

三重大学大学院工学研究科 修士論文

太陽光発電システムと直接接続可能な  
小型風力発電装置の開発に関する研究

平成 24 年度

三重大学大学院 工学研究科

博士前期課程 電気電子工学専攻

電気システム工学講座

三溝 真史

## 目次

第一章	緒言	3
1.1	本研究の背景	3
1.2	本研究の目的	4
1.3	本論文の概要	5
第二章	太陽電池協働システム	6
2.1	太陽光発電システム	6
2.2	本研究に用いる供試機	8
2.3	パワーコンディショナの構成及び動作波形	9
2.4	太陽電池協働システムの構成	11
2.5	出力制御の流れ	14
第三章	単独運転モード	15
3.1	概要	15
3.2	モデル式の決定法	16
3.3	単独運転モードにおける電力変換回路の構成	18
3.4	単独運転モードにおける電力変換回路の動作	20
3.5	単独運転モードの電圧制御法	21
3.6	単独運転モードの実機実験検証	23
3.6.1	パワーコンディショナの動作確認	23
3.6.2	単独運転モードの実機実験条件	25
3.6.3	単独運転モードの実機実験結果	28
3.6.4	電力指令値の変化を考慮した実機実験条件	30
3.6.5	電力指令値の変化を考慮した実機実験結果	32
3.6.6	単独運転モードの考察	34

第四章	直列接続モード.....	38
4.1	概要 .....	38
4.2	パワーコンディショナへの入力特性.....	39
4.3	直列接続モードにおける電力変換回路の構成.....	41
4.4	直列接続モードにおける電力変換回路の動作.....	42
4.5	直列接続モードの制御法.....	43
4.6	シミュレーション及び実機実験による検証.....	45
4.6.1	シミュレーションの目的.....	45
4.6.2	直列接続モードのシミュレーション条件.....	46
4.6.3	直列接続モードのシミュレーション結果.....	53
4.6.4	直列接続モードの実機実験条件.....	56
4.6.5	直列接続モードの実機実験結果.....	58
第五章	結言 .....	63
5.1	研究の成果 .....	63
5.2	今後の課題 .....	64
参考文献	.....	65
論文目録	.....	65
謝辞	.....	66

## 第一章 緒言

### 1.1 本研究の背景

近年、太陽光があれば発電可能な太陽光発電システムが注目されており、一般家庭に広く普及してきている。それに伴い、太陽電池で発電した電力を需要家で利用可能な電力に変換する装置であるパワーコンディショナも導入されている。

しかし、パワーコンディショナには問題点が存在する。現在の太陽電池のみのシステムでパワーコンディショナを稼働させた場合、稼働率が低くなってしまう。なぜなら、太陽電池に太陽光が当たらない場合、太陽電池は発電することができない。そのため、パワーコンディショナも停止状態となり、パワーコンディショナの容量を全く利用できていない。また、パワーコンディショナの容量は太陽電池の最大発電量に合わせて決定する。しかし、太陽電池の発電量は日射量に依存するため、太陽電池は常に最大発電量で発電することができない。パワーコンディショナの容量に対して太陽電池の発電量は少なくなってしまうため、太陽光が当たる場合でもパワーコンディショナの容量を最大限利用できていない。そこで、我々はパワーコンディショナの余力を有効活用しようと考え、風があれば昼夜問わず発電可能な小型風力発電システムに注目している。

既存の太陽光発電システムに小型風力発電システムを追加することで、夜間にパワーコンディショナを稼働できるだけでなく、昼間の太陽電池のみでは存在する余力も利用できるように、稼働率を向上可能である。

## 1.2 本研究の目的

太陽電池と風力発電機の出力特性は異なるため、太陽電池用パワーコンディショナは風力発電機を最適に制御できない。小型風力発電システム単独で太陽電池用パワーコンディショナを稼働できるように小型風力発電システムの特性を制御する必要がある。また、太陽電池と風力発電機が同時に発電した場合、二つの発電がともに最大電力となる最適な制御はできない。そこで、一般に広く普及している太陽光発電システムを変更することなく、二つの発電がともに最適な制御が可能となる小型風力発電装置を開発する必要がある。

本研究では、既存の太陽光発電システムを変更することなく直接接続可能な小型風力発電装置の開発を目的とする。このシステムを太陽電池協働システムとする。

本稿では、我々は太陽電池協働システムの構成、及び制御法を提案し、実験により太陽電池協働システムがパワーコンディショナを稼働できるかを検証した。それに加え、太陽電池協働システムと太陽電池をどのように接続するかを提案し、シミュレーションと実機実験により太陽電池協働システムが接続された際にパワーコンディショナが二つの発電システムを同時に制御可能かを検証した。

### 1.3 本論文の概要

本論文は、以下のように構成される。

二章では本研究で用いる供試機を説明し、太陽光発電システムの動作を説明する。そして、提案する太陽電池協働システムの構成を示し、制御の流れを説明する。

三章では太陽電池協働システム単独でパワーコンディショナを稼働させる単独運転モードの概要と電力変換回路および電圧制御法を説明し、実機実験結果を示す。また、その際発生した問題についても考察する。

四章では太陽電池協働システムと太陽電池、二つの発電システムでパワーコンディショナを稼働させる直列接続モードの概要と電力変換回路および電圧制御法を説明し、シミュレーション結果および実機実験結果を示す。

## 第二章 太陽電池協働システム

### 2.1 太陽光発電システム

太陽光発電システムについて説明する。図 2.1 に一般的な太陽光発電システムの構成を示す。太陽光発電システムは複数枚の太陽電池モジュールとパワーコンディショナを接続し、系統または需要家へと電力を供給する。

パワーコンディショナの役割と問題点を示す。太陽電池で発電した電力は直流である。そのため、発電した電力をそのまま家庭機器で利用することができない。そこで、太陽電池で発電された電力を家庭で利用可能な電力に変換するのがパワーコンディショナである。また、自然エネルギー発電は自然環境により最大電力点が異なるため、パワーコンディショナは入力インピーダンスを変化させて、太陽電池が常に最大電力点で動作するように制御する。

問題点としては、パワーコンディショナを稼働するには一定以上の発電量が必要である。しかし、夜間に太陽電池は発電できないため、夜間は稼働できない。また、パワーコンディショナの容量は太陽電池の最大発電量に合わせて決定される。しかし、太陽光がある場合でも太陽電池は常に最大電力で発電できないため、パワーコンディショナの容量には余力がある。図 2.2 に各時刻のパワーコンディショナの容量に対する太陽電池の発電量の割合を示した一例を示す。この場合、最大で 60%の容量しか利用できておらず、朝方や夕方になればさらに余力は大きくなる。

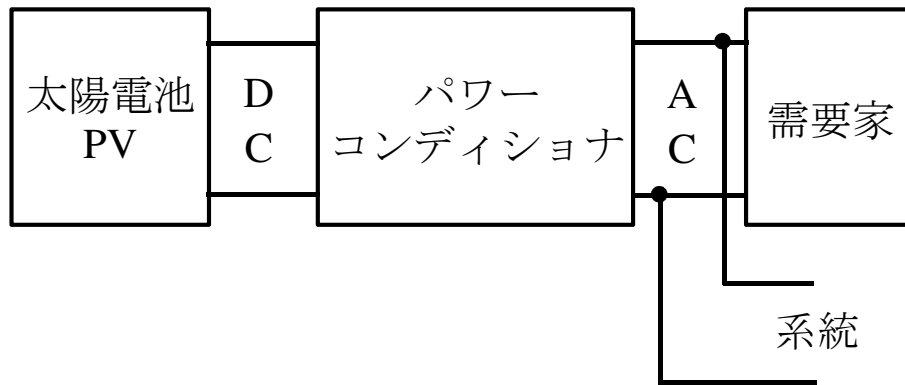


図 2.1 太陽光発電システム

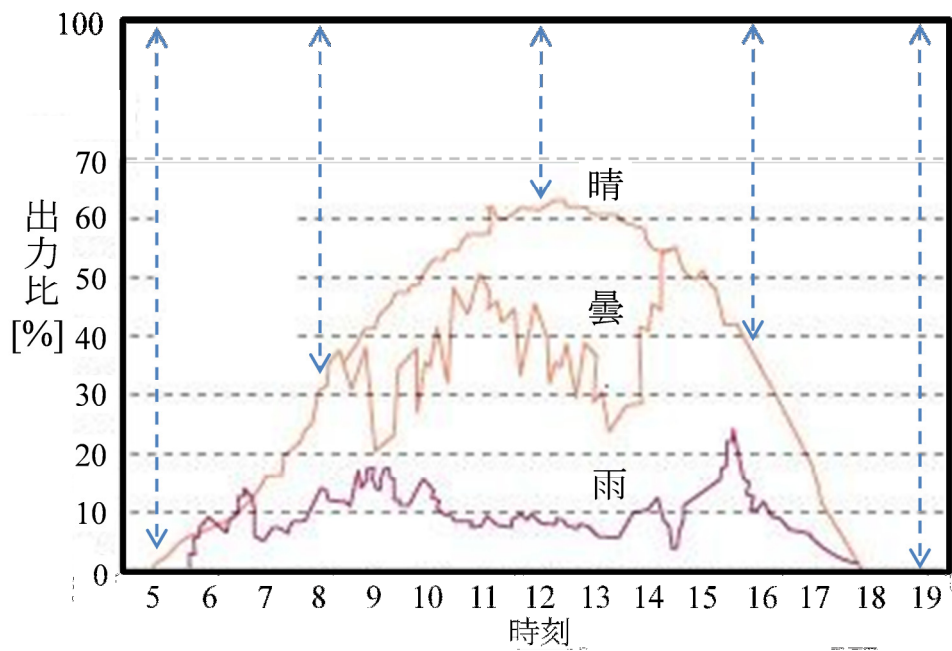


図 2.2 パワーコンディショナの容量に対する太陽電池の発電量



## 2.2 本研究に用いる供試機

表 2.1 に本研究で用いる供試機の仕様を示す。

太陽電池モジュールは日射量によって短絡電流と最大出力動作電流は変動するが，開放電圧と最大出力動作電圧は日射量によりほとんど変動しない。

パワーコンディショナは連系運転と自立運転の切り替えが可能となっていて，それぞれの運転で定格出力が異なる。

本研究では太陽電池モジュールを 7 枚まで使用する。

表 2.1 供用機の仕様

(a) 太陽電池モジュール (1 枚当たり)

公称最大出力	125.00[W]
公称開放電圧	32.66[V]
公称短絡電流	5.30[A]
公称最大出力動作電圧	26.38[V]
公称最大出力動作電流	4.74[A]

(b) パワーコンディショナ

定格入力	DC200[V]
定格出力電圧	(連系運転時) AC202[V] (自立運転時) AC101[V]
定格出力周波数	50/60[Hz]
定格出力	(連系運転時) 3.0[kW] (自立運転時) 1.5[kW]

## 2.3 パワーコンディショナの構成及び動作波形

図 2.3 にパワーコンディショナの一般的な内部回路の構成を示し、動作を説明する。

パワーコンディショナはキャパシタ (DC フィルタ), DCDC コンバータ (昇圧回路), DCAC インバータ, 波形整形フィルタ, 制御部で構成される。まず, 太陽電池で発電した電力をキャパシタに充電し, DCDC コンバータにより所定の電圧まで昇圧する。その後, DCAC インバータで PWM 制御をすることにより疑似正弦波を生成し, 波形整形フィルタにより高調波を取り除くことで正弦波にする。また, 最大電力点追従制御を制御部で行い, その時の自然条件により最大電力点に変化しても, その動作点へと制御することで最大電力を得る。その他にも, 系統保護のための系統連係保護装置もある。

図 2.4 にパワーコンディショナと太陽電池モジュール 4 枚を直列に接続し, パワーコンディショナを稼働させた際の太陽電池の電圧・電流の時間変化を示す。最初は太陽電池に太陽光が当たっていない状態としており, 発電を行っていない。太陽光を当てると, 太陽電池が発電を始め, 最初にキャパシタへの充電が行われる。充電が終わると開放状態となる。その後, ある程度時間が経過すると最大電力点追従制御が開始され, 最大電力となる電圧・電流へと制御される。

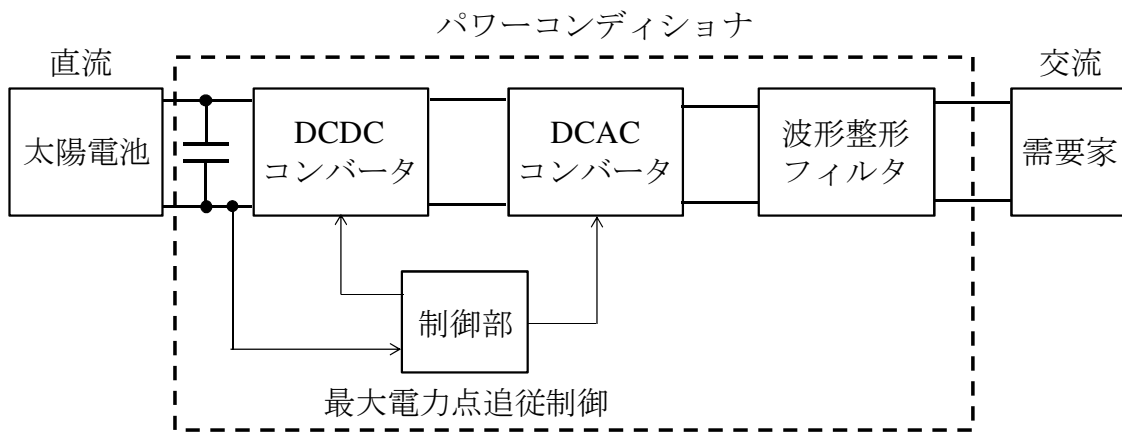


図 2.3 パワーコンディショナの内部回路

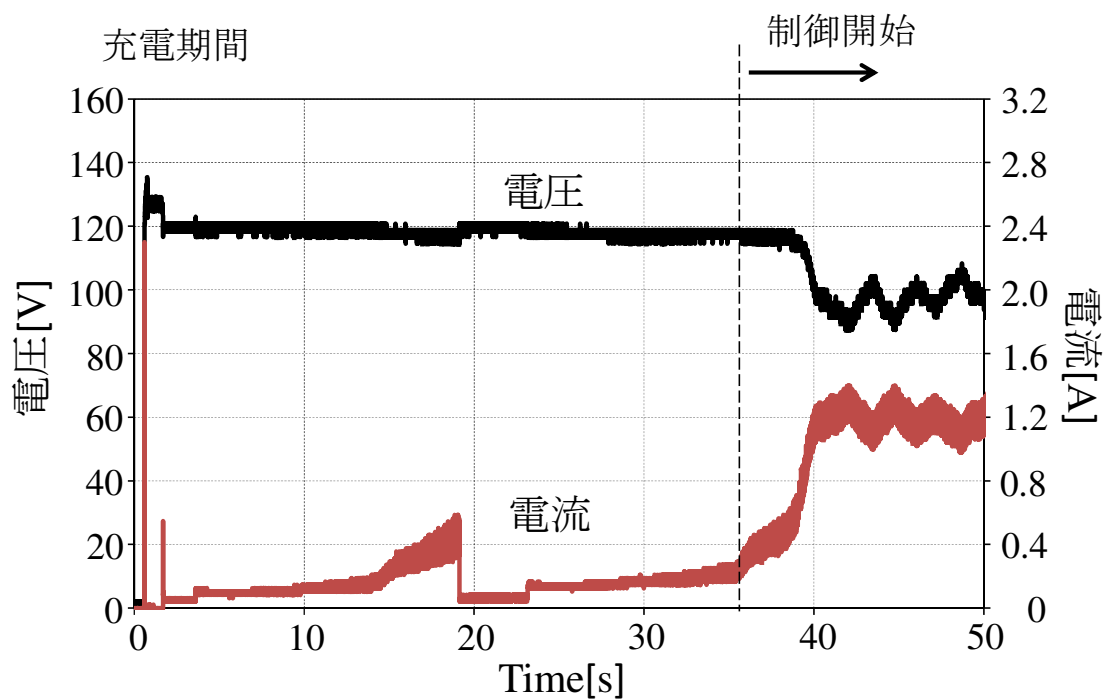


図 2.4 パワーコンディショナ稼働時の太陽電池の電流・電圧の時間変化

## 2.4 太陽電池協働システムの構成

図 2.5 に本研究で提案する太陽電池協働システムの構成を示す。太陽電池協働システムは小型風力発電システム、キャパシタ、電力変換回路で構成する。図 2.5 で示す太陽電池協働システムと太陽電池を直列に接続し、2つの発電システムでパワーコンディショナを稼働させるモードを直列接続モードとする。

太陽電池が発電していない場合、太陽電池は負荷となるため、太陽電池をバイパスし、太陽電池協働システム単独でパワーコンディショナを稼働させる。このモードを単独運転モードとし、図 2.6 にその構成を示す。

以上の 2 つのモードを切り替えて小型風力発電システムを太陽光発電システムに追加していく。

本稿では、提案手法によりパワーコンディショナを稼働できるかの検証を行っている段階なので、小型風力発電システムは接続していない。また、キャパシタの電圧は充電量により変動が大きいため、バッテリーに置き換え安定電圧源で検証を行っている。図 2.7 に検証を行っている現段階のシステム構成を示す。

本研究で用いる電力変換回路には 3 つの条件を満たす回路が必要となる。1 つ目はパワーコンディショナを稼働させるために必要な電圧を確保できることである。太陽電池協働システム単独でパワーコンディショナを稼働させる単独運転モードにおいて、バッテリー電圧はあまり高くすることができない。しかし、バッテリー電圧が低いとパワーコンディショナを稼働できる最低電圧を確保できない。そこで、バッテリー電圧を昇圧し、パワーコンディショナが稼働可能な電圧に昇圧できる回路が必要となる。

2 つ目はパワーコンディショナの入力可能電圧を超えない範囲で電圧を入力する必要がある。太陽電池と太陽電池協働システムでパワーコンディショナを稼働させる直列接続モードにおいて、太陽電池協働システムと太陽電池の出力電圧の和がパワーコンディショナの入力可能電圧を超えないようにする必要があるため、バッテリー電圧を降圧できる回路が必要となる。

3 つ目はパワーコンディショナの応答性より電力変換回路の出力電圧の応答性を早くする必要はある。出力電圧制御の応答性をよくするために出力キャパシタからバッテリーへの電力回生が必要となる。

以上の条件より、入力と出力を入れ替えることで昇圧と降圧を変更でき、電力回生が可能な双方向チョッパ回路を電力変換回路に利用する。

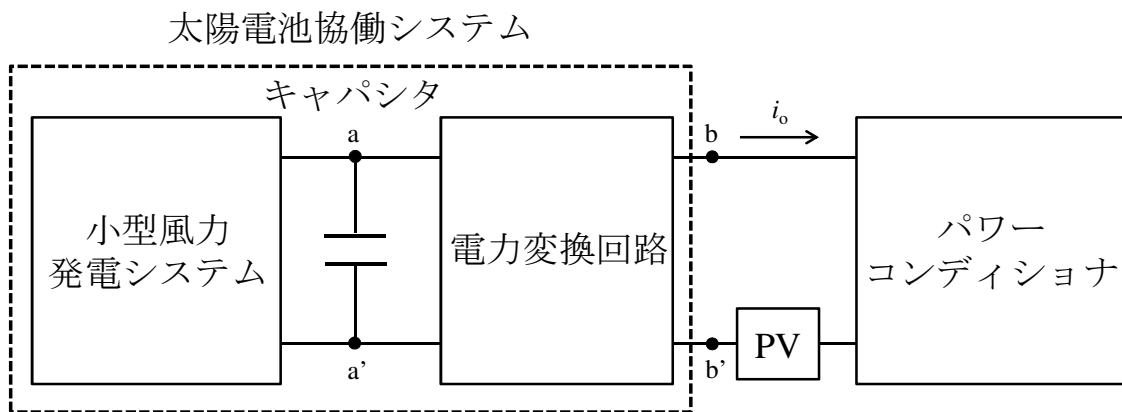


図 2.5 太陽電池協働システムの構成

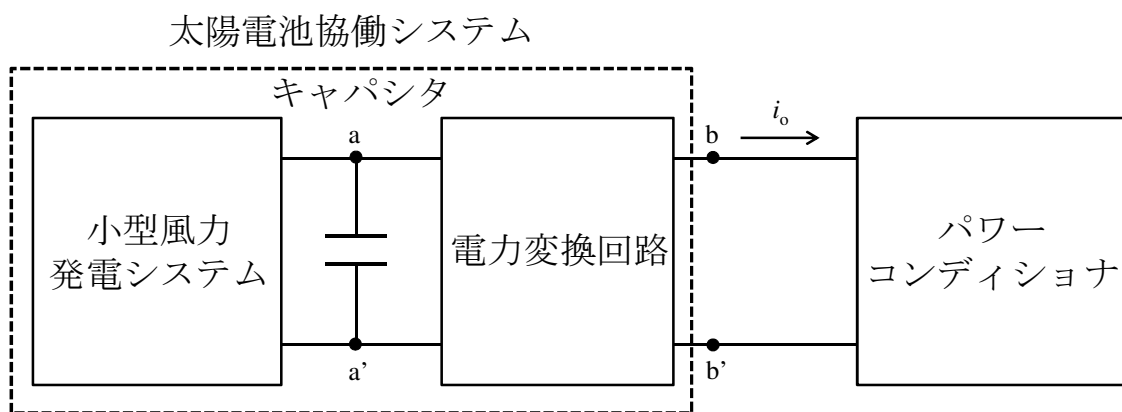


図 2.6 単独運転モードの構成

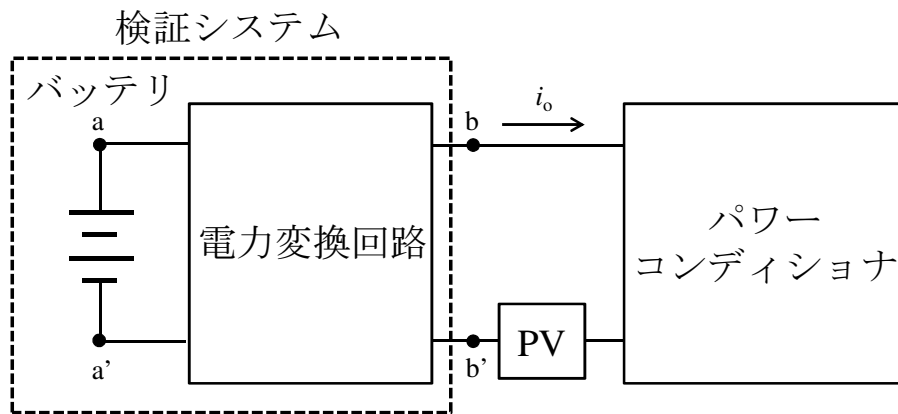


図 2.7 検証システムの構成

## 2.5 出力制御の流れ

ここでは太陽電池協働システムの出力制御の流れを説明する。まず、小型風力発電システムが風を受けて小型風車が回転することで発電する。風速・風向は常に変動するため、その発電した電力には変動成分が含まれる。その電力をキャパシタに充電することで、変動成分を取り除く。そして、電力変換回路の出力電流を検出し、パワーコンディショナが稼働可能な特性となるように、電力変換回路の出力電圧を制御する。この出力電流とは、図 2.5 において、電力変換回路から太陽電池を流れ、パワーコンディショナに流れる電流のことである。

図 2.7 でも示したように、現段階では小型風力発電システムは接続しておらず、キャパシタをバッテリーで置き換えている。

## 第三章 単独運転モード

### 3.1 概要

ここでは太陽電池が発電していない場合に太陽電池協働システム単独でパワーコンディショナを稼働させる単独運転モードを説明する。単独運転モードでは電力変換回路からパワーコンディショナに流れる電流を検出し、その電流から太陽電池協働システム単独でパワーコンディショナが稼働可能な特性となるように電圧を制御する。そのため、電流を変数とした電圧のモデル式を決定する。この時、太陽電池の特性と大きく異なるモデル式にしてしまうとパワーコンディショナが稼働しない可能性があるため、近い特性となるように決定する。



### 3.2 モデル式の決定法

ここでは単独運転モードにおけるモデル式の決定法を説明する。本研究ではモデル式を2本の直線式で表現する。2本のモデル式は最大電力点、開放電圧、短絡電流の3点から決定する。まず、小型風力発電システムの発電量を考慮して太陽電池協働システムからパワーコンディショナに供給する電力を決定する。この供給電力がモデル式の最大電力  $P_{max}$  となる。ここで、最大電力点電圧  $V_{max}$  をパワーコンディショナの動作電圧を考慮して一定値に固定する。最大電力点電圧  $V_{max}$  が決定したことで最大電力点電流  $I_{max}$  を計算で求めることができる。これで最大電力点が決定する。開放電圧  $V_{open}$  は最大電力点電圧  $V_{max}$  を1.25倍した値とする。同様に、短絡電流は最大電力点電流  $I_{max}$  を1.15倍した値とする。

以上の方法で求めた3点から2つのモデル式を求める。

$$V_{ref} = V_{open} + \frac{V_{max} - V_{open}}{I_{max}} i_o \quad (1)$$

$$V_{ref} = V_{max} + \frac{i_o - I_{max}}{I_{max} - I_{short}} V_{max} \quad (2)$$

図3.1に2つのモデル式による電流－電圧特性を示す。電力変換回路の出力電流が最大電力点電流  $I_{max}$  より小さい場合はモデル式(1)を用い、出力電流が  $I_{max}$  より大きい場合はモデル式(2)を用いて、電圧指令値  $V_{ref}$  を決定することで出力電圧を制御する。

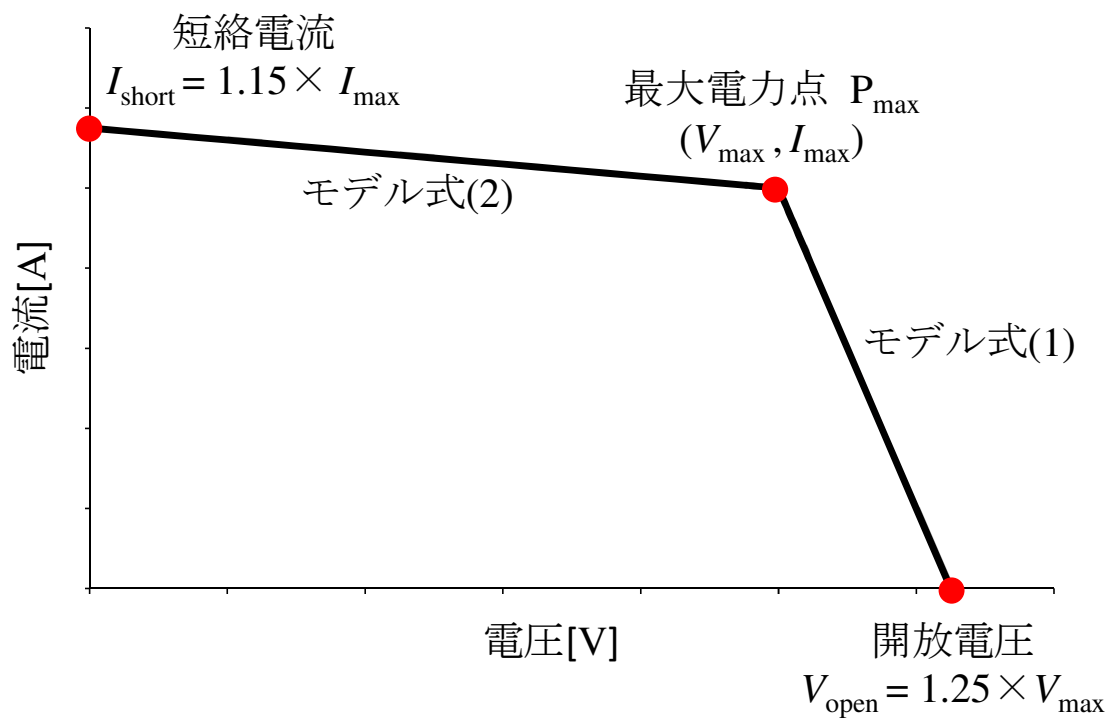


図 3.12 つのモデル式

### 3.3 単独運転モードにおける電力変換回路の構成

本研究では小型風力発電システムを用いてバッテリーを充電するため、バッテリーの電圧をあまり高くできない。また、最大電力動作点の変動した場合、パワーコンディショナは新たな最大電力動作点へと動作点を推移させるので、この時のパワーコンディショナの応答速度に対応する必要がある。そのため、太陽電池協働システムの単独運転モードに用いる電力変換回路にはバッテリーの電圧を昇圧し、電圧の制御を素早く行える回路が必要である。そのため、本研究では電力変換回路にこれらの条件を満たす双方向チョップ回路を用いる。

図 3.2 に単独運転モードにおける双方向チョップ回路の構成を示す。図 3.2 は検証に用いる回路であり、キャパシタをバッテリーで置き換え、本来 a-a' に接続される小型風力発電システムは未接続である。

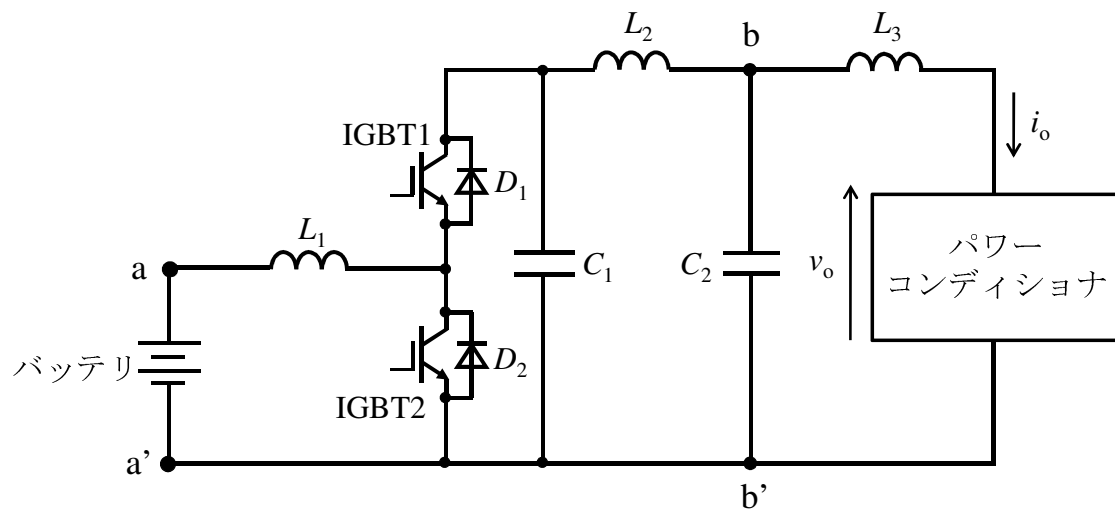


図 3.2 単独運転モードにおける双方向チョッパ回路の構成

### 3.4 単独運転モードにおける電力変換回路の動作

図 3.2 に示される双方向チョップ回路は、 $a-a'$  のバッテリー電圧を昇圧し、パワーコンディショナに入力する昇圧チョップ回路として動作する。双方向チョップ回路は周期に対する IGBT のオン期間の割合である *duty factor* を変化させることで昇圧率を変化させ、出力電圧  $v_o$  を電圧指令値  $V_{ref}$  に制御する。また、双方向チョップ回路を用いることで、出力電圧  $v_o$  が指令値より高くなった場合、コンデンサ  $C_2$  に蓄えられた電荷を放電することで逆電圧をかけ、 $a-a'$  側から  $b-b'$  側に流れる電流の量を調整できるため、電圧の制御を素早く行える。

双方向チョップ回路の  $a-a'$  から見た  $b-b'$  の昇圧率は、式 (3) である。

$$v_o = \frac{E}{1 - \text{duty}} \text{ [V]} \quad (3)$$

ここで、 $E$  は入力電圧、*duty* はスイッチングの 1 周期に対して IGBT2 のオン期間が占める割合のことを示す *duty factor*、 $0 < \text{duty} < 1$  の範囲である。

### 3.5 単独運転モードの電圧制御法

ここでは電圧制御法を説明する。図 3.3 に双方向チョッパ回路と制御ブロックを示す。まず、パワーコンディショナに流れる出力電流  $i_o$  を検出する。出力電流  $i_o$  と、モデル式(1)とモデル式(2)の交点である最大電力点電流  $I_{max}$  を比較し、式(1)と式(2)のどちらを用いて電圧指令値  $V_{ref}$  を決定するか判別する。 $i_o \leq I_{max}$  の場合は式(1)を用いて、 $i_o > I_{max}$  の場合は式(2)を用いて電圧指令値  $V_{ref}$  を決定する。本研究の最大電力点電流  $I_{max}$  は小型風力発電システムの発電量  $P_{wind}$  から決定した最大電力  $P_{max}$  を最大電力点電圧  $V_{max}$  で割った値である。次に、パワーコンディショナの入力電圧である双方向チョッパ回路の出力電圧  $v_o$  を検出し、電圧指令値  $V_{ref}$  と出力電圧  $v_o$  との偏差を PI 制御し、キャリア比較することで、IGBT1 と IGBT2 をオン・オフ制御し、出力電圧  $v_o$  を電圧指令値  $V_{ref}$  へ制御する。

ここで、出力電圧  $v_o$  と電圧指令値  $V_{ref}$  の差分を PI 制御により duty factor  $duty$  を生成し、出力電圧を制御している。この時の出力電圧の式は式(3)に示した。PI 制御による  $duty$  の式は式(4)である。

$$duty = K_p \Delta V_o + K_i \int \Delta V_o dt \quad (4)$$

$K_p$  は比例ゲイン、 $K_i$  は積分ゲイン、出力電圧と電圧指令値の差分を  $\Delta V_o$  としている。

小型風力発電システムの発電電力  $P_{wind}$  をそのままパワーコンディショナへの供給電力とすると、供給電力である最大電力点の変化が激しいため、パワーコンディショナの最大電力点追従制御が遅れてしまう可能性がある。そこで、変動に対応できる範囲で電力を供給する必要があるため、小型風力発電システムの発電量を LPF2 に通し、高い周波数の変動を取り除く。

以上のように、出力電流  $i_o$  を検出し、モデル式を用いて出力電圧  $v_o$  の指令値を決定することでパワーコンディショナの入力特性を制御する。

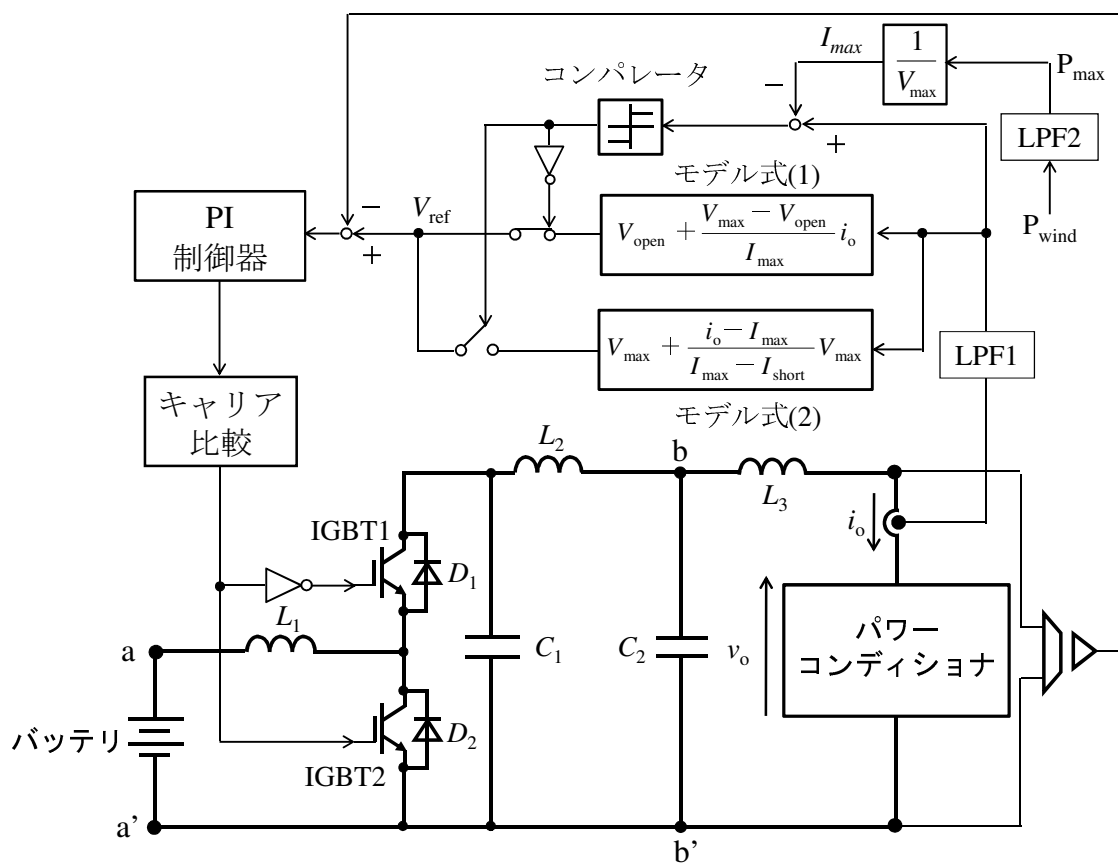


図 3.3 単独運転モードにおける双方向チョッパ回路と制御ブロック

## 3.6 単独運転モードの実機実験検証

### 3.6.1 パワーコンディショナの動作確認

パワーコンディショナとは太陽電池で発電した電力を需要家で利用可能な電力に変換する装置で、太陽電池の普及に伴い、パワーコンディショナも導入されている。

図 3.4 に太陽電池モジュールとパワーコンディショナを接続し、パワーコンディショナを稼働させた際の太陽電池の電圧・電流の時間変化を示す。図 3.4 より、動作点は最大電力点付近 (100[V], 1.2[A]) で動作を続けることがわかる。

本研究で提案する双方向チョッパ回路をパワーコンディショナに接続し、同様の動作を行うかを確認する。



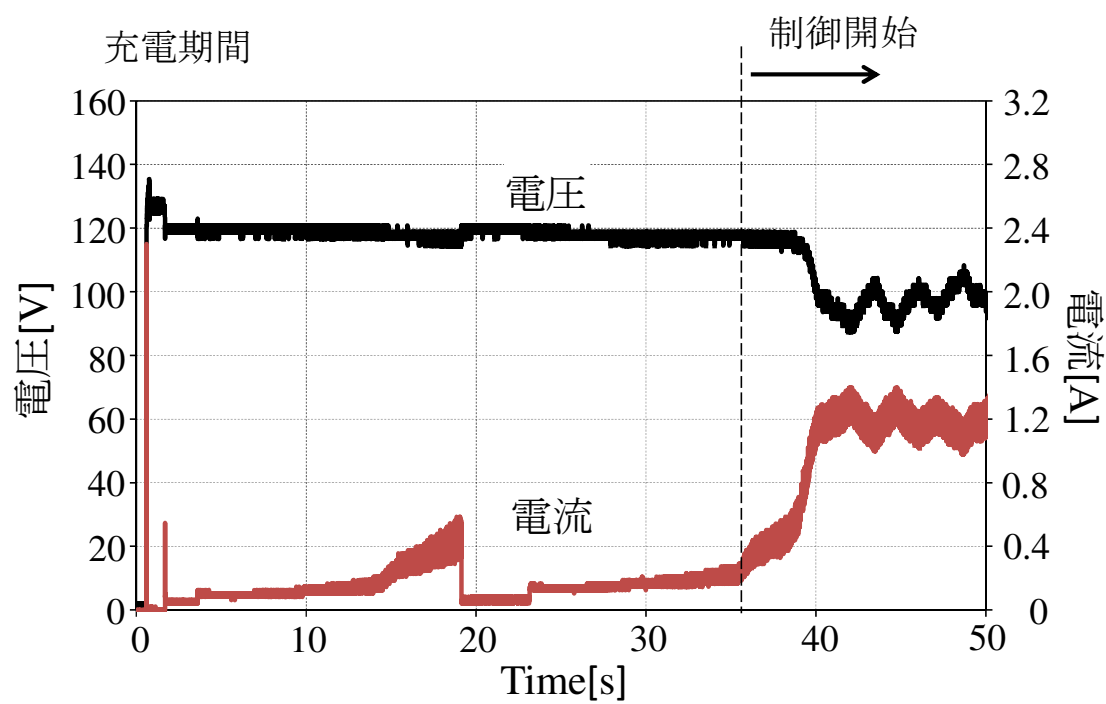


図 3.4 パワーコンディショナ稼働時の太陽電池の電流・電圧波形

### 3.6.2 単独運転モードの実機実験条件

ここでは、単独運転モードの実機実験条件について説明する。図 3.5 に実機実験で用いる回路を示す。実機実験によりパワーコンディショナが図 3.4 と同様の動作を行うかを検証する。表 3.1 に回路パラメータを示す。抵抗  $R$  はコンデンサへの急速充電を防止するためのもので、コンデンサの充電が終了次第バイパスする。双方向チョッパ回路はバッテリースイッチを入れてから数秒後に電圧制御が開始する。

今回、最大電力  $P_{\max}$  はこちらから指令値を与えており、最大電力  $P_{\max} = 80[\text{W}]$ 、最大電力点電圧  $V_{\max} = 100[\text{V}]$  で実験を行った。よって、最大電力点は  $(100\text{V}, 0.8\text{A})$  となる。図 3.6 にこの時の二つのモデル式を示す。

以上の条件で実機実験を行った際の電圧・電流を測定した。

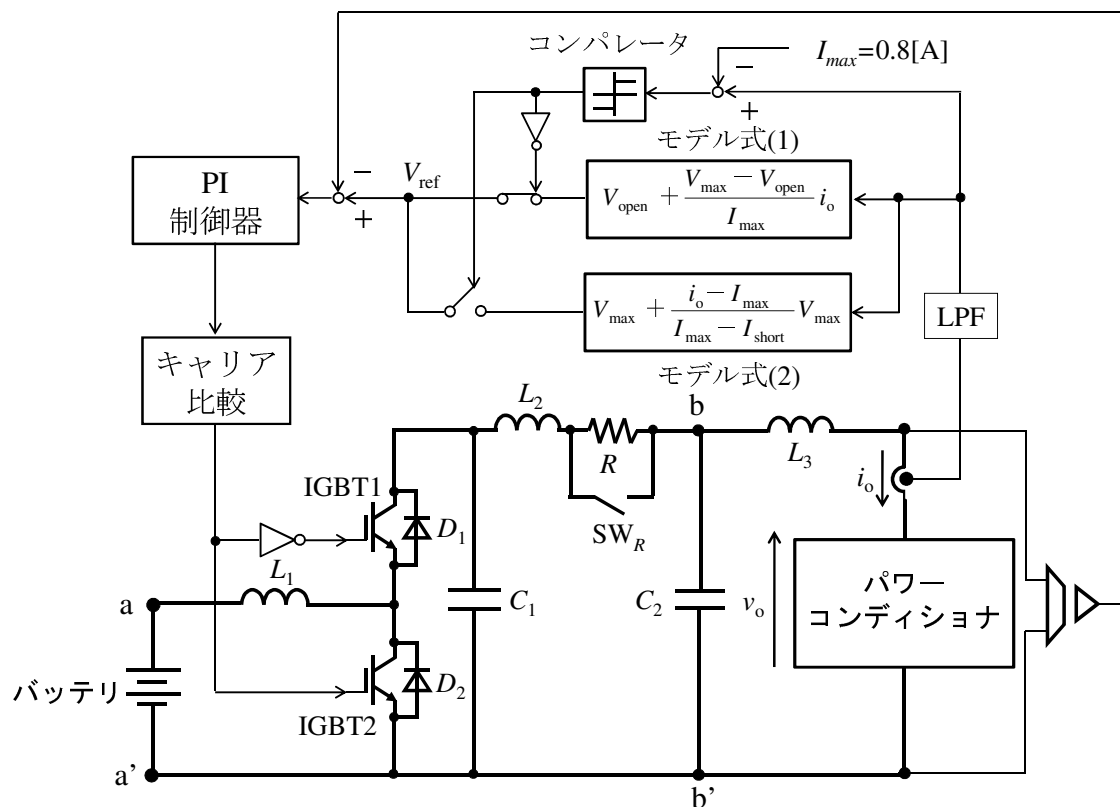


図 3.5 単独運転モードの実機実験回路

表 3.1 双方向チョップパの回路パラメータ

バッテリー電圧 $E$	51.2[V]
リアクタンス $L_1$	10[mH]
リアクタンス $L_2$	2.0[mH]
リアクタンス $L_3$	1.0[mH]
コンデンサ $C_1$	13.2[ $\mu\text{F}$ ]
コンデンサ $C_2$	1.5[ $\mu\text{F}$ ]
抵抗 $R$	50[ $\Omega$ ]
スイッチング周波数	15[kHz]
LPF のカットオフ周波数	1.5[kHz]
比例ゲイン $K_p$	0.01
積分ゲイン $K_i$	0.0133

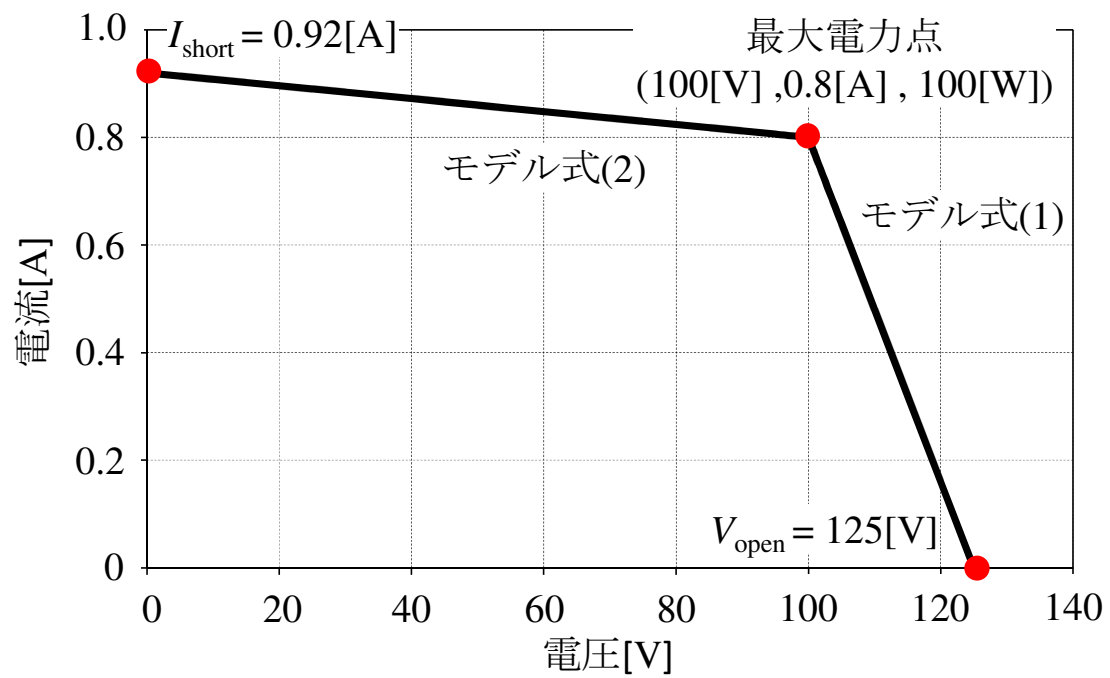


図 3.6 最大電力点(100[V], 0.8[A])時のモデル式

### 3.6.3 単独運転モードの実機実験結果

図 3.7 に単独運転モードの実機実験による電圧・電流の時間変化を示す。図 3.7 は図 3.4 の太陽電池を接続してパワーコンディショナを稼働させた場合と同じような動作を行っている。最初にパワーコンディショナ内キャパシタの充電期間が存在し、最大電力点追従制御により最大電力点(100[V], 0.8[A])付近で動作している。以上より、提案手法でパワーコンディショナを稼働することができたと考えられる。

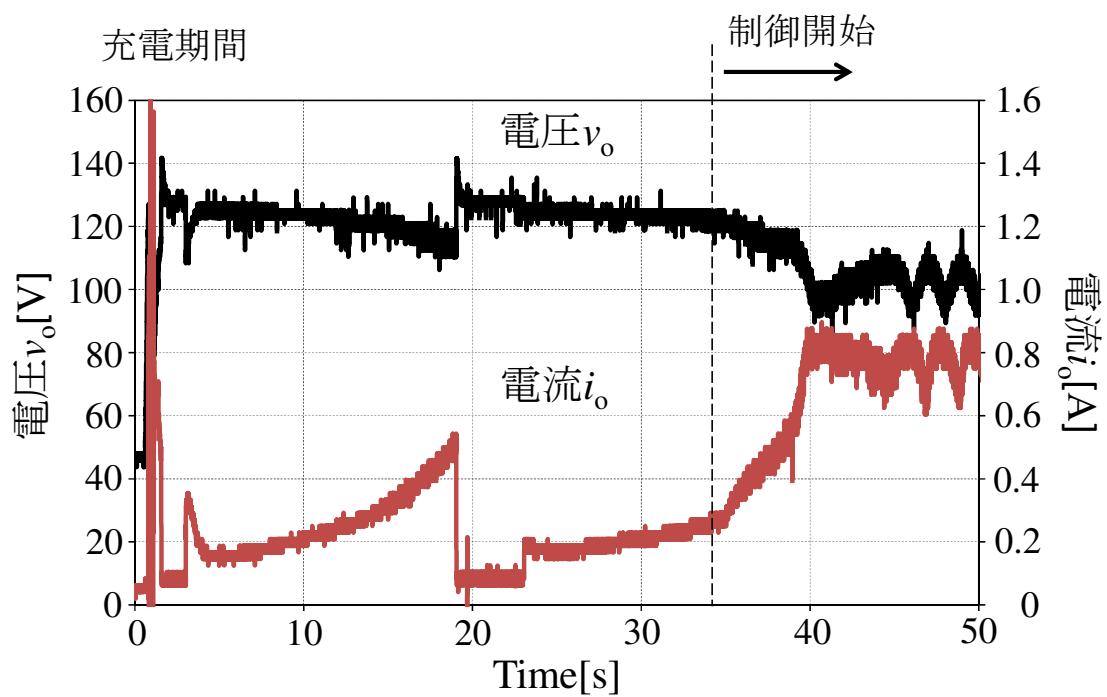


図 3.7 単独運転モードの実機実験による電圧・電流の時間変化

### 3.6.4 電力指令値の変化を考慮した実機実験条件

本研究では双方向チョッパ回路の入力側に小型風力発電システムを接続し、発電電力により充電を行う。その発電電力からパワーコンディショナに供給する電力を決定する。しかし、小型風力発電システムの発電量は風況に依存するため、一定の発電量を得ることはできない。風力発電の発電量をそのままパワーコンディショナへの供給電力とすると、風力発電の変動に対してパワーコンディショナが十分応答できないため、応答速度も考慮して供給電力を決定する必要がある。風力発電の発電量より供給電力が少ない時は余剰電力をバッテリーに充電し、後に放電する。以上より、パワーコンディショナが十分応答できる範囲で電力指令値を変化させることが条件となる。

電力指令値の決定法について説明する。太陽電池協働システムの電力指令値をステップに変化させ、その時のパワーコンディショナの応答速度までが電力指令値を変化させる速度の限界となる。図 3.8 に電力指令値をステップに変化させた際のパワーコンディショナの応答を示す。この時、電力指令値を 80[W]から 130[W]へと 50[W]変化させているので、最大電力点電流は 0.8[A]から 1.3[A]に動作点に変化する。最大電力点電圧は電力を変化させた場合でも 100[V]一定である。図 3.8 より、約 1 秒かかってから 1.3[A]に制御されていることがわかる。よって、電力指令値を変化させる速度の限界は 50[W/s]となる。

以上の結果より、こちらが与える電力指令値の条件を決定する。今回は 130[W]を中心とした振幅 50[W]、周波数 0.25[Hz]の三角波を指令値として与えて実機実験を行った。電力指令値を三角波で変化させたことにより最大電力点電流が三角波の変化をする。図 3.9 に電力を変化させた際のモデル式の変化の概要を示す。

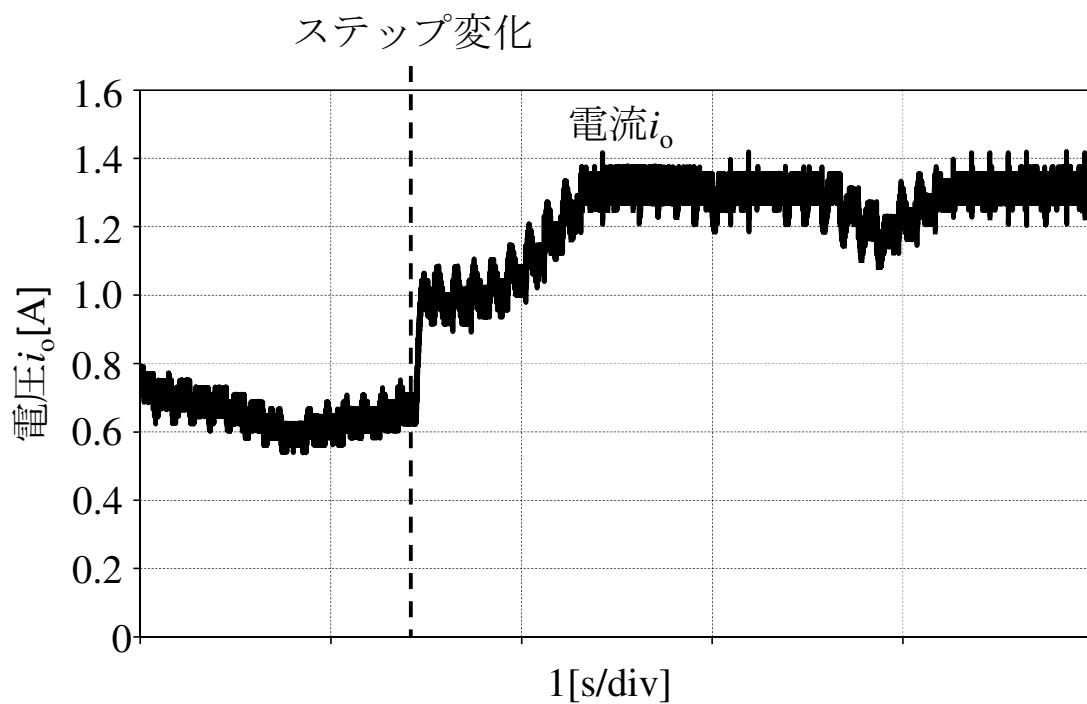


図 3.8 電力指令値をステップに変化させた際のパワーコンディショナの応答

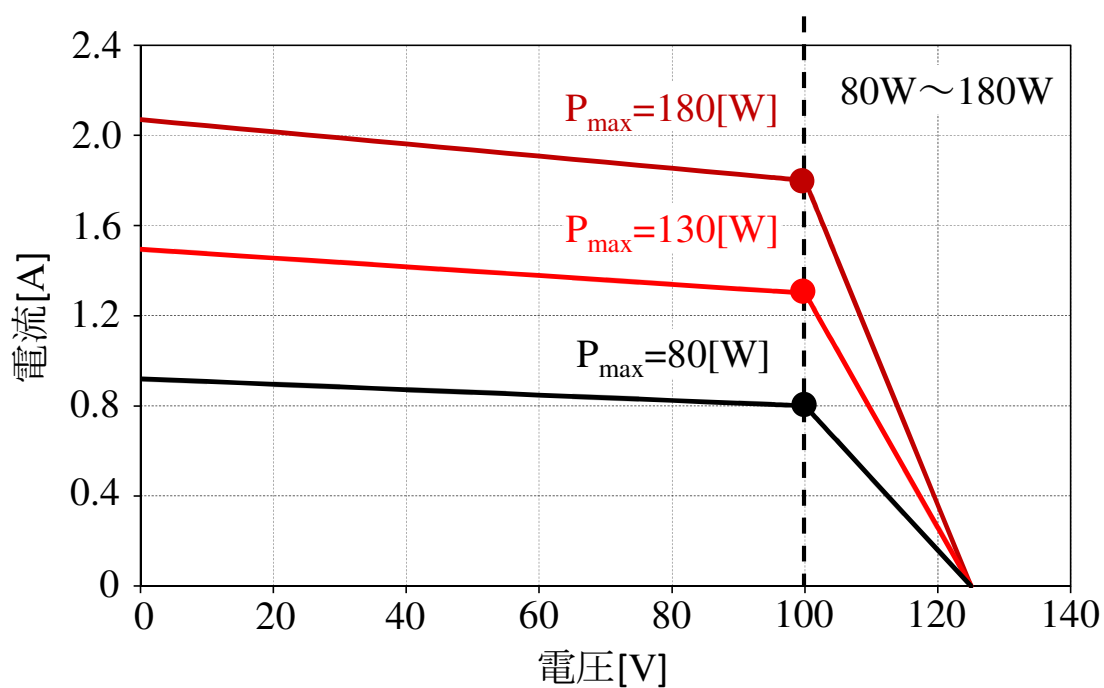


図 3.9 電力指令値を変化させた場合のモデル式の変化の概要



### 3.6.5 電力指令値の変化を考慮した実機実験結果

図 3.10 に電力指令値を変化させた際の実機実験結果を示す。図 3.10 より、出力電圧は 100[V]付近で動作しており、出力電流は 0.8[A]と 1.8[A]を谷と山とした三角波の変化をしている。約 43[s]の地点で電流が三角波と異なる変化をしているが、これはパワーコンディショナが最大電力点追従 (MPPT) 制御により入力インピーダンスを常に変化させることが原因となっており、パワーコンディショナの動作に影響はない。

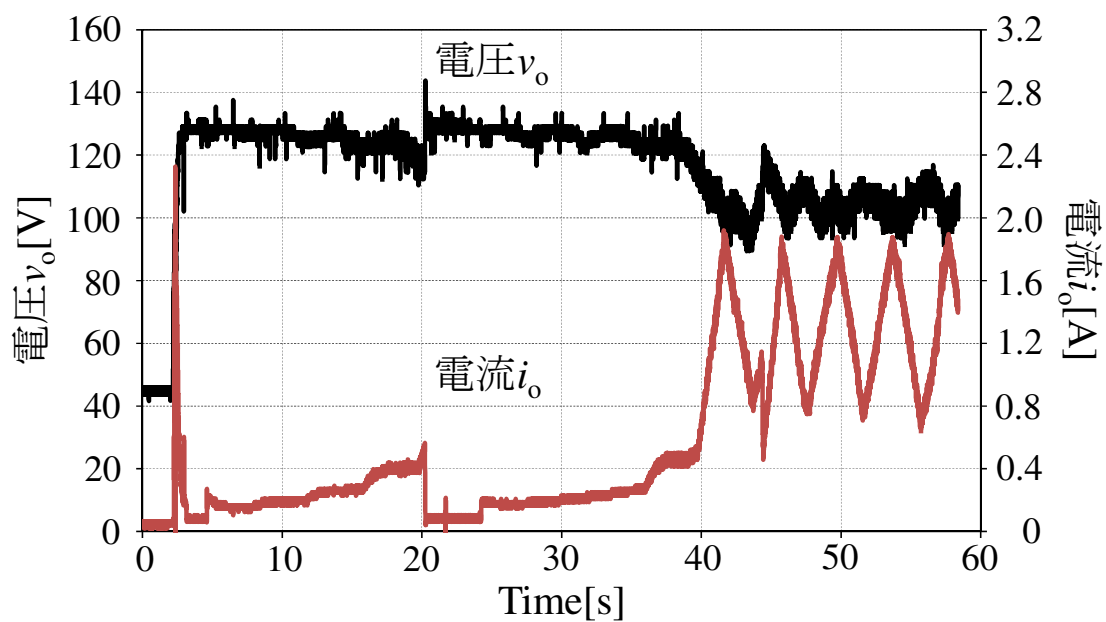


図 3.10 電力指令値を変化させた際の実機実験結果

### 3.6.6 単独運転モードの考察

ここでは、単独運転モードにおける出力電流について考察する。実機実験では図 3.5 で示された構成で行ったが、可能な限り出力フィルタの素子数は少ないほうが良い。しかし、リアクトル  $L_3$  を取り外した構成でパワーコンディショナを稼働させた際、最大電力点付近の出力電流  $i_o$  に大きな脈動が発生する。図 3.11 に  $L_3$  無しの場合の太陽電池協働システムの実機実験回路を示す。この時、回路パラメータは表 3.1 と同様である。図 3.12 に実機実験による電圧・電流の時間変化を示す。図 3.7 と比べて脈動が大きいことがわかる。この脈動成分がパワーコンディショナの動作に影響を与える可能性があるので原因を解明した。

まずは、脈動の周波数成分を調べた。今回、最大電力点(100[V], 0.8[A])で実験を行った。図 3.13 に出力電流の FFT 解析結果を示す。図 3.13 より約 17[kHz]の倍数成分が大きく発生していることがわかる。しかし、双方向チョップ回路のスイッチング周波数は 15[kHz]であり、17[kHz]の倍数の周波数成分を発生する要因は双方向チョップ側にはない。そこで、パワーコンディショナの動作に注目し、太陽電池でパワーコンディショナを稼働させた場合の出力電流の周波数成分を調べた。今回、日射量の関係で実験条件を太陽電池協働システムと一致させることが難しかったので最大電力点(100[V], 1.0[A])で実験を行った。図 3.14 に太陽電池の出力電流の FFT 解析結果を示す。図 3.14 よりこちらも同様に約 17[kHz]の倍数成分が大きく発生している。太陽電池には脈動を発生させる原因は無いため、脈動成分の発生原因はパワーコンディショナの動作によるものである。

この周波数成分は電流が変化しても大きく変化せず、パワーコンディショナの入力電圧が高いほど高周波数の倍数成分となり、大きさは小さくなる。図 3.15 に最大電力点電流のみが変化した場合の一例を示し、図 3.16 に最大電力点電圧のみ変化した場合の一例を示す。図より電圧にのみ依存していることがわかる。

しかし、各成分を見てみると太陽電池協働システム接続時の方が大きな値を示しており、脈動が大きくなっており、この増幅原因の解明が必要である。

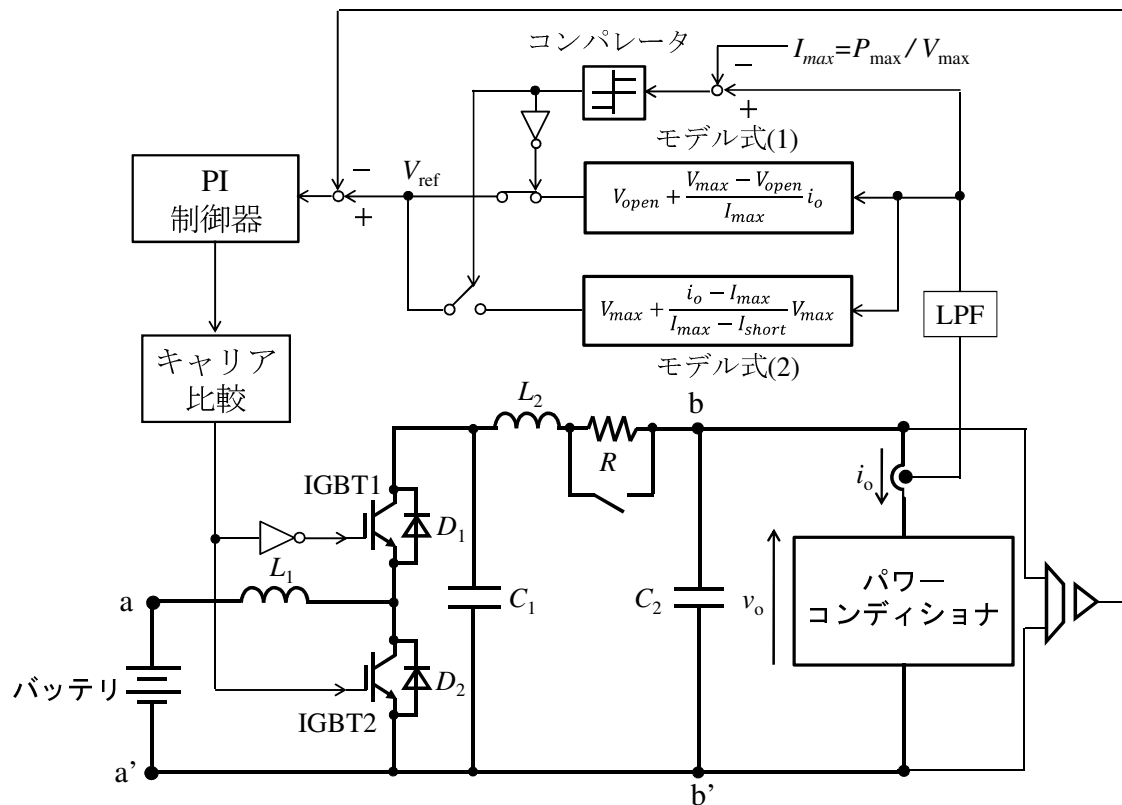


図 3.11 リアクトル  $L_3$  を取り外した場合の実機実験回路

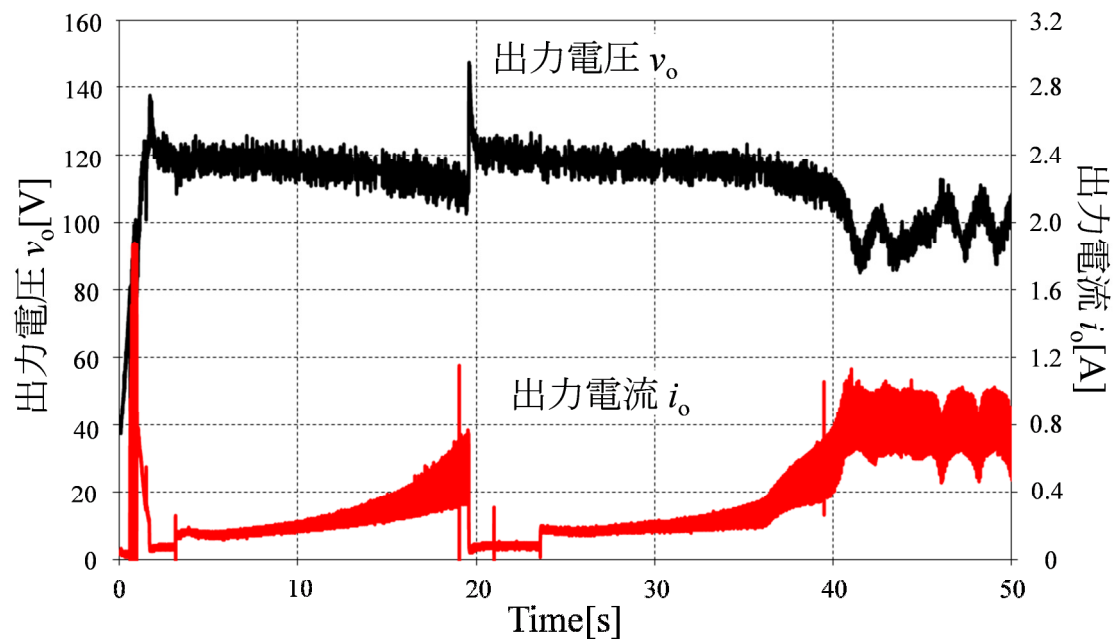


図 3.12 リアクトル  $L_3$  を取り外した場合の電圧・電流の時間変化

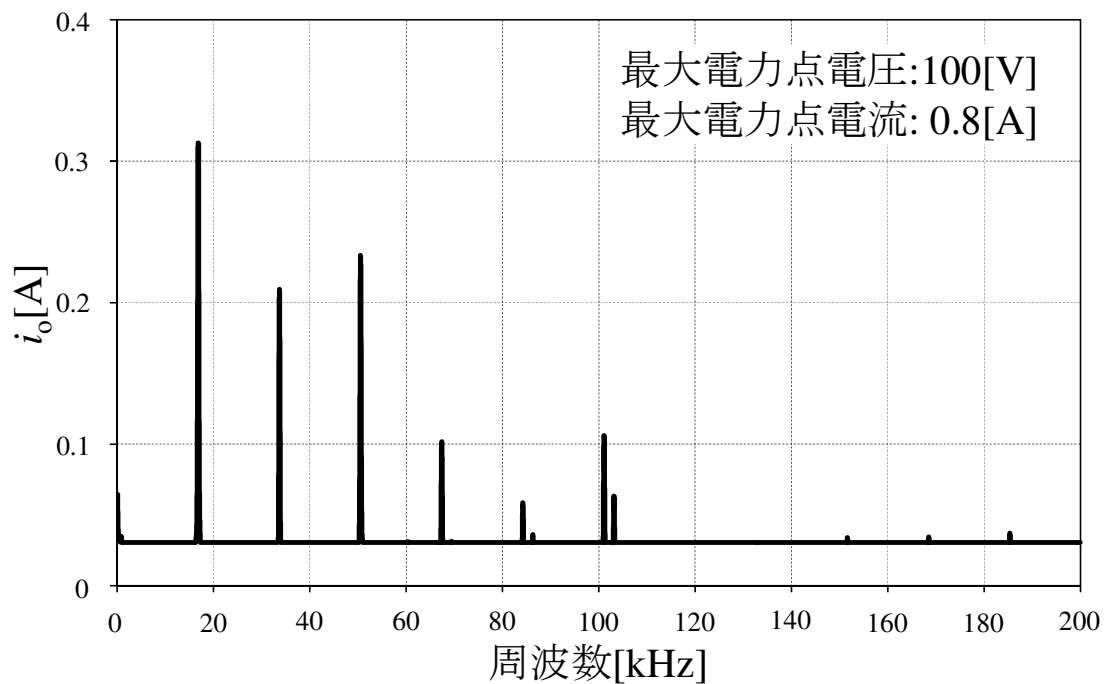


図 3.13 太陽電池協働システムの出力量電流 FFT 解析結果

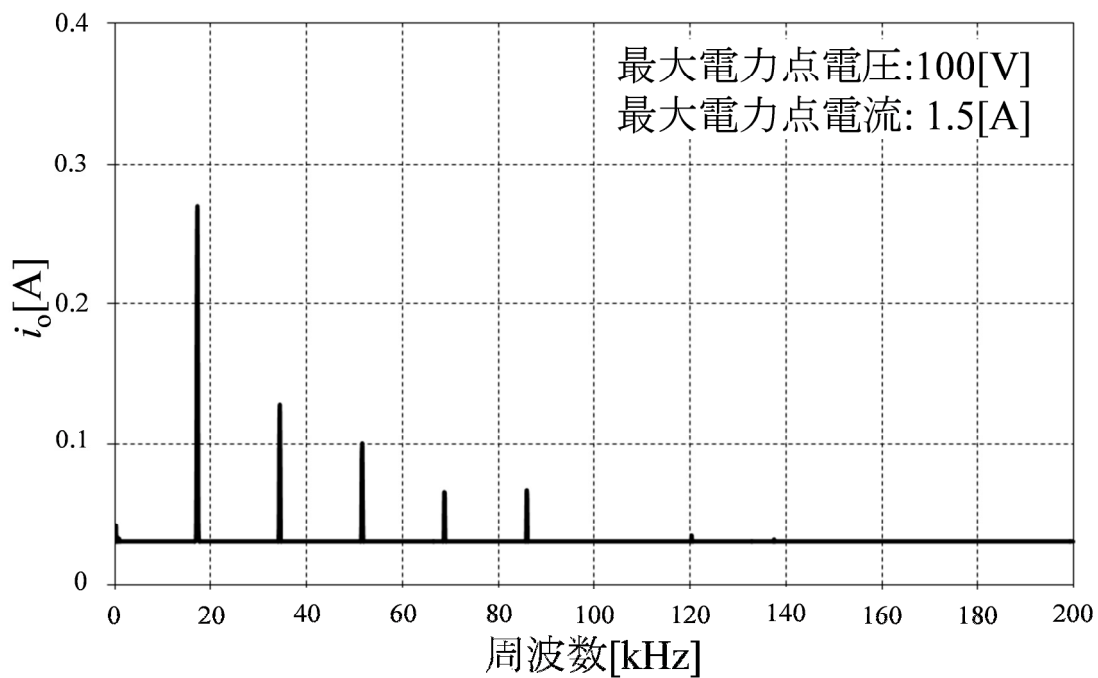


図 3.14 太陽電池の出力量電流 FFT 解析結果

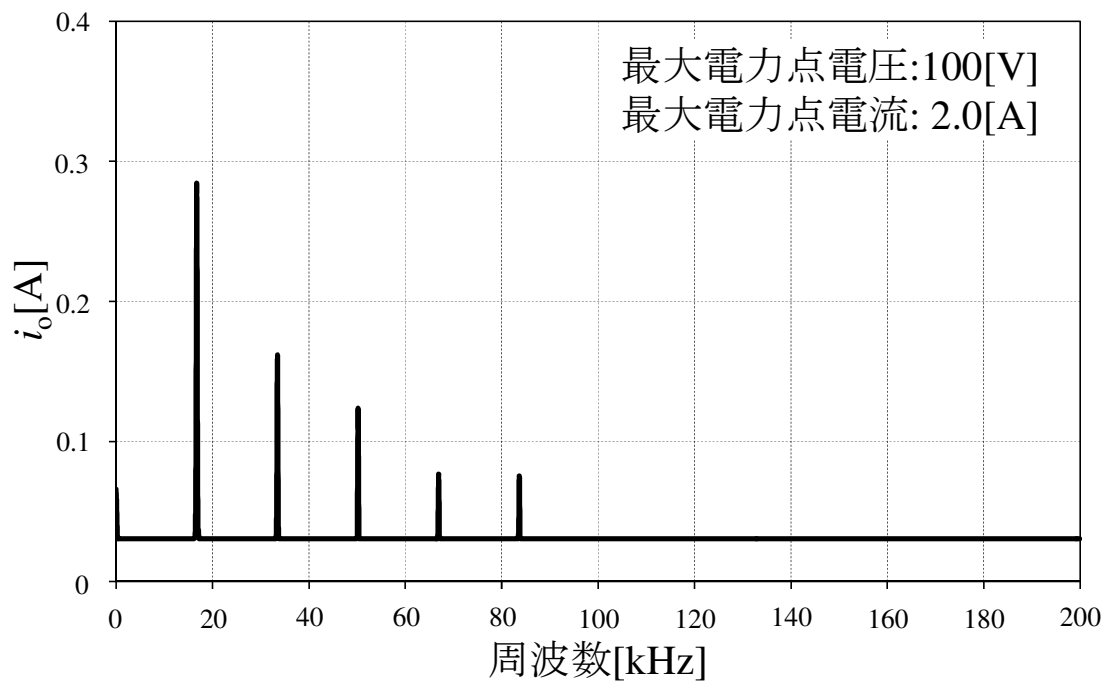


図 3.15 太陽電池の出力電流 FFT 解析結果  
(最大電力点電流変化)

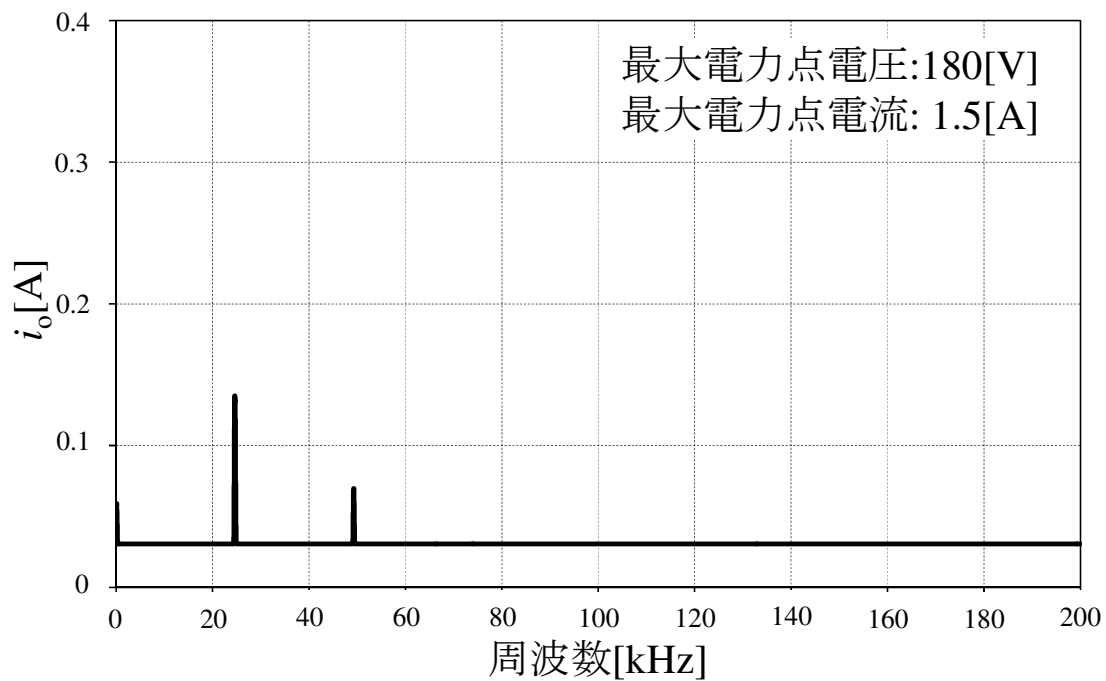


図 3.16 太陽電池の出力電流 FFT 解析結果  
(最大電力点電圧変化)

## 第四章 直列接続モード

### 4.1 概要

ここでは太陽電池が発電している場合に太陽電池協働システムと太陽電池，二つの発電システムでパワーコンディショナを稼働させる直列接続モードを説明する。直列接続モードでは太陽電池の出力電流をそのまま電力変換回路の出力電流とし，太陽電池協働システムから供給する電力となるように電圧を制御する。そのため，出力電流を検出し，供給電力を出力電流で割ることで電圧指令値を決定する。供給電力は小型風力発電システムの発電量から決定する。

## 4.2 パワーコンディショナへの入力特性

ここでは直列接続モードにおけるパワーコンディショナへの入力特性を説明する。直列接続モードでは太陽電池と太陽電池協働システムを直列にパワーコンディショナに接続するため、太陽電池と太陽電池協働システムの実出力電圧の和がパワーコンディショナの入力特性となる。つまり、太陽電池の発電電力に太陽電池協働システムからの供給電力を加算する。そのため、太陽電池の最大電力点電流で動作する時、直列接続モードの電力は最大となる。図 4.1 に直列接続モードにおけるパワーコンディショナの入力特性の一例を示す。太陽電池の特性を太陽電池協働システムの実出力電圧だけシフトする。



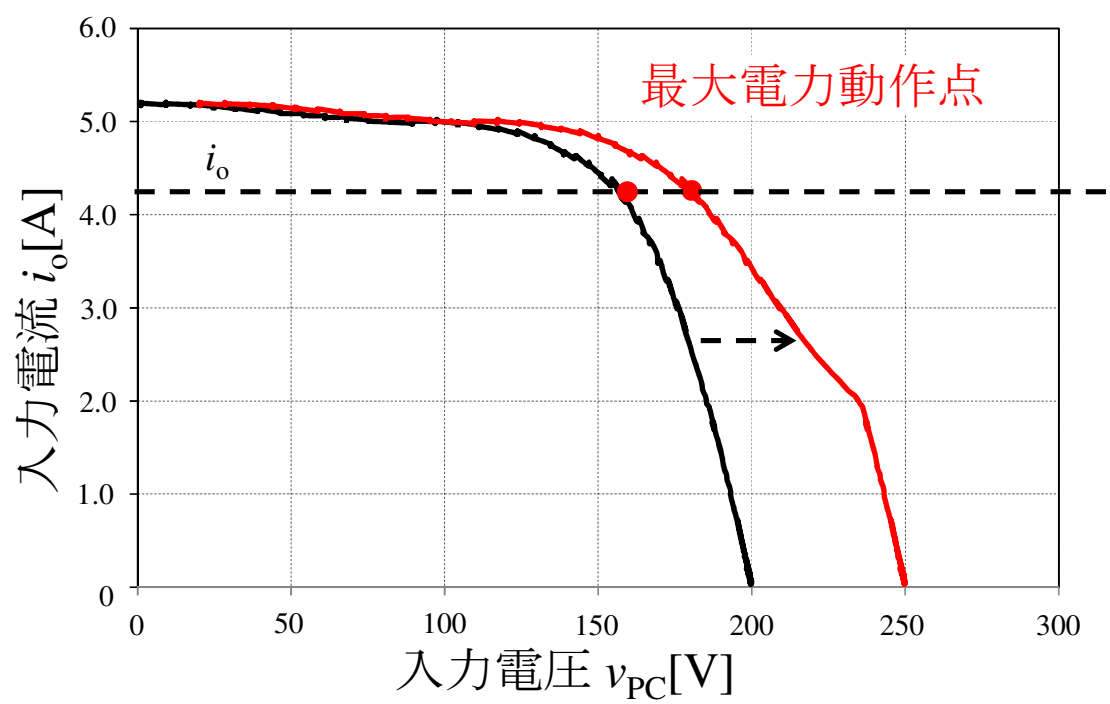


図 4.1 直列接続モードにおけるパワーコンディショナへの入力特性の一例

### 4.3 直列接続モードにおける電力変換回路の構成

直列接続モードでは太陽電池と太陽電池協働システムを直列接続し、パワーコンディショナに接続する。そのため、太陽電池と太陽電池協働システムの実出力電圧の和がパワーコンディショナの入力電圧となる。しかし、パワーコンディショナの入力電圧には制限があるため、二つの電圧の和がその制限の範囲内に抑える必要がある。そこで、単独運転モードで用いた双方向チョップ回路の入力と出力を入れ替えることで降圧チョップとして動作させる。バッテリー電圧を降圧することで、制限の範囲内に抑える。

図 4.2 に直列接続モードにおける双方向チョップ回路の構成を示す。本来、バッテリーには小型風力発電システムが接続されるが、今回は未接続である。

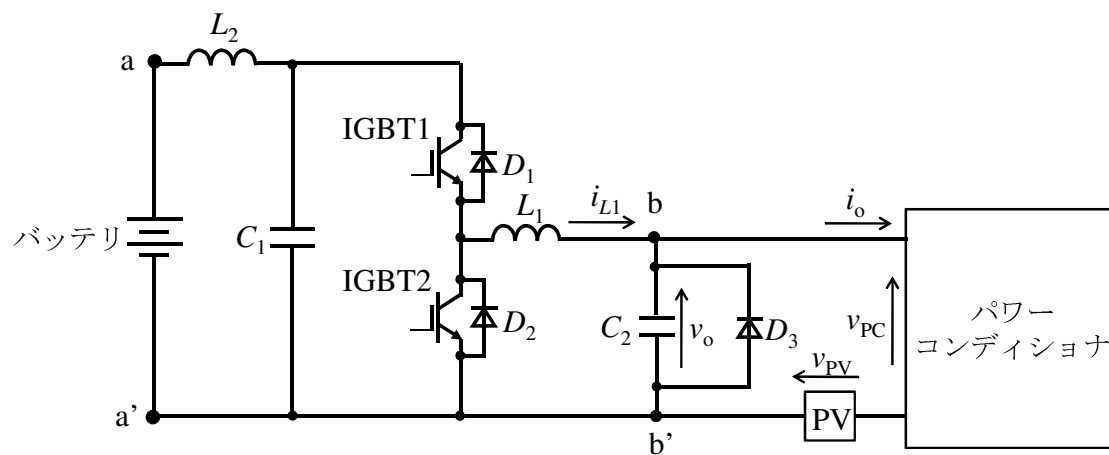


図 4.2 直列接続モードにおける双方向チョップ回路の構成

#### 4.4 直列接続モードにおける電力変換回路の動作

図 4.2 に示される双方向チョップ回路は、 $a-a'$  のバッテリー電圧を降圧し、パワーコンディショナに入力する降圧チョップ回路として動作する。双方向チョップ回路は **duty factor** を変化させることで降圧率を変化させ、出力電圧  $v_o$  を電圧指令値に制御する。

ダイオード  $D_3$  をコンデンサ  $C_2$  に並列に接続することで、太陽電池から流れてくる電流をバイパスしている。太陽電池からコンデンサ  $C_2$  の向きに電流が流れ込むと、負の電圧が発生してしまい、パワーコンディショナの稼働可能電圧を下回ってしまう可能性があるため、それを防止している。

双方向チョップ回路の  $a-a'$  から見た  $b-b'$  の降圧率は、式(5)である。

$$v_o = \text{duty} \cdot E \text{ [V]} \quad (5)$$

ここで、 $E$  は入力電圧、 $\text{duty}$  はスイッチングの 1 周期に対して IGBT1 のオン期間が占める割合のことを示す **duty factor**、 $0 < \text{duty} < 1$  の範囲である。

#### 4.5 直列接続モードの制御法

図 4.3 に直列接続モードにおける双方向チョッパ回路と制御ブロックを示す。ここでは電圧制御法を説明する。本研究の直列接続モードでは太陽電池が最大電力点で動作している状態になってから太陽電池協働システムが電力を供給し始めることを考えている。そこで、 $T_2$  時間経過するまでは電圧制御を行わず、電流制御を行うことで双方向チョッパ回路から流れるリアクトル電流  $i_{L1}$  とパワーコンディショナに流れる電流  $i_o$  を一致させるように制御する。電流制御によりコンデンサ  $C_2$  に流れる電流を  $0[A]$  とすることで、出力電圧を  $0[V]$  に保つとともに、電圧制御開始時に電流が急激に流れ込むのを防止する。出力電流  $i_o$  とリアクトル電流  $i_{L1}$  との偏差を PI 制御し、キャリア比較することで、IGBT1 と IGBT2 をオン・オフ制御し、リアクトル電流  $i_{L1}$  を出力電流  $i_o$  へ制御する。

次に、 $T_2$  時間経過後に電圧制御を開始する。検出してきた出力電流  $i_o$  で供給電力  $P_{max}$  を割ることで双方向チョッパ回路の制御したい電圧指令値  $V_{ref}$  を決定する。電圧指令値  $V_{ref}$  は計算で求めた値にステップ変化させるのではなく、 $T_1$  時間かけて傾き一定で変化させる。この時の電圧指令値を決定する式は式(6)である。

$$V_{ref} = \frac{1}{T_1} \times \frac{P_{max}}{i_o} (t - T_2) \quad (6)$$

式(5)で求めた電圧指令値  $V_{ref}$  と出力電圧  $v_o$  との偏差を PI 制御し、キャリア比較することで、IGBT1 と IGBT2 をオン・オフ制御し、出力電圧  $v_o$  を電圧指令値  $V_{ref}$  へ制御する。

単独運転モードと同様に、小型風力発電システムの発電電力  $P_{wind}$  をそのままパワーコンディショナへの供給電力  $P_{max}$  とすると、パワーコンディショナの最大電力点追従制御が遅れてしまう可能性がある。そこで、変動に対応できる範囲で電力を供給する必要があるため、小型風力発電システムの発電量を LPF2 に通し、高い周波数の変動を取り除く。

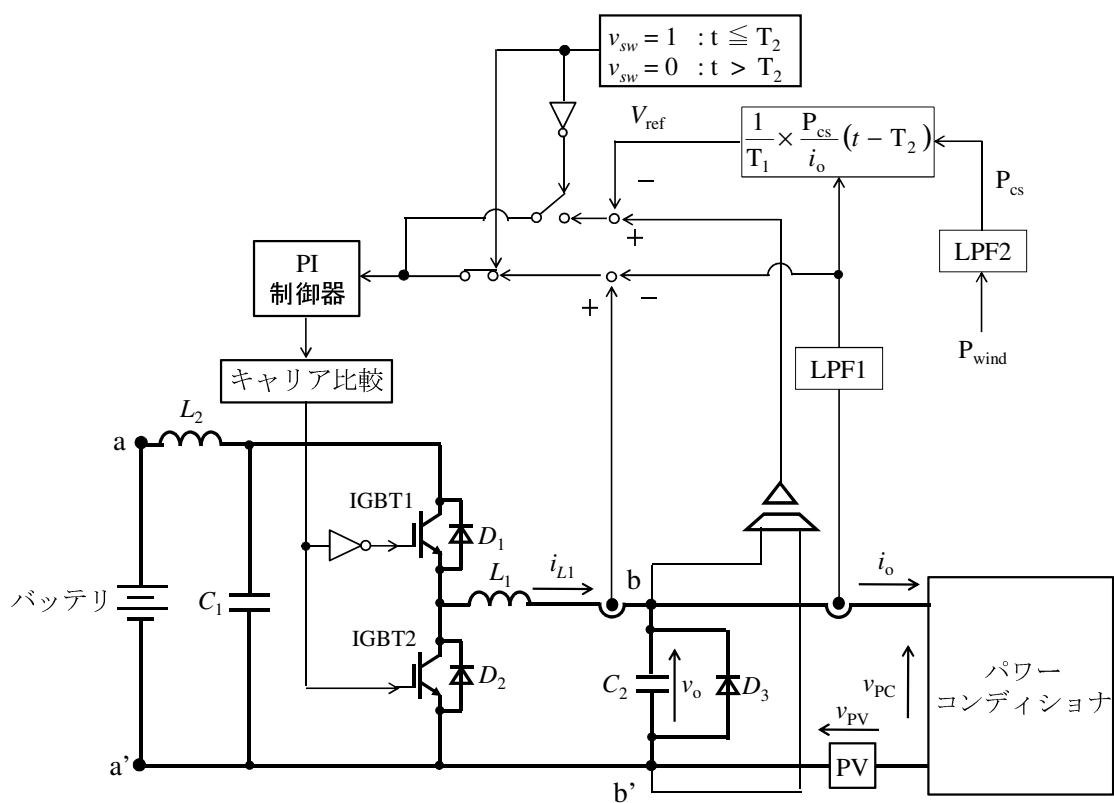


図 4.3 直列接続モードにおける双方向チョップ回路と制御ブロック

## 4.6 シミュレーション及び実機実験による検証

### 4.6.1 シミュレーションの目的

実機実験を行う前にシミュレーションで提案した制御法を検証する。まず、最大電力点追従制御により太陽電池を最大電力点で動作している状態にする。この時、太陽電池協働システムは電流制御により双方向チョッパ回路から流れてくる電流であるリアクトル電流  $i_{L1}$  を出力電流  $i_o$  に制御する。その後、太陽電池協働システムの出力電圧を制御し、電力を供給する。その際、最大電力点追従制御により太陽電池と太陽電池協働システムをともに最大電力点で動作させることができるか検証する。

## 4.6.2 直列接続モードのシミュレーション条件

### (a)シミュレーション条件の詳細

ここでは直列接続モードのシミュレーション条件を説明する。図 4.4 に今回用いたシミュレーション回路の構成を示し、表 4.1 にシミュレーション回路のパラメータ及び各数値の値を示す。また、表 4.2 に太陽電池の各パラメータを示す。太陽電池のパラメータは本研究で用いている実機の定格値とした。

最初に最大電力点追従制御を用いて太陽電池を最大電力点で動作させる。この時、スイッチ SW2 をオンすることで、太陽電池協働システムには電流が流れないようにしている。太陽電池が最大電力点で動作したらスイッチ SW2 をオフし、太陽電池協働システムに電流を流す。今回のシミュレーションでは 10 秒時に SW2 をオフする。ここから太陽電池協働システムは電流制御を行い、太陽電池の出力電流である  $i_o$  とリアクトル電流  $i_{L1}$  を一致させるように制御する。20 秒時から電圧制御に切り替え、太陽電池協働システムからこちらが指定した電力を供給する電圧へと制御する。今回、太陽電池協働システムからの供給電力  $P_{cs}$  は 100W を指令値として与えた。

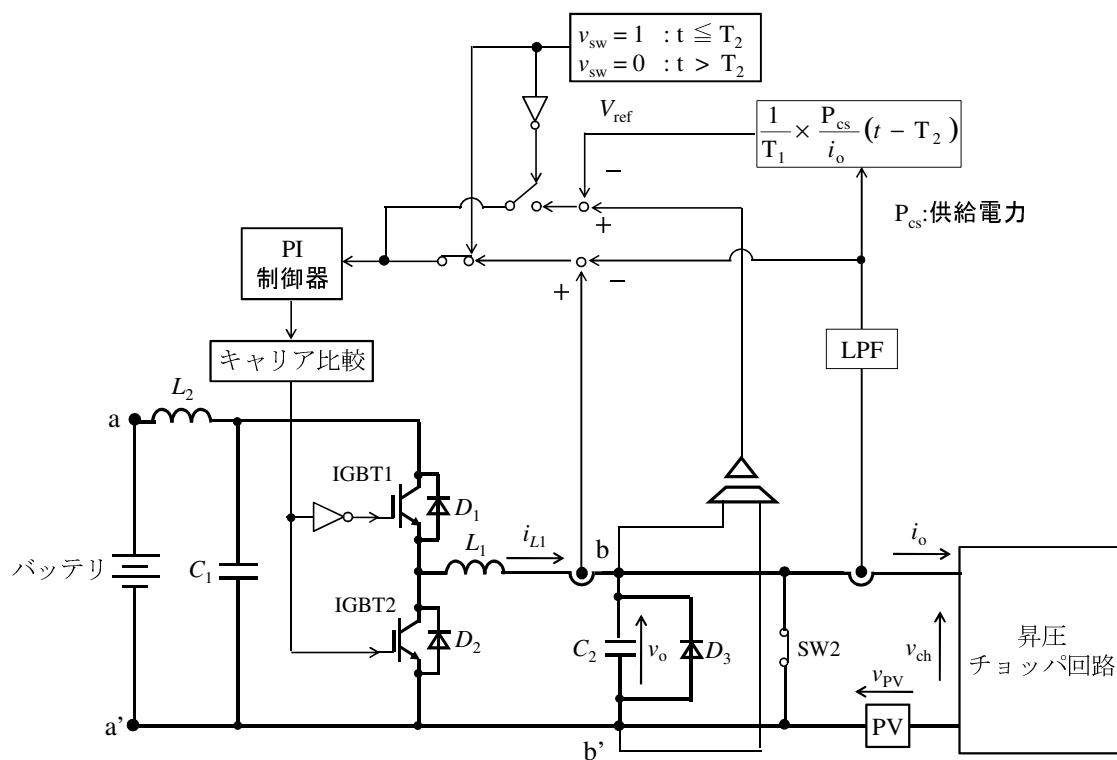


図 4.4 シミュレーション回路の構成



表 4.1 双方向チョップパの回路パラメータ及び各数値

バッテリー電圧 $E$	51.2[V]
リアクタンス $L_1$	10[mH]
リアクタンス $L_2$	2.0[mH]
コンデンサ $C_1$	13.2[ $\mu$ F]
コンデンサ $C_2$	1.5[ $\mu$ F]
スイッチング周波数	15[kHz]
$T_1$	10[s]
$T_2$	30[s]
供給電力 $P_{cs}$	100[W]
LPF のカットオフ周波数	1.5[kHz]
比例ゲイン $K_p$	0.005
積分ゲイン $K_i$	0.008

表 4.2 太陽電池の各パラメータ

開放電圧 $V_{open}$	228.62[V]
短絡電流 $I_{short}$	5.3[A]
最大電力点電圧 $V_{max}$	184.66[V]
最大電力点電流 $I_{max}$	4.74[A]
最大電力 $P_{PVmax}$	875.3[W]

#### (b) パワーコンディショナのモデル化

実際にはシミュレーション上のパワーコンディショナモデルを用いてシミュレーションを行いたいですが、今回用いるシミュレーションソフト **Psim** にはパワーコンディショナのモデルが存在しない。そこで、動作からパワーコンディショナの内部回路を推測し、モデル化した。最大電力点追従制御を行う DC/DC コンバータ回路には一般的なパワーコンディショナに用いられている昇圧チョップ回路を用いる。3.6.6 節で示した結果より、パワーコンディショナへの入力電圧が変化すると昇圧チョップ回路のスウィッチング周波数が変化している。この動作を再現するために昇圧チョップ回路には ON 一定制御を用いる。ON 一定制御とはオン時間は常に一定とし、周期を変化させることでオン期間の割合を変化させ、**duty factor** を変化させる制御法である。本稿では V/F コンバータ回路とワンショットマルチバイブレータ回路を用いて表現している。図 4.5 に昇圧チョップ回路の構成を示し、表 4.3 に回路パラメータを示す。

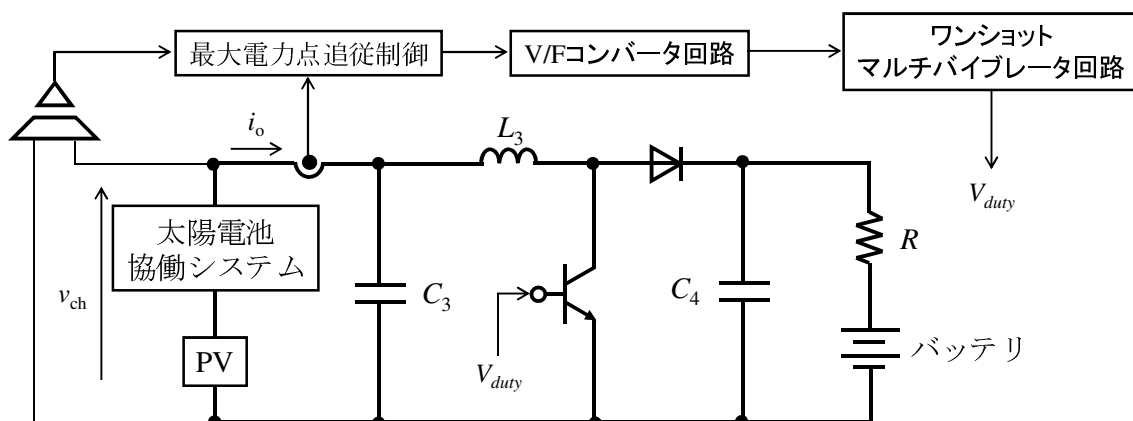


図 4.5 昇圧チョッパ回路の構成

表 4.3 昇圧チョッパ回路の回路パラメータ

バッテリー電圧 $E$	280[V]
抵抗 $R$	2[ $\Omega$ ]
リアクタンス $L_3$	2.0[mH]
コンデンサ $C_3$	500[ $\mu$ F]
コンデンサ $C_4$	3000[ $\mu$ F]

(c)最大電力点追従制御法

次に、最大電力点追従制御法について説明する。図 4.6 に最大電力点追従制御のブロック図を示す。また、図 4.7 に最大電力点追従制御のフローチャートを示す。まず、出力電圧と出力電流の積から電力を求める。サンプルホールドを用いて、ある点での電力の値をホールドし、そこから一定時間経過したときの電力値と比較する。電力が増加していれば *duty* の増加・減少の変化の方向をそのままにし、電力が減少していれば *duty* の増加・減少の変化の方向を反転させる。過去の電力値と現在の電力値を比較し、電力が増加するであろう方向に *duty* を変化させる制御である。以上の動作を繰り返し行うことで、最大電力点付近で動作させる。

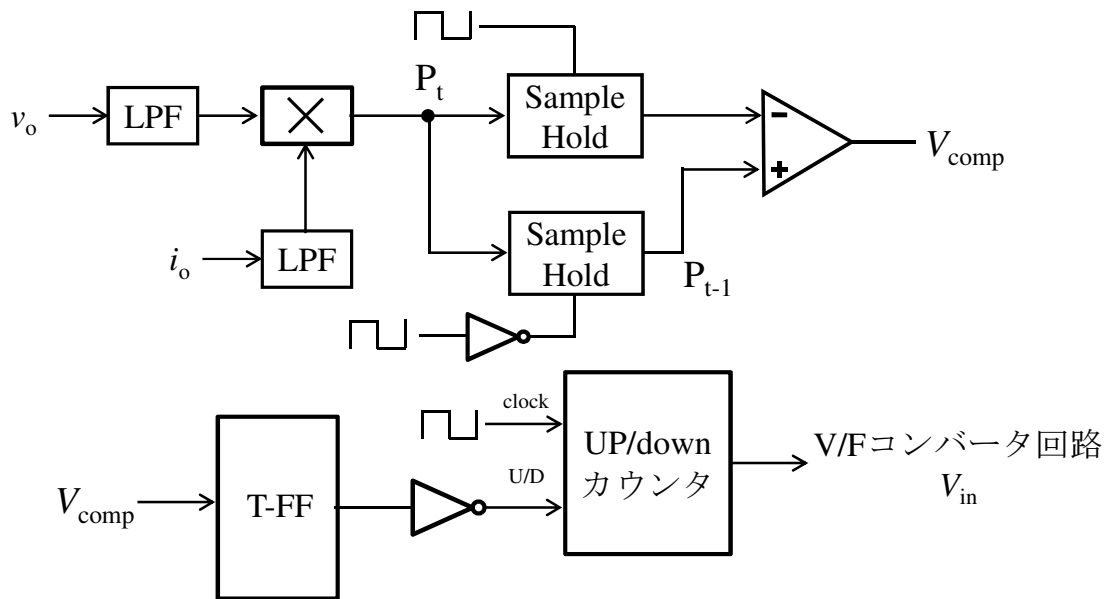


図 4.6 最大電力点追従制御のブロック図

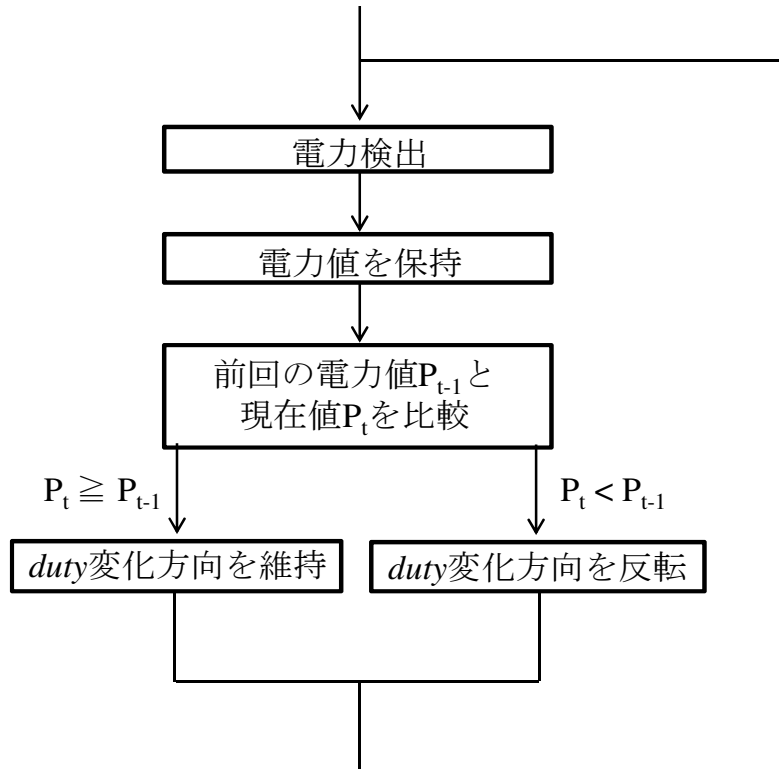


図 4.7 最大電力点追従制御のフローチャート

### 4.6.3 直列接続モードのシミュレーション結果

図 4.8 に今回パワーコンディショナを置き換えた昇圧チョッパ回路に入力される入力電圧  $v_{ch}$  と太陽電池の出力電圧  $v_{PV}$  および太陽電池協働システムの出力電圧  $v_o$  と電圧指令値  $V_{ref}$ , 図 4.9 に太陽電池協働システムから流れるリアクトル電流  $i_{L1}$  と昇圧チョッパ回路に流れる入力電流  $i_o$ , 図 4.10 に太陽電池の電力  $P_{PV}$  と太陽電池の最大電力値  $P_{PVmax}$  および昇圧チョッパ回路に入力される電力  $P_{ch}$  を示す。図 4.8 より, 太陽電池の出力電圧は最大電力点電圧付近で動作しており, 昇圧チョッパ回路に入力される電圧は太陽電池と太陽電池協働システムの出力電圧の和となっている。また, 図 4.9 より 10 秒時からの電流制御により昇圧チョッパ回路に流れる電流  $i_o$  と太陽電池協働システムから流れる電流  $i_{L1}$  が一致しており, 電圧制御に切り替えた後も最大電力点電流付近で動作している。図 4.10 も同様に, 電圧制御後に昇圧チョッパ回路に入力される電力が太陽電池協働システムから供給される 100[W]増加し, 太陽電池は最大電力点付近で動作している。

図 4.8 と図 4.9 より, 電圧制御開始後に電圧・電流共に振動していることがわかる。この原因として, 本シミュレーションにおいてパワーコンディショナをモデル化してことが考えられる。モデル化の精度が高くないため, 制御が不安定になっている可能性がある。

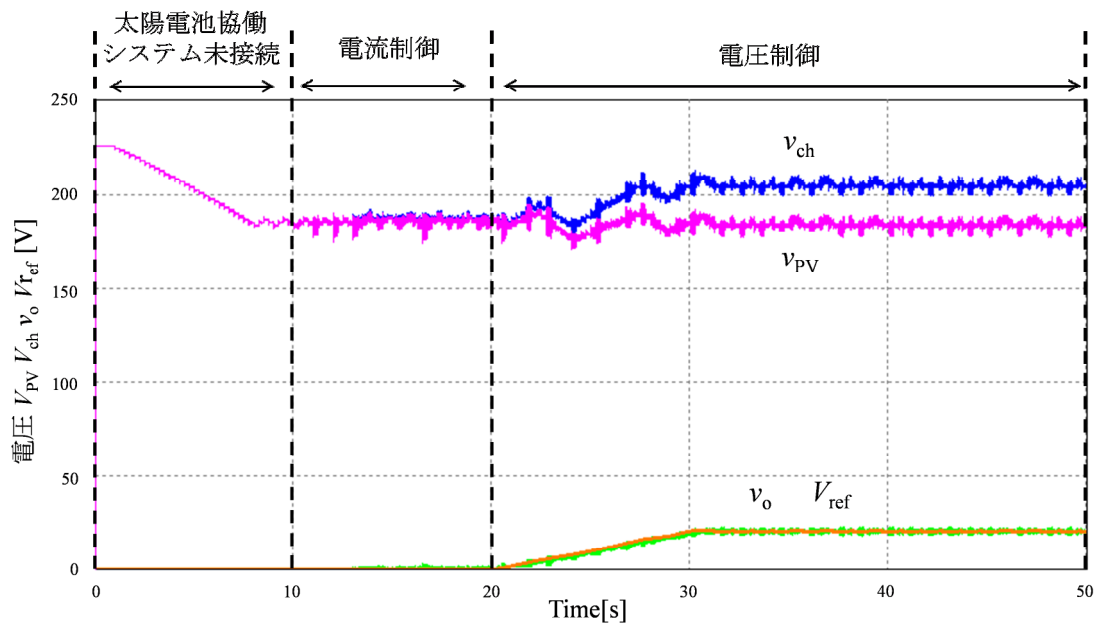
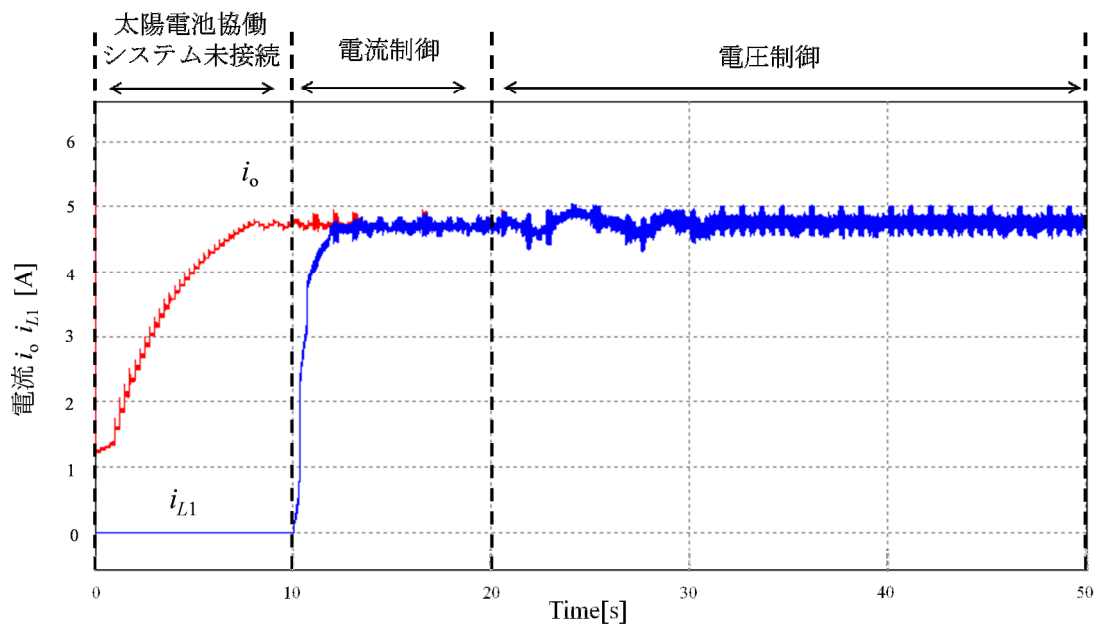


図 4.8 各電圧のシミュレーション結果

図 4.9 リアクトル電流  $i_{L1}$  と昇圧チョップパ回路の入力電流  $i_o$  のシミュレーション結果

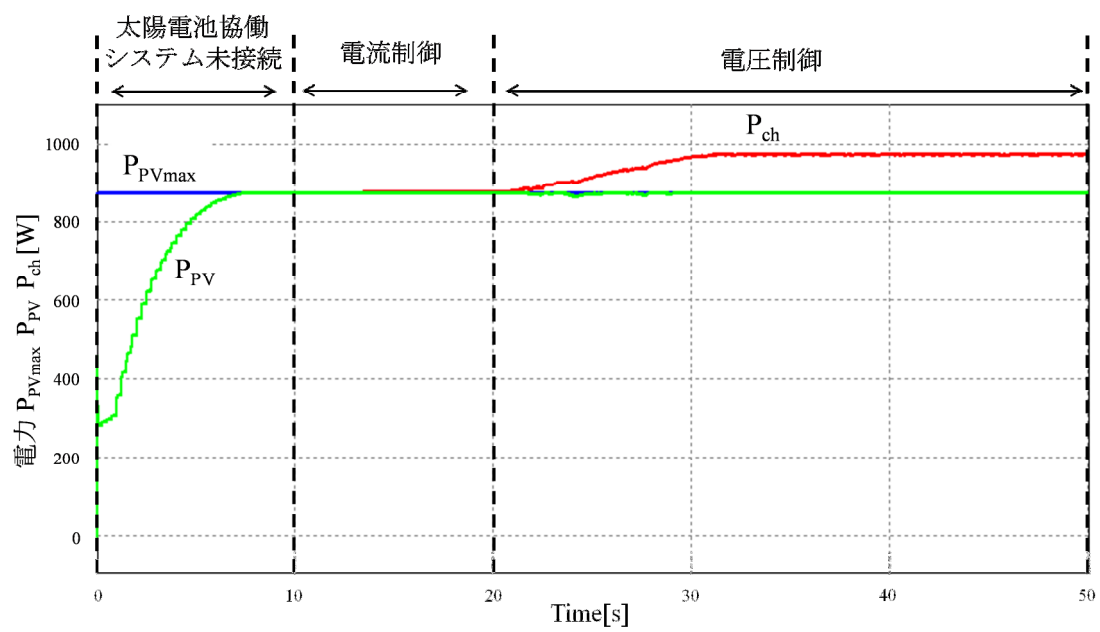


図 4.10 太陽電池の電力  $P_{PV}$  と昇圧チョップアップ回路の入力電力  $P_{ch}$  のシミュレーション結果



#### 4.6.4 直列接続モードの実機実験条件

ここでは直列接続モードにおける実機実験の条件を説明する。図 4.11 に実機実験の構成を示す。また、表 4.4 に双方向チョッパ回路の回路パラメータと制御で用いる各数値を示す。本実験で用いた太陽電池は 2.2 節で示した表 2.1(a)の太陽電池パネルを 7 枚直列に接続した。太陽電池が発電している状態で太陽電池協働システムから電力を加算して供給できるかを検証する。 $P_{\max}$  は小型風力発電システムの発電量を考慮して決定するが、本実験では動作を確認するために 40[W]固定で行った。シミュレーションでは初期時に太陽電池協働システムに電流が流れないようにするためのスイッチ SW2 が接続されているが、今回は未接続となっている。そのため、実験開始時から電流制御が行われている。

また、直列接続モードでは太陽電池の出力電流に依存し、その電流に対して、こちらが決定した電力となるよう電圧を決定している。そのため、日射量が変化した際には供給電力となるように電圧を変化させる必要がある。日射量の変化により電流が変動した際の実機実験も行う。

以上の条件で実機実験を行った際の各電圧・電流を測定した。

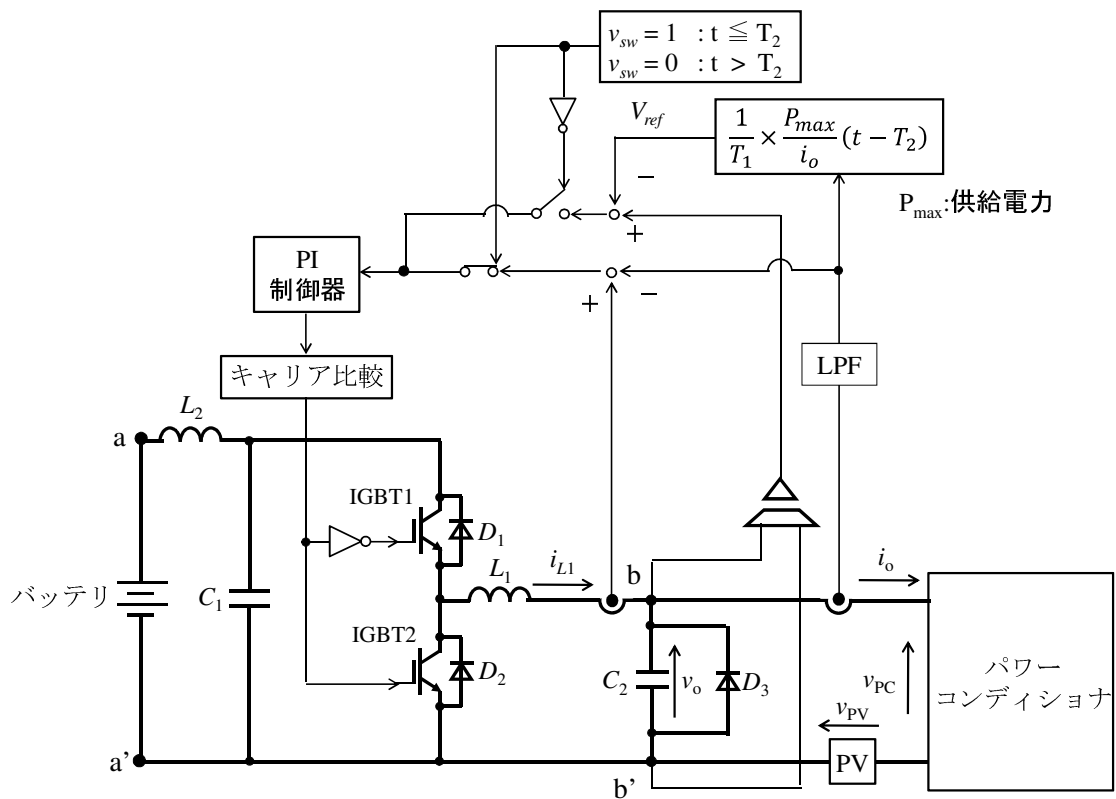


図 4.11 直列接続モードにおける実機実験の構成

表 4.4 双方向チョップパの回路パラメータ及び各数値

バッテリー電圧 $E$	51.2[V]
リアクタンス $L_1$	10[mH]
リアクタンス $L_2$	2.0[mH]
コンデンサ $C_1$	13.2[ $\mu$ F]
コンデンサ $C_2$	1.5[ $\mu$ F]
スイッチング周波数	15[kHz]
$T_1$	10[s]
$T_2$	30[s]
供給電力 $P_{max}$	50[W]
LPF カットオフ周波数	1.5[kHz]
比例ゲイン $K_p$	0.005
積分ゲイン $K_i$	0.008

#### 4.6.5 直列接続モードの実機実験結果

図 4.12 に直列接続モードの実機実験による双方向チョップ回路の出力電圧  $v_{bi}$  と太陽電池の出力電圧  $v_{pv}$ , パワーコンディショナ入力電圧  $v_{pc}$  の時間変化を示す。図 4.13 に双方向チョップ回路の出力電流  $i_{L1}$  とパワーコンディショナ入力電流  $i_o$  の時間変化を示す。約 35 秒まで電流制御が行われており, そこから電圧制御に変わっている。図 4.12 より, 電圧制御は 10 秒間かけて双方向チョップ回路の出力電圧  $v_{bi}$  を供給電力となる電圧まで上昇させる。図 4.13 より, 電流制御では太陽電池に依存する出力電流  $i_o$  となるように双方向チョップ回路の出力電流  $i_{L1}$  を制御する。 $i_{L1}$  の脈動が大きくなってしまっているが, 安定に制御できている。図 4.14 に双方向チョップ回路の出力電力  $P_{bi}$  と太陽電池の出力電力  $P_{pv}$ , パワーコンディショナ入力電力  $P_{pc}$  の時間変化を示す。図 4.14 より,  $P_{bi}$  は 50[W] に制御できており,  $P_{pv}$  に  $P_{bi}$  を加えた電力がパワーコンディショナに入力されている。

電圧制御において, 双方向チョップ回路の出力電圧が上昇していくとパワーコンディショナの入力電圧  $v_{pc}$  は上昇しているが, 太陽電池の電圧  $v_{pv}$  は低下する。また, 出力電流  $i_o$  は上昇しており, 太陽電池の電力  $P_{pv}$  は低下している。これはパワーコンディショナの動作遅れによるものと考えられる。太陽電池協働システムからの供給電力がパワーコンディショナに入力された時, パワーコンディショナに入力される電力が増加していく。パワーコンディショナは動作点を常に変化させるため, 最大電力点から動作点を变化させた際の電力の減少に対して太陽電池協働システムからの供給電力の方が大きくなると, 動作点が最大電力点からずれてしまう。パワーコンディショナの応答が速ければすぐに最大電力点で動作させることができるが, 応答が遅れてしまい, 最大電力点に戻るまでに時間がかかってしまうと考えられる。

次に太陽電池の日射量が変化し, 出力電流が変化した場合の実機実験の結果を示す。図 4.15 に日射量が変わった場合の双方向チョップ回路の出力電圧  $v_{bi}$  と太陽電池の出力電圧  $v_{pv}$ , パワーコンディショナ入力電圧  $v_{pc}$  の時間変化を示す。図 4.16 に双方向チョップ回路の出力電流  $i_{L1}$  とパワーコンディショナ入力電流  $i_o$  の時間変化を示す。図 4.15 と図 4.16 より, 太陽電池の出力電流  $i_o$  が日射量の変化により大きく変化しているが, 電流制御・電圧制御ともに安定に制御できている。図 4.17 に双方向チョップ回路の出力電力  $P_{bi}$  と太陽電池の出力電力  $P_{pv}$ , パワーコンディショナ入力電力  $P_{pc}$  の時間変化を示す。電流が変化した場合も,  $P_{bi}$  は 50[W] に制御できており,  $P_{pv}$  に  $P_{bi}$  を加えた電力がパワーコンディショナに入力されている。

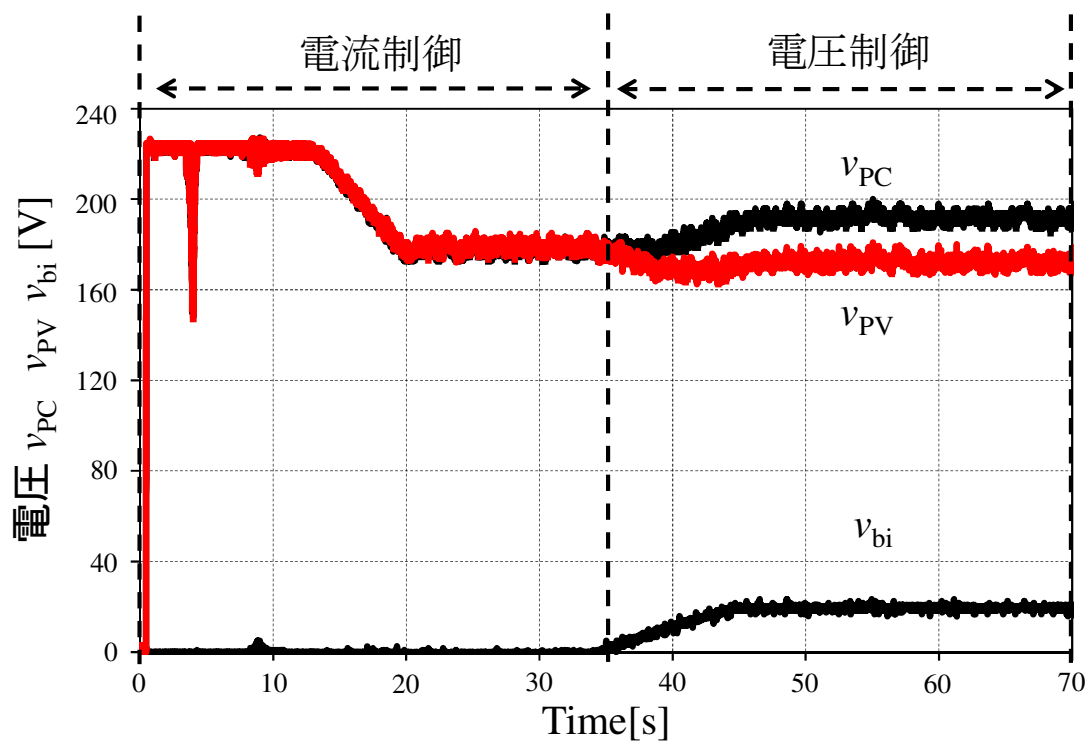


図 4.12 直列接続モードの実機実験結果:各電圧

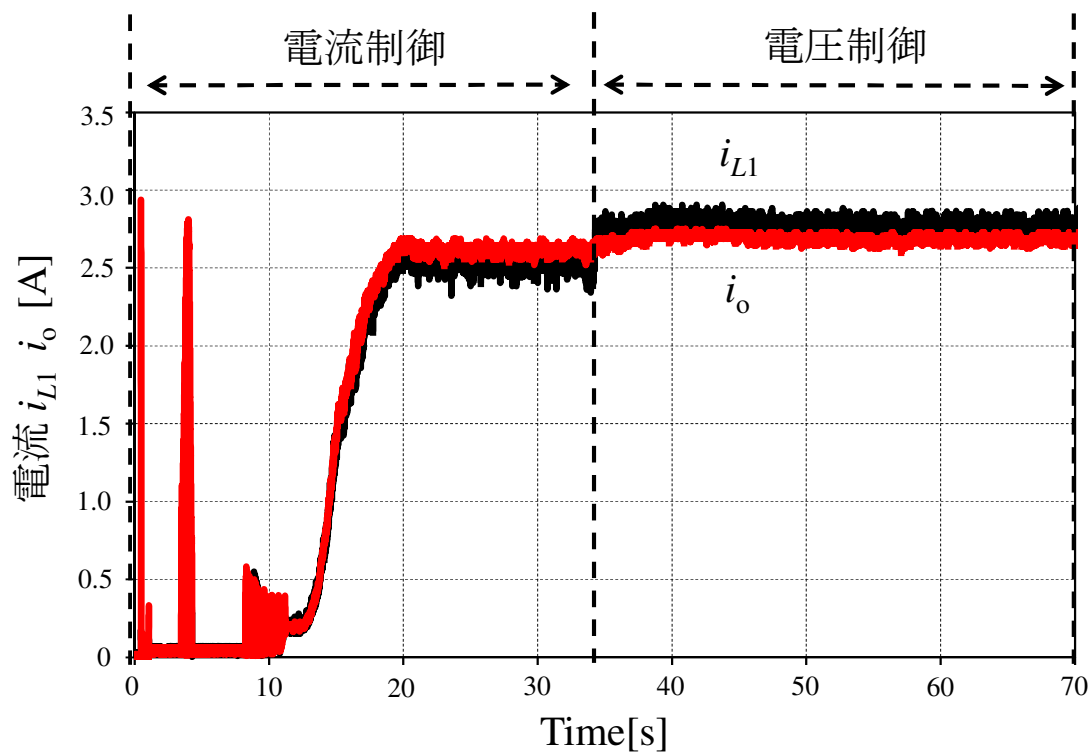


図 4.13 直列接続モードの実機実験結果:各電流

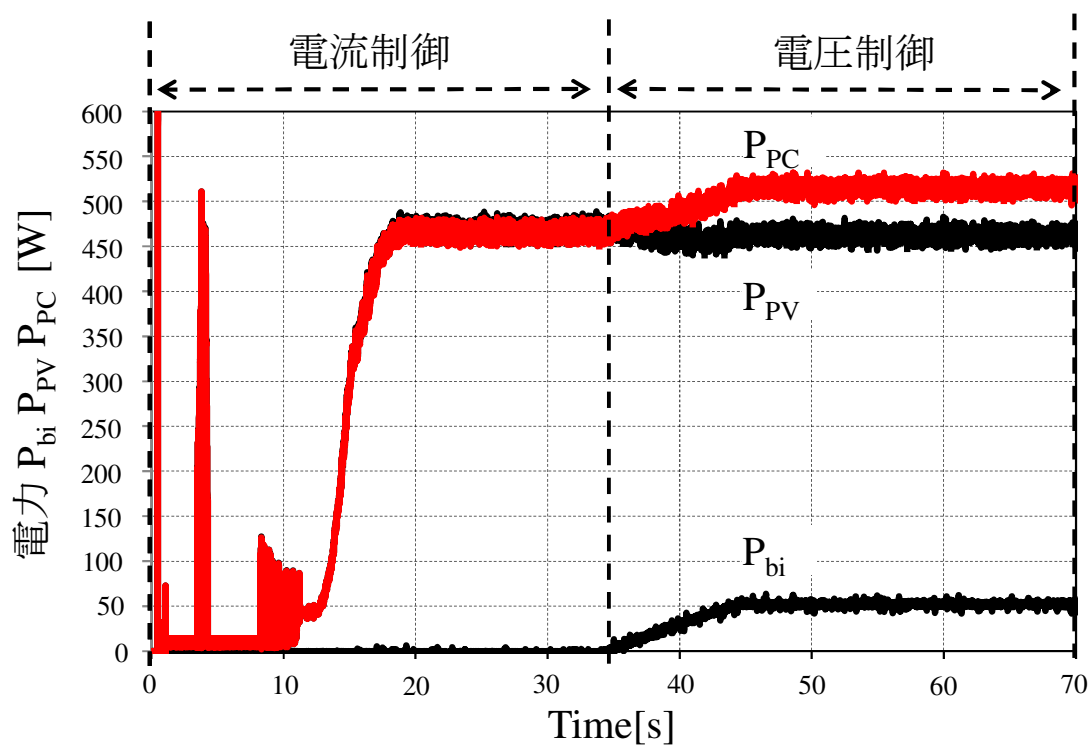


図 4.14 直列接続モードの実機実験結果：各電力

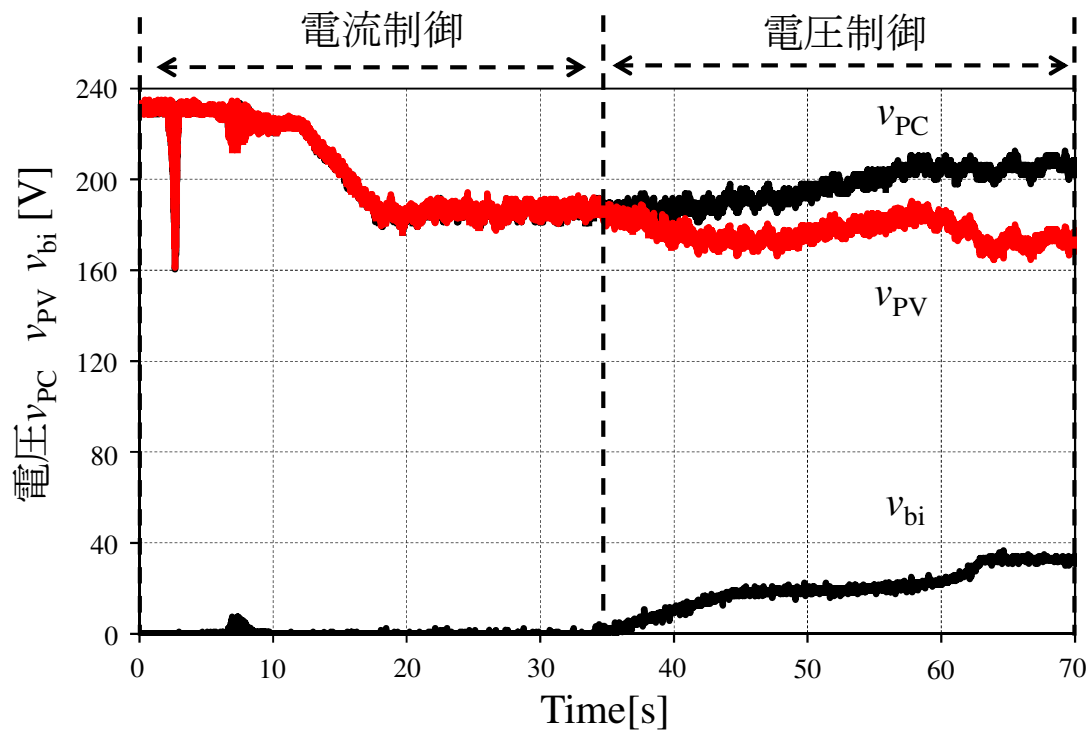


図 4.15 出力電流が変化した際の直列接続モードの実機実験結果:各電圧

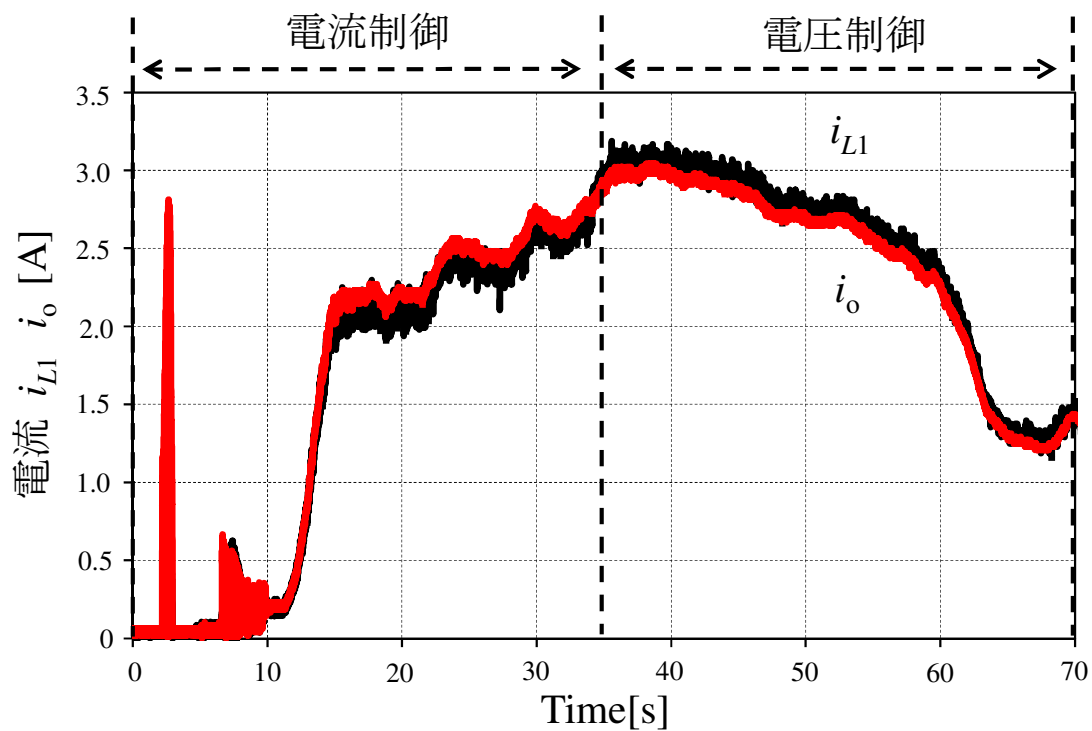


図 4.16 出力電流が変化した際の直列接続モードの実機実験結果:各電流

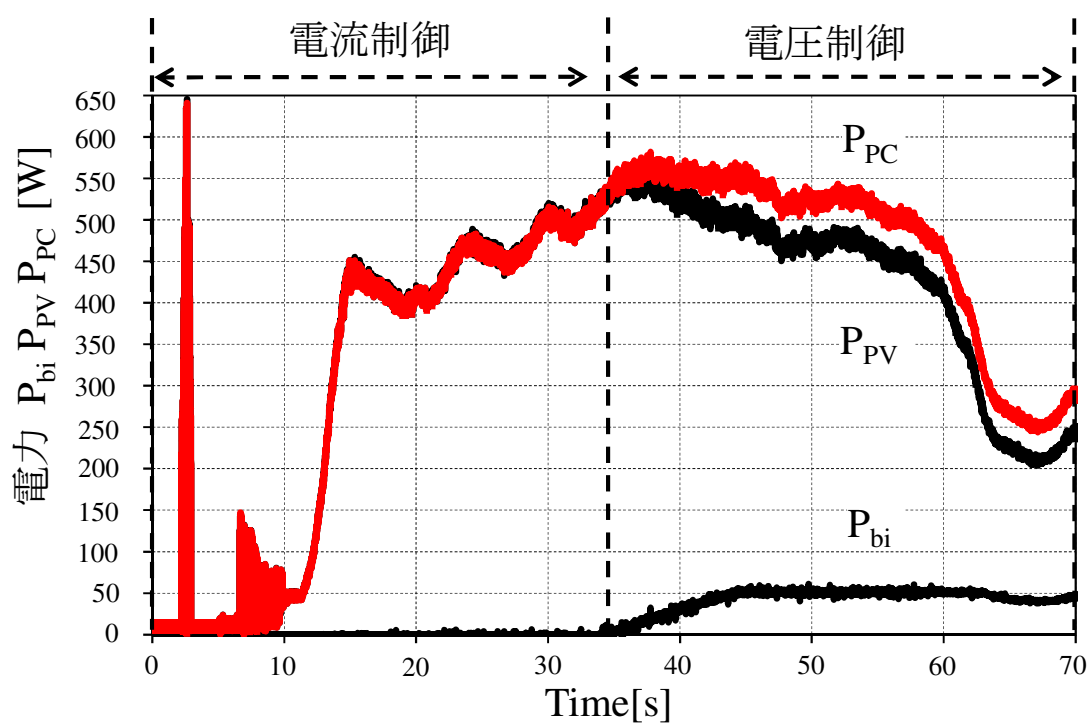


図 4.17 出力電流が変化した場合の直列接続モードの実機実験結果:各電力

## 第五章 結言

### 5.1 研究の成果

本研究では、小型風力発電システム、バッテリー、電力変換回路で構成する太陽電池協働システムを提案し、実機実験により太陽電池協働システム単独で太陽電池用パワーコンディショナを正常に稼働できることを確認した。

また、直列接続モードの太陽電池と小型風力発電システムが同時に発電した場合を想定し、太陽電池と太陽電池協働システムの接続法および制御法を提案した。それに加え、シミュレーションと実機実験により、提案手法により太陽電池の出力電力に太陽電池協働システムの電力を加算し、パワーコンディショナの MPPT 制御を正常に稼働できることを確認した。



## 5.2 今後の課題

現在、太陽電池協働システムに用いているバッテリーを充放電サイクル寿命の長い電気二重層キャパシタ (EDLC) に変更する。その際、電圧変動が大きくなるため、パワーコンディショナに影響を与えないようにするためのエネルギーマネジメントを提案する必要がある。

また、単独運転モードにおいて、フィルタ素子削減のために出力電流の脈動が大きくなる原因を解明し、その防止法を提案し、パワーコンディショナを正常に稼働できることを確認する。

また、小型風力発電システムの発電量によって、単独運転モードと直列接続モードを自動で切り替える構成を提案、および実現することが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 賈彦, 柴田僚介, 山村直紀, 石田宗秋 : 「EDLC を用いた小型独立自然エネルギー発電システムの電力平準化装置の一制御法」平成 17 年電気学会全国大会, 7-048, pp.67-68
- [2] 豊浦信行, 馬淵雅夫, 田辺勝隆 : 「太陽光発電システムにおけるパワーコンディショナ」

## 論文目録

- [1] 三溝真史, 山村直紀, 石田宗秋 : 「小型風車を用いた太陽電池模擬装置の開発平成 23 年電気学会産業応用部門大会」, No.1-178, 2011
- [2] 三溝真史, 山村直紀, 石田宗秋 : 「小型風車を用いた太陽電池模擬装置の開発平成 23 年電気関係学会東海支部連合大会」, L5-6, 2011
- [3] M.Samizo, N.Yamamura, M.Ishida : "A Study on Development of Photovoltaic Cell Emulator using the Small Scale Wind Turbine" International Symposium for Sustainability by Engineering at MIU, AP-7, 2011
- [4] M.Samizo, N.Yamamura, M.Ishida : "Development of Photovoltaic Cell Emulator using the Small Scale Wind Turbine" The 15<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2012), DS4G5-5, 2012
- [5] M.Samizo, N.Yamamura, M.Ishida : "Development of the small scale wind power generating device connected directly to the solar power generation system" International Symposium for Sustainability by Engineering at MIU, AO-9, 2012

## 謝辞

本研究の遂行ならびに論文作成にあたり，終始丁寧にご指導いただきました三重大学 電気電子工学 教授 工学博士 石田宗秋先生，同大学 准教授 工学博士 山村直紀先生，同大学 助教授 工学博士 矢代大祐先生，文部科学技官 廣田榮毅氏に心より御礼申し上げます。

また，貴重な時間を割いて本論文の査読をして頂いた三重大学 電気電子工学 教授 工学博士 平井淳之先生に心より御礼申し上げます。

共に太陽電池協働システムについて研究した竹内佑斗君に心から感謝いたします。

最後に，本研究の遂行にあたり，私と同時代に石田研究室に御在籍されたすべての方々には大変お世話になりました。心から感謝いたします。