

(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12月22日(22.12.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/203766 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 9/04 (2006.01) H02M 7/12 (2006.01)
B64D 41/00 (2006.01) H02P 101/30 (2015.01)
H02M 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/002897
- (22) 国際出願日: 2016年6月15日(15.06.2016)
- (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 2015-120282 2015年6月15日(15.06.2015) JP
- (71) 出願人: 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒6508670 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 岩嶋 淳 (IWASHIMA, Atsushi). 杉本 和繁 (SUGIMOTO, Kazushige). 山口 潤 (YAMAGUCHI, Jun). 高山 卓 (TAKAYAMA, Suguru).
- (74) 代理人: 特許業務法人 有古特許事務所 (PATENT CORPORATE BODY ARCO PATENT OF-

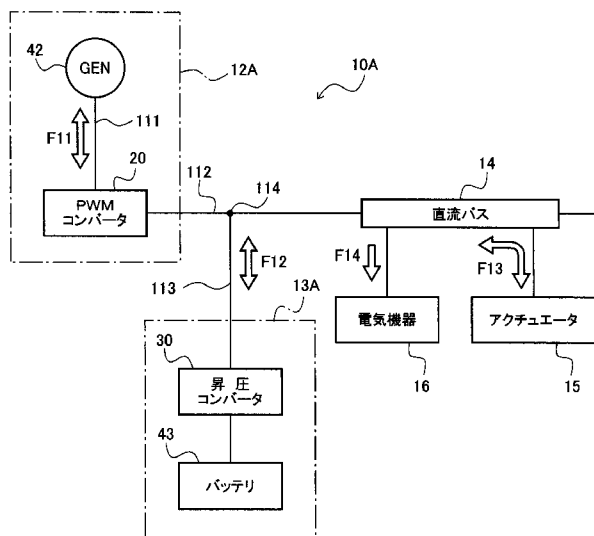
FICE); 〒6500031 兵庫県神戸市中央区東町123番地の1 貿易ビル3階 Hyogo (JP).

- (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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロピア (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: DC STABILIZED POWER SUPPLY SYSTEM

(54) 発明の名称: 直流安定化電源システム



- 14 DC bus
- 15 Actuator
- 16 Electrical device
- 20 PWM converter
- 30 Boost converter
- 43 Battery

(57) Abstract: A first DC power supply unit (12A) of a DC stabilized power supply system is composed of at least a generator (42) and a PWM converter (20). A second DC power supply unit (13A) of the DC stabilized power supply system is composed of at least a battery (43) and a boost converter (30). The DC power supply units (12A, 13A) perform power supply stabilization operations that supply DC power to an electrical system and absorb regenerative power generated by an actuator (15) and the like. Furthermore, by varying the desired voltage value of a DC bus (14), the PWM converter (20) controls adjustment of the loads of the power supply stabilization operations performed by each of the two DC power supply units (12A, 13A).

(57) 要約: 直流安定化電源システムの第一直流電源部(12A)は、発電機(42)およびPWMコンバータ(20)から少なくとも構成される。また、直流電源安定化システムの第二直流電源部(13A)は、バッテリー(43)および昇圧コンバータ(30)より少なくとも構成される。これら直流電源部(12A, 13A)は、電気システムに対して直流電力を供給するとともにアクチュエータ(15)等から生じた回生電力を吸収する電力供給安定化動作を実施する。さらに、PWMコンバータ(20)は、直流バス(14)の電圧目標値を変更することにより、二つの直流電源部(12A, 13A)それぞれによる電力供給安定化動作の分担量の調整を制御する。

WO 2016/203766 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： 直流安定化電源システム

技術分野

[0001] 本発明は、電圧の安定化を図ることが可能な直流安定化電源システムに関する。

背景技術

[0002] 航空機には、動力系統として、一般に、油圧系統、抽気系統、および電気系統の3種類が搭載されており、油圧系統は脚部、舵面等の動作に用いられ、抽気系統は内部の空調、与圧、防除氷装置等の動作に用いられ、電気系統は様々な電気機器または電子機器の動作に用いられている。近年では、油圧系統および抽気系統は、少なくとも一部が効率性の高い電気系統に置き換えられる傾向にある。例えば、航空機が備える各種アクチュエータ（舵面制御用アクチュエータを含む）については、従来の油圧駆動式に代えて電動式のものが広く採用されつつある。このように油圧系統、抽気系統等をできる限り電気系統に置き換えた航空機は、一般にMEA（More Electric Aircraft）と呼ばれる。

[0003] ところで、航空機のMEA化が進むと、電気系統の電圧または周波数の変動量が増加し、安定性が損なわれることが知られている。例えば、電動式のアクチュエータでは、駆動モータから大きな回生電力（電力戻り）が発生することにより、電気系統の電圧が一時的に大幅に上昇することがあるほか、エンジンに設けられる発電機への電力戻りが発生することにより、エンジンギアボックスへのバックラッシュによる悪影響が懸念される。あるいは、電気系統から給電される電力負荷（電気系統から給電される搭載機器）が一時的に増加すると大幅な電圧降下が発生することになる。

[0004] そこで、MEA化の進んだ電気系統においては、前述した電圧上昇または電圧降下に対処するために様々な構成を採用することが知られている。例えば、特許文献1には、電気系統に双方向性の蓄電器（bidirectional electric

cal accumulator) を設け、この蓄電器によってアクチュエータからの電力戻り (余剰電力: excess electrical power) を吸収する構成が開示されている。また、特許文献2には、アクチュエータからの電力戻りを電力シンク (power sink) に放出して吸収する構成が開示されている。電力シンクとしては、複数の補助負荷 (ancillary loads) や発電機が例示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1: 米国公開特許2009/0302153号明細書
特許文献2: 米国公開特許2009/0295314号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、特許文献1に開示される構成では、想定される電力戻りあるいは一時的な電力増加の大きさに基づいて蓄電器の容量も設定する必要がある。同様に、特許文献2に開示される構成でも、吸収しようとする電力戻りあるいは一時的な電力増加の大きさに基づいて発電機の最大負荷を設定する必要がある。そのため、蓄電器または発電機等の電源装置が大型化するだけでなく、電源装置に接続されるコンバータ (昇圧コンバータまたはPWMコンバータ等) も大型化する。
- [0007] 特に、低温環境下では蓄電器の充電特性が低下するので、蓄電器の容量を設定する際には、電力量に加えて低温環境での使用も考慮に入れる必要が生じる。あるいは、航空機のエンジンがアイドル状態にあれば、発電機は電力変動を十分に吸収できない。このような場合には、電源装置はさらに大型化するおそれがある。
- [0008] このように、従来の構成では、電力変動を良好に吸収するためには、電力変動の大きさに合わせて、蓄電器 (蓄電装置) または発電機等の電源装置を大型化する必要があり、また、電源装置を制御するコンバータも電力変動の大きさに合わせて大型化する必要があった。

[0009] 本発明はこのような課題を解決するためになされたものであって、交流発電機の電力を変換して生成した直流電力を供給する直流電源バスにおいて、電力変動を良好に吸収し、電源品質を適切に維持することができる、直流安定化電源システム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

[0010] 本発明に係る直流安定化電源システムは、前記の課題を解決するために、直流バスおよびこれに接続される電気機器を含む電気システムと、当該電気システムに電力を供給する交流電源および直流電源と、前記直流電源および前記直流バスに接続され、当該直流電源の充放電量を制御する充放電制御部と、当該充放電制御部、前記交流電源および前記直流バスに接続され、交流電力および直流電力を双方向に変換する電力変換部と、を備え、前記電気システムに対して直流電力を供給するとともに前記電気機器から生じた回生電力を吸収する電力供給安定化動作を実施する直流電源部として、少なくとも前記交流電源および前記電力変換部により構成される第一直流電源部と、少なくとも前記直流電源および前記充放電制御部により構成される第二直流電源部と、を有し、前記電力変換部は、さらに、前記直流バスの電圧目標値を変更することにより、前記第一直流電源部および前記第二直流電源部それぞれによる前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御する構成である。

[0011] 前記構成によれば、直流の電気システムには、第一直流電源部および第二直流電源部の二つの直流電源部が含まれており、第一直流電源部は交流電源（例えば発電機）および電力変換部（例えばPWM（Pulse Width Modulation）コンバータ）を備え、第二直流電源部は、直流電源（例えばバッテリー）および充放電制御部（例えば昇圧コンバータ）を備えている。これら直流電源部は、それぞれ電力供給安定化動作を実施する。また、第一直流電源部を構成する電力変換部が、直流バスの電圧変化に基づいて、二つの直流電源部によるそれぞれの電力供給安定化動作の分担量を調整している。

[0012] これにより、電気システムには、交流電源を含む第一直流電源部により電力変動に対応する経路と、直流電源を含む第二直流電源部により電力変動に対応

する経路という二つの経路が含まれるとともに、状況に応じて、電力供給または電力変動の吸収（電力供給安定化動作）を、第一直流電源部および第二直流電源部のそれぞれで良好に分担することができる。そのため、電源装置もしくは電源装置に接続されるコンバータを大型化しなくても、電力変動を良好に吸収することが可能となる。

[0013] その結果、電源装置またはコンバータの大型化を回避できるので、航空機の重量増加を抑制できるとともに、電動アクチュエータのような電力戻りの可能性がある電気機器が採用しやすくなる。さらには、状況に応じて電力変動に対応する経路を切り替えることができるので、電気エネルギーの利用を効率化することも可能となる。

[0014] 前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記電力変換部は、比例積分制御により前記直流バスの電圧を制御することで、前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御するとともに、前記充放電制御部は、比例制御により前記充放電量を制御する構成であってもよい。

[0015] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記電力変換部および前記充放電制御部では、それぞれの制御が実施される前記電圧変化の範囲が互いに異なるように予め設定され、前記電力変換部は、比例積分制御により前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御するとともに、前記充放電制御部は、比例積分制御により前記充放電量を制御する構成であってもよい。

[0016] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記電力変換部は、前記交流電源に接続される電力変換回路と、前記交流電源の交流電圧を検出する交流電圧検出部と、前記交流電源の交流電流を検出する交流電流検出部と、前記電気系統の直流電圧を検出する直流電圧検出部と、検出された前記交流電圧、前記交流電流、および前記直流電圧に基づいて、前記電力変換回路を駆動させる電力変換制御部と、を備え、当該電力変換制御部は、検出された前記交流電圧および前記交流電流に基づいて、前記交流電源の有効電力を算出し、当該有効電力および前記交流電源の稼働情報に基づいて、直流

電圧指令値を演算し、当該直流電圧指令値および検出された前記直流電圧に基づいて、比例積分制御により前記交流電流指令値を演算し、当該交流電流指令値を用いて、前記電力変換回路を制御するよう構成されてもよい。

[0017] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記電力変換制御部は、検出された前記交流電圧に基づいて、前記交流電源の位相を演算し、前記交流電流指令値と、検出された前記交流電流および前記位相とを用いて、前記電力変換回路を制御するよう構成されてもよい。

[0018] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記充放電制御部は、前記直流電源に接続される電圧調整回路と、前記直流電源の充電状態およびセル温度を監視する直流電源監視部と、前記電気系統の直流電圧を検出する直流電圧検出部と、前記電気系統の直流電流を検出する直流電流検出部と、前記直流電源の前記充電状態、検出された前記直流電圧および前記直流電流に基づいて、前記電圧調整回路を駆動させる直流電圧制御部と、を備え、当該直流電圧制御部は、前記直流電源の前記充電状態に基づいて、充電状態補正電圧を算出し、当該充電状態補正電圧および検出された前記直流電圧に基づいて、比例制御により直流電流指令値を演算し、当該直流電流指令値および検出された前記直流電流を用いて、前記電圧調整回路を制御するよう構成されてもよい。

[0019] なお、例えば、直流電源がバッテリーであれば、直流電源監視部としては、バッテリーの充填状態およびバッテリーのセル温度を監視する、バッテリー状態監視部を挙げることができる。

[0020] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記直流電圧制御部は、前記充電状態補正電圧および検出された前記直流電圧に基づいて、比例制御に並行して微分制御を行うことにより、前記電流指令値を演算する構成であってもよい。

[0021] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記電気系統の直流電圧の基準値が予め設定されており、前記電力変換部は、前記基準値を上昇または下降させ、前記充放電制御部は、前記基準値の上昇または下降に合

わせて、直流電圧を下降または上昇させるように前記直流電源の充放電量を制御する構成であってもよい。

[0022] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記交流電源の電力変動の限界値が予め設定されており、当該限界値を超えた電力変動が発生したときには、前記電力変換部は、直流電圧を急速に変化させ、前記充放電制御部は、前記電力変換部による直流電圧の変化量に対応する電力を供給するように、前記直流電源の充放電量を制御する構成であってもよい。

[0023] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記電力変換部は、前記交流電源の有効電力をモニターするよう構成され、前記電気系統の直流電圧の基準値と有効電力の閾値とが予め設定され、さらに、前記電力変換部は、モニターしている有効電力が前記閾値を下回った時点で、有効電力が0に達するまでの第一期間において直流電圧を高速に上昇させ、有効電力が0に達した後の第二期間では、前記基準値に達するまで直流電圧を前記第一期間よりも低速で上昇させ、前記充放電制御部は、直流電圧の変化量に対応する直流電力を前記直流電源に充電させるように、充放電量を制御する構成であってもよい。

[0024] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記交流電源は、エンジンに設けられ、当該エンジンの回転に伴って駆動する発電機である構成であってもよい。

[0025] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記直流電源は、蓄電池および電気二重層キャパシタの少なくとも一方である構成であってもよい。

[0026] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記電気機器には、電動アクチュエータが含まれている構成であってもよい。

[0027] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、航空機の電気系統に用いられる構成であってもよい。

[0028] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記航空機は補助動力装置（APU）を備え、前記第二直流電源部はAPU始動用電源を兼ね

ている構成であってもよい。

[0029] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記交流電源には、前記航空機が備えるエンジンに設けられ、当該エンジンの回転に伴って駆動するエンジン発電機と、前記APUが備えるAPU発電機と、が含まれ、前記エンジン発電機または前記APU発電機から前記直流バスに電力が供給されないときには、前記第二直流電源部は、前記直流バスに電力を供給する構成であってもよい。

[0030] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、前記第一直流電源部は、前記交流電源として前記エンジン発電機を備えているとともに、前記エンジンの始動時には、前記APU発電機から供給される電力によりエンジン始動用のモータコントローラおよびモータとして動作する構成であってもよい。

[0031] また、前記構成の直流安定化電源システムにおいては、さらに、前記APU発電機および前記直流バスに接続され、交流電力および直流電力を双方向に変換するAPU電力変換部を備え、少なくとも前記APU発電機および前記APU電力変換部により第三直流電源部が構成され、前記APU電力変換部は、さらに、前記直流バスの電圧変化に基づいて、前記第三直流電源部および前記第二直流電源部それぞれによる前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御する構成であってもよい。

発明の効果

[0032] 本発明では、以上の構成により、交流発電機の電力を変換して生成した直流電力を供給する直流電源バスにおいて、電力変動を良好に吸収し、電源品質を適切に維持することができる、直流安定化電源システムを提供することができる、という効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]本発明の実施の形態1に係る直流安定化電源システムの構成例を示すブロック図である。

[図2]図1に示す直流安定化電源システムが備える第一直流電源部のPWMコ

ンバータ（電力変換部）の構成例を示すブロック図である。

[図3] (A) は、図 2 に示す PWM コンバータが備える直流電圧指令演算部の構成例を示す概略ブロック図であり、(B) は、図 2 に示す PWM コンバータが備える電流指令演算部の構成例を示す概略ブロック図である。

[図4] 図 1 に示す直流安定化電源システムが備える第二直流電源部の昇圧コンバータ（充放電制御部）の構成例を示すブロック図である。

[図5] (A) は、図 4 に示す昇圧コンバータが備える SOC 補正電圧演算部の構成例を示す概略ブロック図であり、(B) は、図 4 に示す昇圧コンバータが備える電流指令演算部の構成例を示す概略ブロック図である。

[図6] 図 5 (B) に示す電流指令演算部の変形例を示す概略ブロック図である。

[図7] 図 1 に示す直流安定化電源システムによる電気系統安定化の制御モードの一例を示すグラフである。

[図8] 図 1 に示す直流安定化電源システムによる電気系統安定化の制御モードの他の例を示すグラフである。

[図9] 図 1 に示す直流安定化電源システムによる電気系統安定化の制御モードのさらに他の例を示すグラフである。

[図10] 本発明の実施の形態 2 に係る直流安定化電源システムの構成例を示すブロック図である。

[図11] 本発明の実施の形態 3 に係る直流安定化電源システムの構成例を示すブロック図である。

[図12] (A) は、図 11 に示す直流安定化電源システムが備える PWM コンバータ（第一直流電源部の電力変換部）の電流指令演算部の構成例を示す概略ブロック図であり、(B) は、図 11 に示す直流安定化電源システムが備える昇圧コンバータ（第二直流電源部の充放電制御部）の電流指令演算部の構成例を示す概略ブロック図である。

[図13] 本発明の実施の形態 3 に係る直流安定化電源システムの他の構成例を示すブロック図である。

[図14]本発明の実施の形態4に係る直流安定化電源システムの構成例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0034] 以下、本発明の好ましい実施の形態を、図面を参照しながら説明する。なお、以下では全ての図を通じて同一又は相当する要素には同一の参照符号を付して、その重複する説明を省略する。

[0035] (実施の形態1)

[直流安定化電源システムの構成例]

本発明に係る直流安定化電源システムの構成の一例について、図1を参照して具体的に説明する。図1に示す直流安定化電源システム10Aは、図示しないが、MEA化された航空機の電気系統（直流主体の電気系統）に適用されるものであり、第一直流電源部12A、第二直流電源部13A、直流バス（直流電源バス）14、アクチュエータ15、および電気機器16等を備えている。第一直流電源部12Aは、発電機42およびPWM（Pulse Width Modulation）コンバータ20を備えており、第二直流電源部13Aは、バッテリー43および昇圧コンバータ30を備えている。なお、発電機42およびバッテリー43はいずれも航空機の電源装置である。

[0036] 第一直流電源部12Aを構成する発電機42は、例えば、図示しない航空機のエンジンに設けられる交流発電機、および、補助動力装置が備える始動発電機等が挙げられる。図1に示す構成では、発電機42は、航空機が備えるエンジンに設けられ、当該エンジンの回転に伴って駆動するエンジン発電機である。発電機42には、後述するように、電力変換部としてのPWMコンバータ20が接続されている。PWMコンバータ20は、交流電力および直流電力を双方向に変換する（図1の双方向ブロック矢印F11）ので、アクチュエータ15（または電気機器16）からの回生電力を吸収できるように構成されている。

[0037] 第二直流電源部13Aを構成するバッテリー43としては、公知の蓄電池（二次電池）であればよいが、これに限定されない。例えば、バッテリー43に

代えて公知の電気二重層キャパシタ等を用いてもよい。したがって、第二直流電源部 1 3 A は公知の蓄電装置を含む構成であればよい。また、第二直流電源部 1 3 A には、蓄電装置として単一のバッテリー 4 3 のみが設けられてもよいが、複数のバッテリー 4 3 が設けられてもよいし、異なる種類の蓄電装置を組み合わせて（例えば、蓄電池および電気二重層キャパシタの組合せ等）構成されてもよい。

[0038] 本実施の形態では、バッテリー 4 3 には、後述するように、充放電制御部としての昇圧コンバータ 3 0 が接続されている。昇圧コンバータ 3 0 は、直流バス 1 4 または第一直流電源部 1 2 A からの直流電力をバッテリー 4 3 に充電するとともに、バッテリー 4 3 からの電力を放電するように構成されている（図 1 の双方向ブロック矢印 F 1 2）。それゆえ、バッテリー 4 3 は、後述するように、アクチュエータ 1 5（または電気機器 1 6）からの回生電力を吸収し、かつ、アクチュエータ 1 5 および電気機器 1 6 に対して過渡的な必要電力を供給するように構成される。

[0039] 発電機 4 2 は、交流配線 1 1 1 を介して PWM コンバータ 2 0 に接続され、これにより第一直流電源部 1 2 A を構成している。バッテリー 4 3 は昇圧コンバータ 3 0 に接続され、これにより第二直流電源部 1 3 A を構成している。PWM コンバータ 2 0 には、交流配線 1 1 1 に加えて発電機側直流配線 1 1 2 が接続され、昇圧コンバータ 3 0 にはバッテリー側直流配線 1 1 3 が接続されている。発電機側直流配線 1 1 2 とバッテリー側直流配線 1 1 3 とは、直流リンク部 1 1 4 により合流するかたちで接続されており、直流リンク部 1 1 4 は直流バス 1 4 に接続されている。したがって、直流バス 1 4 は、昇圧コンバータ 3 0 を介して直流電源であるバッテリー 4 3 に接続されているとともに、電力変換部である PWM コンバータ 2 0 を介して交流電源である発電機 4 2 にも接続されている。

[0040] 交流配線 1 1 1、発電機側直流配線 1 1 2、バッテリー側直流配線 1 1 3、および直流リンク部 1 1 4 の具体的な構成は特に限定されず、航空機の電気系統の分野で公知のハーネス、分岐用コネクタ等を好適に用いることができ

る。また、バッテリー43と昇圧コンバータ30との間も公知の直流配線で接続されていればよい。本実施の形態では、直流バス14の電圧は、DC270Vであるか、または、DC±135VもしくはDC±270Vであればよい。

[0041] 直流バス14には、アクチュエータ15および電気機器16が接続されている。アクチュエータ15は、例えば、航空機の舵面制御用アクチュエータ（舵面アクチュエータ）を挙げることができるが、他のアクチュエータであってもよい。また、航空機には複数のアクチュエータ15が設けられているが、その一部が電気化されてもよいし、全てのアクチュエータ15が電気化されてもよい。したがって、図1に示すアクチュエータ15は、電気エネルギーにより動作する電動アクチュエータであるが、航空機の構成によっては、電動アクチュエータ以外の動力系統（油圧系統または抽気系統）で動作するアクチュエータが含まれてもよい。

[0042] 図1に示す電気機器16は、電気エネルギーにより動作するアクチュエータ15以外の機器であり、例えば、各種ヒータ、コンプレッサ、各種モータ等が挙げられる。なお、アクチュエータ15が電動である限り、アクチュエータ15そのものも「電気機器」に含まれることになる。したがって、狭義の電気機器16はアクチュエータ15を除くが、広義の「電気機器」には、狭義の電気機器16に加えてアクチュエータ15も含まれる。

[0043] なお、アクチュエータ15には、直流バス14から電力が供給されるが、アクチュエータ15で発生した回生電力は、後述するように直流バス14を介して二つの直流電源部12A、13Aのいずれかで吸収される（図1の双方向ブロック矢印F13）。また、電気機器16にも直流バス14から電力が供給される（図1のブロック矢印F14）が、電気機器16の種類によっては回生電力が発生する場合がある。この場合も、アクチュエータ15と同様に、直流バス14を介して二つの直流電源部12A、13Aのいずれかで吸収される。

[0044] 本実施の形態では、直流バス14、並びに、この直流バス14に接続され

る広義の「電気機器」（アクチュエータ 15 および狭義の電気機器 16）により、航空機の電気系統が構成される。また、図 1 に示す発電機 42 およびバッテリー 43（いずれも電源装置）は、電気系統に電力を供給する交流電源および直流電源に該当する。また、本実施の形態では、この電気系統、並びに、第一直流電源部 12A および第二直流電源部 13A により、直流安定化電源システム 10A が構成される。なお、本発明に係る電気系統および直流安定化電源システム 10A の構成は、図 1 に示す構成に限定されず、図 1 に示されない他の構成を含んでもよい。

[0045] 本実施の形態で、直流安定化電源システム 10A の適用対象となる航空機の種類は特に限定されず、公知の航空機を挙げることができる。ここで、本明細書における航空機は、一般的な固定翼機に限定されず、回転翼機であってもよいし、本発明が適用可能であれば、固定翼機および回転翼機のような重航空機でなく、飛行船等の軽航空機であってもよい。なお、固定翼機を大型機または小型機に分類した場合、直流主体の電気系統は、一般に小型機に採用される傾向にあるが、本発明の適用対象は小型機に限定されず、大型機が含まれることは言うまでもない。

[0046] PWMコンバータ 20 は、前記の通り、交流電源である発電機 42 とともに第一直流電源部 12A を構成している。PWMコンバータ 20 は、昇圧コンバータ 30、発電機 42 および直流バス 14 に接続され、交流電力および直流電力を双方向に変換する電力変換部として機能する（図 1 の双方向ブロック矢印 F11）。また、昇圧コンバータ 30 は、前記の通り、直流電源であるバッテリー 43 とともに第二直流電源部 13A を構成している。昇圧コンバータ 30 は、バッテリー 43 および直流バス 14 に接続され、バッテリー 43 の充放電量を制御する充放電制御部として機能する（図 1 の双方向ブロック矢印 F12）。

[0047] なお、本実施の形態では、図 1 に示すように、第一直流電源部 12A は PWMコンバータ 20 および発電機 42 により構成され、第二直流電源部 13A は昇圧コンバータ 30 およびバッテリー 43 により構成されているが、これ

ら直流電源部 12A, 13Aの構成はこれに限定されない。つまり、第一直流電源部 12Aは、PWMコンバータ 20および発電機 42以外の構成を備えてもよく、第二直流電源部 13Aは、昇圧コンバータ 30およびバッテリー 43以外の構成を備えてもよい。

[0048] また、本実施の形態では、第一直流電源部 12Aの電力変換部の一例としてPWMコンバータ 20を例示し、第二直流電源部 13Aの充放電制御部の一例として昇圧コンバータ 30を例示している。しかしながら、電力変換部および充放電制御部の構成はこれらに限定されず、公知の他の構成であってもよい。

[0049] 本発明にかかる直流安定化電源システム 10Aにおいては、これら直流電源部 12A, 13Aは電力供給安定化動作を実施する。電力供給安定化動作は、電気システムに対して直流電力を供給する電力供給動作と、アクチュエータ 15または電気機器 16等から生じた回生電力を吸収する電力吸収動作とから構成される。第一直流電源部 12Aおよび第二直流電源部 13Aのいずれも、電力供給安定化動作を実施することができるとともに、電気系統の状況に応じて、電力供給安定化動作を分担して実施することができる。

[0050] 前述したように、PWMコンバータ 20は、発電機 42からの交流電力を直流電力に変換し、直流バス 14からの直流電力を交流電力に変換する。さらに後述するように、PWMコンバータ 20は、直流バス 14の電圧変化に基づいて、第一直流電源部 12Aおよび第二直流電源部 13Aそれぞれによる電力供給安定化動作の分担量の調整を制御するように構成されている。

[0051] [PWMコンバータの構成例]

次に、発電機 42とともに第一直流電源部 12Aを構成するPWMコンバータ 20の具体的な構成例について、図 2および図 3(A)、(B)を参照して説明する。

[0052] PWMコンバータ 20は、前記の通り、交流電源である発電機 42に接続され、交流電力および直流電力を双方向に変換する電力変換部として機能する。図 2に示すように、本実施の形態に係るPWMコンバータ 20は、電力

変換回路 2 1、交流電圧検出部 2 2、交流電流検出部 2 3、直流電圧検出部 2 4、電力変換制御部 2 5等を備えている。

[0053] 電力変換回路 2 1は、交流配線 1 1 1を介して発電機 4 2に接続されるとともに、発電機側直流配線 1 1 2を介して図 2には図示しない直流リンク部 1 1 4に接続される(図 1参照)。電力変換回路 2 1は、電力変換制御部 2 5の制御により、発電機 4 2からの交流電力を直流電力に変換するとともに、直流バス 1 4からの直流の回生電力を交流電力に変換する。電力変換回路 2 1の具体的な構成は特に限定されず、例えば、公知の IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を用いた PWM コンバータ回路等を好適に用いることができる。

[0054] 交流電圧検出部 2 2および交流電流検出部 2 3は、電力変換回路 2 1から見て発電機 4 2側の配線、すなわち、交流配線 1 1 1に設けられ、発電機 4 2の交流電圧および発電機 4 2の交流電流を検出する。直流電圧検出部 2 4は、電力変換回路 2 1から見て直流バス 1 4側(直流リンク部 1 1 4側)の配線、すなわち、発電機側直流配線 1 1 2に設けられ、電力変換回路 2 1で変換された直流電力の電圧(直流電圧)を検出する。交流電圧の検出値(交流電圧信号)、交流電流の検出値(交流電流信号)、および直流電圧の検出値(直流電圧信号)は、図 2に示すように、いずれも電力変換制御部 2 5に入力される。交流電圧検出部 2 2、交流電流検出部 2 3、直流電圧検出部 2 4の具体的な構成は特に限定されず、公知の交流電圧計、交流電流計、直流電圧計を好適に用いることができる。

[0055] 電力変換制御部 2 5は、交流電圧信号、交流電流信号、および直流電圧信号に基づいて、電力変換回路 2 1を駆動させる。電力変換制御部 2 5の具体的な構成は特に限定されないが、本実施の形態では、例えば図 2に示すように、電圧・回転速度・位相演算部 2 5 1、電流演算部 2 5 2、有効電力・無効電力演算部 2 5 3、直流電圧指令演算部 2 5 4、電流指令演算部 2 5 5、および電力変換回路制御部 2 5 6を備える構成となっている。

[0056] 電圧・回転速度・位相演算部 2 5 1は、交流電圧検出部 2 2による交流電

圧信号から、交流電力の電圧 V_{d_gen} , V_{q_gen} (単位: V)、発電機 4 2 の回転速度 ω_{s_gen} (単位: rad / s)、交流電圧の位相 ϕ_{gen} (単位: rad) を演算する。電流演算部 2 5 2 は、交流電流検出部 2 3 による交流電流信号と、電圧・回転速度・位相演算部 2 5 1 による交流電圧の位相 ϕ_{gen} とから、交流電力の電流 I_{d_gen} , I_{q_gen} (単位: A) を演算する。有効電力・無効電力演算部 2 5 3 は、電圧・回転速度・位相演算部 2 5 1 による交流電力の電圧 V_{d_gen} , V_{q_gen} と、電流演算部 2 5 2 による交流電力の電流 I_{d_gen} , I_{q_gen} とから、交流電力の有効電力 P_{gen} (単位: kW) および無効電力 Q_{gen} (単位: kVar) を演算する。したがって、本実施の形態では、PWMコンバータ 2 0 は、発電機 4 2 の有効電力および無効電力をモニターしていることになる。

[0057] 直流電圧指令演算部 2 5 4 は、有効電力・無効電力演算部 2 5 3 による有効電力 P_{gen} と、電圧・回転速度・位相演算部 2 5 1 による発電機 4 2 の回転速度 ω_{s_gen} と、後述するバッテリー 4 3 のバッテリーセル温度 BAT_temp (昇圧コンバータ 3 0 より出力、図 4 参照) とから、直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ (単位: V) を演算する。電流指令演算部 2 5 5 は、直流電圧指令演算部 2 5 4 による直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ と、直流電圧検出部 2 4 による直流電圧信号 V_{dc} (単位: V) とから、電流指令値 $I_{d_ref_gen}$, $I_{q_ref_gen}$ (単位: A) を演算する。

[0058] 電力変換回路制御部 2 5 6 は、電圧・回転速度・位相演算部 2 5 1 による交流電圧の位相 ϕ_{gen} (単位: rad) と、電流演算部 2 5 2 による交流電力の電流 I_{d_gen} , I_{q_gen} と、電流指令演算部 2 5 5 による電流指令値 $I_{d_ref_gen}$, $I_{q_ref_gen}$ とから、電力変換回路 2 1 の駆動信号 (PWM信号) を生成し、電力変換回路 2 1 に入力する。電力変換回路 2 1 は、電力変換回路制御部 2 5 6 からの駆動信号に基づいて、交流電力から直流電力への変換、または、直流電力から交流電力への変換を行う。

[0059] 電圧・回転速度・位相演算部 2 5 1、電流演算部 2 5 2、有効電力・無効電力演算部 2 5 3、直流電圧指令演算部 2 5 4、電流指令演算部 2 5 5、お

よび電力変換回路制御部256の具体的な構成は特に限定されず、公知のスイッチング素子、加算器、減算器、比較器等による論理回路として構成されてもよいし、図示しない演算部（例えばCPU等）が、図示しない記憶部に格納されるプログラムに従って動作することにより実現される機能構成であってもよい。

[0060] 図3(A)および(B)に、直流電圧指令演算部254および電流指令演算部255の具体的な構成の一例を例示する。図3(A)に示す直流電圧指令演算部254では、交流電力の有効電力 P_{gen} の大きさに応じて直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ の大きさが予め設定されている。ここで、発電機42の回転速度 ω_{s_gen} は、発電機42の稼働情報ということができ、バッテリー43のバッテリーセル温度 BAT_temp は、バッテリー43の稼働情報ということができ、直流電圧指令演算部254は、これら稼働情報に基づいて、有効電力 P_{gen} の大きさに対応する直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ を調整して、最終的な直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ を生成する。

[0061] なお、本実施の形態では、発電機42の稼働情報として回転速度 ω_{s_gen} を用いている。本実施の形態では、発電機42として、航空機のエンジンに設けられ、当該エンジンの回転に伴って駆動する交流発電機が例示される。そのため、航空機のエンジンが高速で回転している場合に比べて、低速で回転している場合では、その発電量も異なる。発電機42の回転速度 ω_{s_gen} は、エンジンの回転数が反映される情報であるため、稼働情報として有効に用いることができる。

[0062] ただし、交流電源の具体的な稼働情報は回転速度のみに限定されず、交流電源の種類等の諸条件に応じて、回転速度以外の情報を稼働情報として用いることができる。また、直流電源であるバッテリー43の稼働情報としてバッテリーセル温度を用いているが、直流電源の具体的な稼働情報もこれに限定されない。例えば、直流電源が電気二重層キャパシタであれば、キャパシタの温度を直流電源の稼働情報として用いればよい。したがって、直流電源の稼働情報としては直流電源の種類によらずその温度を好適に用いることができ

る。また、交流電源の稼働情報と同様に、諸条件に応じて直流電現の温度以外の情報を、稼働情報としても用いることもできる。

[0063] 図3(B)に示す電流指令演算部255は、減算器201およびPI制御器202により構成されている。減算器201は、直流電圧指令演算部254により演算された直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ から直流電圧信号 V_{dc} を減算し、減算値(偏差)をPI制御器202に出力する。PI制御器202では、入力された減算値に基づいて、予め設定される比例ゲイン K および積分時間 T_s を用いて、電流指令値 $I_{d_ref_gen}$, $I_{q_ref_gen}$ のうち、直軸(d軸)の電流指令値 $I_{d_ref_gen}$ が生成される。なお、横軸(q軸)の電流指令値 $I_{q_ref_gen}$ としては、減算値によらず0が出力される。

[0064] このように、電流指令演算部255は、直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ および直流電圧信号 V_{dc} に基づいて、PI制御により電流指令値 $I_{d_ref_gen}$, $I_{q_ref_gen}$ を演算し、電力変換回路制御部256は、この電流指令値 $I_{d_ref_gen}$, $I_{q_ref_gen}$ を用いて駆動信号(PWM信号)を生成する。電力変換回路21は、この駆動信号により駆動され、交流電力および直流電力の変換を行う。これにより、直流バス14を含む電気系統の直流電圧は、直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ となるように維持される。直流バス14の電圧は、DC270V、または、 $DC \pm 135V$ もしくは $DC \pm 270V$ であるため、直流電圧の基準値は、DC270V、または、 $DC \pm 135V$ もしくは $DC \pm 270V$ となる。

[0065] また、PI制御において電流指令値 $I_{d_ref_gen}$, $I_{q_ref_gen}$ の演算に用いられる直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ は、前記の通り、発電機42の稼働情報(例えば回転速度 ω_{s_gen})に応じて調整される。そのため、発電機42の稼働状況に応じて電流指令値 $I_{d_ref_gen}$, $I_{q_ref_gen}$ も変化し、駆動信号も変化することになる。それゆえ、電力変換回路21は、PI制御によって直流電圧の基準値を維持するだけでなく、発電機42の稼働情報に基づいて $V_{dc_ref_gen}$ の算出方法を切り替えることもできる。

[0066] [昇圧コンバータの構成例]

次に、バッテリー43とともに第二直流電源部13Aを構成する昇圧コンバータ30の具体的な構成例について、図4および図5(A)、(B)を参照して説明する。

[0067] 昇圧コンバータ30は、前記の通り、直流電源であるバッテリー43に接続され、直流電源の充放電量を制御する充放電制御部として機能する。また、昇圧コンバータ30は、直流リンク部114(図1参照)を介してPWMコンバータ20および直流バス14にも接続されている。図4に示すように、本実施の形態に係る昇圧コンバータ30は、電圧調整回路31、直流電流検出部32、直流電圧検出部33、バッテリー状態監視部34、直流電圧制御部35等を備えている。

[0068] 電圧調整回路31は、バッテリー43(図4に示す例では蓄電池で構成される)に接続されるとともに、バッテリー側直流配線113を介して図示しない直流リンク部114に接続されている。電圧調整回路31は、直流電圧制御部35の制御により、バッテリー43の充放電を制御する。電圧調整回路31の具体的な構成は特に限定されず、例えば、公知のIGBTを用いた双方向昇圧チョッパ回路等を好適に用いることができる。

[0069] 直流電流検出部32および直流電圧検出部33は、バッテリー側直流配線113に設けられ、電気系統の直流電流および直流電圧をそれぞれ検出する。直流電流の検出値(直流電流信号)および直流電圧の検出値(直流電圧信号)は、図4に示すように、いずれも直流電圧制御部35に入力される。バッテリー状態監視部34は、バッテリー43の充電状態(SOC: State Of Charge, 充電率)およびバッテリーセル温度BAT_tempを監視する。SOCは、バッテリー状態監視部34から直流電圧制御部35に出力され、バッテリーセル温度BAT_tempは、バッテリー状態監視部34からPWMコンバータ20の直流電圧指令演算部254に出力される(図2および図3(A)参照)。

[0070] 直流電流検出部32および直流電圧検出部33の具体的な構成は特に限定されず、公知の直流電流計および直流電圧計を好適に用いることができる。また、バッテリー状態監視部34の具体的な構成も特に限定されず、例えば、

SOCを検出可能とする公知のSOC検出器、並びに、バッテリーセル温度を検出できる公知の温度検出器等を好適に用いることができる。

[0071] 直流電圧制御部35は、直流電流信号、直流電圧信号、SOCに基づいて、電圧調整回路31を駆動させる。直流電圧制御部35の具体的な構成は特に限定されないが、本実施の形態では、例えば図4に示すように、SOC補正電圧演算部351、電流指令演算部352、および電圧調整回路制御部353を備える構成となっている。

[0072] SOC補正電圧演算部351は、バッテリー状態監視部34によるSOC（単位：%）から、SOC補正電圧 V_{soc_cmp} （単位：V）を演算する。電流指令演算部352は、SOC補正電圧演算部351によるSOC補正電圧 V_{soc_cmp} と、直流電圧検出部33による直流電圧信号 V_{dc} （単位：V）とから、電流指令値 $I_{dc_ref_batt}$ （単位：A）を演算する。電圧調整回路制御部353は、電流指令演算部352による電流指令値 $I_{dc_ref_batt}$ と、直流電流検出部32による直流電流信号 I_{dc_batt} （単位：A）とから、電圧調整回路31の駆動信号（電圧制御信号）を生成し、電圧調整回路31に入力する。電圧調整回路31は、電圧調整回路制御部353からの駆動信号に基づいて、バッテリー43の充放電量を制御する。

[0073] SOC補正電圧演算部351、電流指令演算部352、および電圧調整回路制御部353の具体的な構成は特に限定されず、公知のスイッチング素子、加算器、減算器、比較器等による論理回路として構成されてもよいし、図示しない演算部（例えばCPU等）が、図示しない記憶部に格納されるプログラムに従って動作することにより実現される機能構成であってもよい。

[0074] 図5（A）および（B）に、SOC補正電圧演算部351および電流指令演算部352の具体的な構成の一例を例示する。図5（A）に示すSOC補正電圧演算部351は、減算器301および上下限リミッタ302から構成されている。減算器301は、予め設定されるSOCの目標値 SOC_{ref} （単位：%）から、バッテリー状態監視部34によるバッテリー43の充電状態（SOC）を減算する。得られる減算値（偏差） SOC_{diff} は、上下限リミッタ

302に出力される。上下限リミッタ302では、減算値SOCdiffに基づいてSOC補正電圧Vsoccmpを生成して、電流指令演算部352に出力する。

[0075] 図5(B)に示す電流指令演算部352は、加算器303、減算器304および比例制御器305により構成されている。加算器303は、SOC補正電圧演算部351からのSOC補正電圧Vsoc_cmpに対して、予め設定される直流電圧基準値Vdc_ref(単位:V)を加算する。得られる加算値は直流電圧指令値Vdc_ref_batt(単位:V)であり、減算器304は、この直流電圧指令値Vdc_ref_battから、直流電圧検出部33による直流電圧信号Vdcを減算する。比例制御器305は、得られる減算値(偏差)に対して、予め設定される比例ゲインKを乗算することにより電流指令値Idc_ref_battを生成して、電圧調整回路制御部353に出力する。

[0076] このように、電流指令演算部352は、SOC補正電圧Vsoc_cmpおよび直流電圧信号Vdcに基づいて、P制御により電流指令値Idc_ref_battを演算し、電圧調整回路制御部353は、この電流指令値Idc_ref_battを用いて駆動信号(電圧制御信号)を生成する。電圧調整回路31は、この駆動信号により駆動され、バッテリー43の充放電を制御する。これにより、昇圧コンバータ30は、直流電圧が一定の場合には、バッテリー43を充放電させないが、PWMコンバータ20の制御により直流電圧が変化すれば、変化量(直流電圧の変動または基準値からのずれ)に応じて、バッテリー43の充放電量を制御する。結果として、昇圧コンバータ30(充放電制御部)によるバッテリー43の充放電量は、PWMコンバータ20(電力変換部)による直流電圧の調整によって制御されることになる。

[0077] なお、電流指令演算部352によるP制御が継続され続けると、バッテリー43の充電量が徐々に低下したり、逆に徐々に過充電になったりするおそれがある。そこで、昇圧コンバータ30では、バッテリー状態監視部34によりバッテリー43の充電状態(SOC)を監視し、直流電圧制御部35のSOC補正電圧演算部351では、SOCに基づいて充電量を制御する。

[0078] 例えば、バッテリー43の充電量が低下していれば、減算値（偏差） SOC_{diff} は大きくなるので、SOC補正電圧 V_{soc_cmp} は相対的に小さくなる。その結果、直流電圧制御部35は、バッテリー43を充電させるように駆動信号を生成する。電圧調整回路31は、この駆動信号によりバッテリー43を充電するように駆動される。このとき、電気系統の直流電圧は維持されたままなので、相対的にバッテリー43の直流電圧が小さくなる。それゆえ、バッテリー43の充電を進行させることができる。バッテリー43が過充電状態にあれば、逆に、電圧調整回路31は、直流電圧制御部35より直流電圧を上昇させるように駆動され、バッテリー43から電気系統に放電される。なお、バッテリー43のバッテリーセル温度はバッテリー状態監視部34でモニターされるので、電力変換制御部25は、バッテリー状態監視部34でモニターした温度条件によって直流バス14の電圧目標値を変化させることで、バッテリー43の充放電電流量を制御できるように構成されている。

[0079] ここで、図6に示すように、電流指令演算部352による比例制御の応答性を改善する目的で、比例制御器305に並行して微分制御器307を設けてもよい。図6に示す電流指令演算部354は、第一加算器306、減算器304、比例制御器305、微分制御器307、および第二加算器308により構成されている。

[0080] 電流指令演算部354では、第一加算器306は、図5(B)に示す加算器303と同様に、SOC補正電圧 V_{soc_cmp} に対して直流電圧基準値 V_{dc_ref} を加算し、加算値である直流電圧指令値 $V_{dc_ref_batt}$ を減算器304に出力する。減算器304は、直流電圧指令値 $V_{dc_ref_batt}$ から直流電圧信号 V_{dc} を減算する。減算器304からの減算値は、比例制御器305とともに微分制御器307に出力される。比例制御器305は、前記の通り、減算値に比例ゲイン K を乗算することにより乗算値（電流指令値 $I_{dc_ref_batt}$ ）を生成する。また、微分制御器307は、減算値を微分し、第二加算器308に出力する。第二加算器308では、比例制御器305からの乗算値に微分制御器307からの微分値を加算する。

[0081] このように、図6に示す電流指令演算部354では、SOC補正電圧 V_{soc_cmp} および直流電圧信号 V_{dc} に基づいて、P制御およびD制御を並行して行うことにより電流指令値 $I_{dc_ref_batt}$ を演算している。これにより、図5(B)に示す電流指令演算部352に比べて、急激な電圧変動に対する応答性を改善することができる。なお、図6に示す電流指令演算部354は、図4に示す昇圧コンバータ30が備える電流指令演算部352（すなわち図5(B)に示す構成）に置き換え可能であることは言うまでもない。

[0082] [電気系統安定化方法]

次に、前記構成の直流安定化電源システム10Aによる電気系統安定化方法の一例について、図7～図9を参照して具体的に説明する。ここでいう電気系統安定化方法は、第一直流電源部12Aおよび第二直流電源部13Aによる電力供給安定化動作を実施することに加えて、PWMコンバータ20による、これら直流電源部12A、13Aそれぞれによる電力供給安定化動作の分担量を調整することも含まれる。なお、図7～図9に示すグラフは、それぞれ電気系統安定化方法の制御モードの一例を示し、縦軸が直流電圧の基準値となる直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ であり、横軸が有効電力 P_{gen} である。

[0083] (1) 制御モード1

まず、本実施の形態に係る直流安定化電源システム10Aによる制御モード1について説明する。図7に示す制御モード1では、直流安定化電源システム10Aの二つの直流電源部12A、13Aは、通常制御として、電気系統の直流電圧を基準値（例えば270V）に維持する制御を行う。

[0084] 第一直流電源部12AのPWMコンバータ20（電力変換部）では、電流指令演算部255において、PI制御により直軸の電流指令値 $I_{d_ref_gen}$ を演算している（PI制御器202）。これにより直流電圧も一定に維持されるようにPI制御される。PI制御では、電圧を一定にすることができる。昇圧コンバータ30は、直流バス14の電圧変動を検出すれば、直流電圧の変動量（直流電圧のずれ）に応じて、バッテリー43から電力を供給させる（

放電させる) ことができる。

- [0085] 制御モード1の通常制御では、発電機42を含む第一直流電源部12Aによって対応しきれない、ごく短時間の電力変動については、バッテリー43を含む第二直流電源部13Aが安定化制御を行うが、それ以外の長期的な電力変動については、第一直流電源部12Aが安定化制御を行う。さらに、制御モード1では、予め設定される範囲から外れる大きな電力変動が発生したときには、積極的にバッテリー43を含む第二直流電源部13Aに電力変動を吸収させる。
- [0086] PWMコンバータ20の電力変換制御部25では、有効電力 P_{gen} を用いて直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ を演算している(直流電圧指令演算部254)。それゆえ、PWMコンバータ20は、有効電力 P_{gen} の値が所定範囲内に入る電力変動であれば、前述した通常制御を行えばよいが、所定範囲から外れる電力変動であれば、そのときの有効電力 P_{gen} に応じて、直流電圧を基準値から変化させるように制御する。
- [0087] 前述したように、昇圧コンバータ30によるバッテリー43の充放電量は、PWMコンバータ20によって間接的に制御される。つまり、PWMコンバータ20は、当該PWMコンバータ20を含む第一直流電源部12Aの動作だけでなく、バッテリー43および昇圧コンバータ30を含む第二直流電源部13Aの動作も制御する。
- [0088] 具体的には、昇圧コンバータ30の直流電圧制御部35は、直流電圧信号 V_{dc} を用いて比例制御により電流指令値 $I_{dc_ref_batt}$ を演算している(電流指令演算部352)。それゆえ、PWMコンバータ20が直流電圧の基準値を上昇させれば、昇圧コンバータ30は、直流電圧を下降させるようにバッテリー43の充放電量を制御し、PWMコンバータ20が直流電圧の基準値を下降させれば、昇圧コンバータ30は、直流電圧を上昇させるようにバッテリー43の充放電量を制御する。
- [0089] 例えば、図7では、電力変動の限界値が $\pm 120 \text{ kW}$ (有効電力 $P_{gen} = -120 \text{ kW} \sim +120 \text{ kW}$ が所定範囲)に設定され、例えば有効電力 $P_{gen} =$

+150kWの電力変動（電力負荷の増加）が発生したとする。このとき、PWMコンバータ20は、直流電圧の基準値（直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ ）を270Vから260Vに下降させる。昇圧コンバータ30は、この-10Vの変化量に対応する電力をバッテリー43から放電（供給）させる。また、例えば有効電力 $P_{gen} = -150kW$ の電力変動（電力戻り）が発生したとすれば、PWMコンバータ20は、直流電圧の基準値を270Vから280Vに上昇させる。昇圧コンバータ30は、この+10Vの変化量に対応する電力をバッテリー43に充電（吸収）させる。

[0090] このように制御モード1では、発電機42を含む第一直流電源部12Aが主体となって電力供給安定化動作を実施するが、発電機42が設けられるエンジンの種類または状況等に応じて、第一直流電源部12Aで対応しきれない場合には、バッテリー43を含む第二直流電源部13Aが電力供給安定化動作を実施するように、PWMコンバータ20が電力供給安定化動作の分担量を調整している。

[0091] （2）制御モード2

次に、図8に示す制御モード2は、発電機42が設けられるエンジンのアイドル状態を考慮した制御モードである。この制御モード2も、制御モード1と同様に、予め設定される条件（エンジンのアイドル状態）に該当するときに電力変動が発生すれば、積極的にバッテリー43に電力変動を吸収させる。

[0092] 前述したように、発電機42は航空機のエンジンに設けられているが、エンジンがアイドル状態にあると、発電機42の回転数が少なくなる。この場合、相対的に大きな電力変動（増加）が生じても発電機42で吸収することが困難となる。そこで、エンジンがアイドル状態にあるときの電力変動の限界値を設定しておき、この限界値を超えた電力変動（増加）が発生すれば、PWMコンバータ20により直流電圧を急速に下降させる。

[0093] 例えば、図8では、アイドル状態における電力変動の上限値が+90kWに設定され、エンジンがアイドル状態にあるときに、+150kWの電力変

動が発生したとする。このとき、PWMコンバータ20は、直流電圧の基準値（直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ ）を270Vから迅速に下降させる。昇圧コンバータ30は、直流電圧の急速な変化量に対応する電力をバッテリー43から放電（供給）させる。これにより、制御モード1では発電機42で対応可能な電力変動であっても、エンジンのアイドル状態にあれば、制御モード2にすることにより、バッテリー43に対応させることができる。

[0094] このように制御モード2では、発電機42の出力の限界が設定され、限界に満たない場合（または限界以下の場合）には、発電機42を含む第一直流電源部12Aが主体となって電力供給安定化動作を実施し、限界以上の場合（または限界を超えた場合）には、バッテリー43を含む第二直流電源部13Aが電力供給安定化動作を積極的に実施するように、PWMコンバータ20が電力供給安定化動作の分担量を調整している。

[0095] （3）制御モード3

次に、図9に示す制御モード3は、発電機42に対する電力戻りを制限する制御モードである。例えば、エンジンおよび発電機42がバックラッシュに十分に対応していなければ、電力戻りを発電機42で吸収しようとしても良好に対応できない。そこで、電力戻りが発生した場合には、主にバッテリー43で対応するように、PWMコンバータ20は、直流電圧の基準値を上昇させる。

[0096] 例えば、図9では、直流電圧を上昇させる際の閾値として、有効電力 $P_{gen} = +20\text{ kW}$ を設定している。そして、電力戻りが発生したときには、モニターしている有効電力 P_{gen} が閾値を下回った時点で、PWMコンバータ20は、有効電力 $P_{gen} = 0$ に達するまでの期間（第一期間）では、相対的に高速で（急速に）直流電圧を270Vから上昇させる。この電圧上昇により、電力戻りは、昇圧コンバータ30（充放電制御部）の働きにより、バッテリー43で吸収されることになる。

[0097] 有効電力 $P_{gen} = 0$ に達した後の期間（第二期間）では、PWMコンバータ20は、280Vに達するまで相対的に低速で（緩やかに）直流電圧を上昇

させる。この第二期間は、バッテリー43で吸収しきれない電力戻りを発電機42でも吸収する期間として設けられている。

[0098] このように制御モード3では、発電機42を含む第一直流電源部12Aが電力供給安定化動作を十分に実施できない場合に、バッテリー43を含む第二直流電源部13Aが主体となって電力供給安定化動作を積極的に実施するように、PWMコンバータ20が電力供給安定化動作の分担量を調整している。

[0099] なお、前述した制御モード1～3は、電力変動の対応において、予め設定される条件（例えば、エンジンの作動条件または使用条件等）に基づいて設定されるが、本発明はこれに限定されない。例えば、他の制御モードとしては、予め設定される条件をバッテリー状態として、このバッテリー状態に基づいて設定される制御モードを挙げるができる。

[0100] バッテリー43としては、例えばリチウムイオン二次電池を用いることができるが、リチウムイオン二次電池は、一般に、0℃以下の低温環境下では充電特性が低下することが知られている。このような状況では、バッテリー43により電力戻りを吸収したり電力負荷に電力を供給したりすることが困難になるおそれがある。そこで、例えば、PWMコンバータ20が、常温環境下では制御モード1～3のいずれかを行えばよいが、低温環境下では、発電機42が主体となって電力変動に対応できるような制御モードを採用すればよい。

[0101] このように、本実施の形態によれば、PWMコンバータ20が、交流電源である発電機42の稼働情報（例えば、回転速度 ω_{s_gen} ）と有効電力の変動とを用いて直流電圧を制御している。また、昇圧コンバータ30は、PWMコンバータ20により直流電圧が変動したときには、その変動量に対応させて直流電源であるバッテリー43の充放電を制御する。それゆえ、発電機42により電力変動に対応できる場合には、PWMコンバータ20は、直流電圧を基準値に維持して、昇圧コンバータ30は直流電源を充放電させない。また、発電機42による電力変動への対応が困難な場合には、PWMコンバー

タ 20 は、直流電圧を基準値から変化させるので、この直流電圧の変化に係して、昇圧コンバータ 30 は、バッテリー 43 を電力変動に対応させる。

[0102] 例えば、PWMコンバータ 20 は、稼働情報および有効電力の上昇の程度から、発電機 42 により電力戻りを吸収可能である場合には、直流電圧を基準値に維持し、電力戻りを発電機 42 に吸収させる。一方、稼働情報および有効電力の変動から発電機 42 により電力戻りを吸収することが困難な場合には、PWMコンバータ 20 は直流電圧を上昇させる。これにより、昇圧コンバータ 30 はバッテリー 43 を充電させるので、バッテリー 43 により電力戻りが吸収される。

[0103] また、例えば、PWMコンバータ 20 は、稼働情報および有効電力の下降の程度から、発電機 42 により十分な電力供給が可能である場合には、直流電圧を基準値に維持し、発電機 42 から電気系統に電力を供給する。一方、稼働情報および有効電力の下降の程度から発電機 42 による十分な電力供給が困難であれば、PWMコンバータ 20 は、直流電圧を基準値から下降させる。これにより、昇圧コンバータ 30 はバッテリー 43 を放電させるので、バッテリー 43 により電気系統に電力が供給される。

[0104] 電気系統には、第一直流電源部 12A および第二直流電源部 13A が含まれており、これら直流電源部 12A, 13A は、それぞれ電力供給安定化動作を実施する。言い換えれば、電力供給安定化動作は、発電機 42 で電力変動に対応する経路（第一直流電源部 12A の経路）と、バッテリー 43 で電力変動に対応する経路（第二直流電源部 13A の経路）との二つの経路で分担可能になっている。そこで、PWMコンバータ 20 は、これら直流電源部 12A, 13A は、電気系統の状況に応じて、これらによる電力供給安定化動作の分担量を調整することができる。そのため、発電機 42 またはバッテリー 43 等の電源装置、もしくは電源装置に接続されるコンバータを大型化しなくても、電力変動を良好に吸収することが可能となる。

[0105] その結果、電源装置またはコンバータの大型化を回避できるので、航空機の重量増加を抑制できるとともに、電動アクチュエータのような電力戻りの

可能性がある電気機器が採用しやすくなる。さらには、状況に応じて電力変動に対応する経路を切り替えることができるので、電気エネルギーの利用を効率化することも可能となる。

[0106] 特に、本実施の形態では、電力変換部であるPWMコンバータ20は、PI制御により電力供給安定化動作の分担量の調整を制御しており、充放電制御部である昇圧コンバータ30は、P制御により充放電量を制御している。これにより、PWMコンバータ20の制御が昇圧コンバータ30の制御に優先することになるので、直流バス14の電圧変化に基づき、PWMコンバータ20は、昇圧コンバータ30を間接的に制御することになる。その結果、PWMコンバータ20により二つの直流電源部12A、13Aの電力供給安定化動作の分担を良好に制御することができる。

[0107] しかも、PWMコンバータ20は、少なくとも直流バス14の電圧変化に基づいてPI制御により交流電流指令値を算出し、この交流電流指令値を用いて発電機42を制御している。これにより、発電機42による発電の目標値を状況に応じて変更することができる。その結果、電力供給安定化動作の主体となる第一直流電源部12Aを状況に応じて良好に制御することができるので、二つの直流電源部12A、13Aの電力供給安定化動作の分担をより一層良好に制御することができる。

[0108] (実施の形態2)

前記実施の形態1では、直流安定化電源システム10Aが、直流電源部として第一直流電源部12Aおよび第二直流電源部13Aを備える構成となっていたが、本発明はこれに限定されず、三つ以上の直流電源部を備えていてもよい。

[0109] 図10に示すように、本実施の形態2に係る直流安定化電源システム10Bは、前記実施の形態1に係る直流安定化電源システム10Aと同様に、電気系統(直流バス14およびこれに接続されるアクチュエータ15並びに電気機器16等を含む)と、第一直流電源部12A(PWMコンバータ20および発電機42により構成)と、第二直流電源部13A(昇圧コンバータ3

0およびバッテリー43により構成)と、を備えているが、さらに、第三直流電源部17を備えている。この第三直流電源部17は、APU発電機44およびPWMコンバータ47から構成されている。

[0110] APU発電機44は、図示しない航空機の補助動力装置(APU)46に設けられる交流電源である。APU46は、航空機のエンジン45とは別に装備された補助的な動力源であり、エンジン45と同様に燃料の燃焼により動作する。PWMコンバータ47は、APU発電機44からの交流電力を直流電力に変換し、直流バス14からの直流電力を交流電力に変換する「APU電力変換部」として機能する。

[0111] 本実施の形態では、航空機が備えるAPU46は、第二直流電源部13Aにより始動可能となっている。APU46が始動すれば、APU発電機44も発電し、第三直流電源部17の電力によりエンジン45も始動するので、エンジン45に設けられる発電機42が発電を開始する。それゆえ、第二直流電源部13Aは、電力供給安定化動作を行う構成であるとともに、「APU始動用電源」を兼ねている。

[0112] 例えば、図10においてブロック矢印F21で示すように、第二直流電源部13Aの昇圧コンバータ30は、バッテリー43を放電させる。これにより、直流バス14およびPWMコンバータ47を介して、ブロック矢印F22に示すようにAPU発電機44に始動用電力が供給される。これによりAPU発電機44が始動するので、図10におけるブロック矢印F24に示すように、APU発電機44から交流電力が供給され、PWMコンバータ47により直流電力に変換される。その結果、第三直流電源部17から直流バス14(電気系統)に電力が供給される。

[0113] さらに、第三直流電源部17からの電力は、直流バス14から直流リンク部114およびPWMコンバータ20を介して、ブロック矢印F23に示すようにエンジン発電機42に供給される。この電力によりエンジン発電機42が始動するので、エンジン発電機42からの電力によりエンジン45が始動する。これにより、図10におけるブロック矢印F25に示すように、エ

ンジン発電機 4 2 から交流電力が供給され、PWMコンバータ 2 0 により直流電力に変換される。その結果、第一直流電源部 1 2 A から直流リンク部 1 1 4 を介して直流バス 1 4 (電気系統) に電力が供給される。

[0114] このように、本実施の形態では、交流電源として、エンジン発電機 4 2 と APU 発電機 4 4 とが含まれており、エンジン発電機 4 2 または APU 発電機 4 4 から直流バス 1 4 に電力が供給されないときには、第二直流電源部 1 3 A は、直流バス 1 4 に電力を供給する構成 (すなわち「非常用電源または APU 始動用電源」) となっている。また、第一直流電源部 1 2 A は、エンジン 4 5 の始動時には、エンジン発電機 4 2 または APU 発電機 4 4 (第三直流電源部 1 7) から供給される電力により「エンジン始動用モータコントローラおよびモータ」として動作する。

[0115] 第三直流電源部 1 7 の PWM コンバータ 4 7 は、直流電源部 1 3 A, 1 7 の組合せにおいて電力供給安定化動作の分担量の調整を制御する。例えば、前記実施の形態 1 で例示した制御モード 1 ~ 3 は、直流電源部 1 2 A, 1 3 A の組合せにおいても直流電源部 1 3 A, 1 7 の組合せにおいても実施可能である。

[0116] 例えば、制御モード 1 の場合、第三直流電源部 1 7 の PWM コンバータ 4 7 は、予め設定された直流電圧の基準値を上昇または下降させる。第二直流電源部 1 3 A の昇圧コンバータ 3 0 は、基準値の上昇または下降に合わせて、直流電圧を下降または上昇させるようにバッテリー 4 3 の充放電量を制御する (図 7 参照)。

[0117] また、制御モード 2 の場合、APU 発電機 4 4 の電力変動の限界値が予め設定されていれば、当該限界値を超えた電力変動が発生したときには、第三直流電源部 1 7 の PWM コンバータ 4 7 は、直流電圧を急速に変化させる。第二直流電源部 1 3 A の昇圧コンバータ 3 0 は、PWM コンバータ 4 7 による直流電圧の変化量に対応する電力を供給するように、バッテリー 4 3 の充放電量を制御する (図 8 参照)。

[0118] また、制御モード 3 の場合、第三直流電源部 1 7 の PWM コンバータ 4 7

は、第一直流電源部 1 2 A の PWM コンバータ 2 0 と同様に、A P U 発電機 4 4 の有効電力をモニターするよう構成されている。それゆえ、電気システムの直流電圧の基準値と有効電力の閾値とが予め設定されていれば、第三直流電源部 1 7 の PWM コンバータ 4 7 は、モニターしている有効電力が前記閾値を下回った時点で、有効電力が 0 に達するまでの第一期間では直流電圧を急速に上昇させ、有効電力が 0 に達した後の第二期間では、前記基準値に達するまで緩やかに直流電圧を上昇させる。第二直流電源部 1 3 A の昇圧コンバータ 3 0 は、PWM コンバータ 4 7 による直流電圧上昇に対応する直流電力をバッテリー 4 3 に充電させるように、充放電量を制御する。

[0119] このように、本実施の形態では、直流安定化電源システム 1 0 B が、第一直流電源部 1 2 A および第二直流電源部 1 3 A に加えて第三直流電源部 1 7 を備えており、第三直流電源部 1 7 は、A P U 発電機 4 4 と A P U 電力変換部（PWM コンバータ 4 7）とにより少なくとも構成されている。それゆえ、第三直流電源部 1 7 の A P U 電力変換部も第一直流電源部 1 2 A の電力変換部（PWM コンバータ 2 0）と同様に、第二直流電源部 1 3 A の昇圧コンバータ 3 0 を間接的に制御することになる。その結果、第二直流電源部 1 3 A および第三直流電源部 1 7 による電力供給安定化動作の分担は、A P U 電力変換部により良好に制御される。

[0120] （実施の形態 3）

前記実施の形態 1 または 2 に係る直流安定化電源システム 1 0 A, 1 0 B では、第一直流電源部 1 2 A の電力変換部（PWM コンバータ 2 0）または第三直流電源部 1 7 の A P U 電力変換部（PWM コンバータ 4 7）は、比例積分制御（P I 制御）により電力供給安定化動作の分担量の調整を制御し、第二直流電源部 1 3 A の充放電制御部（昇圧コンバータ 3 0）は、比例制御（P 制御）により充放電量を制御している。これに対して、本実施の形態 3 では、第二直流電源部 1 3 A の充放電制御部も P I 制御により充放電量を制御するとともに、充放電制御部の制御と電力変換部の制御とが重複しないように、それぞれの制御が実施される電圧変化の範囲が互いに異なるように予

め設定されている。

[0121] 例えば、図11に示すように、本実施の形態3に係る直流安定化電源システム10Cは、前記実施の形態1に係る直流安定化電源システム10Aと同様の構成を有している。ここで、図11に示すように、第一直流電源部12AのPWMコンバータ20および第二直流電源部13Aの昇圧コンバータ30は、点線矢印F31およびF32に示すように、いずれも直流バス14の電圧変化をモニターしている。なお、図11では、第一直流電源部12Aおよび第二直流電源部13Aはいずれも直流バス14に直接接続され、図1に示すように直流リンク部114を介する構成となっていないが、基本的な構成は前記実施の形態1と同様である。

[0122] 第一直流電源部12AのPWMコンバータ20の構成、並びに、第二直流電源部13Aの昇圧コンバータ30の構成は、いずれも前記実施の形態1と同様であり、PWMコンバータ20は図2に示す構成を有し、昇圧コンバータ30は図4に示す構成を有している。ただし、本実施の形態では、PWMコンバータ20は、図3(B)に示す電流指令演算部255に代えて、図12(A)に示す構成の電流指令演算部257を備えている。また、昇圧コンバータ30は、図5(B)に示す電流指令演算部352または図6に示す電流指令演算部354に代えて、図12(B)に示す電流指令演算部355を備えている。

[0123] 図12(A)に示す電流指令演算部257は、減算器203、デッドバンド204およびPI制御器205により構成されている。減算器203は、直流電圧指令演算部254(図示せず)により演算された直流電圧指令値 $V_{dc_ref_gen}$ から、直流バス14のモニター電圧である直流電圧信号 $V_{dc_monitor}$ を減算し、減算値(偏差)をデッドバンド204に出力する。

[0124] デッドバンド204には、減算値の「感度設定値」に相当する上限値 a および下限値 b が設定されている。デッドバンド204は、入力された減算値が a から b までの範囲内であれば、PI制御器205に対して当該減算値を出力しない。一方、入力された減算値が a から b までの範囲から外れれば(

減算値が上限値 a を超えるか下限値 b を下回る場合には)、上限値 a もしくは下限値 b からの超過量を P I 制御器 2 0 5 に出力する。P I 制御器 2 0 5 では、入力された減算値に基づいて電流指令値 $I_{d_ref_gen}$ が生成される。

[0125] また、図 1 2 (B) に示す電流指令演算部 3 5 5 は、加算器 3 0 9、減算器 3 1 0、上下限リミッタ 3 1 1、および P I 制御器 3 1 2 により構成されている。電流指令演算部 3 5 5 では、加算器 3 0 9 は、S O C 補正電圧 V_{soc_cmp} に対して直流電圧基準値 V_{dc_ref} を加算し、減算器 3 1 0 に出力する。減算器 3 1 0 は、入力された加算値から、直流バス 1 4 のモニター電圧である直流電圧信号 $V_{dc} (monitor)$ を減算し、減算値を上下限リミッタ 3 1 1 に出力する。

[0126] 上下限リミッタ 3 1 1 には、電流指令演算部 2 5 7 のデッドバンド 2 0 4 と同じく、減算値の「感度設定値」に相当する上限値 a および下限値 b が設定されている。上下限リミッタ 3 1 1 は、入力された減算値が a から b までの範囲内であれば、P I 演算器 3 1 2 に当該減算値を出力する。一方、入力された減算値が a から b までの範囲から外れれば（減算値が上限値 a を超えるか下限値 b を下回る場合には）、P I 制御器 3 1 2 に対して上限値 a もしくは下限値 b を出力する。P I 制御器 3 1 2 では、入力された減算値に基づいて電流指令値 $I_{dc_ref_batt}$ を生成する。

[0127] このような構成の直流安定化電源システム 1 0 C では、直流バス 1 4 のモニター電圧が直流電圧基準設定値から逸脱した場合には、まず、バッテリー 4 3 を備える第二直流電源部 1 3 A により電力供給安定化動作を実施する。さらに、モニター電圧の逸脱が感度設定値（上限値 a から下限値 b の範囲内）を超えた場合には、発電機 4 2 を備える第一直流電源部 1 2 A により、バッテリー 4 3（第二直流電源部 1 3 A）をアシストする形で、電力供給安定化動作を実施する。このとき、モニター電圧の感度設定値については、図 1 1 における点線矢印 F 3 3 に示すように、昇圧コンバータ 3 0 から PWM コンバータ 2 0 に対して通知するように構成されればよい。

[0128] まず、第二直流電源部 1 3 A では、前記の通り、昇圧コンバータ 3 0 の電

流指令演算部 355 が上下限リミッタ 311 を備えている。この上下限リミッタ 311 は、第二直流電源部 13A による補償範囲を制限するために設けられている。それゆえ、第二直流電源部 13A では、バッテリー 43 が充放電可能な範囲（上限値 a から下限値 b の範囲）で、当該バッテリー 43 を充放電させる。電流指令演算部 355 は、電流指令値 $I_{dc_ref_batt}$ を生成するために P1 制御器 312 を備えているので、より良好な精度で電力供給安定化動作を実施することが可能となる。

[0129] また、第一直流電源部 12A では、前記の通り、PWM コンバータ 20 の電流指令演算部 257 がデッドバンド 204 を備えている。電流指令演算部 257 では、モニター電圧の逸脱が第二直流電源部 13A の対応可能な範囲（すなわちバッテリー 43 の許容範囲）を超えたときのみ第一直流電源部 12A の発電機 42 が対応するように、デッドバンド 204 が設けられている。電流指令演算部 257 も、電流指令演算部 355（並びに、前記実施の形態 1 における電流指令演算部 255）と同様に、電流指令値 $I_{d_ref_gen}$ を生成するために P1 制御器 205 を備えているので、良好な精度で電力供給安定化動作を実施することが可能となる。

[0130] なお、前記の通り、昇圧コンバータ 30 に設けられる上下限リミッタ 311 と、PWM コンバータ 20 に設けられるデッドバンド 204 においては、上限値 a および下限値 b は同一値である。これにより、昇圧コンバータ 30 および PWM コンバータ 20 のそれぞれによる電力供給安定化動作の制御が互いに干渉するおそれを回避することができる。また、感度設定値である上限値 a および下限値 b は 1 パターン（1 組）の値で設定されてもよいが、複数パターンの値で設定されるとより好ましい。a および b の感度設定値が複数パターンとして設定されていれば、電気系統の状況に応じた柔軟な電力供給安定化動作を実施することができる。

[0131] 例えば、バッテリー 43 をあまり放電させたくない場合には、上限値 a の設定値を小さくすればよい。また、バッテリー 43 を充電させたくない場合には、下限値 b の設定値を小さくすればよい。また、バッテリー 43 の充放電量を

多くしたい場合には、aおよびbの双方の設定値を大きくし、バッテリー43の充放電量を少なくしたい場合には、aおよびbの双方の設定値を小さくすればよい。

[0132] なお、前述した例では、モニター電圧の感度設定値は、昇圧コンバータ30（第二直流電源部13A）からPWMコンバータ20（第一直流電源部12A）に対して通知されているが、これに限定されない。例えば、図13に示すように、感度設定値aおよびbは、上位の制御器である航空機の管理装置48で設定され、この感度設定値は、点線矢印F34に示すように管理装置48から直接PWMコンバータ20（第一直流電源部12A）に通知されるとともに、点線矢印F35に示すように管理装置48から直接昇圧コンバータ30（第二直流電源部13A）に通知されるよう構成されてもよい。

[0133] このように、本実施の形態では、第一直流電源部12Aの電力変換部（PWMコンバータ20）だけでなく、第二直流電源部13Aの充放電制御部（昇圧コンバータ30）もPI制御により制御を行っている。しかも、充放電制御部の制御と電力変換部の制御とが重複しないように、それぞれの制御が実施される電圧変化の範囲が互いに異なるように予め設定されている。それゆえ、充放電制御部および電力変換部により、二つの直流電源部12A、13Aの電力供給安定化動作の分担をより一層良好に制御することができる。

[0134] （実施の形態4）

前記実施の形態1、2または3に係る直流安定化電源システム10A、10Bまたは10Cは、航空機の電気系統に適用されているが、本発明はこれに限定されず、航空機以外の電気系統にも好適に適用することができる。例えば、本実施の形態4では、地上電源設備の電気系統に本発明を適用した構成について説明する。

[0135] 図14に示すように、本実施の形態4に係る直流安定化電源システム10Dは、航空機40および地上電源設備50により構成されている。航空機40は、直流バス14、アクチュエータ15、および電気機器16等を含む電気系統と、発電機42（エンジン発電機42）が設けられたエンジン45と

、PWMコンバータ47と、を備えている。航空機40の直流バス14には、固定ソケット49が接続されている。

[0136] 地上電源設備50は、第一直流電源部12Bおよび第二直流電源部13Bを備えている。第一直流電源部12Bは、発電機52およびPWMコンバータ20から構成されており、PWMコンバータ20には発電機52から交流電力が供給可能になっているとともに、外部の商用電源からも交流電力が供給可能になっている。また、第二直流電源部13Bは、バッテリー53および昇圧コンバータ30から構成されている。

[0137] 第一直流電源部12BのPWMコンバータ20には、発電機側直流配線115が接続され、第二直流電源部13Bの昇圧コンバータ30には、バッテリー側直流配線116が接続されている。発電機側直流配線115とバッテリー側直流配線116とは、直流リンク部114で接続されており、直流リンク部114にはソケット配線117が接続されている。ソケット配線117には、航空機40の固定ソケット49に接続可能な非固定ソケット54が接続されている。なお、地上電源設備50を構成する第一直流電源部12B、第二直流電源部13B、並びに、直流リンク部114、配線115、116、および117の具体的な構成は特に限定されず、前記実施の形態1～3で説明した第一直流電源部12A、第二直流電源部13A、並びに、直流リンク部114、配線112、113等と同様である。また、固定ソケット49および非固定ソケット54等の具体的な構成についても特に限定されず、公知の構成を好適に用いることができる。

[0138] 本実施の形態によれば、地上電源設備50が、前記実施の形態1～3に係る直流安定化電源システム10A～Cと同様の直流安定化電源システム10Dを備えているので、二つの直流電源部12B、13Bにより電力供給安定化動作が良好に分担される。それゆえ、MEA化が進んだ航空機40に対して直流電力を供給する際には、電力供給動作を良好に実施することができるとともに、アクチュエータ15または電気機器16等から生じた回生電力を吸収する電力吸収動作も良好に実施することができる。さらには、地上電源

設備 5 0 は、航空機 4 0 のエンジン 4 5 を始動するための始動用電源としても用いることができる。

[0139] ここで、地上電源設備 5 0 は、空港の固定位置に設けられる固定式の G P U (Ground Power Unit、地上動力装置) であってもよいし、発電機 5 2 および商用電源の中継設備を備える航空電源車であってもよい。また、航空機 4 0 の種類によっては、地上電源設備 5 0 の第一直流電源部 1 2 B は、発電機 5 2 のみを備える構成であってもよいし、商用電源の中継設備のみを備える構成であってもよい。

[0140] なお、本発明は前記実施の形態の記載に限定されるものではなく、特許請求の範囲に示した範囲内で種々の変更が可能であり、異なる実施の形態や複数の変形例にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施の形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

産業上の利用可能性

[0141] 本発明は、直流主体の電気システムを安定化する分野、例えば、M E A 化が進んだ航空機の電気システムの分野等に好適に用いることができる。

符号の説明

- [0142] 1 0 A, 1 0 B, 1 0 C, 1 0 D 直流安定化電源システム
1 2 A, 1 2 B 第一直流電源部
1 3 A, 1 3 B 第二直流電源部
1 4 直流バス
1 5 アクチュエータ (電気機器)
1 6 電気機器
1 7 第三直流電源部
2 0 PWMコンバータ (電力変換部)
2 1 電力変換回路
2 2 交流電圧検出部
2 3 交流電流検出部
2 4 直流電圧検出部

- 2 5 電力変換制御部
- 3 0 昇圧コンバータ（充放電制御部）
- 3 1 電圧調整回路
- 3 2 直流電流検出部
- 3 3 直流電圧制御部
- 3 4 バッテリ状態監視部（直流電源監視部）
- 3 5 直流電圧制御部
- 4 0 航空機
- 4 2 発電機（交流電源）
- 4 3 バッテリ（直流電源）
- 4 4 A P U 発電機（交流電源）
- 4 5 エンジン
- 4 6 A P U （補助動力装置）
- 5 0 地上電源設備
- 1 1 4 直流リンク部
- 2 0 2、2 0 5 P I 制御器
- 2 0 4 デッドバンド
- 2 5 4 直流電圧指令演算部
- 2 5 5、2 5 7 電流指令演算部
- 2 5 6 電力変換回路制御部
- 3 0 5 比例制御器
- 3 0 7 微分制御器
- 3 1 2 P I 制御器
- 3 1 1 上下限リミッタ
- 3 5 1 S O C 補正電圧演算部
- 3 5 2、3 5 4、3 5 5 電流指令演算部
- 3 5 3 電圧調整回路制御部

請求の範囲

[請求項1]

直流バスおよびこれに接続される電気機器を含む電気系統と、
当該電気系統に電力を供給する交流電源および直流電源と、
前記直流電源および前記直流バスに接続され、当該直流電源の充放電量を制御する充放電制御部と、

当該充放電制御部、前記交流電源および前記直流バスに接続され、交流電力および直流電力を双方向に変換する電力変換部と、
を備え、

前記電気系統に対して直流電力を供給するとともに前記電気機器から生じた回生電力を吸収する電力供給安定化動作を実施する直流電源部として、少なくとも前記交流電源および前記電力変換部により構成される第一直流電源部と、少なくとも前記直流電源および前記充放電制御部により構成される第二直流電源部と、を有し、

前記電力変換部は、さらに、前記直流バスの電圧目標値を変更することにより、前記第一直流電源部および前記第二直流電源部それぞれによる前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御することを特徴とする、

直流安定化電源システム。

[請求項2]

前記電力変換部は、比例積分制御により前記直流バスの電圧を制御することで、前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御するとともに、

前記充放電制御部は、比例制御により前記充放電量を制御することを特徴とする、

請求項1に記載の直流安定化電源システム。

[請求項3]

前記電力変換部および前記充放電制御部では、それぞれの制御が実施される前記電圧変化の範囲が互いに異なるように予め設定され、

前記電力変換部は、比例積分制御により前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御するとともに、

前記充放電制御部は、比例積分制御により前記充放電量を制御することを特徴とする、

請求項 1 に記載の直流安定化電源システム。

[請求項4]

前記電力変換部は、
前記交流電源に接続される電力変換回路と、
前記交流電源の交流電圧を検出する交流電圧検出部と、
前記交流電源の交流電流を検出する交流電流検出部と、
前記電気系統の直流電圧を検出する直流電圧検出部と、
検出された前記交流電圧、前記交流電流、および前記直流電圧に基づいて、前記電力変換回路を駆動させる電力変換制御部と、
を備え、

当該電力変換制御部は、検出された前記交流電圧および前記交流電流に基づいて、前記交流電源の有効電力を算出し、

当該有効電力および前記交流電源の稼働情報に基づいて、直流電圧指令値を演算し、

当該直流電圧指令値および検出された前記直流電圧に基づいて、比例積分制御により前記交流電流指令値を演算し、

当該交流電流指令値を用いて、前記電力変換回路を制御するよう構成されていることを特徴とする、

請求項 2 または 3 に記載の直流安定化電源システム。

[請求項5]

前記電力変換制御部は、検出された前記交流電圧に基づいて、前記交流電源の位相を演算し、

前記交流電流指令値と、検出された前記交流電流および前記位相を用いて、前記電力変換回路を制御するよう構成されていることを特徴とする、

請求項 4 に記載の直流安定化電源システム。

[請求項6]

前記充放電制御部は、
前記直流電源に接続される電圧調整回路と、

前記直流電源の充電状態およびセル温度を監視する直流電源監視部と、

前記電気系統の直流電圧を検出する直流電圧検出部と、

前記電気系統の直流電流を検出する直流電流検出部と、

前記直流電源の前記充電状態、検出された前記直流電圧および前記直流電流に基づいて、前記電圧調整回路を駆動させる直流電圧制御部と、

を備え、

当該直流電圧制御部は、前記直流電源の前記充電状態に基づいて、充電状態補正電圧を算出し、

当該充電状態補正電圧および検出された前記直流電圧に基づいて、比例制御により直流電流指令値を演算し、

当該直流電流指令値および検出された前記直流電流を用いて、前記電圧調整回路を制御するよう構成されていることを特徴とする、請求項2または3に記載の直流安定化電源システム。

[請求項7] 前記直流電圧制御部は、前記充電状態補正電圧および検出された前記直流電圧に基づいて、比例制御に並行して微分制御を行うことにより、前記電流指令値を演算することを特徴とする、請求項6に記載の直流安定化電源システム。

[請求項8] 前記電気系統の直流電圧の基準値が予め設定されており、前記電力変換部は、前記基準値を上昇または下降させ、前記充放電制御部は、前記基準値の上昇または下降に合わせて、直流電圧を下降または上昇させるように前記直流電源の充放電量を制御することを特徴とする、請求項1から7のいずれか1項に記載の直流安定化電源システム。

[請求項9] 前記交流電源の電力変動の限界値が予め設定されており、当該限界値を超えた電力変動が発生したときには、前記電力変換部は、直流電圧を急速に変化させ、

前記充放電制御部は、前記電力変換部による直流電圧の変化量に対応する電力を供給するように、前記直流電源の充放電量を制御することを特徴とする、

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の直流安定化電源システム。

[請求項10]

前記電力変換部は、前記交流電源の有効電力をモニターするよう構成され、

前記電気系統の直流電圧の基準値と有効電力の閾値とが予め設定され、

さらに、前記電力変換部は、モニターしている有効電力が前記閾値を下回った時点で、有効電力が 0 に達するまでの第一期間において直流電圧を高速に上昇させ、有効電力が 0 に達した後の第二期間では、前記基準値に達するまで直流電圧を前記第一期間よりも低速で上昇させ、

前記充放電制御部は、前記電力変換部による前記第二期間における直流電圧の変化量に対応する直流電力を前記直流電源に充電させるように、充放電量を制御することを特徴とする、

請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の直流安定化電源システム。

[請求項11]

前記交流電源は、エンジンに設けられ、当該エンジンの回転に伴って駆動する発電機であることを特徴とする、

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の直流安定化電源システム。

[請求項12]

前記直流電源は、蓄電池および電気二重層キャパシタの少なくとも一方であることを特徴とする、

請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の直流安定化電源システム。

[請求項13]

前記電気機器には、電動アクチュエータが含まれていることを特徴とする、

請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の直流安定化電源システム。

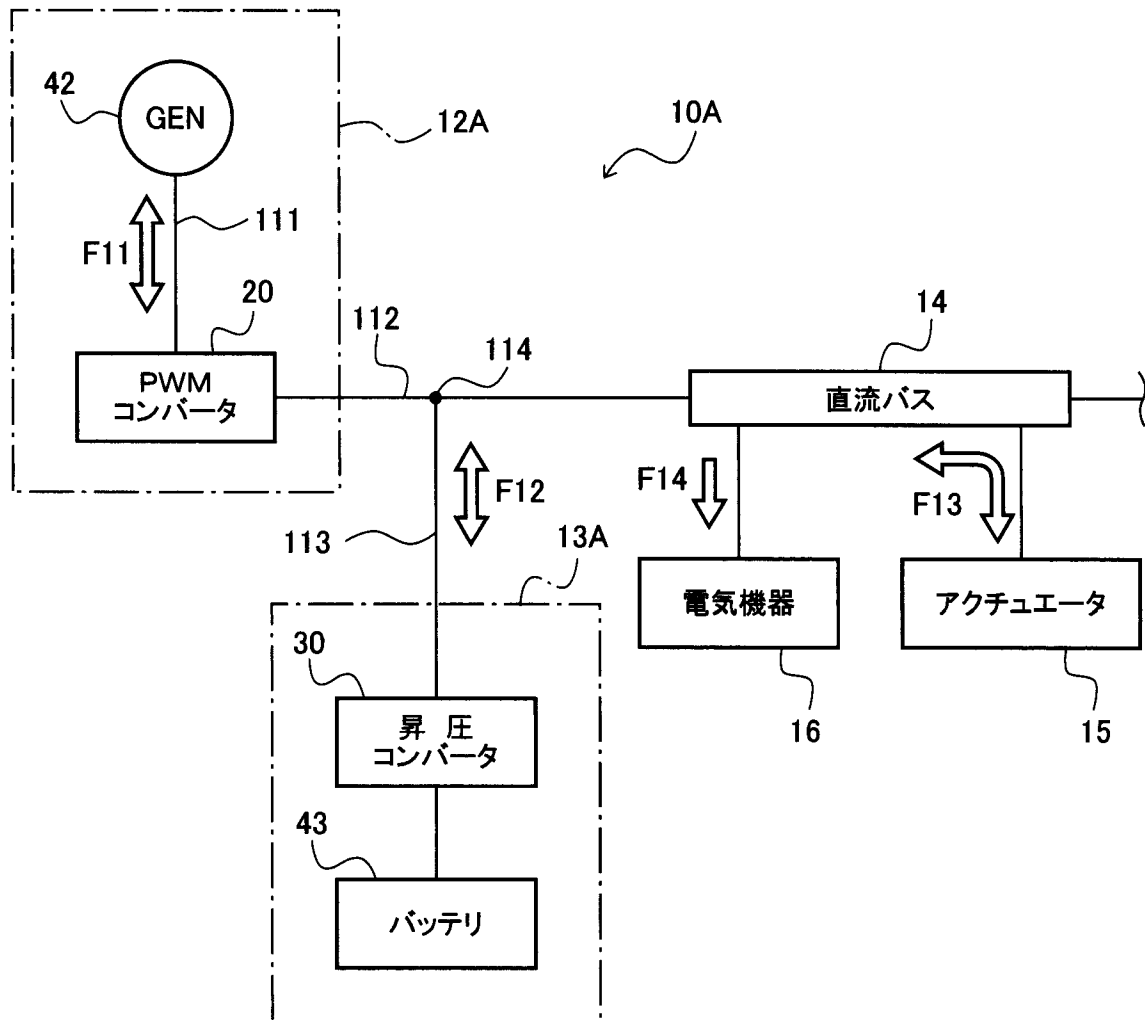
[請求項14]

航空機の電気系統に用いられることを特徴とする、

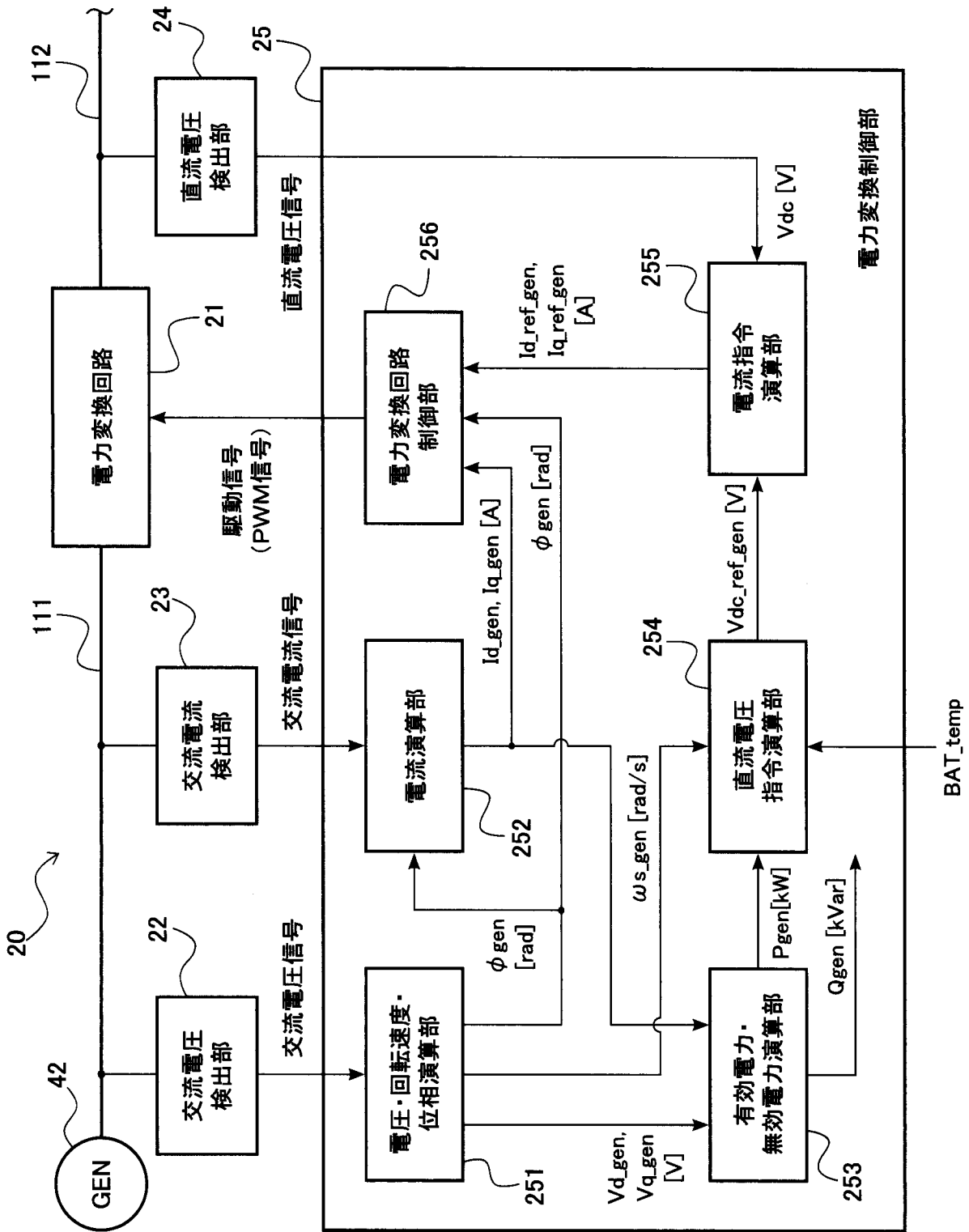
請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の直流安定化電源システム。

- [請求項15] 前記航空機は補助動力装置（A P U）を備え、前記第二直流電源部はA P U始動用電源を兼ねていることを特徴とする、
請求項14に記載の直流安定化電源システム。
- [請求項16] 前記交流電源には、前記航空機が備えるエンジンに設けられ、当該エンジンの回転に伴って駆動するエンジン発電機と、前記A P Uが備えるA P U発電機と、が含まれ、
前記エンジン発電機または前記A P U発電機から前記直流バスに電力が供給されないときには、前記第二直流電源部は、前記直流バスに電力を供給することを特徴とする、
請求項14または15に記載の直流安定化電源システム。
- [請求項17] 前記第一直流電源部は、前記交流電源として前記エンジン発電機を備えているとともに、
前記エンジンの始動時には、前記A P U発電機から供給される電力によりエンジン始動用のモータコントローラおよびモータとして動作することを特徴とする、
請求項16に記載の直流安定化電源システム。
- [請求項18] さらに、前記A P U発電機および前記直流バスに接続され、交流電力および直流電力を双方向に変換するA P U電力変換部を備え、
少なくとも前記A P U発電機および前記A P U電力変換部により第三直流電源部が構成され、
前記A P U電力変換部は、さらに、前記直流バスの電圧変化に基づいて、前記第三直流電源部および前記第二直流電源部それぞれによる前記電力供給安定化動作の分担量の調整を制御することを特徴とする、
請求項16または17に記載の直流安定化電源システム。

[図1]

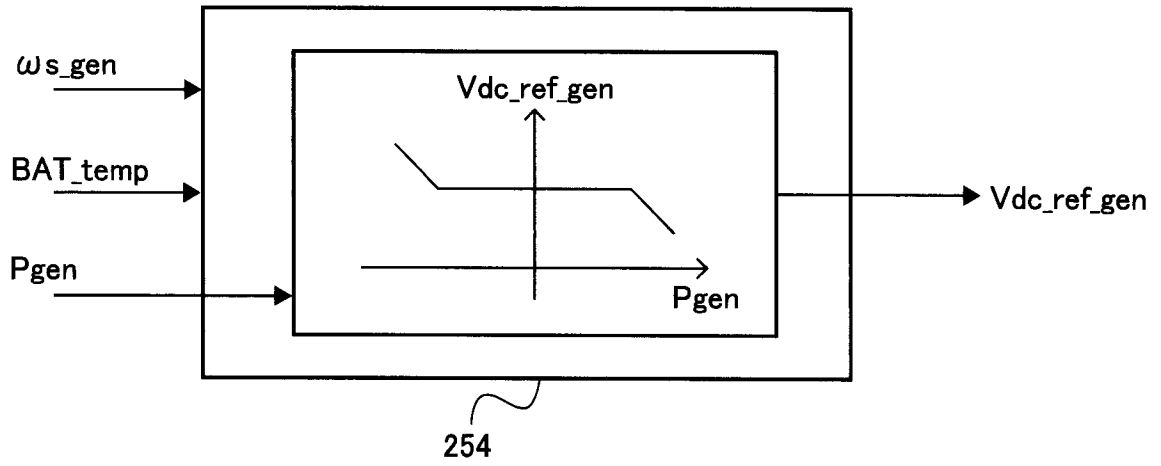


[図2]

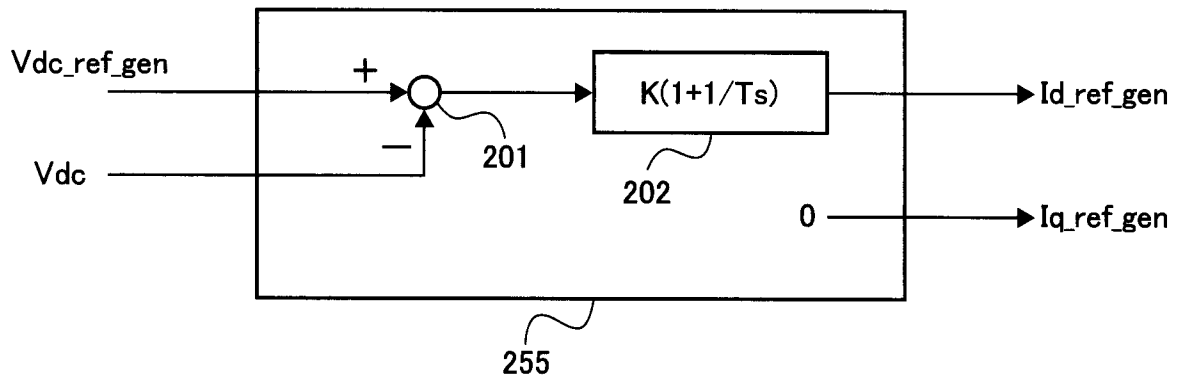


[図3]

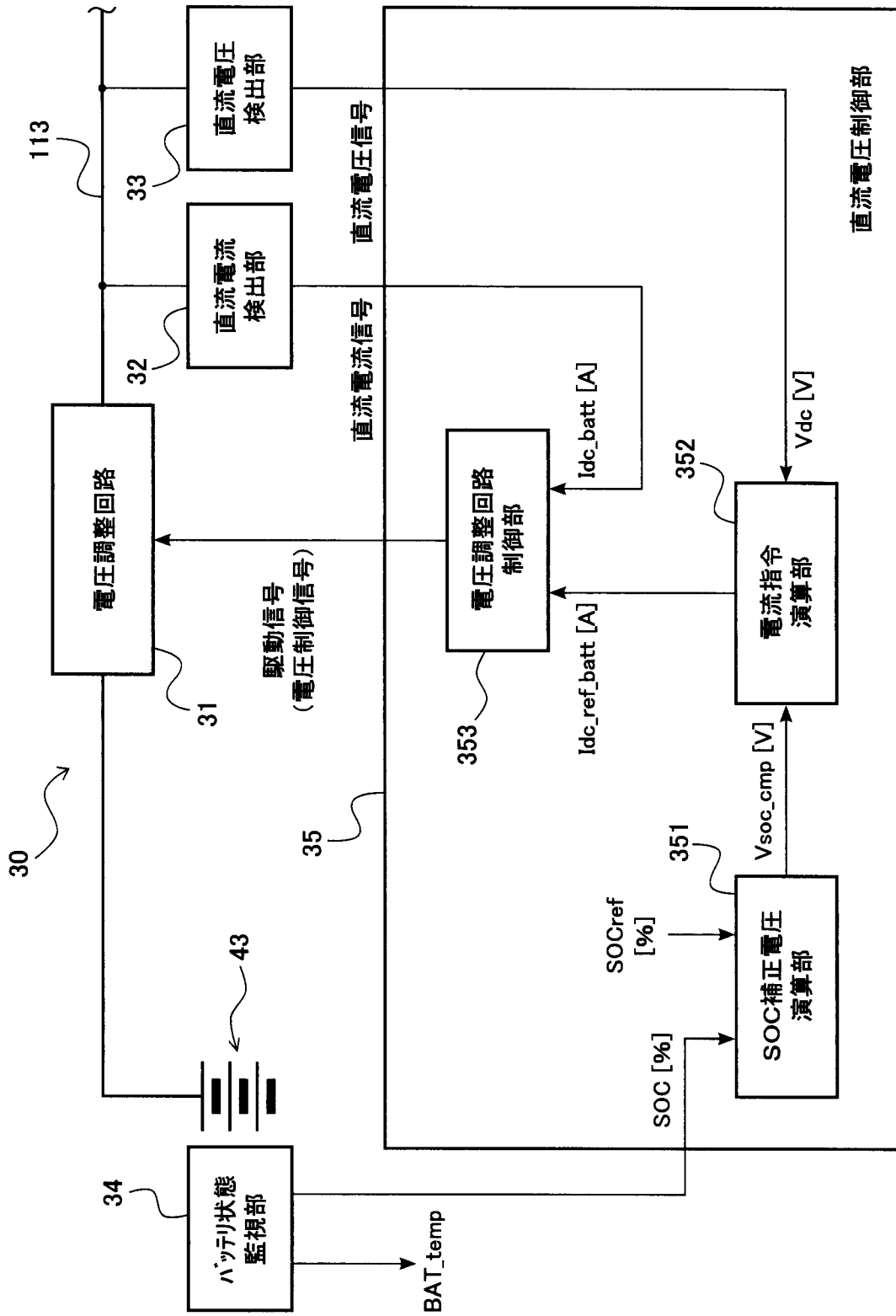
(A)



(B)

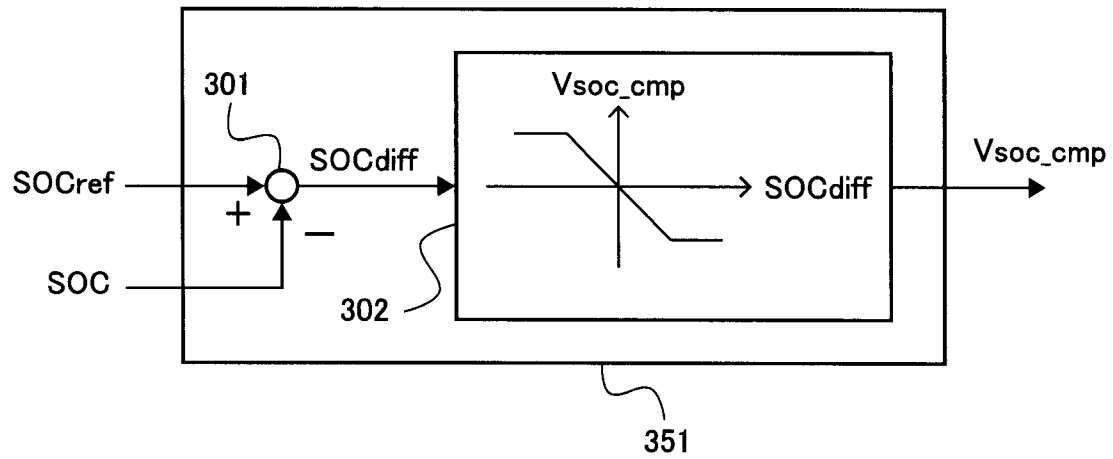


[図4]

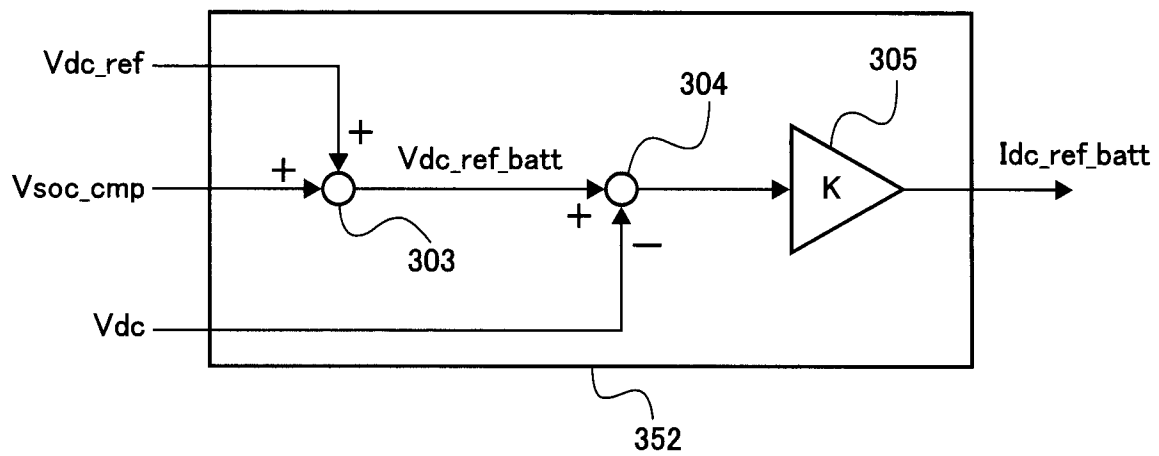


[図5]

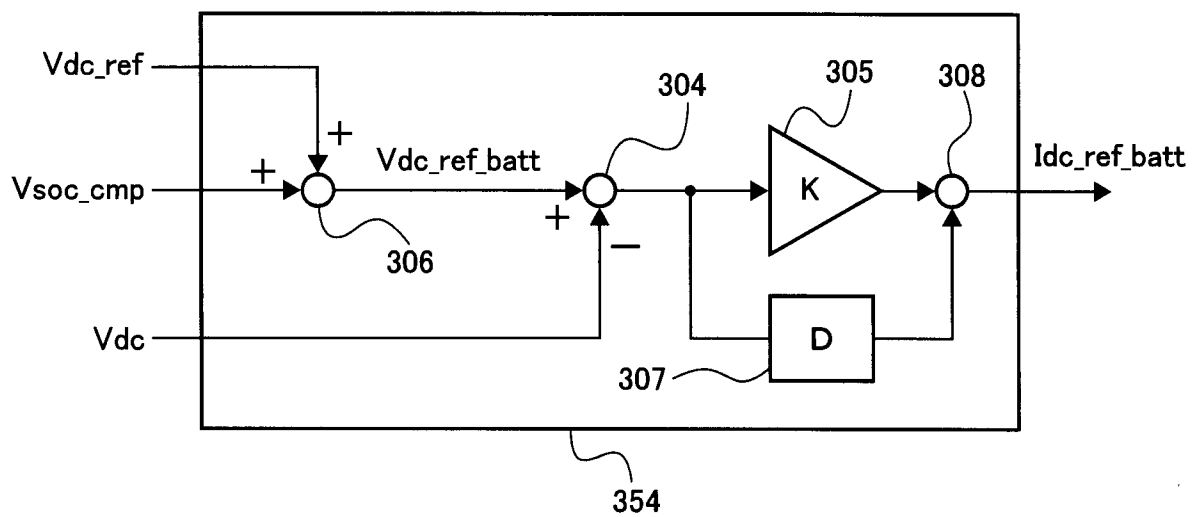
(A)



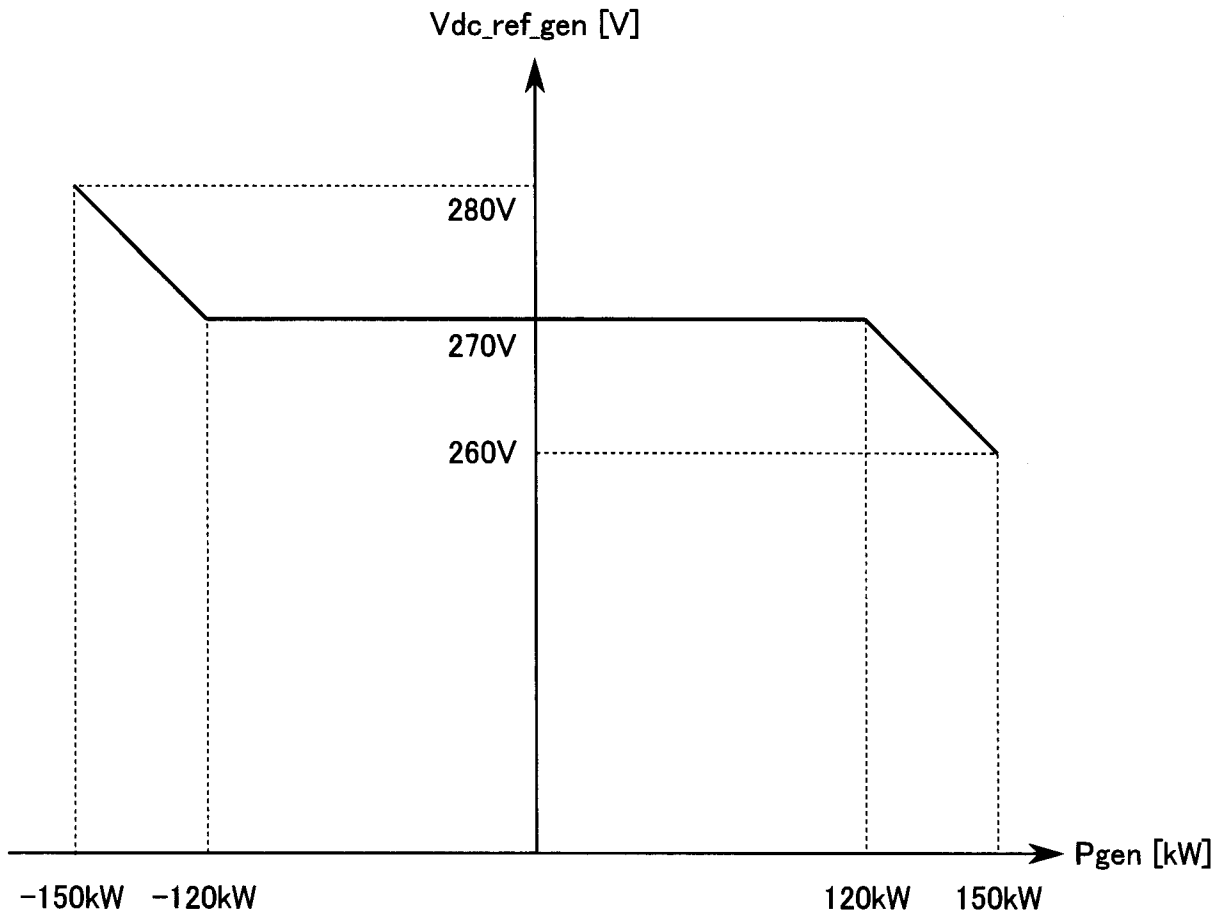
(B)



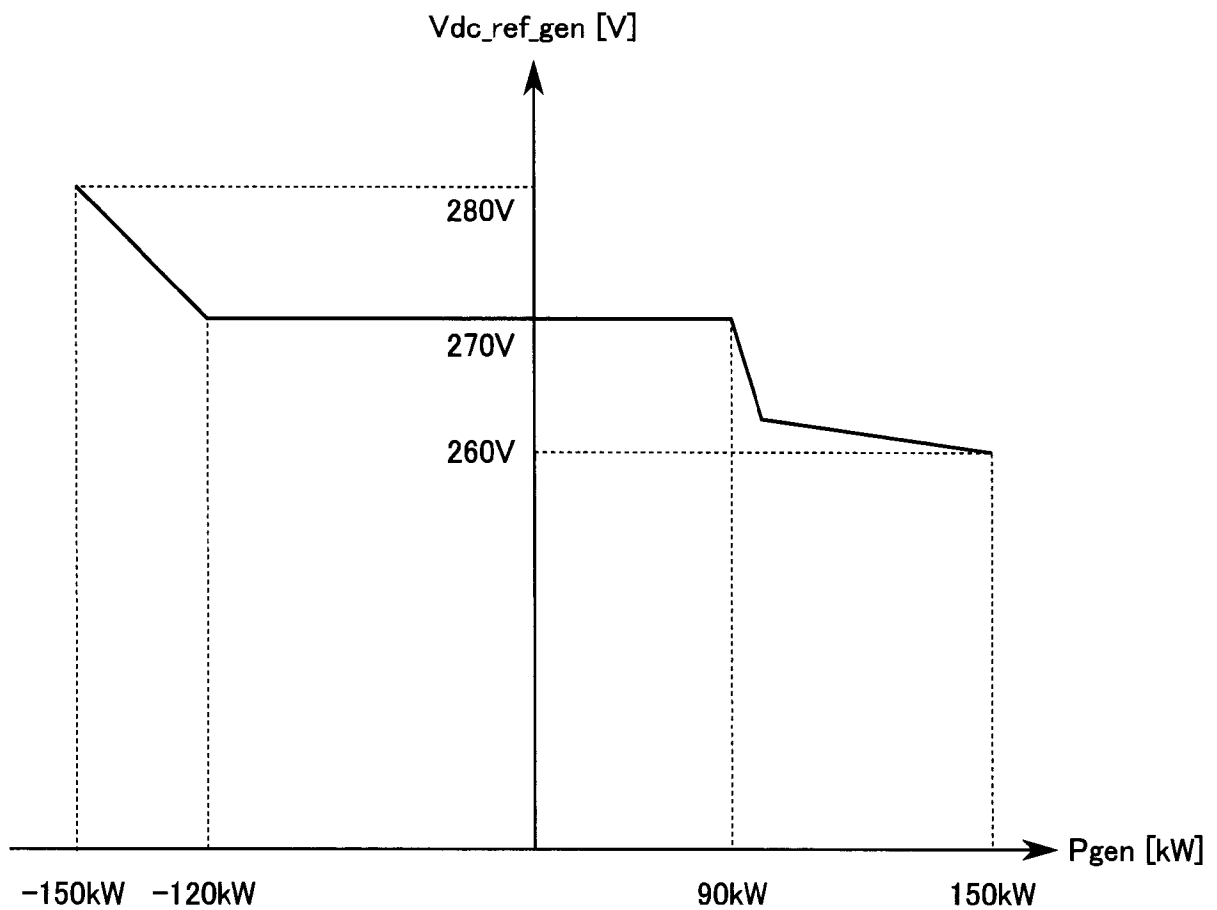
[図6]



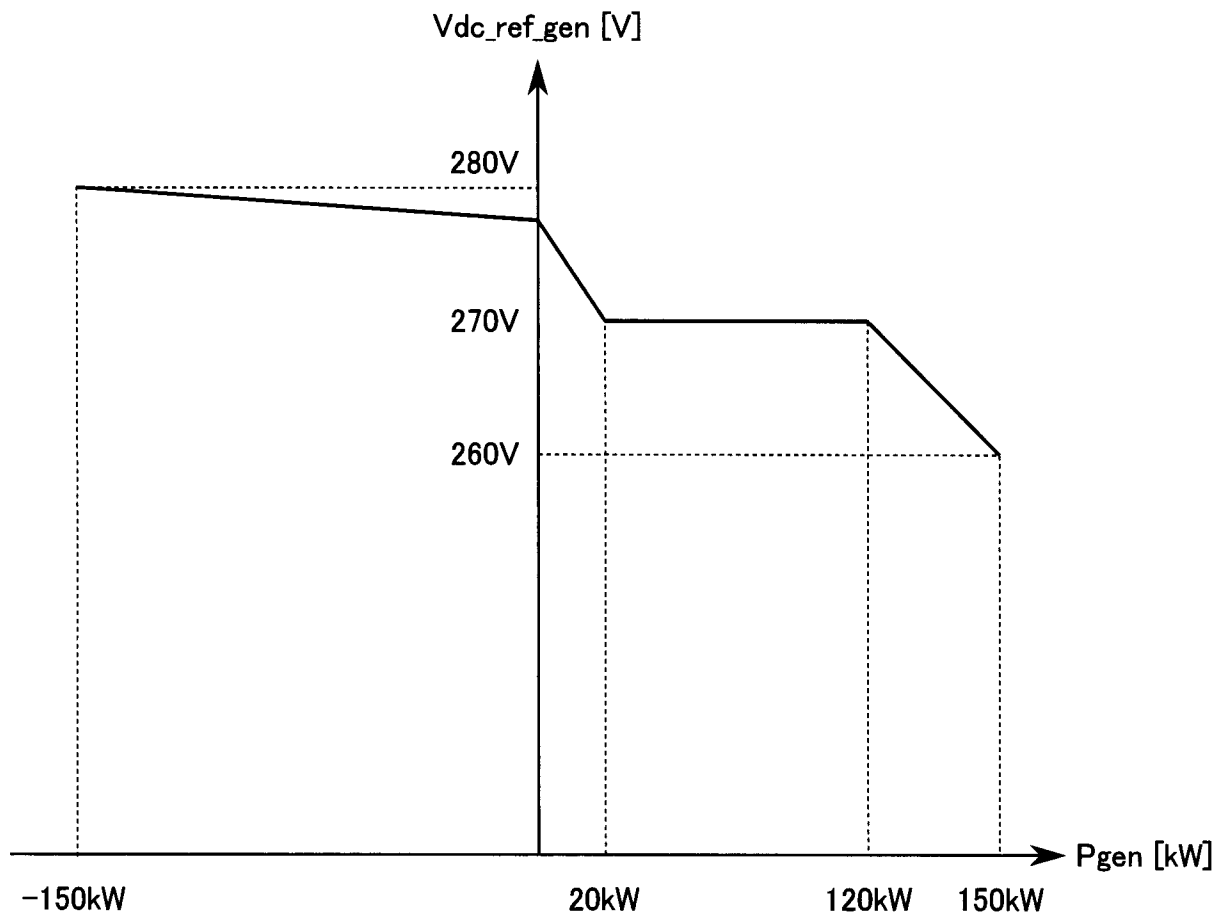
[図7]



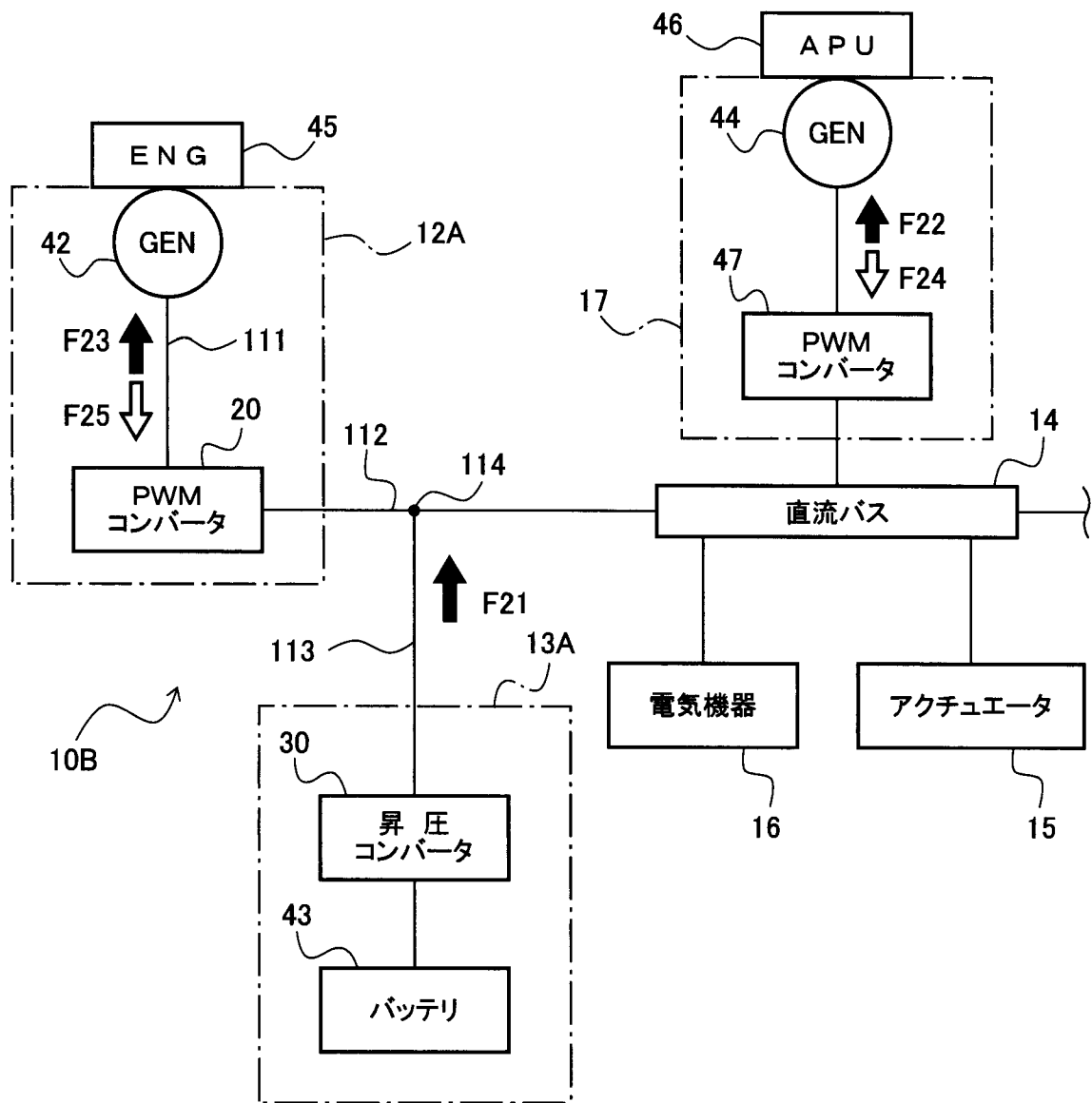
[図8]



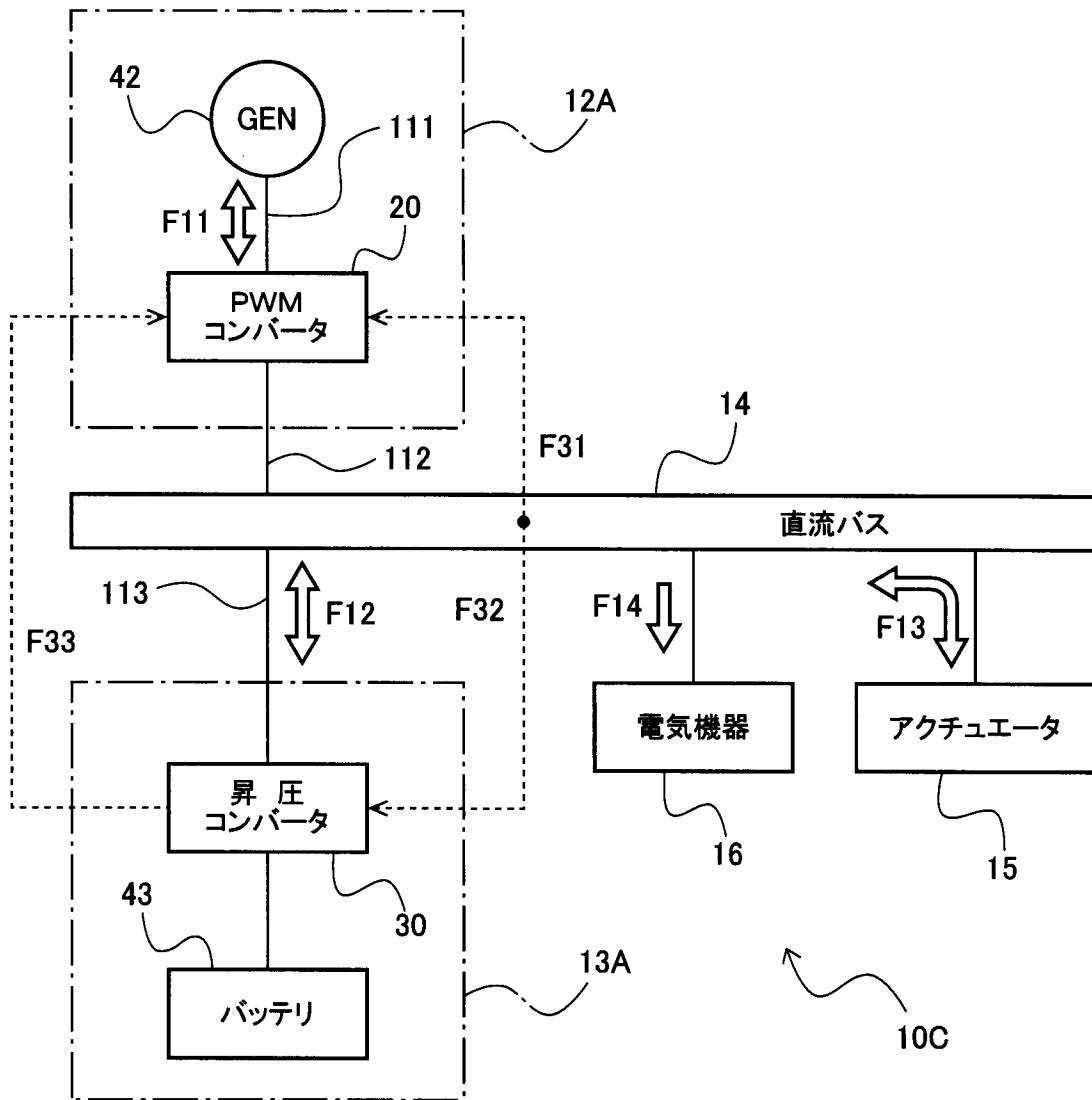
[図9]



[図10]

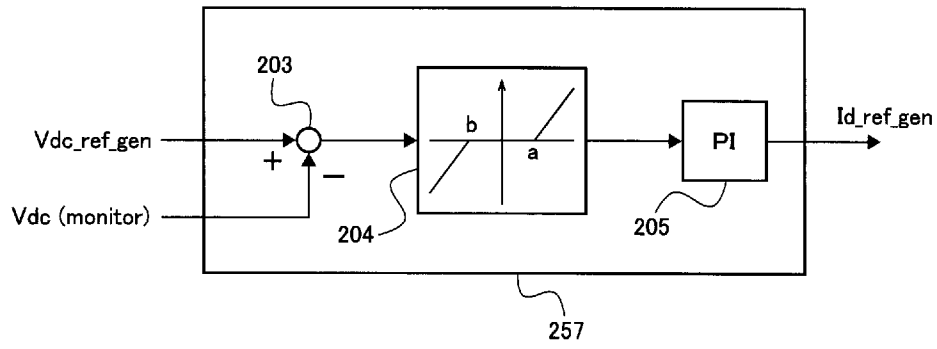


[図11]

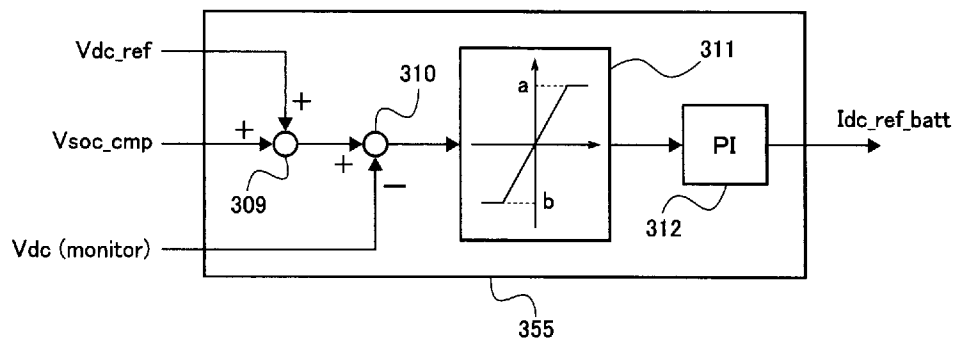


[図12]

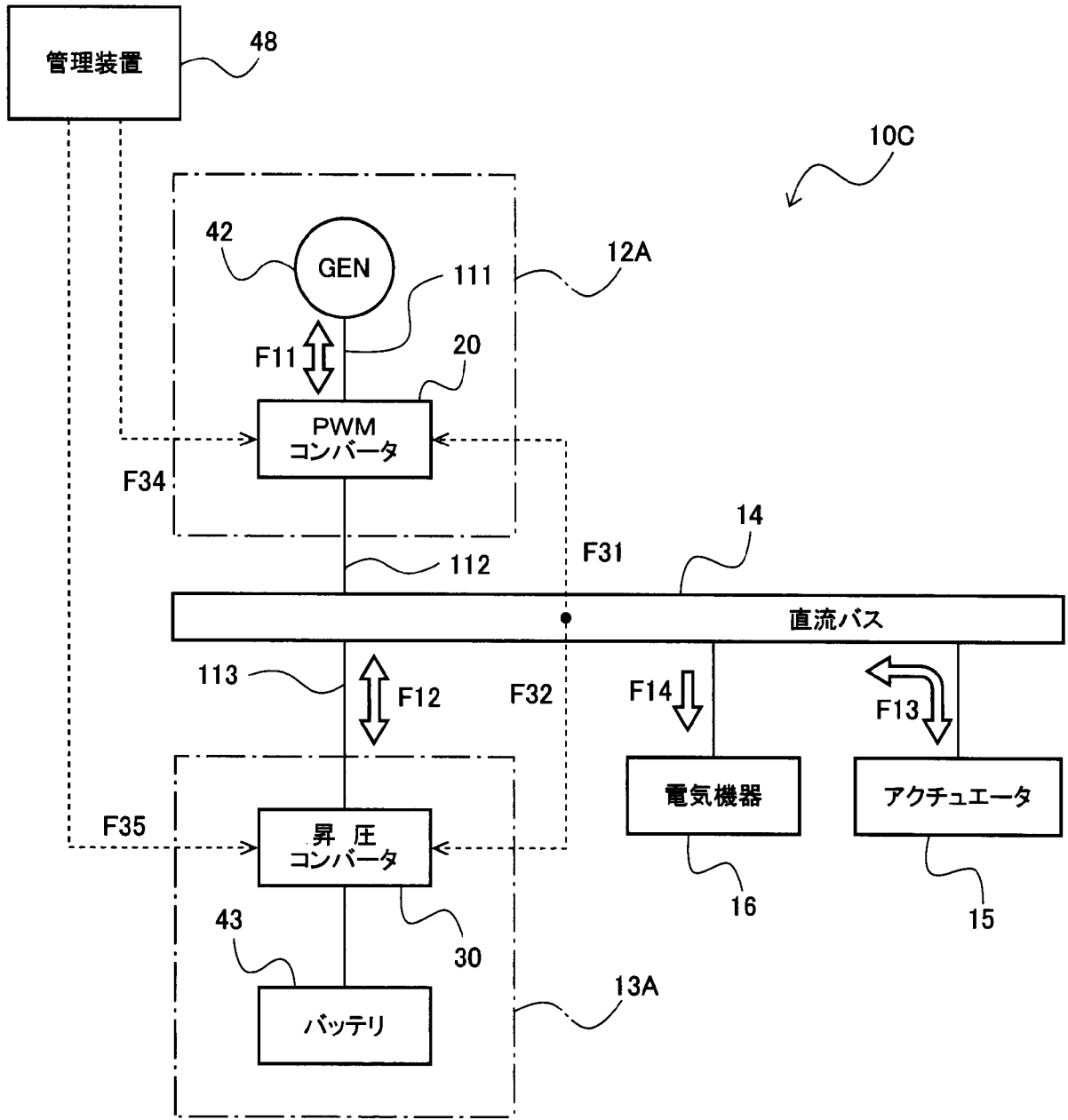
(A)



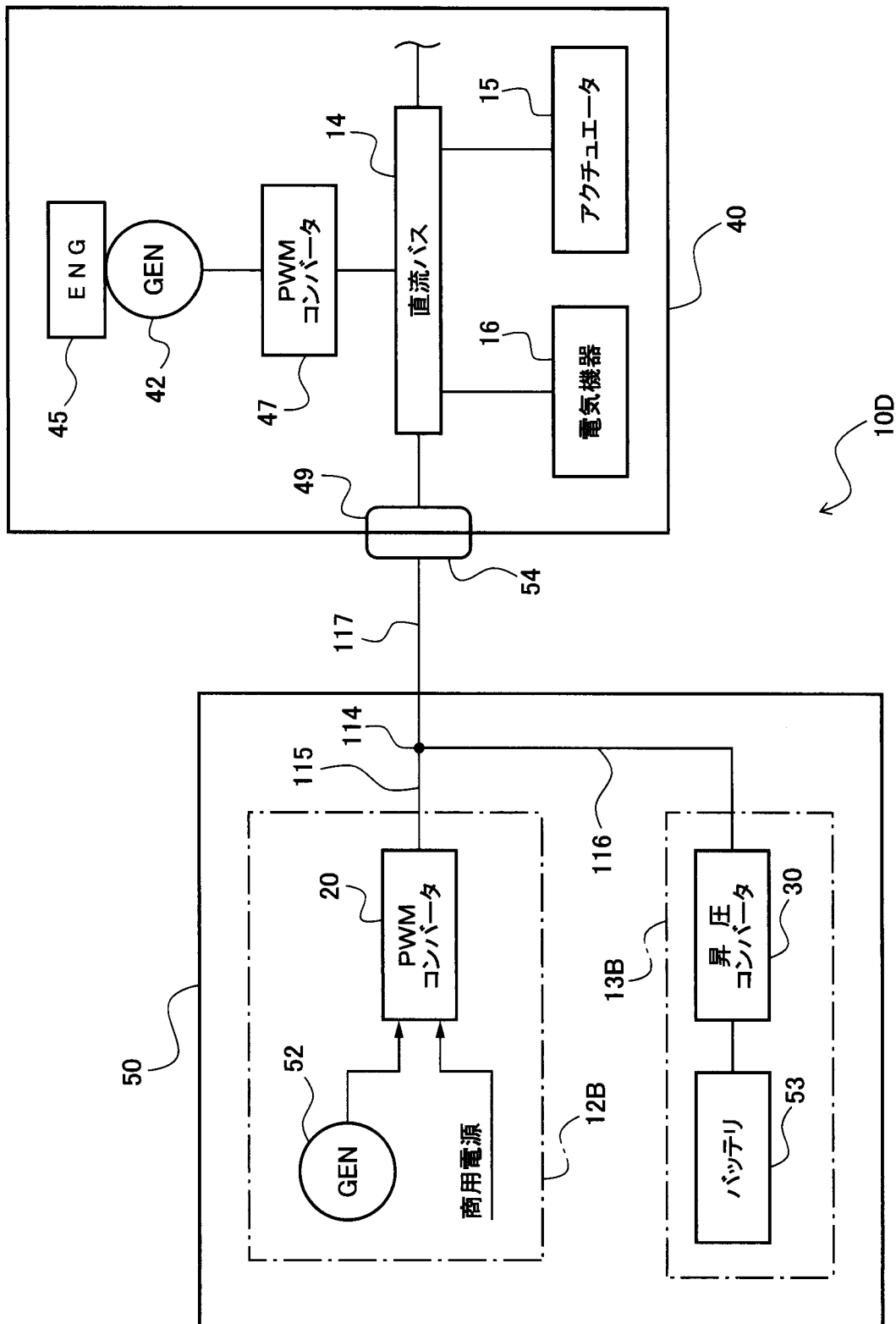
(B)



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/002897

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02P9/04(2006.01)i, B64D41/00(2006.01)i, H02M3/00(2006.01)i, H02M7/12(2006.01)i, H02P101/30(2015.01)n

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)
H02P9/04, B64D41/00, H02M3/00, H02M7/12, H02P101/30

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
X Y A	JP 2010-178508 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 12 August 2010 (12.08.2010), paragraphs [0016], [0020] to [0035], [0049] to [0052]; fig. 2 to 6 & US 2011/0288711 A1 paragraphs [0016], [0028] to [0043], [0057] to [0060]; fig. 2 to 6 & WO 2010/087364 A1 & KR 10-2011-0099781 A & CN 102301583 A	1 2-3, 8, 11-18 4-7, 9-10
Y	WO 2014/022316 A1 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA), 06 February 2014 (06.02.2014), paragraphs [0050], [0121]; fig. 1 to 5 & JP 2015-532081 A & US 2014/0197681 A1 & US 2015/0183385 A1 & CN 104471818 A	2-3, 8, 11-18

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 23 August 2016 (23.08.16)	Date of mailing of the international search report 30 August 2016 (30.08.16)
--	---

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/JP2016/002897

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2015/034517 A1 (GE AVIATION SYSTEMS LLC), 12 March 2015 (12.03.2015), paragraphs [0022] to [0036]; fig. 3 & CN 105765214 A	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02P9/04(2006.01)i, B64D41/00(2006.01)i, H02M3/00(2006.01)i, H02M7/12(2006.01)i, H02P101/30(2015.01)n

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. H02P9/04, B64D41/00, H02M3/00, H02M7/12, H02P101/30

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
X Y A	JP 2010-178508 A (住友重機械工業株式会社) 2010.08.12, 段落【0016】, 【0020】 - 【0035】, 【0049】 - 【0052】, 図2-6 & US 2011/0288711 A1, 段落[0016], [0028]-[0043], [0057]-[0060], 第2-6図 & WO 2010/087364 A1 & KR 10-2011-0099781 A & CN 102301583 A	1 2-3, 8, 11-18 4-7, 9-10
Y	WO 2014/022316 A1 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKIKAI SHA) 2014.02.06, 段落[0050], [0121], 第1-5図 & JP 2015-532081 A & US 2014/0197681 A1 & US 2015/0183385 A1 & CN 104471818 A	2-3, 8, 11-18

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ 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

の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

23.08.2016

国際調査報告の発送日

30.08.2016

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)

マキロイ 寛済

3V

4031

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

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
A	WO 2015/034517 A1 (GE AVIATION SYSTEMS LLC) 2015.03.12, 段落 [0022]-[0036], 第3図 & CN 105765214 A	1-18