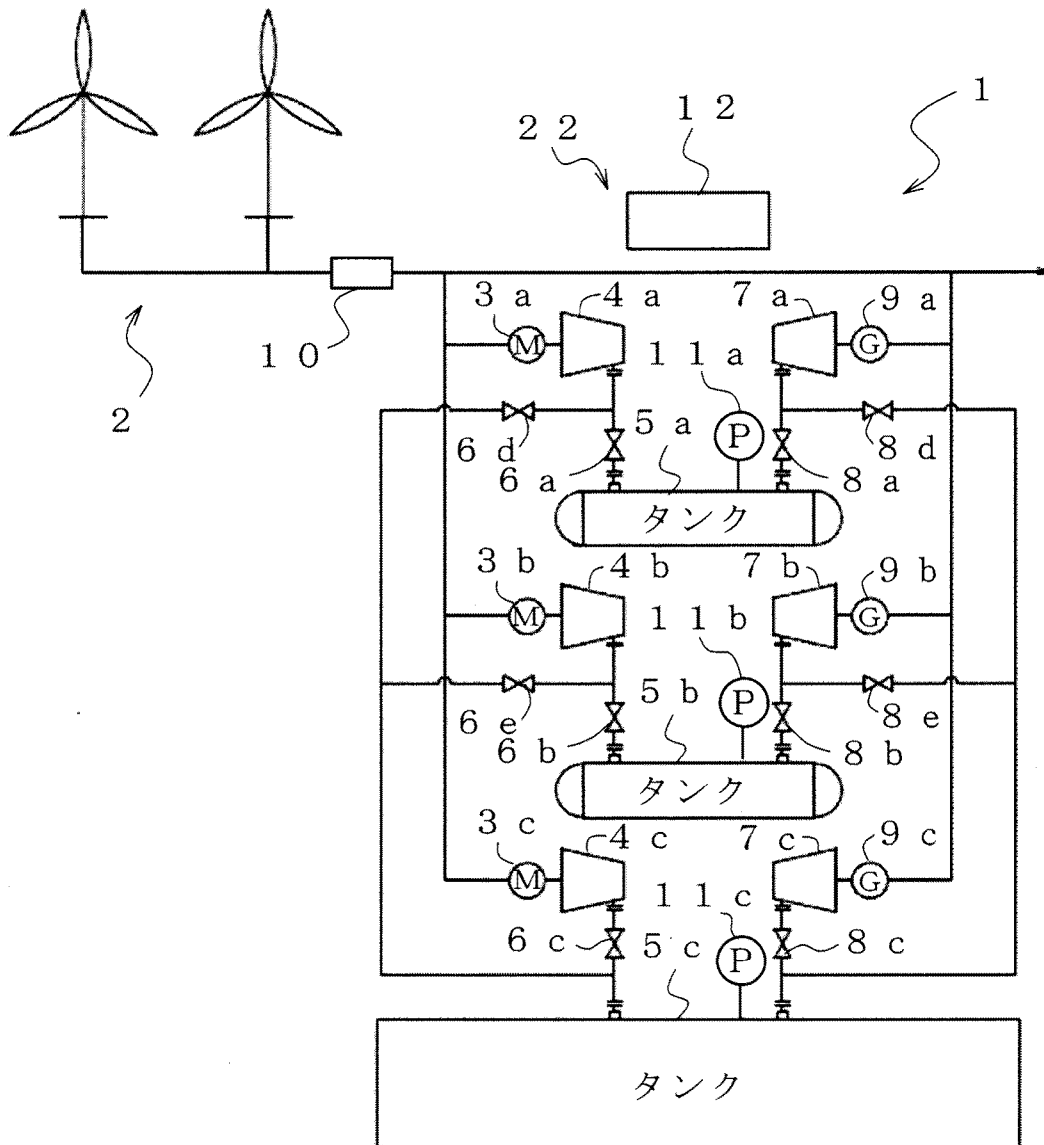
前記モータと機械的に接続され、空気を圧縮する複数の圧縮機と、
前記圧縮機により圧縮された空気を貯蔵する、少なくとも 2 つの容量の異なるタンクと、

前記タンクから供給される圧縮空気によって駆動される複数の膨張機と、

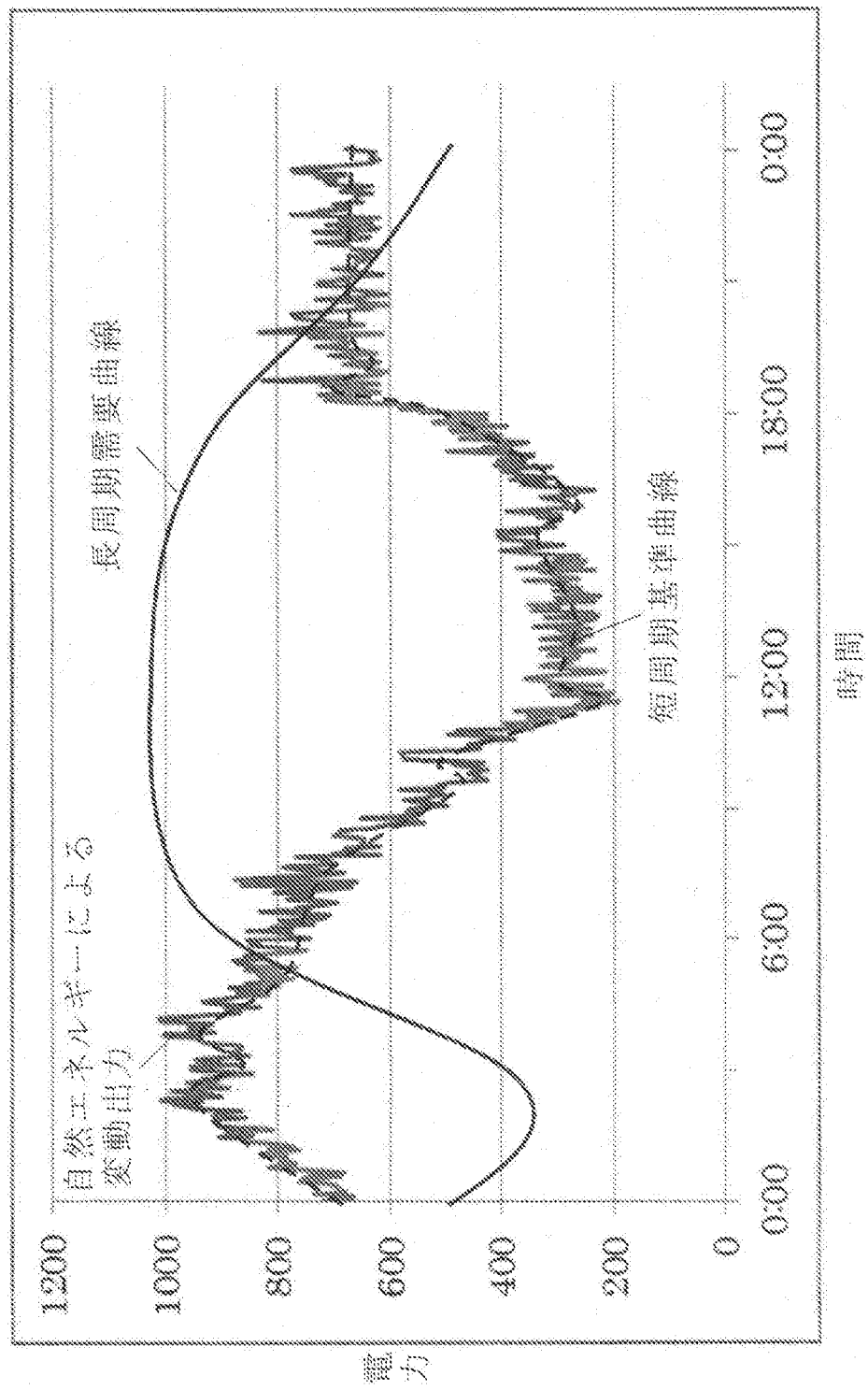
前記膨張機と機械的に接続され、互いに電氣的に並列に接続された複数の発電機とを備える圧縮空気貯蔵発電装置の圧縮空気貯蔵発電方法であって、

前記自然エネルギーによる発電電力のうち、長周期の変動電力には相対的に大容量の前記タンクを使用し、短周期の変動電力には相対的に小容量の前記タンクを使用し、長周期及び短周期の変動電力の両方を平準化して電力需要に応じた電力を出力する制御を行う、圧縮空気貯蔵発電方法。

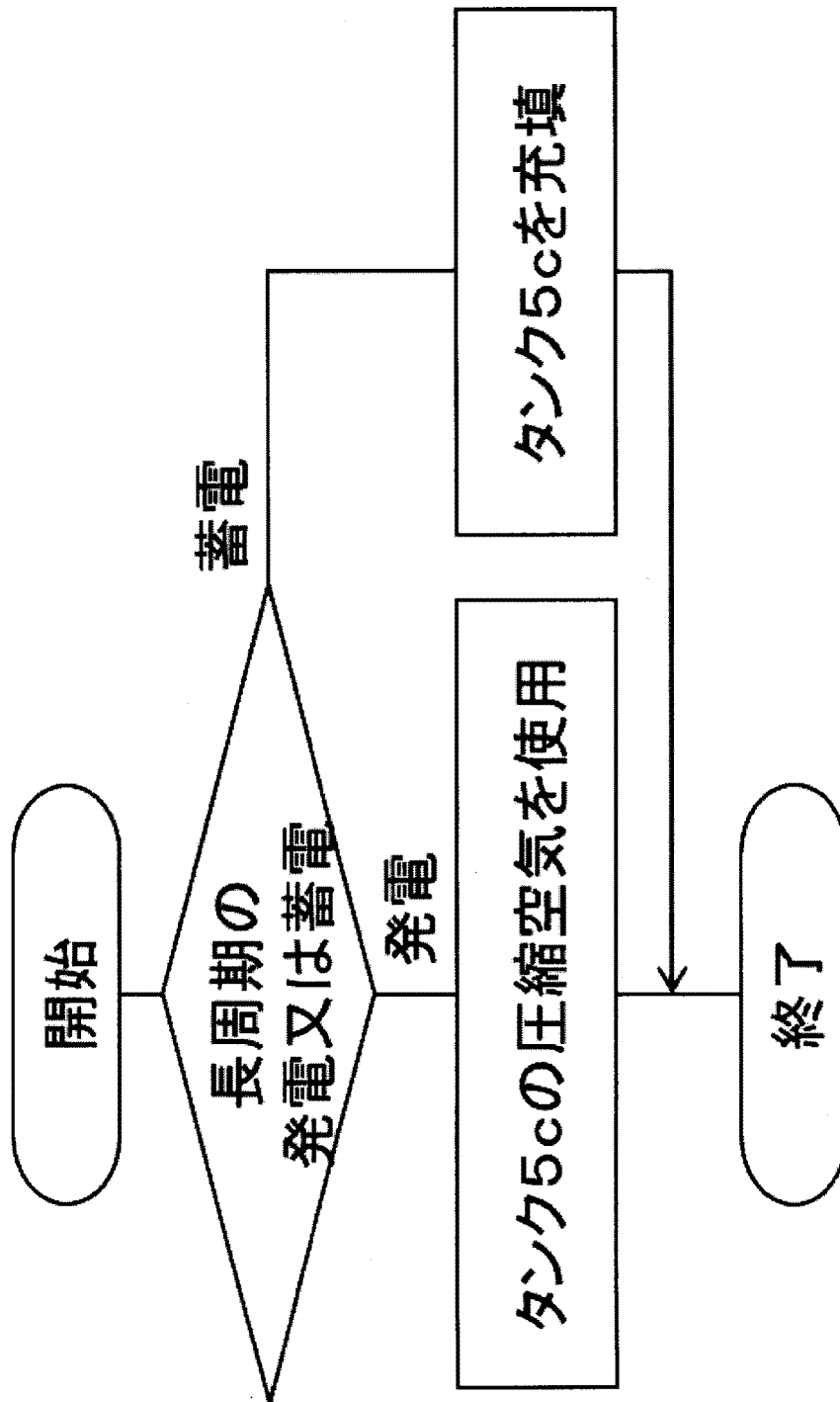
[図1]



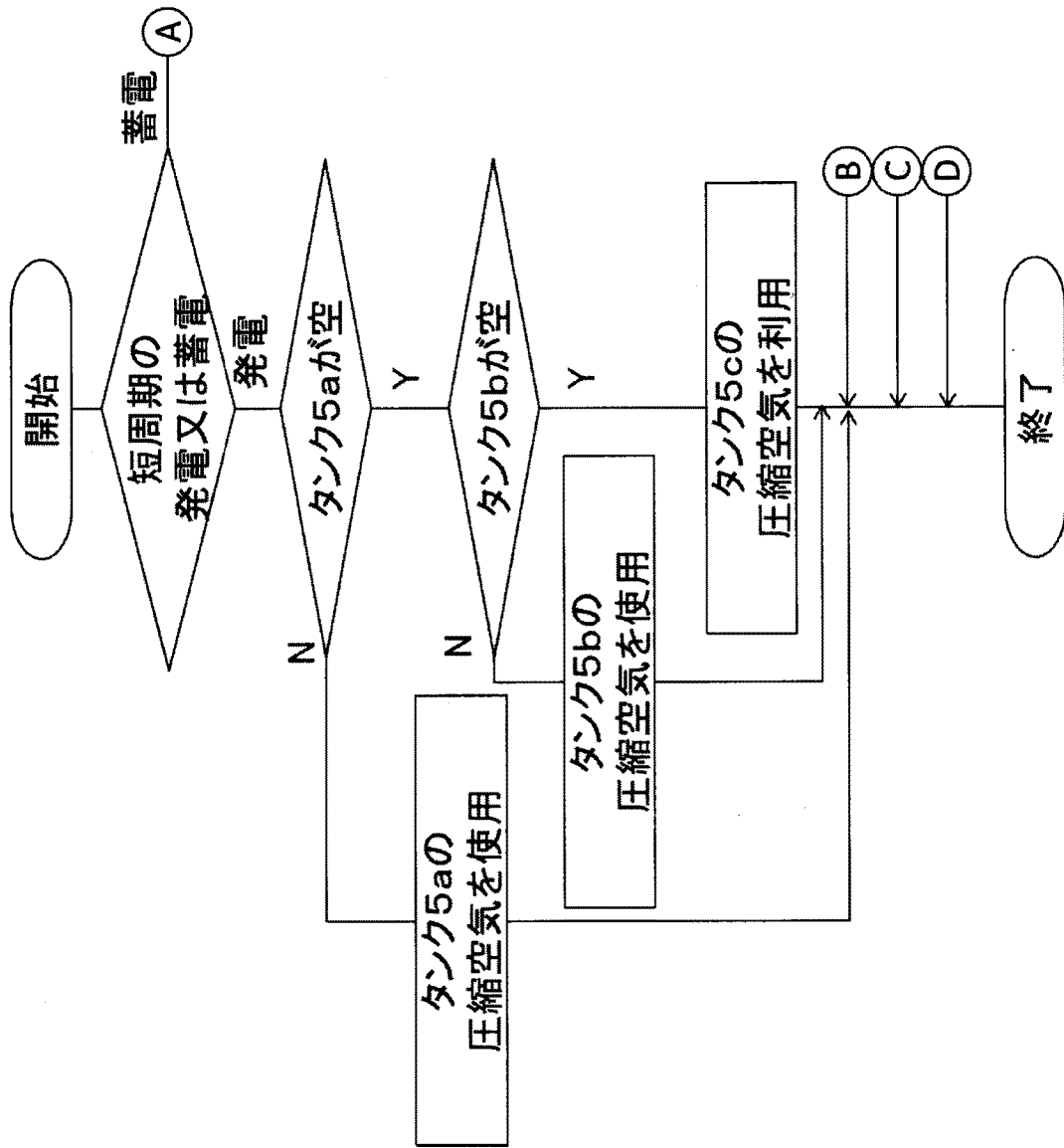
[図2]



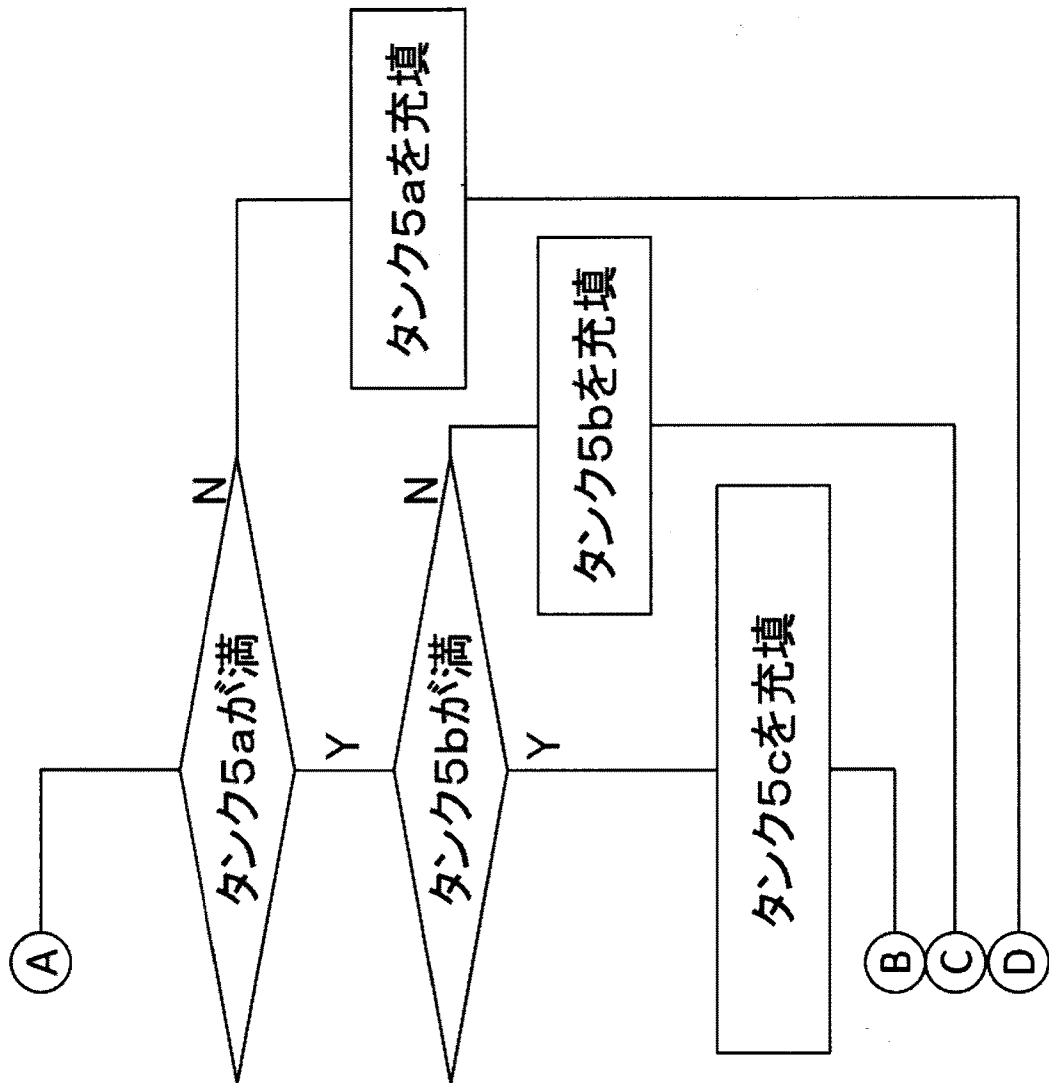
[図3]



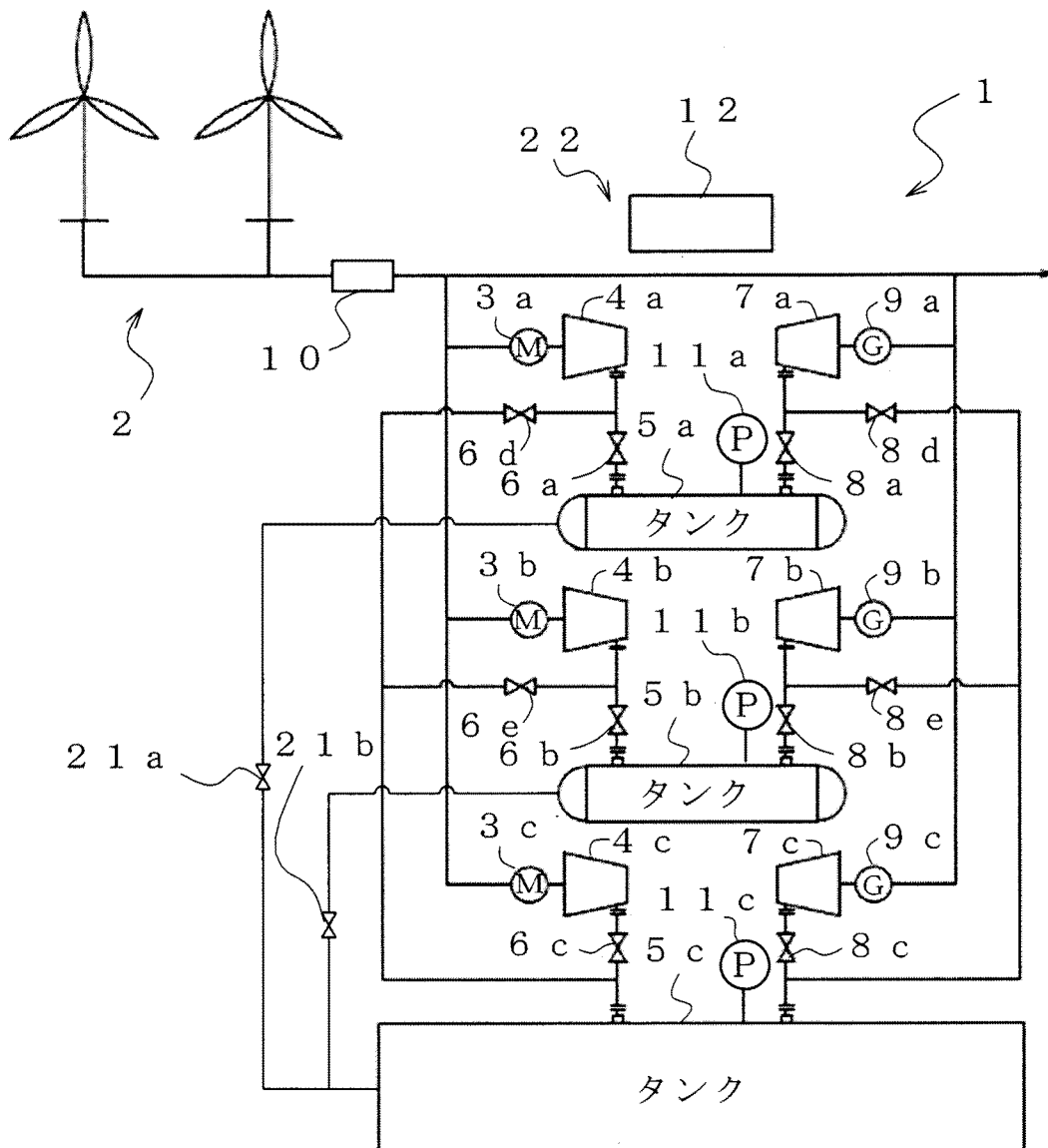
[図4A]



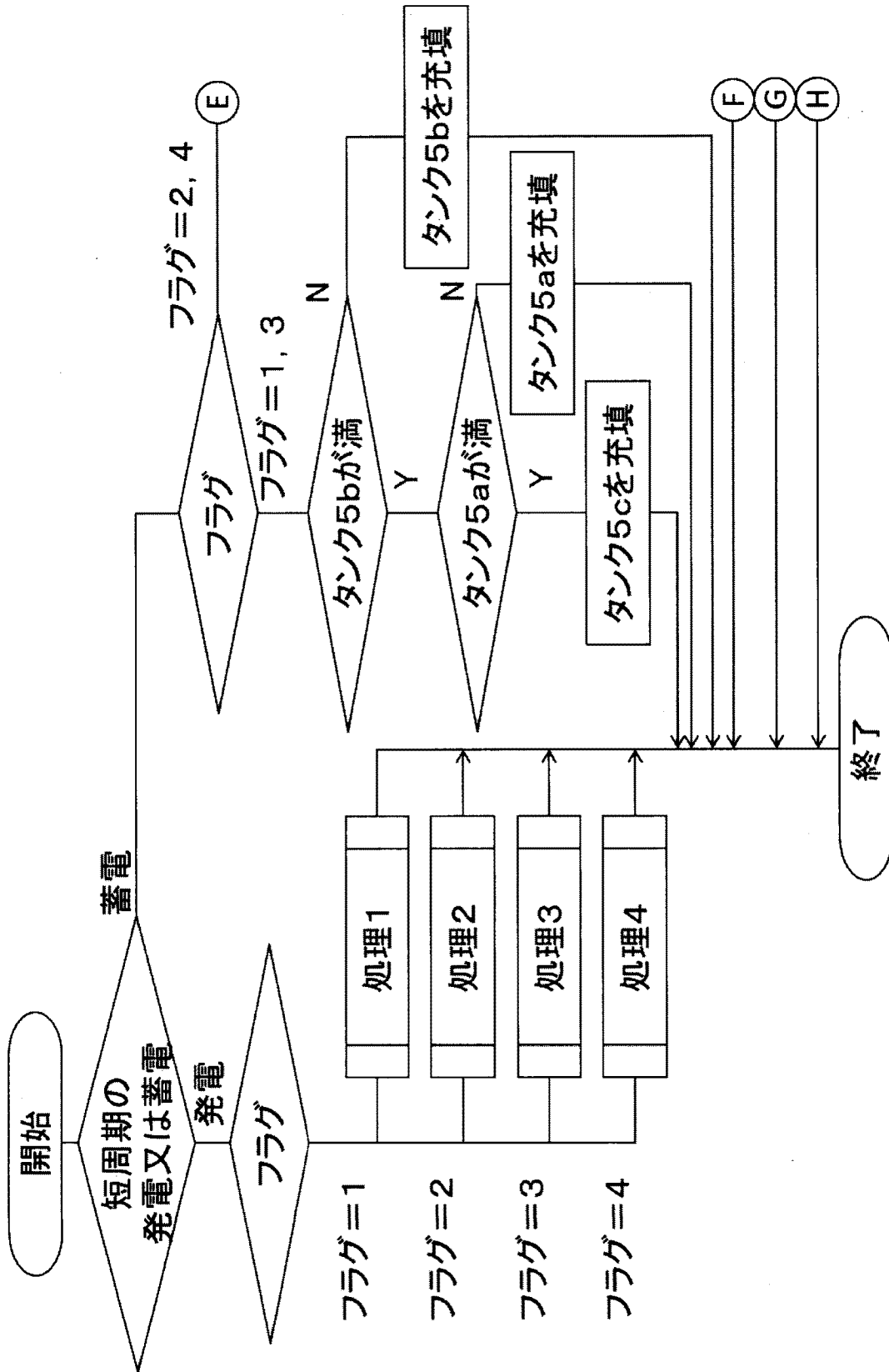
[図4B]



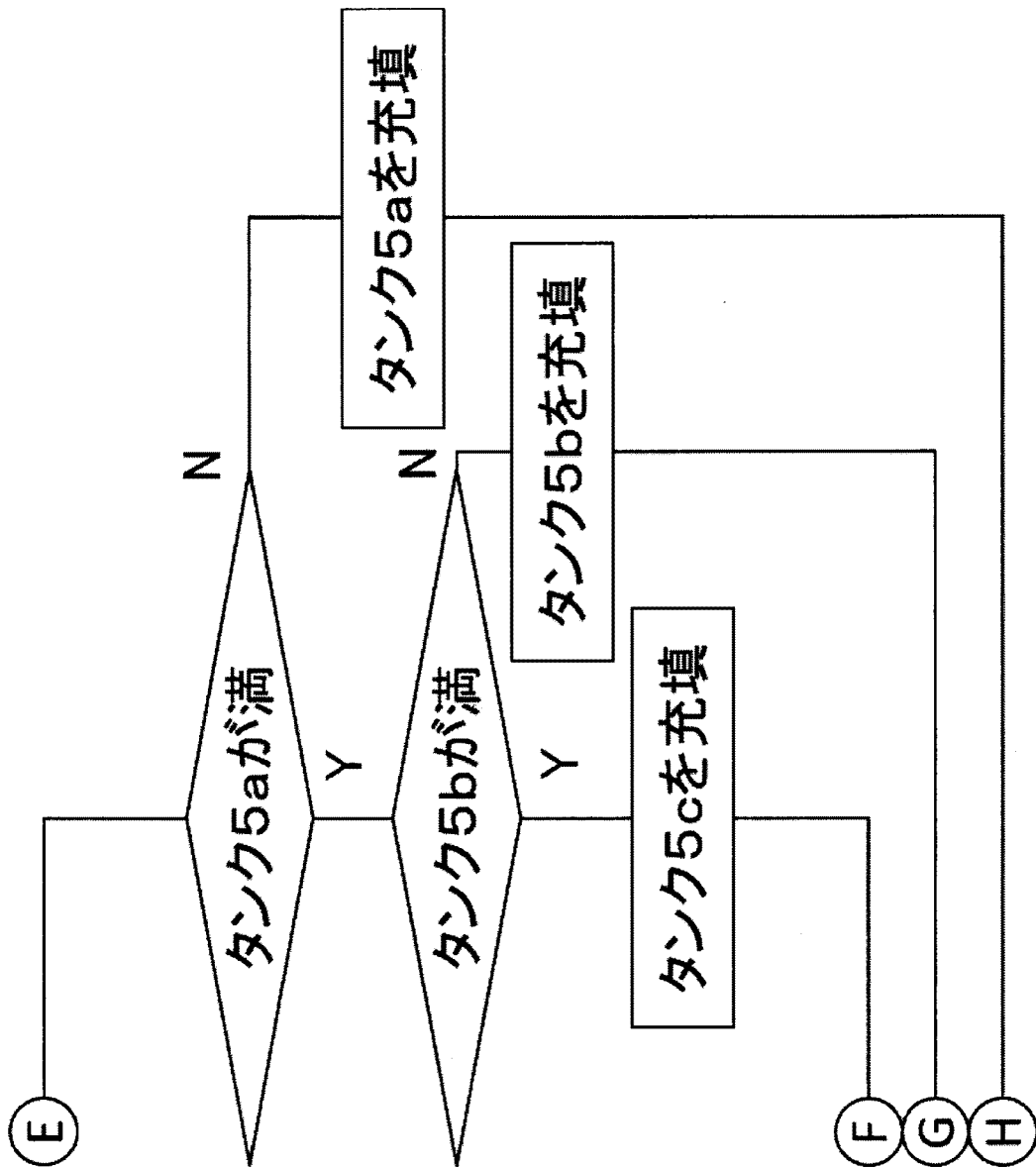
[図5]



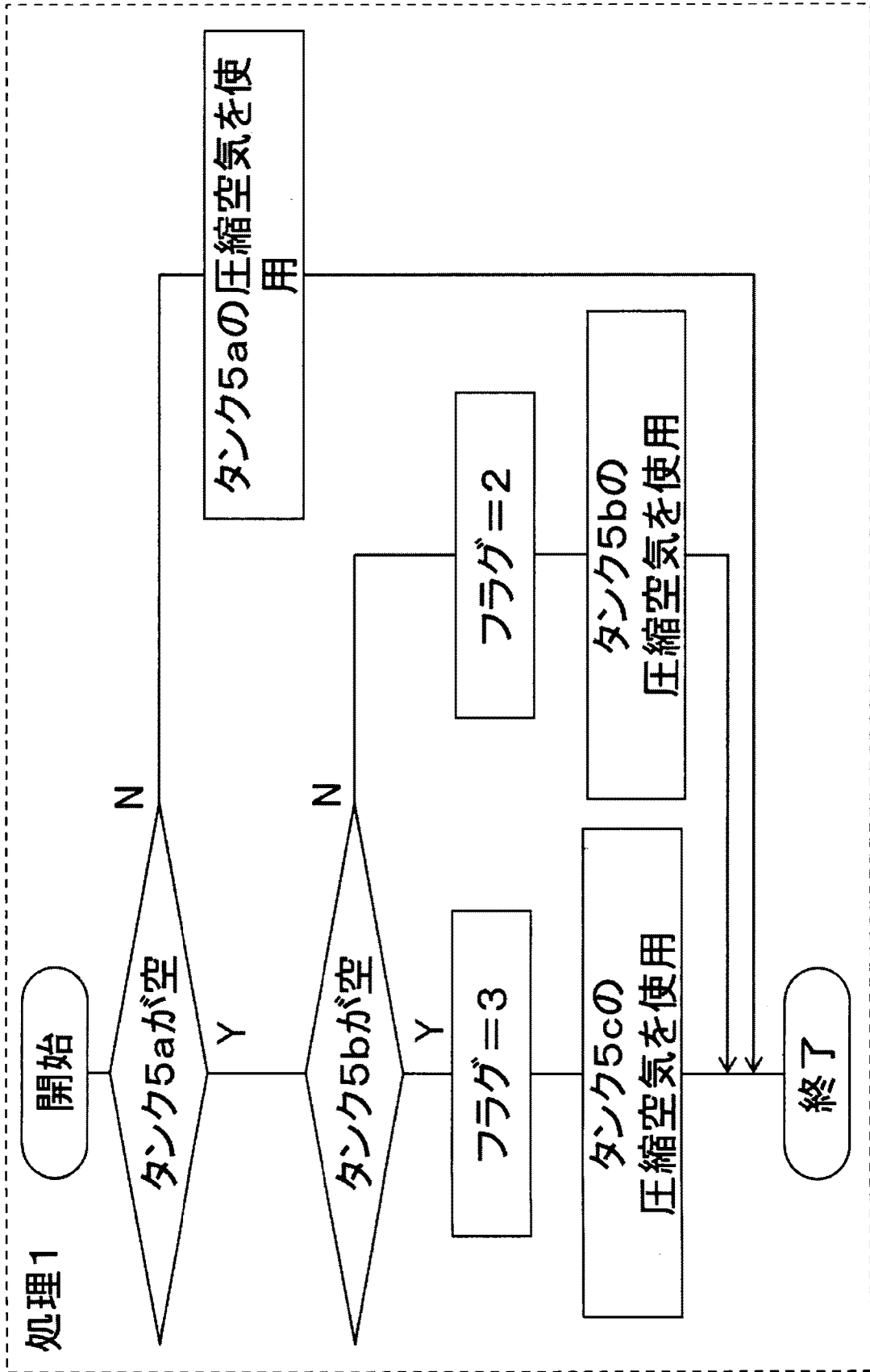
[図6A]



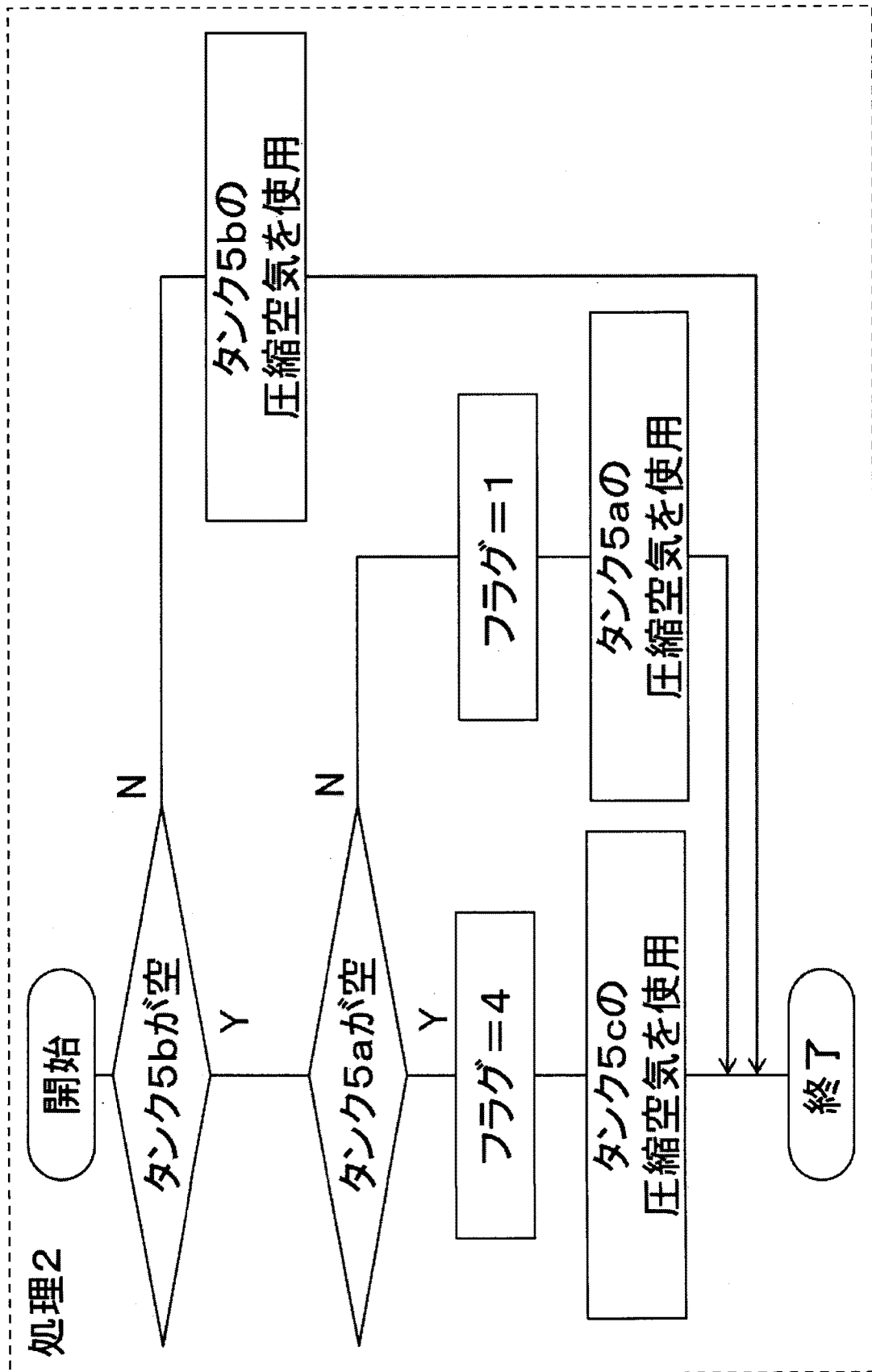
[図6B]



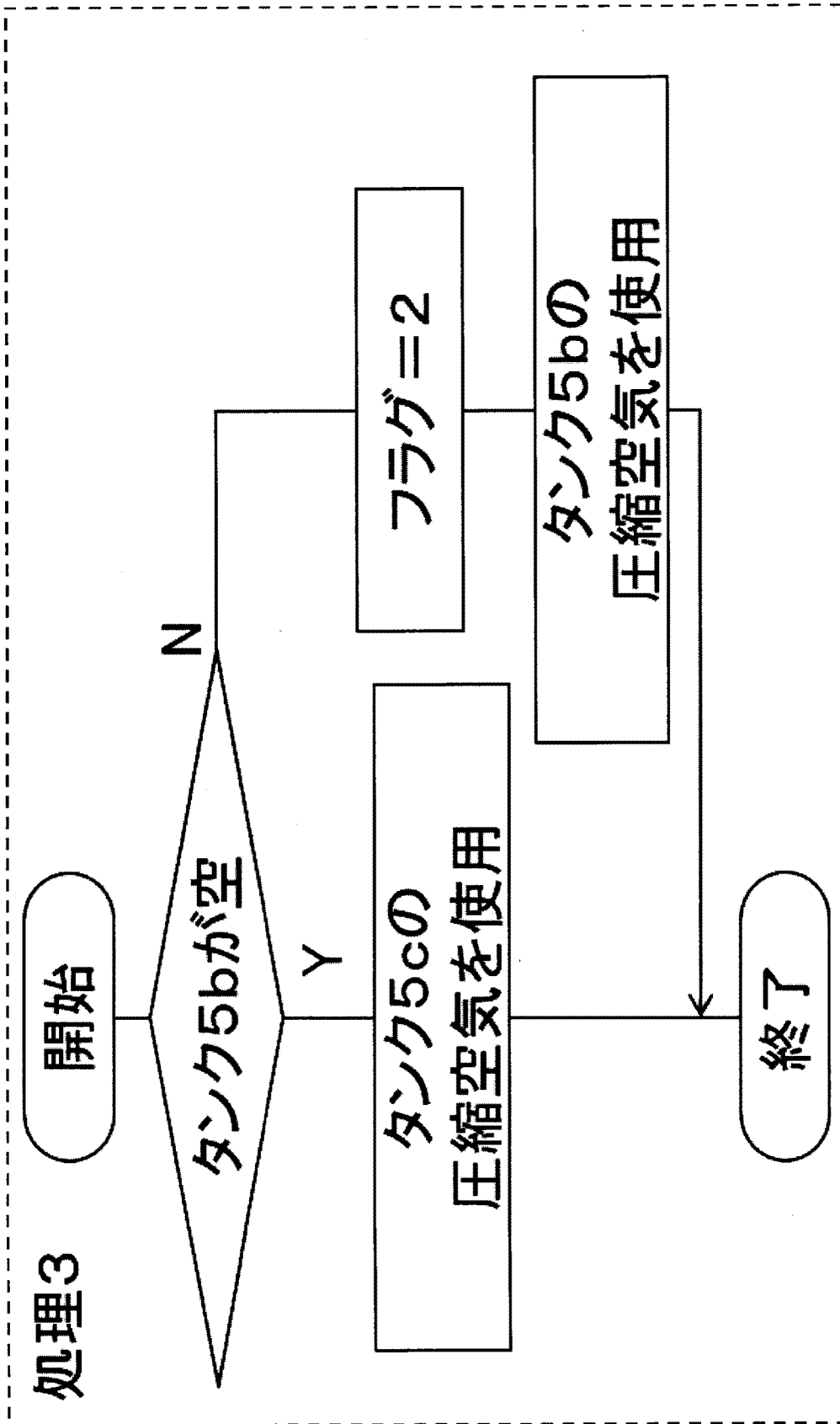
[図7A]



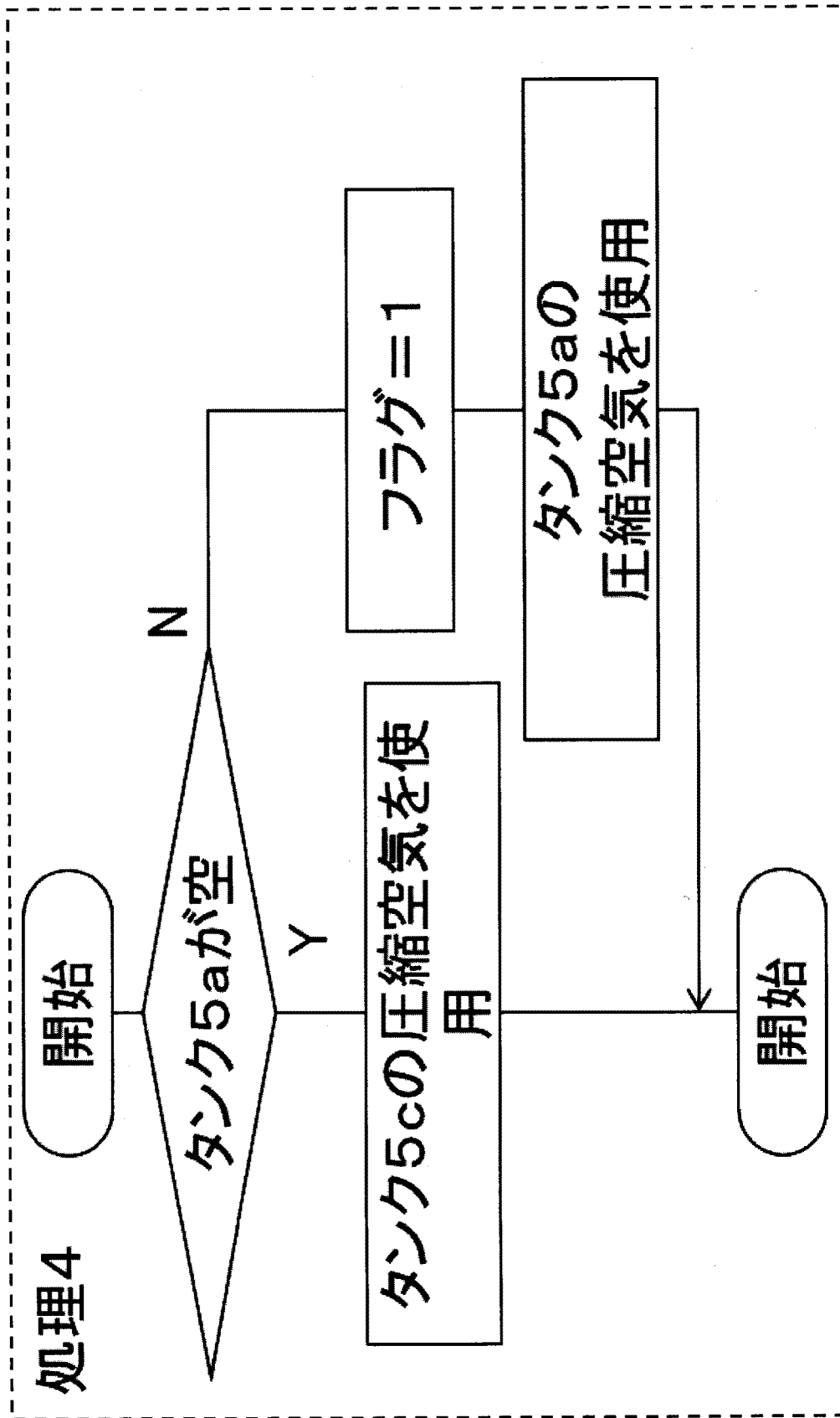
[図7B]



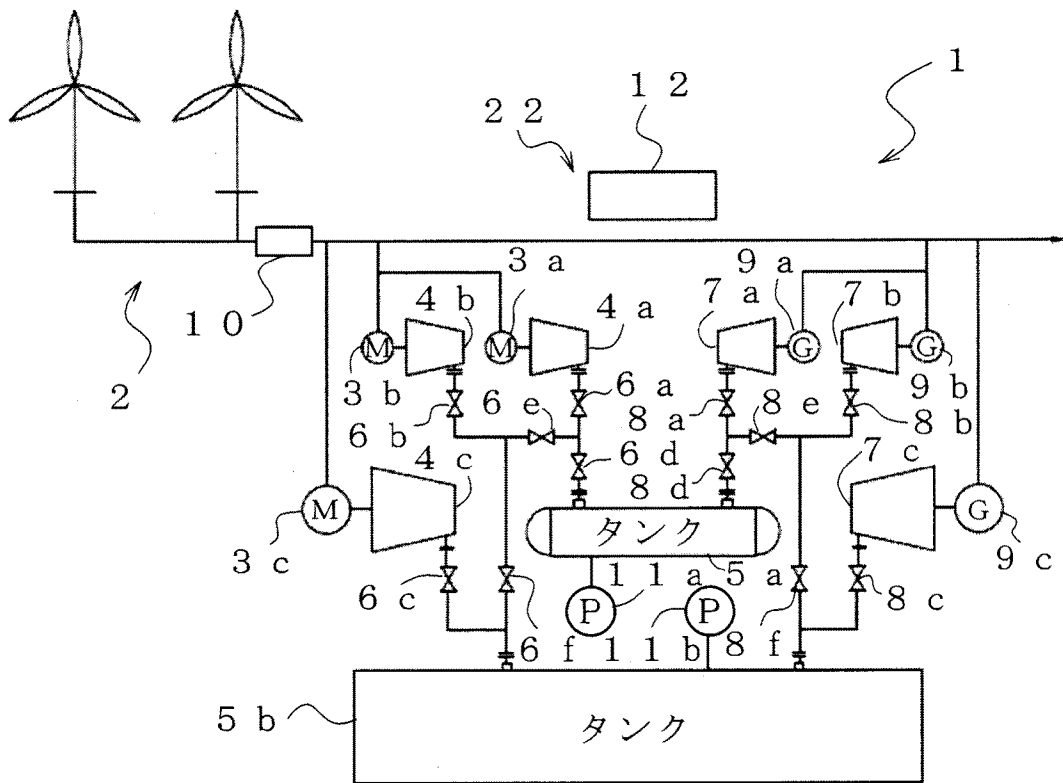
[図7C]



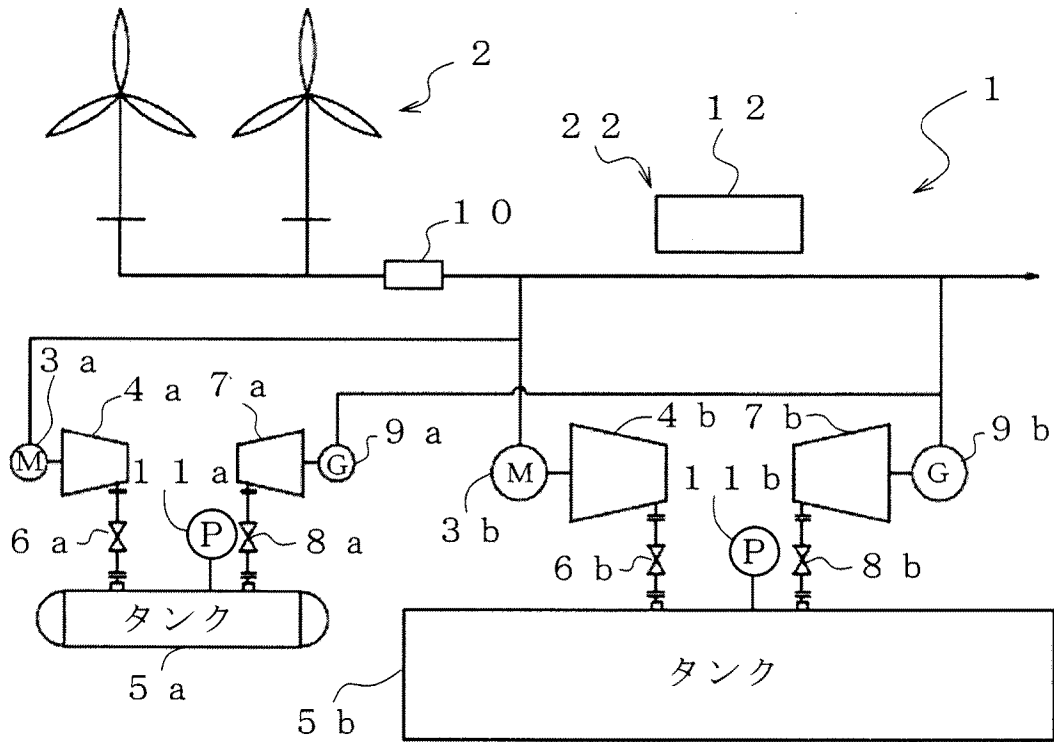
[図7D]



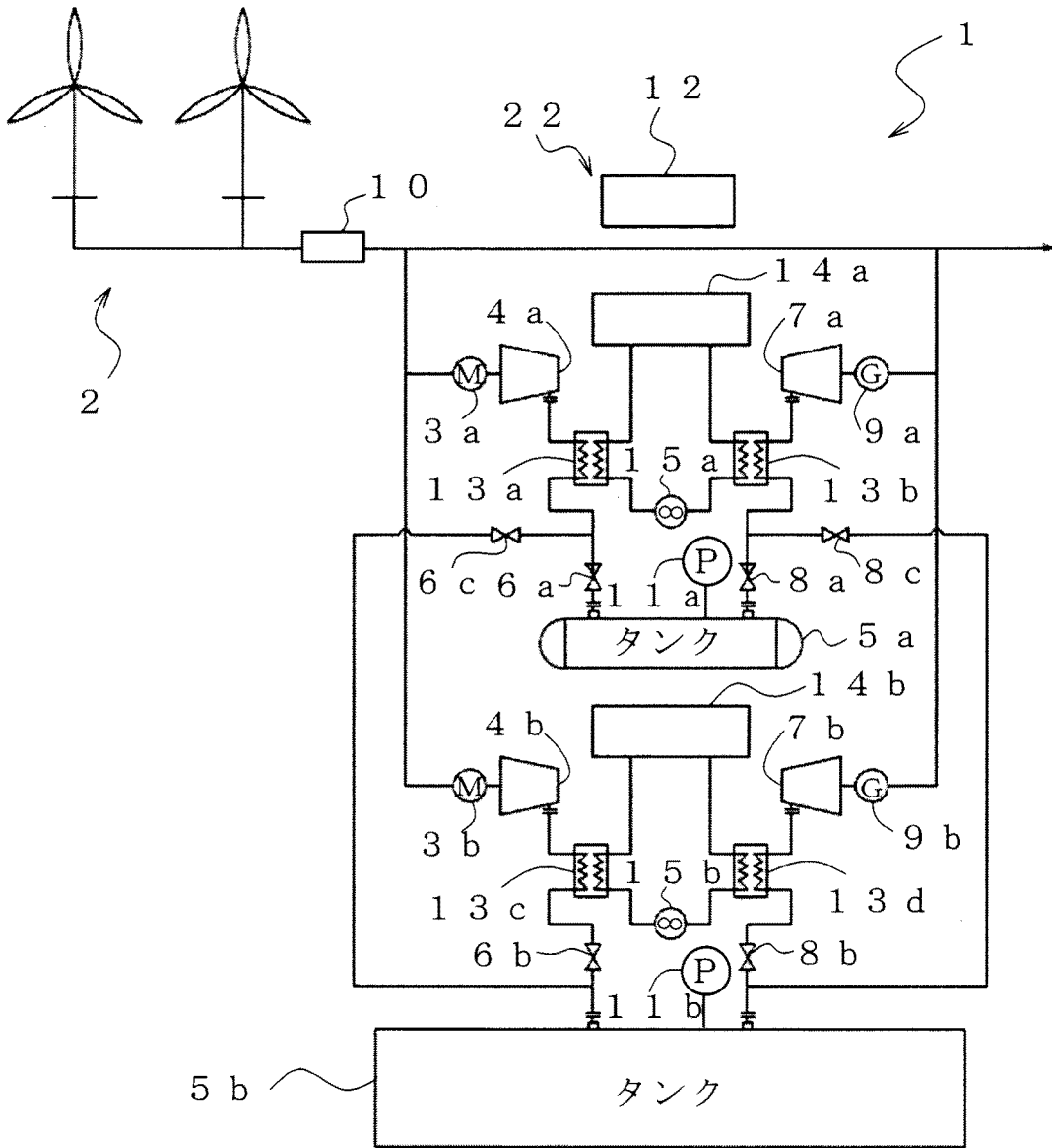
[図8]



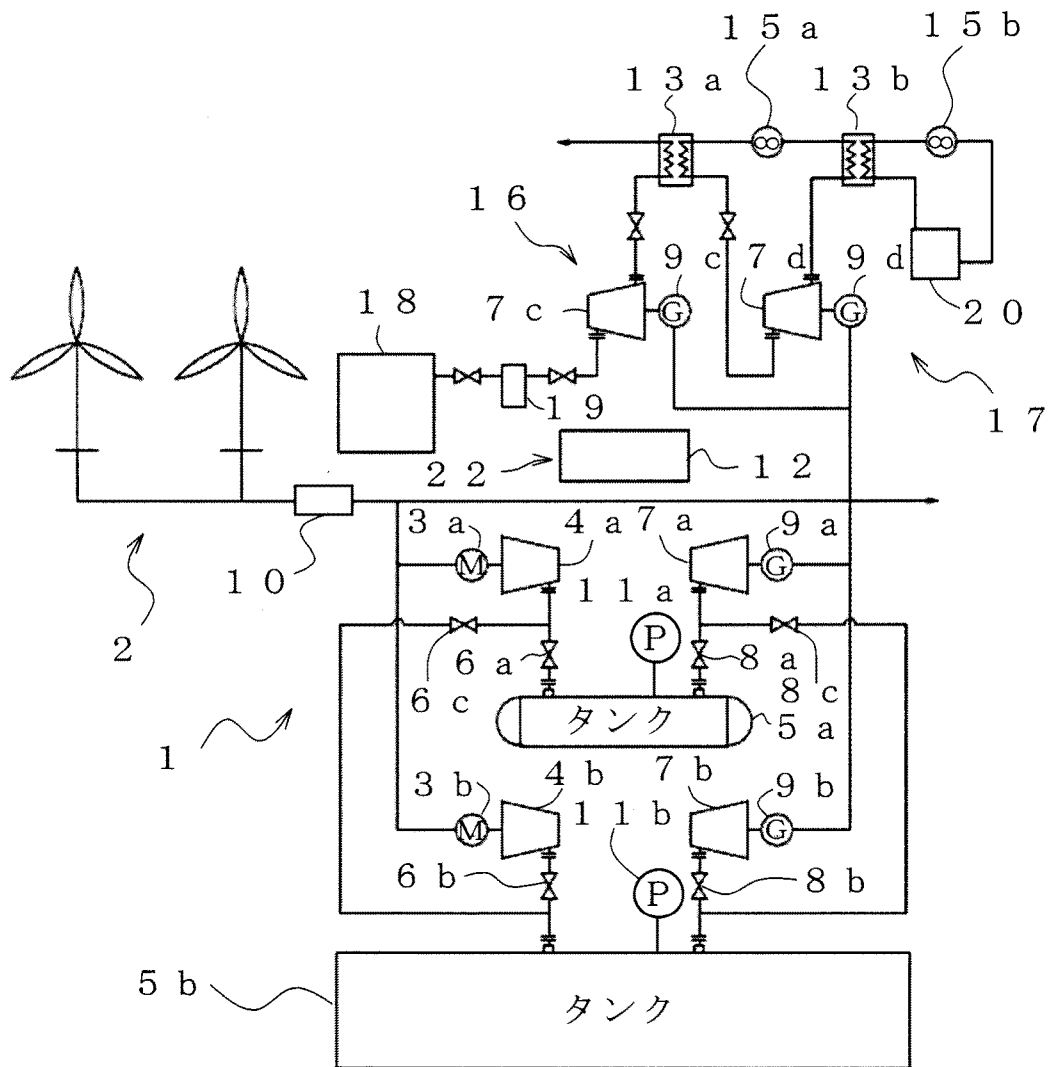
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/071374

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02J3/28(2006.01)i, F03D9/02(2006.01)i, H02J15/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02J3/28, F03D9/02, H02J15/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-239370 A (Toshiaki OTA), 06 December 2012 (06.12.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-12
Y	JP 2011-234563 A (Toshiba Corp.), 17 November 2011 (17.11.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-12
Y	JP 2013-509529 A (General Electric Co.), 14 March 2013 (14.03.2013), paragraph [0021] & US 2011/0094212 A1 & WO 2011/056296 A2 & CN 102597458 A	4-6

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 14 September 2015 (14.09.15)	Date of mailing of the international search report 29 September 2015 (29.09.15)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/071374

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-530074 A (Enis, Ben), 06 October 2005 (06.10.2005), paragraph [0038] & US 2003/0105556 A1 & WO 2003/031813 A1 & CA 2462852 A & CN 1615402 A	6
Y	JP 2012-97737 A (Nuovo Pignone S.p.A.), 24 May 2012 (24.05.2012), paragraphs [0016] to [0020]; fig. 2 & US 2012/0102937 A1 & EP 2447501 A2 & CN 102536352 A	8,10
Y	JP 2002-135979 A (Toshiba Corp.), 10 May 2002 (10.05.2002), paragraphs [0019] to [0024]; fig. 1 (Family: none)	9
Y	JP 2014-515339 A (Storewatt), 30 June 2014 (30.06.2014), paragraphs [0096] to [0099]; fig. 9 & US 2014/0091574 A1 & WO 2012/160311 A2	11
A	JP 2003-83082 A (Alstom (Switzerland) Ltd.), 19 March 2003 (19.03.2003), entire text; all drawings & US 2003/0033811 A1 & DE 10236325 A	1-12
A	JP 2009-525432 A (Enis, Ben M.), 09 July 2009 (09.07.2009), entire text; all drawings & US 2007/0182160 A1 & WO 2007/089872 A2 & CA 2641136 A & CN 101410617 A	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02J3/28(2006.01)i, F03D9/02(2006.01)i, H02J15/00(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02J3/28, F03D9/02, H02J15/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-239370 A（太田 俊昭）2012.12.06, 全文、全図（ファミリーなし）	1-12
Y	JP 2011-234563 A（株式会社東芝）2011.11.17, 全文、全図（ファミリーなし）	1-12
Y	JP 2013-509529 A（ゼネラル・エレクトリック・カンパニー） 2013.03.14, [0021] & US 2011/0094212 A1 & WO 2011/056296 A2 & CN 102597458 A	4-6
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 14.09.2015	国際調査報告の発送日 29.09.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 石川 晃 電話番号 03-3581-1101 内線 3568	5 T 3986

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2005-530074 A (エニス、ベン) 2005. 10. 06, [0038] & US 2003/0105556 A1 & WO 2003/031813 A1 & CA 2462852 A & CN 1615402 A	6
Y	JP 2012-97737 A (ヌオーヴォ ピニオーネ ソシエタ ペル アチ オニ) 2012. 05. 24, [0016]-[0020][図2] & US 2012/0102937 A1 & EP 2447501 A2 & CN 102536352 A	8, 10
Y	JP 2002-135979 A (株式会社東芝) 2002. 05. 10, [0019]-[0024][図1] (ファミリーなし)	9
Y	JP 2014-515339 A (ストレワット) 2014. 06. 30, [0096]-[0099][図9] & US 2014/0091574 A1 & WO 2012/160311 A2	11
A	JP 2003-83082 A (アルストム (スイツァーランド) リミテッド) 2003. 03. 19, 全文、全図 & US 2003/0033811 A1 & DE 10236325 A	1-12
A	JP 2009-525432 A (エニス、ベン エム.) 2009. 07. 09, 全文、全図 & US 2007/0182160 A1 & WO 2007/089872 A2 & CA 2641136 A & CN 101410617 A	1-12