

三重大学大学院工学研究科 修士論文

# 既設の太陽光発電システムと並列接続可能な 協働システムの開発に関する研究

令和2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  
エネルギーシステム研究室

小川 凌

## 目次

第一章 緒言 .....	4
1.1 研究の背景 .....	4
1.2 研究の目的 .....	7
1.3 本稿の構成 .....	8
第二章 太陽電池協働システムの概要 .....	9
2.1 太陽光発電システム .....	9
2.2 PCS の構成及び動作波形 .....	12
2.3 本研究に用いる供試機 .....	14
2.4 システム構成 .....	16
2.4.1 単独運転モード .....	16
2.4.2 並列接続モード .....	16
2.4.3 電力変換回路の構成 .....	18
2.4.4 電力変換回路の制御 .....	20
第三章 シミュレーション及び実機実験による検証 .....	22
3.1 シミュレーションによる検証 .....	22
3.1.1 シミュレーション条件 .....	22
3.1.2 シミュレーション結果 .....	22
3.2 実機実験による検証 .....	26
3.2.1 実機実験条件 .....	26
3.2.2 実機実験結果 .....	26
第四章 低日射量時における電力供給法 .....	29
4.1 低日射量時における実機実験結果 .....	29
4.2 ランプ状電力供給法 .....	29
4.3 ランプ状電力供給法での実機実験結果 .....	29
第五章 遷移速度決定式を用いた電力供給法 .....	32
5.1 遷移速度決定式 .....	32
5.2 遷移速度決定式を用いた電力供給のシミュレーション結果 .....	32

第六章 結言 .....	34
6.1 研究の成果 .....	34
6.2 今後の課題 .....	34
参考文献 .....	35
論文目録 .....	37
謝辞	38

## 第一章緒言

### 1.1 研究の背景

近年、化石燃料の枯渇などの環境問題への対策として再生可能エネルギーを用いた発電が注目されている。特に文献[1]では、太陽光発電システムが企業や自治体を中心に導入進められていることが示されており、一般家庭にも広く普及している。一般的な太陽光発電システムは図 1.1 の様に太陽電池 (PhotoVolic : PV) とパワーコンディショナ (Power Conditioning System : PCS) で構成され、発電電力を系統へ連系する。PCS は PV が発電した直流電力を家庭や系統で利用可能な交流電力に変換する他、PV を最大電力点で発電させるための最大電力追従 (MPPT) も行っている。

PV の発電量は天候や時間帯、温度に大きく左右され、特に曇天や雨天、夜間の際は発電量が大きく低下する。それに伴い PCS の入力電力も変動し、環境条件によっては PCS の稼働率及び設備利用率が低下する特徴を持つ。ここで、稼働率とは出力の多寡に関わらず発電していた時間の割合を表し、式(1.1)で定義される。また、設備利用率とは式(1.2)に定義され定格出力に対する発電電力の割合を表しており、一般的に日本の家庭用太陽光発電システムの場合 12[%]程度と言われる。

この特徴の理由として、図 1.2 に示す一日を通した PV の定格に対する発電電力の割合の様に、夜間など天候により PV が発電しない期間は、PCS は停止状態となり稼働率が低くなるからである。また、PCS の設備容量は PV の定格出力に合わせて設計されるが、日中 PV は照度によって発電電力が変化するため常に定格に対して 100[%]とならないので利用率を高めることが困難となるからである。

太陽電池用 PCS の先行研究は、PV の出力電力を最適化するための最大電力点追従制御 (MPPT) に関する研究[2][3]や系統連系に関する研究[4]などが行われている。しかし、文献[2][3][4]のような研究は多く存在するが、PCS の余力の改善が検討されていない。また、文献[5]では一般家庭で使用されている PV システムに蓄電池を接続することで曇天時などにおける PCS の稼働率の向上が可能であることを示しているが、特定条件下のみで稼働率は向上するものの、晴天時の設備利用率の低下が問題となり PCS の余力の改善ではない。そこで、本稿では太陽電池用 PCS の余力を太陽電池単独ではなく他の発電システムを追加することで稼働率及び、設備利用率の余力を有効活用する検討を行う。

PV を用いたハイブリッドについての研究は、PV/風力を用いた研究[6][7]、PV/ディーゼルエンジンを用いた研究[8]などがある。これらの研究は、ハイブリッドにすることにより PV 単独で発電するよりも多くのエネルギーが得られることを証明している。さらに、いくつかあるハイブリッドシステムの中でも[6][7]の文献では、太陽光発電と風力発電には地域差はあるものの相互補完関係にあるという結果が出ており、太陽電池用 PCS が日射量の制限を受ける季節や時間帯、天候においても発電を行うことのできる風力発電が最適であると考え、本稿では風力発電システムとのハイブリッド発電について検討していく。

PV/風力のハイブリッド発電に関する先行研究として、文献[8][9]では太陽光発電、風力発電それぞれに電力変換回路を接続することで独立型電源としての利用を提案している。しかし、この手法では発電システムそれぞれに合わせた電力変換回路を構成する必要があるため汎用性がない。また、文献 [10]では太陽光発電と風力発電を並列に接続して、1 台の PCS で系統へ連系する手法を提案している。しかし、PCS の定格はそれぞれの定格発電電力の和となるため、容量和は増大して稼働率や設備利用率の更なる

低下が示唆される．

上記のような研究では，小型風力発電機を導入し得られた電力を売電又は家庭で使用する際には，ハイブリッド用 PCS または小型風力発電機用の PCS を導入する必要がある．しかし，本稿で提案する簡易的なハイブリッド発電では，既存の PV 用 PCS を利用することが出来るため新たな PCS の導入を必要としない．実際に小型風力発電機を家庭に導入する際には，小型風力発電機の価格に対して，PCS の価格はコスト面で大きな負担になってしまうため，コスト面での優位性があり，大きなメリットである．

これらより，本稿では PV と並列に風力発電を接続することで PCS の余力改善を図り，更に既存の太陽光発電システムを変更不要で直接接続可能な太陽電池協働システムを検討する．

$$\text{稼働率} = \frac{\text{発電時間}}{\text{期間日数}} \times 100[\%] \quad (1.1)$$

$$\text{設備利用率} = \frac{\text{総発電電力量[kWh]}}{\text{PCS 定格容量[kW]} \times 24\text{時間} \times \text{期間日数}} \times 100[\%] \quad (1.2)$$

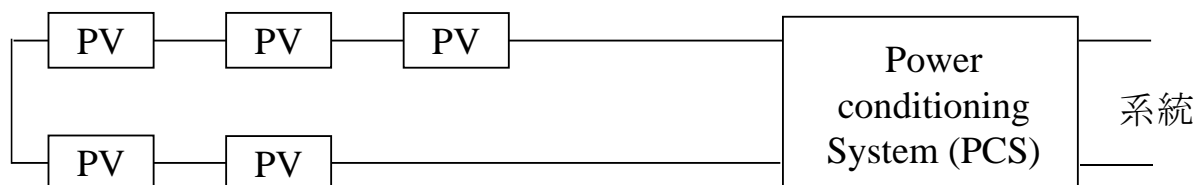


図 1.1 太陽光発電システム

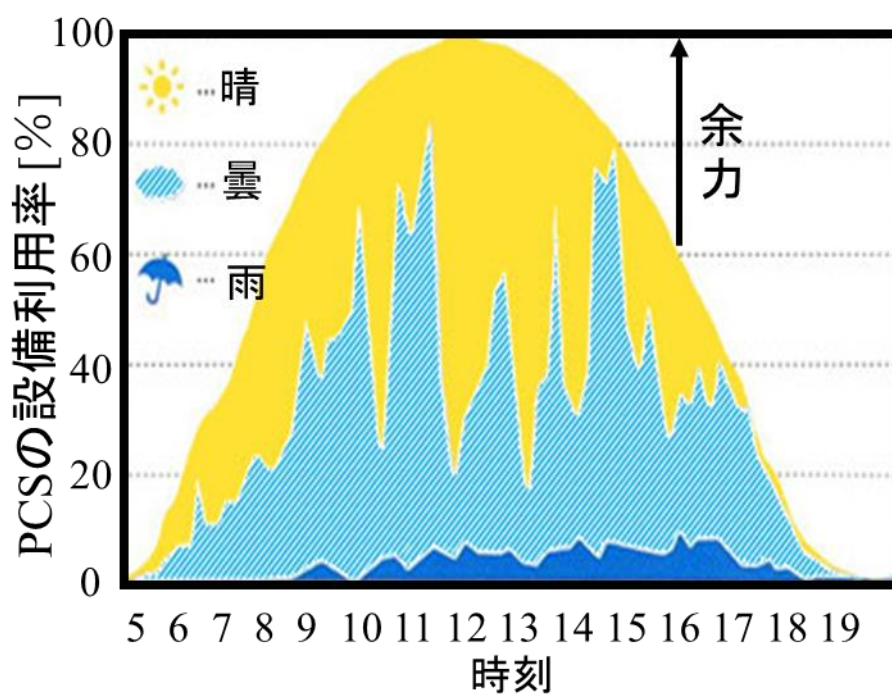


図 1.2 太陽電池の定格出力に対する発電電力の割合

## 1.2 研究の目的

本研究では既存の家庭用太陽光発電用 PCS に変更を加えることなく、直接接続可能な小型風力発電装置の開発を目的とする。そのため、文献[13]で提案されている太陽光発電システムの制御に悪影響を与えないように小型風力発電の出力特性を重畳させる太陽電池協働システムを利用する。

文献[13]では提案したシステムをシミュレーションのみで妥当性の確認をしていたため、本稿では太陽電池協働システムの妥当性をシミュレーション及び実機により検証する。

### 1.3 本稿の構成

本稿は以下の構成である．

第二章では太陽電池協働システムの構成と回路及び，提案手法による制御を説明する．

第三章では太陽電池協働システムの妥当性をシミュレーション及び実機実験にて検証する．

第四章では第三章で起きた事象に対し対策手法を提案し実機実験にて検証する．

第五章では提案する遷移時間決定式に基づく電力供給法をシミュレーションにて検証する．

第六章では本稿の成果と今後の課題をまとめる．



## 第二章太陽電池協働システムの概要

この章では本研究で用いる太陽光発電システムの概説と太陽電池協働システムの構成について述べる。

### 2.1 太陽光発電システム

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 PV パネルと PCS を接続し、需要家または系統へ連系して電力を供給する。

PCS の役割として、PV で発電した電力は直流であるため、発電した電力をそのまま交流駆動の家電には使用できない。そこで、PV 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 PCS である。また、自然エネルギー発電は外部環境により発電特性が常に変化するため、PCS は入力インピーダンスを変化させることで、PV が常に最大の電力を出力する様に動作点を制御する。

その動作点となる PV の V-I 特性を図 2.2 に示す。特性は照度によって図に示す様に変化する。特に照度変化によって短絡電流の値が大きく変化し、照度が弱い程短絡電流は小さくなり、照度が強い程短絡電流は大きくなる。この特性より PV から出力される電力の特性である V-P 特性を図 2.3 に示す。特性は最大電力点  $P_{\max}$  を頂点とする山形を有す。PV の発電状態によって常に  $P_{\max}$  は移動するため、PCS はこの特性において図中の最大電力点  $P_{\max}$  を取る様に動作点を移動させる最大電力点追従(Maximum Power Point Tracking : MPPT)制御をする。

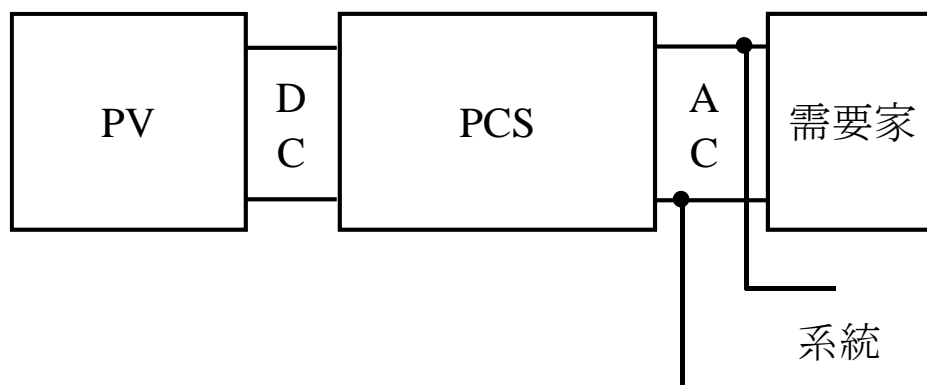


図 2.1 太陽光発電システム

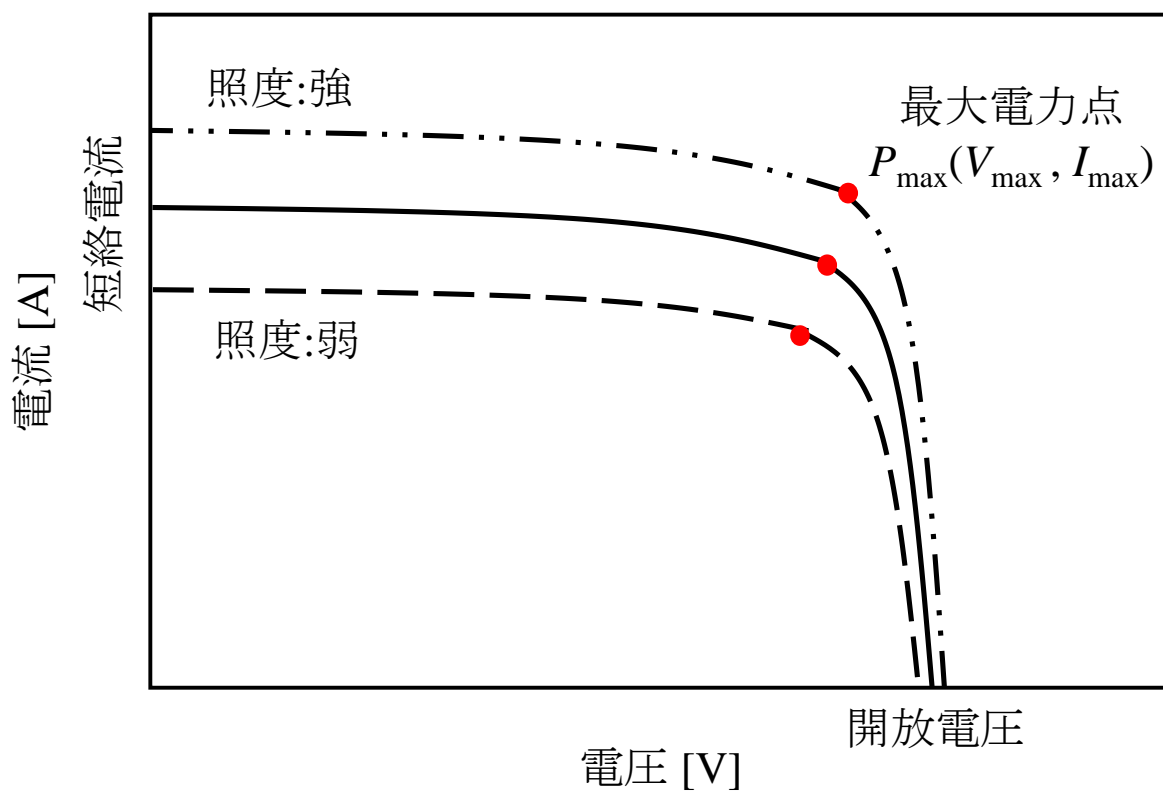


図 2.2 太陽電池 V-I 特性

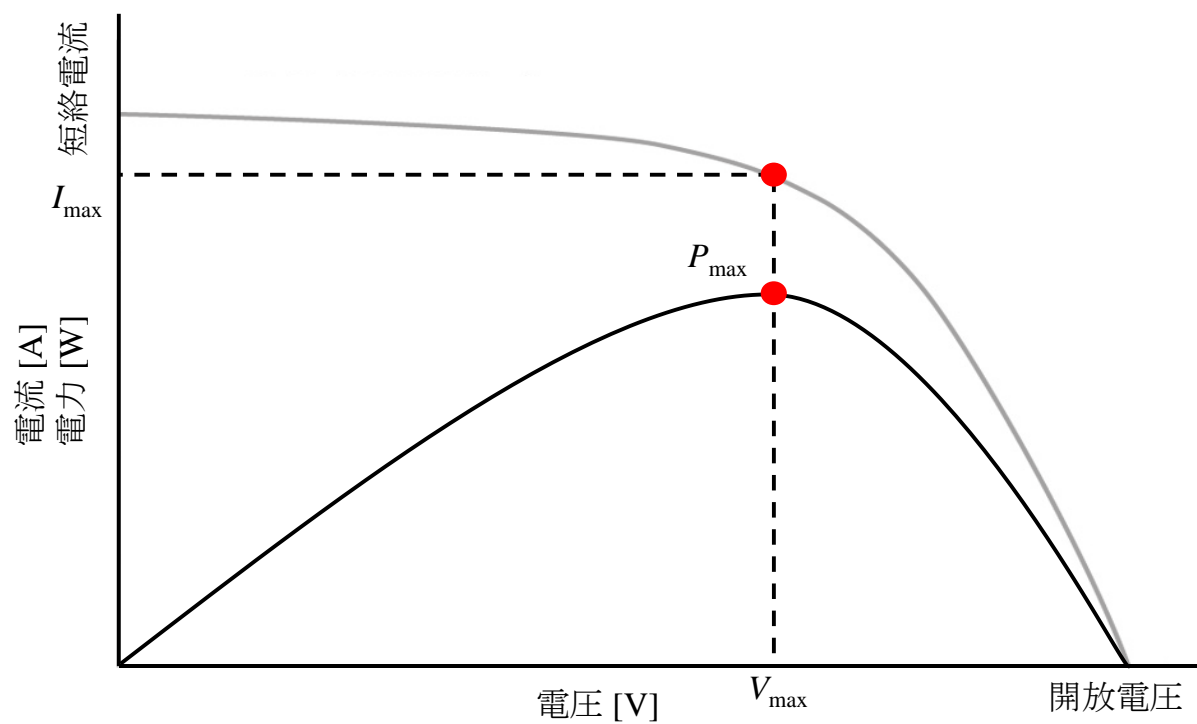


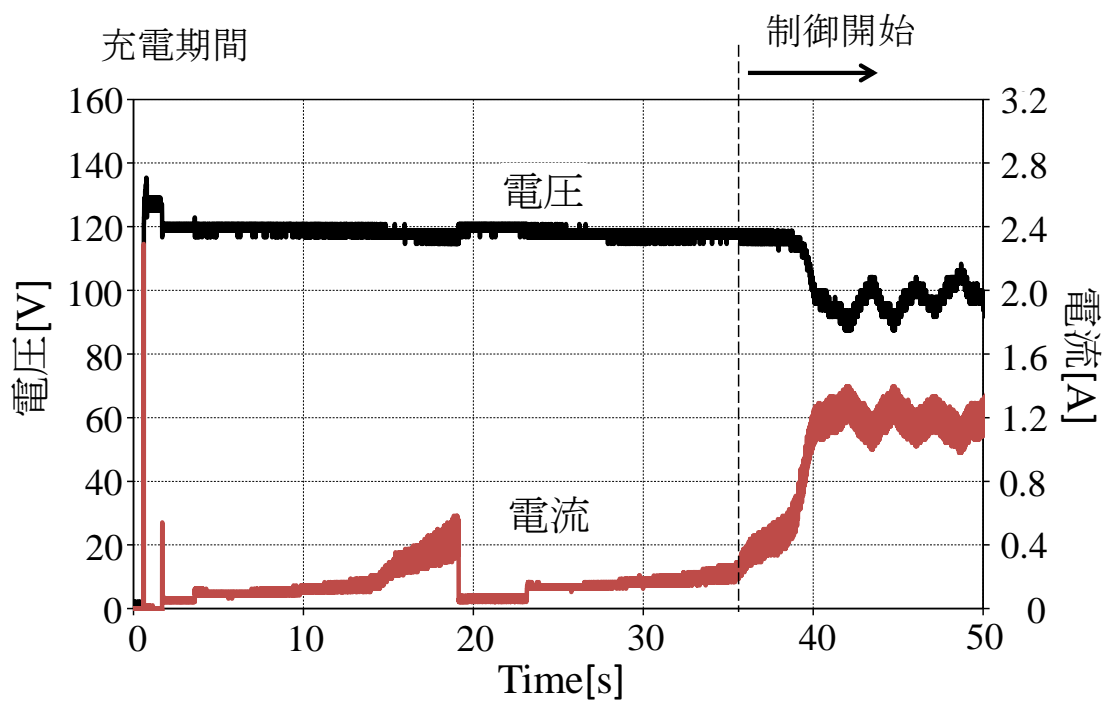
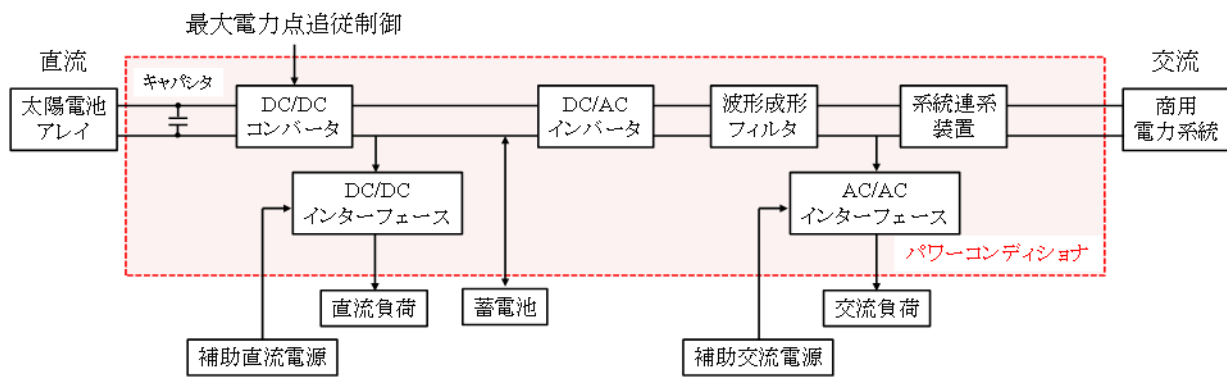
図 2.3 太陽電池 V-P 特性

## 2.2 PCS の構成及び動作波形

図 2.4 に PCS の一般的な内部回路の構成を示す。PCS は平滑用キャパシタ，PV が発電した電圧を昇圧するための DC/DC コンバータ，系統連系するための DC/AC インバータ，波形整形フィルタ，系統連系，単独/連系運転切り替え等の制御部，独立電源として負荷に接続する場合のコンバータによるインターフェースで構成される。

PV で発電した電力はキャパシタに充電され，DC/DC コンバータにより所定の電圧まで昇圧する。この時 MPPT 制御をコンバータで行い，その時の外部環境により最大電力点が変化しても，新たな動作点へと制御することで最大電力を得る。その後，単相 200[V] で系統に電力を供給するための DC/AC 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。その他にも，系統保護のための系統連係保護装置がある。

図 2.5 に PCS と PV パネル 4 枚を直列に接続し，PCS を稼働させた際の PV の電圧・電流の時間変化を示す。最初は PV 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，PV 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 MPPT 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。



## 2.3 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。PV パネルの短絡電流と最大動作電流は主に照度によって変動し、一方で開放電圧と最大動作電圧は主に気温によって変動する。そのため表 2.1 で示している値は放射照度  $1000[\text{W}/\text{m}^2]$ 、気温  $25[^\circ\text{C}]$  の場合である。

PCS は連系運転と自立運転の切り替えが可能であり、それぞれの運転で定格出力が異なる。本研究では PV パネルを 7 枚直列に接続して連系運転を行う。

また風車は各家庭に設置可能なプロペラ型の小型風車を想定する。

表 2.1 供用機の仕様

## (I) 太陽電池パネル(1枚当たり)

NE-L5L3H (2 枚)		NE-128AH (5 枚)	
材料	Si 多結晶	材料	Si 多結晶
公称最大動作電力 [W]	125	公称最大動作電力 [W]	128
公称最大動作電圧 [V]	26.38	公称最大動作電圧 [V]	26.45
公称最大動作電流 [A]	4.74	公称最大動作電流 [A]	4.84
公称開放電圧 [V]	32.66	公称開放電圧 [V]	32.70
公称短絡電流 [A]	5.30	公称短絡電流 [A]	5.49

## (II) パワーコンディショナ

KP40K2	
定格入力 [V]	DC 250
定格出力電圧 [V]	(連系運転時) AC 202 (自立運転時) AC 101
最大入力電流[A]	DC 250
運転可能電圧範囲	DC 60~385
定格出力周波数 [Hz]	50/60
定格出力 [kW]	(連系運転時) 4.0 (自立運転時) 1.5

## 2.4 システム構成

図 2.6 に太陽電池協働システムの構成を示す。構成は PV と並列に接続し、小型風力発電システム、バッテリー、電力変換回路から成る。風力発電による発電電力をバッテリーに充電し、電力変換回路を通じて PCS へ制御した電力を出力する。

太陽電池協働システムの役割として、PV が発電時には電力供給を重畳することに加えて、PV が夜間など発電しない期間には太陽電池協働システム単独で電力供給をして、PCS を稼働することがある。そのため PV の発電状態に合わせて以下の回路構成を想定することで、PCS の余力改善を目指している。

### 2.4.1 単独運転モード

PV が夜間等発電していない状態において PCS へ電力を供給する図 2.7 の構成を単独運転モードと称する。PV は非発電時に負荷となるため、バイパスすることで太陽電池協働システム単独で PCS を動作させる。単独運転モードでは PCS が稼働可能な特性となる様に、PV の発電特性を近似した出力をするために電力変換回路から PCS へ出力される電流、電圧を制御することで達成する。この時、入力であるバッテリー電圧よりも PCS が稼働可能な最低電圧の方が高いため、電力変換回路は昇圧する回路を用いる。

### 2.4.2 並列接続モード

日中に PV が発電している状態において、PCS へ電力を重畳する図 2.6 の構成を並列接続モードと称する。このモードにおいて太陽電池協働システムは PV の発電特性に影響を与えない様にして電力重畳することが求められる。この理由として、PV に接続された PCS は特定の外的環境下で得られる PV の発電特性に沿って MPPT 制御をすることでより大きい発電電力を取り出しているためである。

並列接続モードの構成は PV と並列に太陽電池協働システムを接続するため、システムの電圧は PV、PCS の出力電圧と等しくなる。そして、電流は PCS の出力電圧と出力電力指令値によって決める。

本稿では並列接続モードを対象としているため、以降の太陽電池協働システムの記述は並列接続モードを前提としている。



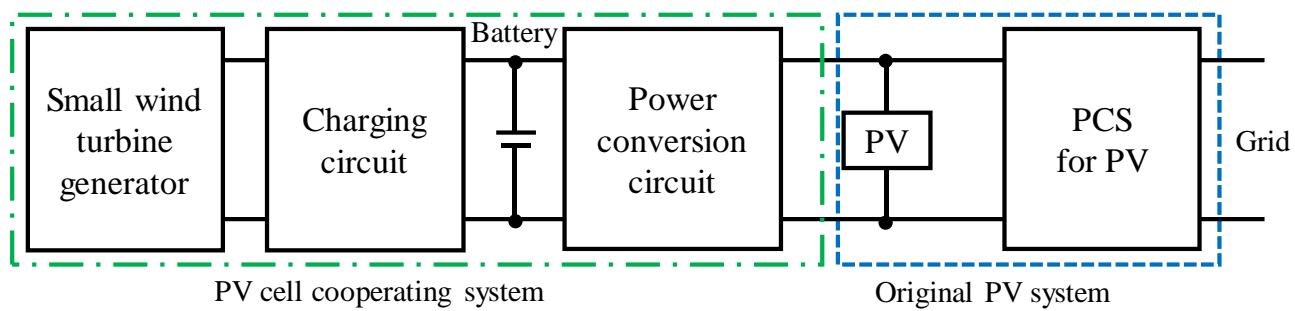


図 2.6 太陽電池協働システムの構成(並列接続モード)

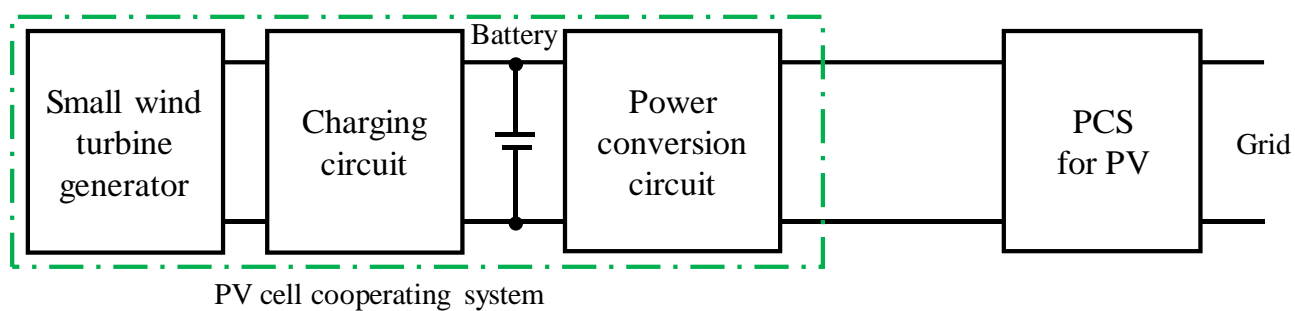


図 2.7 太陽電池協働システムの構成(単独運転モード)

### 2.4.3 電力変換回路の構成

並列接続モードにおける電力変換回路の構成を図 2.8 に示す。回路はバッテリーを入力とする双方向コンバータの昇圧動作である。また、単一のスイッチング素子で昇圧可能なコンバータではなく、双対のスイッチング素子を用いた双方向コンバータである理由は、PV と太陽電池協働システムの各出力電力の和が PCS の入力定格を上回る場合や、災害などの緊急時に PCS を切り離し、バッテリーを蓄電装置として利用することを考えた時、双方向ならば比較的高速に電力を出力側から入力側へ授受可能であることが好ましいからである。また、デジタル制御回路は PI 制御器と PWM 制御器を用いている。

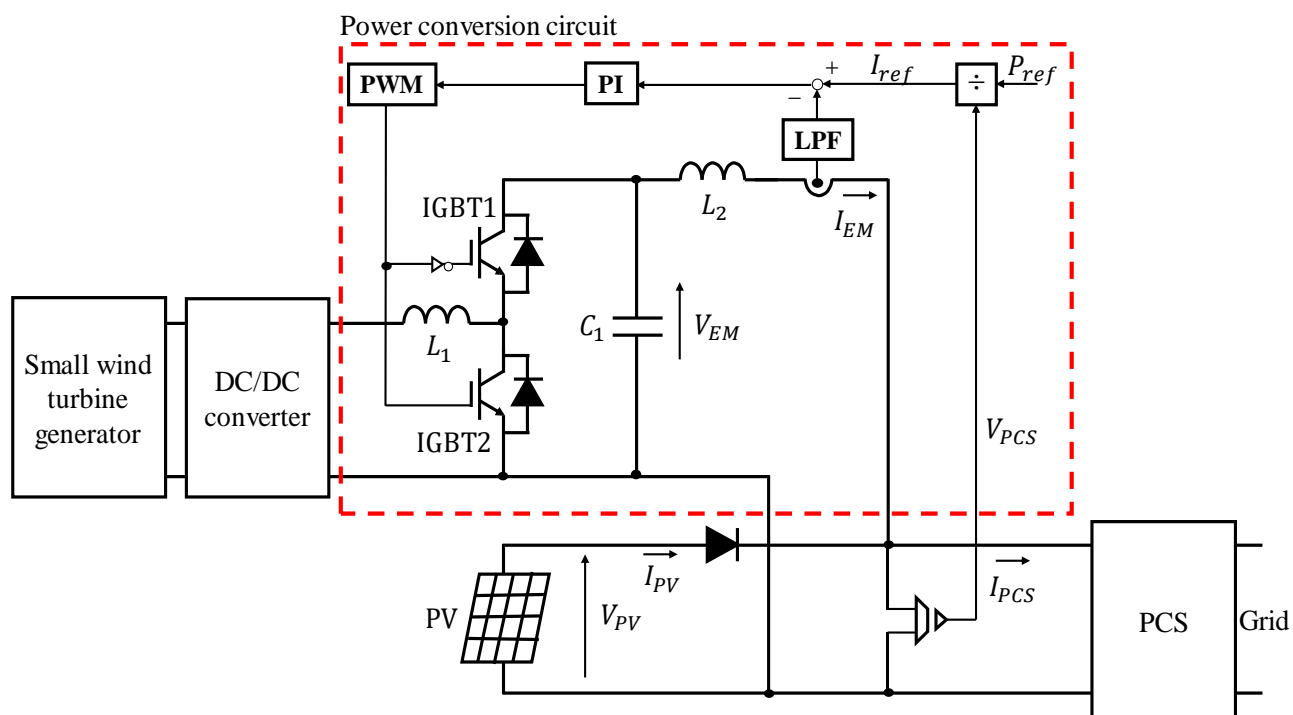


図 2.8 電力変換回路の構成図

#### 2.4.4 電力変換回路の制御

並列接続モードは協働システムを太陽光発電システムに並列に接続し、PV が PCS の MPPT(Maximum Power Point Tracking:最大電力点追従)制御によって最大電力点付近で運転動作し、協働システムからその動作点に影響を与えないまま PCS へ電力を重畳するシステムである。図 2.9 に V-P 特性を示す。MPPT 制御は PV の V-P 特性に従って、山登り法で入力電力の増加方向に応じてデューティ比の方向、大きさを変え MPPT 制御しているため、山の形を変えないように協働システムから一定の電力を重畳することで MPPT 制御に悪影響を与えないようにすることが出来る。ここで、協働システムの出力電力を  $P_{EM}$ 、出力電流を  $I_{EM}$  とする。また、協働システムは太陽光発電システムに並列に接続するため、出力電圧は PCS の電圧  $V_{PCS}$  と同値にするよう協働システムは制御している。よって

$$I_{EM} = \frac{P_{ref}}{V_{PCS}} \quad (2.1)$$

とすることで、一定電力を重畳することが出来る。

電力変換回路の双方向コンバータは並列接続モードでは昇圧型 DC/DC コンバータであり、バッテリー電圧  $E_1$  を  $V_{PCS}$  まで昇圧する。それを式(2.2)に示す。

$$V_{PCS} = \frac{1}{1-d} E_1 \quad (2.2)$$

図 2.8 より、デューティ比  $d$  はデジタル制御ブロックより決まる。

$$P_{EM} = V_{PCS} \times I_{ref} \quad (2.3)$$

まず、協働システムから出力する電力指令値  $P_{em}$  と PCS の電圧  $V_{PCS}$  より電流指令値  $I_{ref}$  が決定される。出力電流  $i_2$  をフィードバックし  $I_{ref}$  との差を取り、PI 制御器より出力電流  $i_2$  が  $I_{ref}$  になるよう PWM スイッチング制御によりデューティ比  $d$  が決定される。

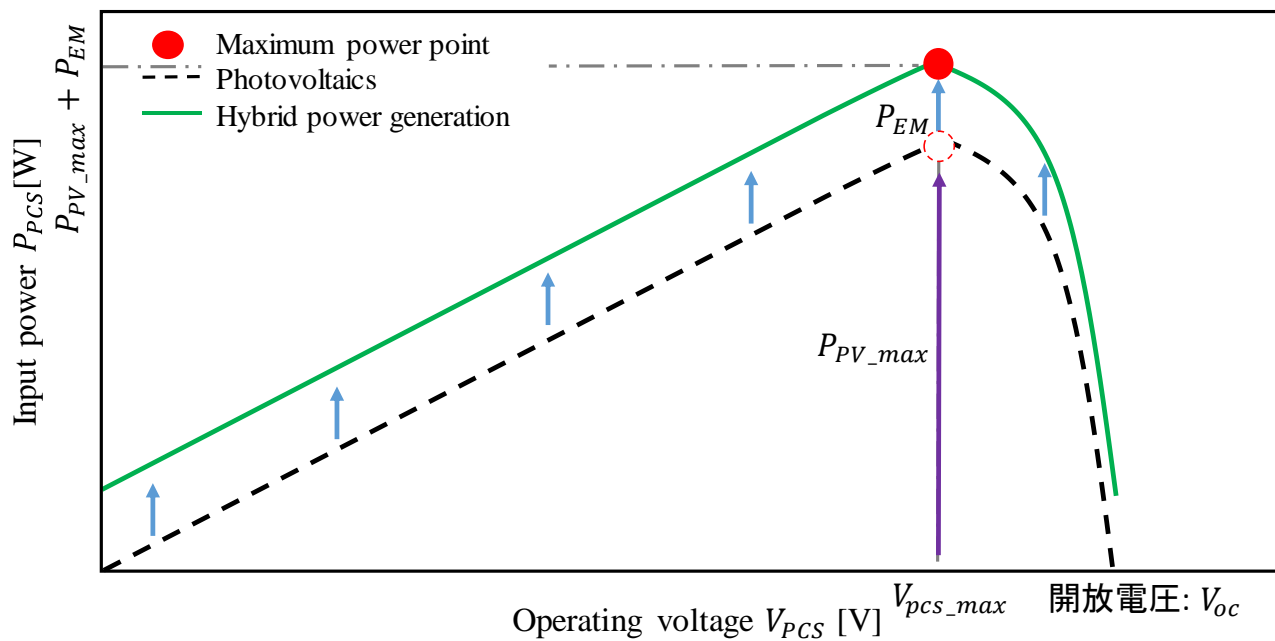


図 2.9 並列接続モードの V-I(実線), V-P 特性(点線)

### 第三章シミュレーション及び実機実験による検証

この章では第二章で記述した制御法の妥当性について、シミュレーション及び実機にて検証を行う。シミュレーションにはパワーエレクトロニクス回路シミュレータである PSIM を用いる。実機実験では前述の供試器を用いて行う。

#### 3.1 シミュレーションによる検証

##### 3.1.1 シミュレーション条件

シミュレーション回路を図 3.1 に示す。シミュレーションで用いる PV の各パラメータの値を表 3.1 に、太陽電池協働システムのパラメータと各数値を表 4.2 に示す。PV は供試器の特性を基にした値であり、7 枚直列に接続する。また PCS は昇圧コンバータ回路で模擬した。制御は山登り法で入力電力の変化方向に応じてデューティ比の方向、大きさを変え MPPT 制御する。

このシミュレーションでは PV の特性に対する影響について、協働システム、PV、PCS の電流、電圧、電力波形から確認する。出力電力指令値は 9[s]~10[s]に 600[W]をステップで与える。

##### 3.1.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 3.2 に示す。電力波形に注目すると、PV の電力 $P_{PV}$ に協働システムから供給される電力 $P_{em}$ が追加され PCS の入力電力 $P_{PCS}$ が増加している。そして、協働システムから電力が供給される 9[s]付近の $P_{PCS}$ から最大電力点が大きくずれる事無く電力供給が可能であることが確認された。電圧波形からも一旦電圧は最大電力点電圧から変動するがその後 MPPT 制御により元の電圧に戻っているため、MPPT 制御に影響を与えずに協働システムより電力を重畳するシステムの妥当性を結果が示している。



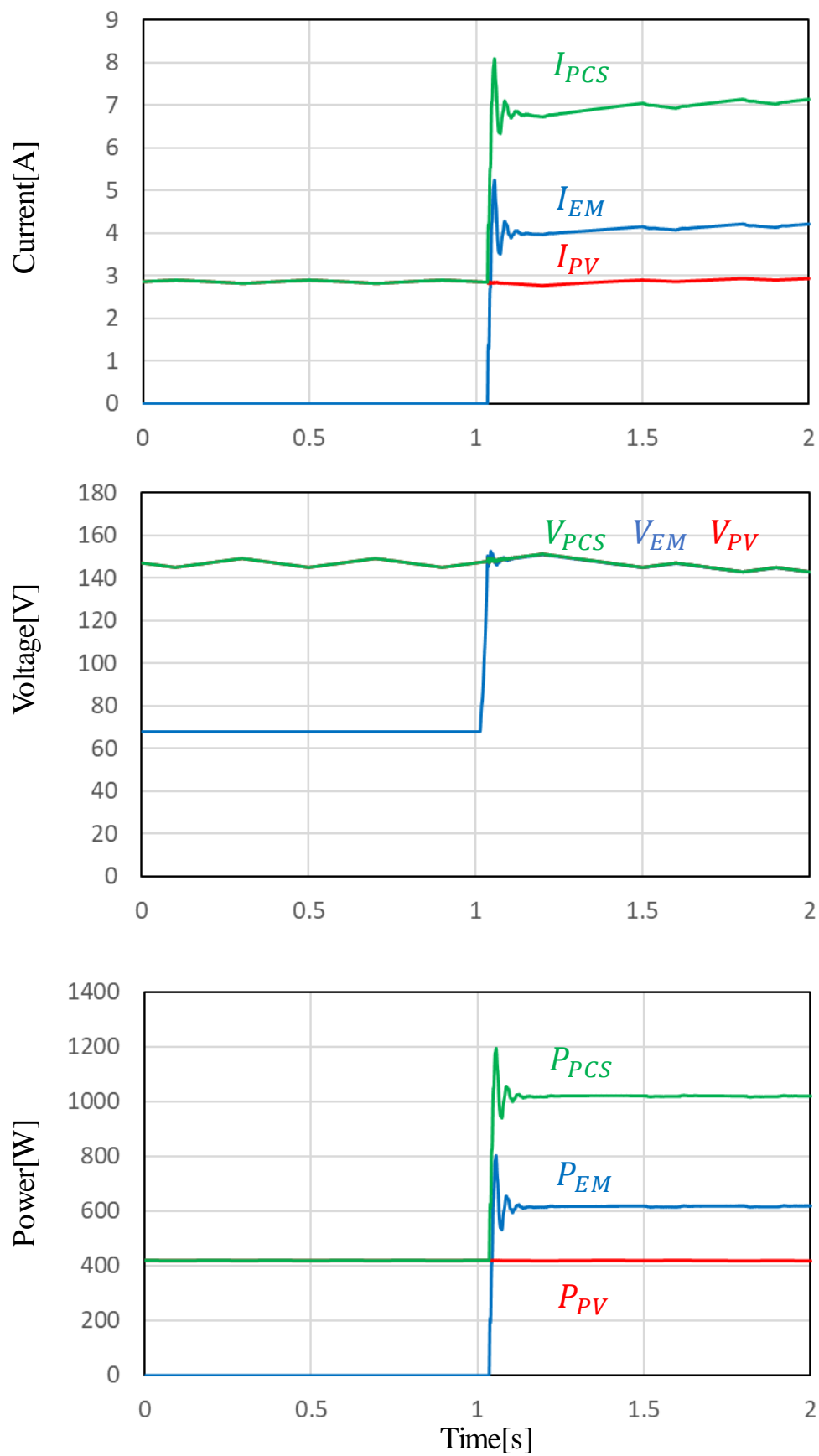


図 3.2 シミュレーション結果



表 3.1 太陽電池の 1 枚当たりの各パラメータ

パラメータ	変数	値
セル数	$N_s$	89
直列抵抗 [ $\Omega$ ]	$R_s$	0.001815
短絡抵抗 [ $\Omega$ ]	$R_{sh}$	1000
短絡電流 [A]	$I_{short}$	5.3
開放電圧 [V]	$V_{open}$	32.66
放射照度 [ $W/m^2$ ]	$S$	500
最大電力 [W]	$P_{max}$	121.93
最大電力点電流 [A]	$I_{max}$	4.77
最大電力点電圧 [V]	$V_{max}$	25.56

表 3.2 シミュレーションにおける太陽電池協働システムの各回路パラメータ及び各数値

パラメータ		変数	値
バッテリー電圧 [V]		$E_1$	72
出力電力指令値 [W]		$P_{\text{ref}}$	200
最大電力点における太陽電池の抵抗 [ $\Omega$ ]		$R_{\text{pv}}$	37.8
リアクタンス [mH]		$L_1, L_2$	10 , 7.68
キャパシタ [ $\mu\text{F}$ ]		$C_1$	13.2
PI 制御器	比例ゲイン, 時定数	$K_i, T_i$	0.03 , 0.005

## 3.2 実機実験による検証

### 3.2.1 実機実験条件

図 3.3 に実機実験で用いた回路図を示す．今回は電力変換回路を作製していないため，同様の制御が行えるように，電圧制御電流源を用いシミュレーションで得られたシステムの妥当性を実機実験にて検証した．

今回の実機実験では様々な天候における日射量条件で電力供給量を変更し検証を行った．そこから，日射量の多い晴天且つ昼時と日射量の低い夕方時に得られた実験結果について記述する．

### 3.2.2 実機実験結果

高日射量時の協働システム，PV，PCS の電流，電圧，電力波形を図 3.4 に示す．まずは，電力波形に注目すると，シミュレーション結果と同様に PV の電力 $P_{PV}$ に太陽電池協働システムから供給される電力 $P_{em}$ が追加され PCS の入力電力 $P_{PCS}$ が増加している．

しかし，電圧波形に注目すると，シミュレーション結果とは異なり電圧の急激な上昇が確認された．これはステップ電力を入力しているため，PCS の入力コンデンサには電流波形に見られるようなステップに近い電流が流れる．これにより一時的に PCS の電圧 $V_{PCS}$ は急激に上昇してしまうが，すぐさま MPPT 制御により元の最大電力点付近の電圧に制御することが出来ている．この結果から，高日射量時には MPPT 制御に悪影響を与えずに太陽電池協働システムより電力を重畳することが出来ている．

シミュレーション結果とは異なる電圧上昇に関しては，実機実験では電圧制御電流源を用いているため結果に差異が出てしまっている．

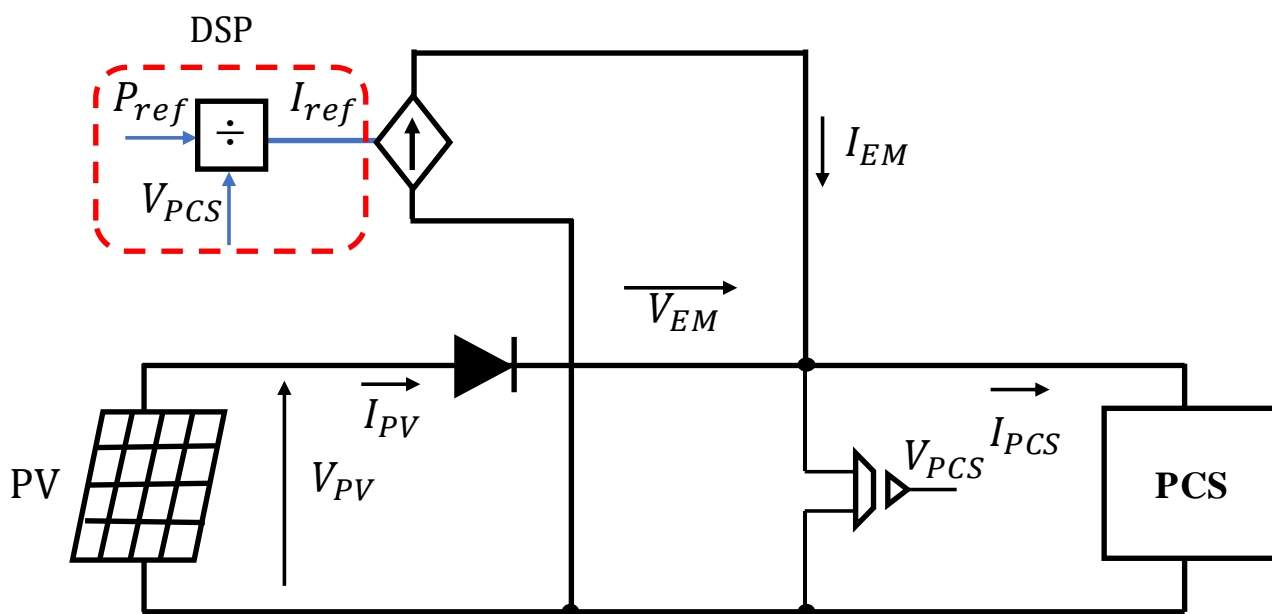


図 3.3 実機実験回路図

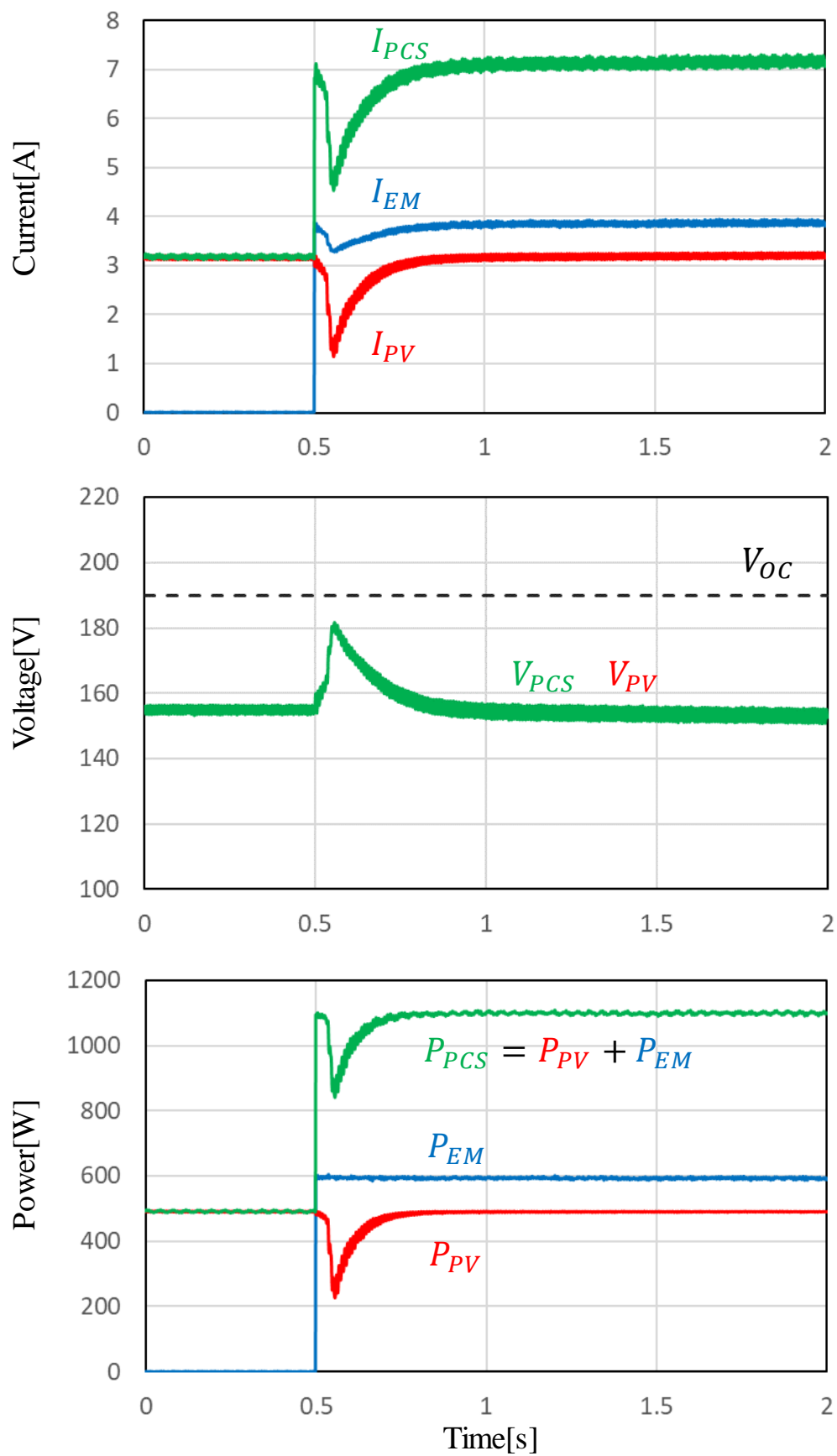


図 3.4 高日射量時の協働システム，PV，PCS の電流，電圧，電力波形

## 第四章 低日射量時における電力供給法

この章では、低日射時における実機検証結果及び生じた問題点の改善案を検討する。

### 4.1 低日射量時における実機実験結果

低日射量時の協働システム、PV、PCS の電流、電圧、電力波形を図 4.1 に示す。

図 4.1 の電力波形を見ると、太陽電池協働システムからの電力供給のタイミングで PV が発電を停止している。これは太陽電池協働システムからの電流により PCS 内部のコンデンサー電圧 $V_{PCS}$ が上昇し PV の開放電圧 $V_{oc}$ を超えてしまったため起きてしまう現象である。高日射量時では起こらなかったのは、図 2.2 に示したように、高日射量時に比べ低日射量時は PV の開放電圧が低くなっているためである。

よって、低日射量時には PV の開放電圧を超えないように新たなシステムの提案が必要である。

### 4.2 ランプ状電力供給法

低日射量時に、PV の開放電圧を超えないようにするには供給スピードを遅くする必要がある。そこで電力供給指令値に傾き、つまり遷移時間を持たせたランプ状に電力指令値を変更した。

### 4.3 ランプ状電力供給法での実機実験結果

実験条件は、ステップ時と同じ条件で行った。ランプ状電力供給法での、低日射量時の太陽電池協働システム、PV、PCS の電流、電圧、電力波形を図 4.2 に示す。実験では、電力供給の遷移時間を 1[s]で行っている。

図 4.2 の電力波形より、0.5[s]の電力供給のスタートから PCS の電圧は上昇するが PV の開放電圧を超える事無く MPPT 制御により元の最大電力点に制御することが出来ている。

この結果より、低日射量時には遷移区間を持たせて電力供給を行うことによってこの問題を解決することが可能であることを示せた。

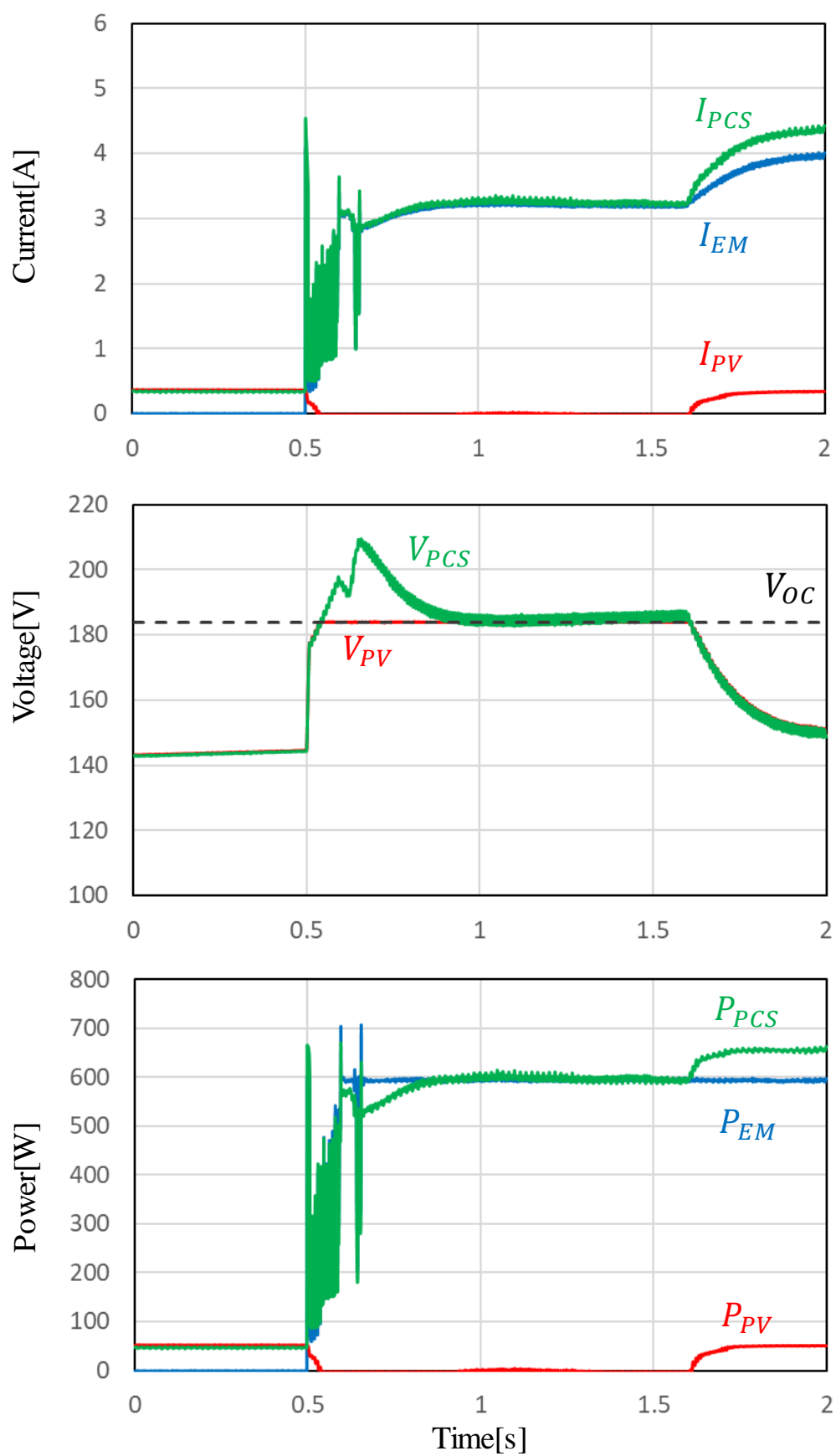


図 4.1 低日射量時の太陽電池協働システム，PV，PCS の電流，電圧，電力波形

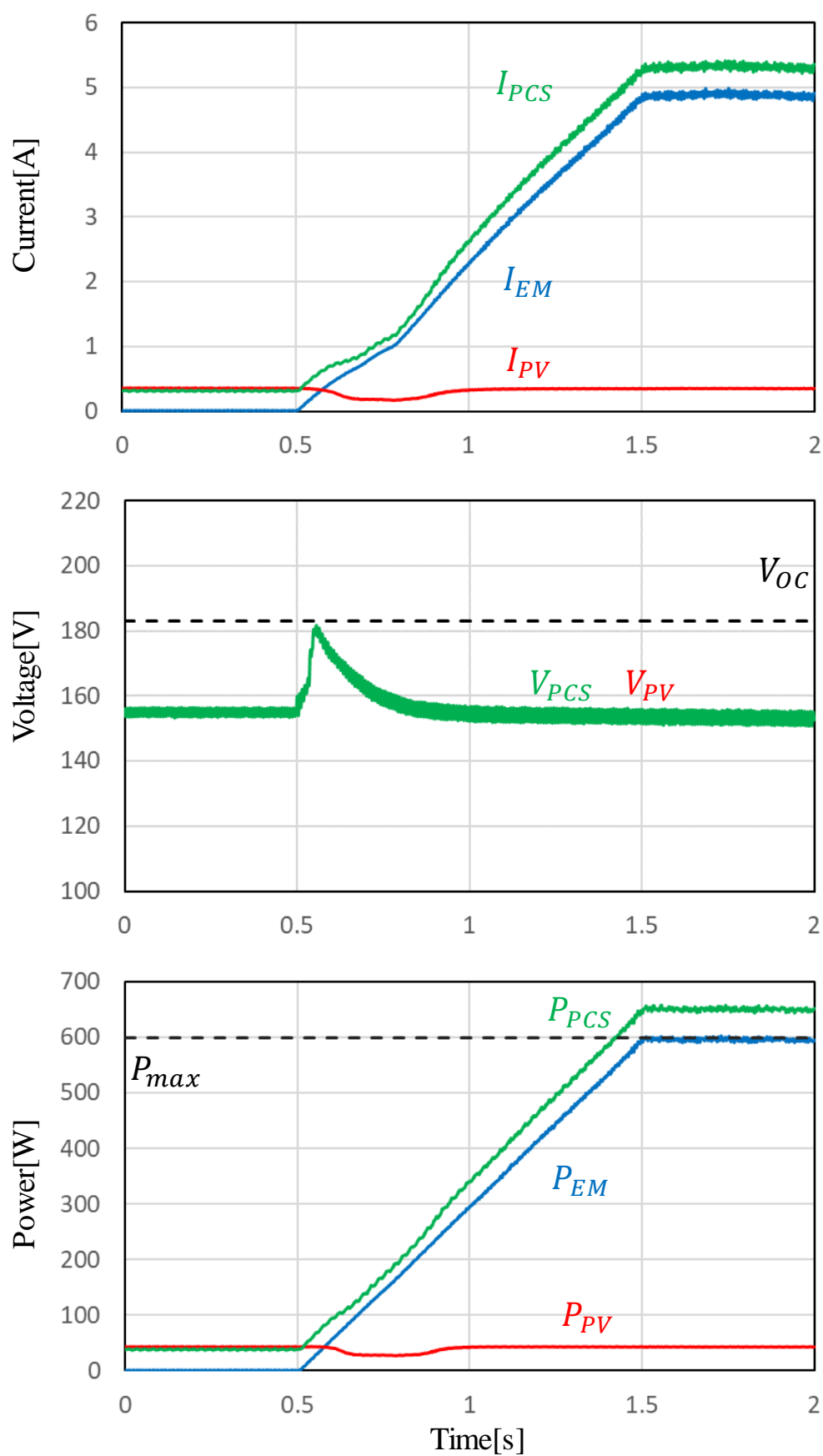


図 4.2 ランプ状電力供給指令値，低日射量時の太陽電池協働システム PV，PCS の電流，電圧，電力波形

## 第五章遷移速度決定式を用いた電力供給法

この章では、四章で示したランプ状電力供給法を発展させ、PV の発電状況を監視しながら遷移速度を決定する手法を示す。

### 6.1 遷移速度決定式

ランプ状の結果より、遷移区間を設けることにより PV 開放を回避可能であることがわかった。四章ではその時の日射量に応じて任意に遷移速度を決定していたが、実際は PV の発電量は随時変動する。よって、PV 発電量に応じた遷移速度を決定する必要がある。

図 2.2 に示した PV の V-I 特性によると、最大電力点付近において日射量に大きく影響するのは PV の出力電流 $I_{PV}$ である。よって、 $I_{PV}$ を検出することで等価的に PV の発電状況を監視する。検出した値を以下の遷移速度決定式(5.1)に取り入れる。

$$P_{ref} = K * \frac{I_{PV}}{I_{SC\_N}} * \frac{P_{max}}{T} * t \quad (5.1)$$

K:ゲイン,  $I_{PV}$ :PV 出力電流,  $I_{SC\_N}$ :公称短絡電流,  $P_{max}$ :供給電力, T:遷移時間, t:供給時間

ランプ状の実験結果で得られた 600[w/s]に検出値を掛け合わせることで、PV の発電量の大小により自動的に遷移速度を増減することが可能になる。

### 6.2 遷移速度決定式を用いた電力供給のシミュレーション結果

式(5.1)を電力指令値として取り入れたシミュレーションの結果を図 5.1 に示す。各区間の動作は、区間①PV のみでの稼働、区間②:遷移速度決定式、区間③一定電力供給となっている。結果より、PV の出力電流に応じて供給電力 $P_{EM}$ を増減できていることが確認でき、低日射時においても PV 開放とならずに電力の上乗せが可能となることを確認できた。よって次段階として、今後は実機検証により決定式の有効性の裏付けを行う必要がある。



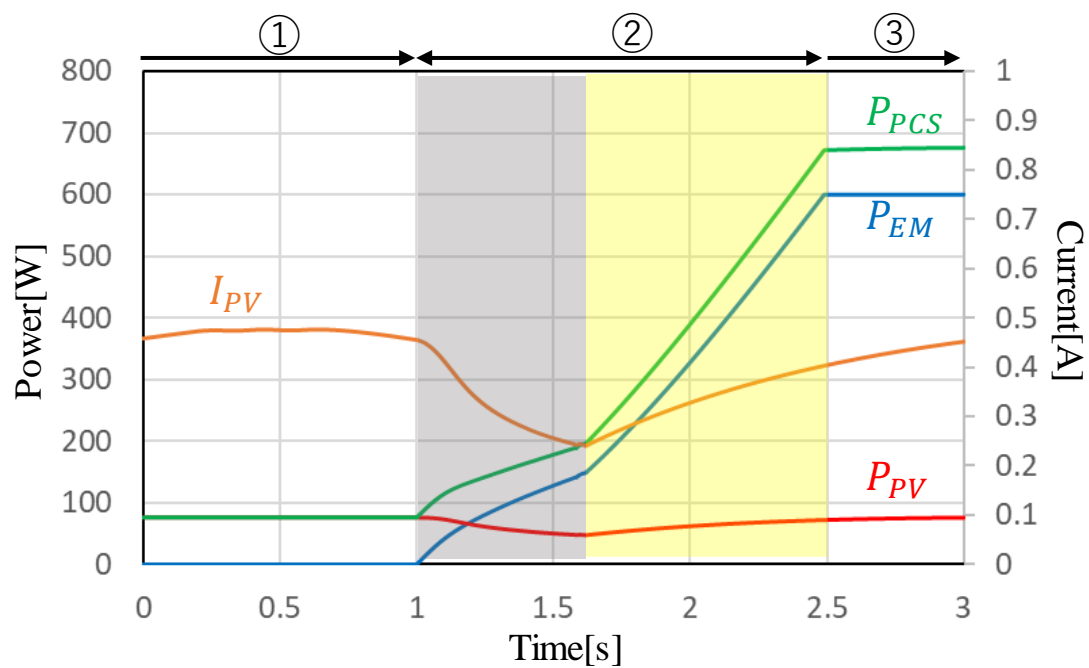


図 5.1 遷移速度決定式を用いた際の太陽電池協働システム，PV，PCS の電力及び PV 出力電流波形

## 第六章 結言

### 6.1 研究の成果

本研究では、PCS の余力改善、且つコスト低減化を目的として電力一定制御を用いた太陽電池協働システムを提案した。そして提案した制御方式の妥当性をシミュレーション及び実機実験によって MPPT 制御に悪影響を与えずに、電力の供給が可能であることを確認できた。しかし、低日射量時の実機実験において PV の開放電圧を超えてしまう問題が発生したため、新たな電力供給法を提案し有効であることを確認した。

### 6.2 今後の課題

五章で示した電力供給法の有効性の検証のため、実機による検証を行う必要がある。また、本稿の実機実験では簡易化した電圧制御電流源を用いているため、今後電力変換回路を作製し、実験を行っていく。本稿では基本的な PCS の機能をモデル化したものに対して制御システムを検討していたため、既存の多くの PCS に適応するシステムの提案が必要である。また、多種多様な PCS に対応させるためには、PCS の制御法などの動作における協働システムへの影響を検証する必要も生じるため、PCS の制御方式やゲインのモデル化を行うか PCS を自主作製していく。

また、共同研究者が文献[15]で提案していた太陽電池協働システムのバッテリーを大容量キャパシタである EDLC に置換することで、メンテナンス削減に貢献しシステムの付加価値の向上を図る。

## 参考文献

- [1] NEDO「再生可能エネルギー技術白書」(2014)
- [2] 大西徳生, 高田茂生「太陽電池の最大出力制御方式の比較と昇降圧チョッパ回路を用いた制御特性」電気学会論文誌 D(産業応用部門誌)Vol. 112 (1992) No. 3 P 250-257
- [3] Dolara A, Faranda R, Leva S. “Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for PV Systems”. Journal of Electromagnetic Analysis & Applications, 2009, 1(3):152-162.
- [4] 野中作太郎「系統連系太陽光発電システムに適した単相 PWM 電流形インバータ」電気学会論文誌D (産業応用部門誌) Vol. 114 (1994) No. 6 P 631-637
- [5] 石橋幹弥, 芳賀仁, 有松健司, 加藤康司「蓄電システムを用いた太陽光発電システムの発電量改善に関する実機検証」平成 30 年新エネルギー・環境研究会, FTE-18-008(2018)
- [6] 木村幸浩, 小内 良浩, 牛山 泉「風力・太陽光ハイブリッド発電システムに関する実証研究」風力エネルギー利用シンポジウム Vol. 17 (1995) P 136-139
- [7] 出井努, 牛山泉「モンゴル国における風力・太陽光ハイブリッド発電システムの実証研究」風力エネルギー利用シンポジウム Vol. 28 (2004) No. 4 P 83-88
- [8] 山本茂広, 角和芳, 西川榮一, 橋本武「太陽光発電電力予測を用いた太陽光・ディーゼルハイブリッド発電システム運用法」電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌) Vol. 124 (2004) No. 4 P 521-530

- [9] Mohammad B, Shadmand, Robert S Balog. “Multi-Objective Optimization and Design of Photovoltaic-Wind Hybrid System for Community Smart DC Microgrid” IEEE Transactions on smart GRID,VOL.5, NO.5, SEPTEMBER 2014
- [10] Chedid R, Akiki H, Rahman S. “A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems” Energy Conversion IEEE Transactions on, 1998, 13(1):76-83.
- [11] Caisheng Wang, Hashem Nehrir. “Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/Fuel Cell Energy System” IEEE Transactions on Energy Conversion, VOL.23, NO.3, SEPTEMBER 2008
- [13] 溝口勇・Vu Minh Phap・山村直紀・石田宗秋：「太陽光発電システムと並列接続可能な小型風力発電装置の開発に関する研究」平成 29 年電気関係学会東海支部連合大会，K2-5(2017)
- [14] 小川凌・溝口勇・Sittisombat Mukkaew・山村直紀・平井淳之・石田宗秋「太陽光発電システムと並列接続可能な協働システムの開発に関する研究」平成 31 年電気学会全国大会，7-043(2019)
- [15] 竹内佑斗, 山村直紀, 石田宗秋:“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電力制御法の検討”平成 26 年パワーエレクトロニクス学会 第 206 回定例研究会, A16, JIPE-40-39, (2014,12)

## 論文目録

- [1] 小川凌・溝口勇・Sittisombat Mukkaew・山村直紀・平井淳之・石田宗秋「太陽光発電システムと並列接続可能な協働システムの開発に関する研究」平成 31 年電気学会全国大会, 7-043(2019)

## 謝辞

本研究の遂行ならびに論文作成にあたり、終始丁寧にご指導を賜りました三重大学大学院 電気電子工学専攻 准教授 工学博士 山村直紀先生、中部大学 工学部 宇宙航空理工学科 教授 石田宗秋先生教授に心より御礼申し上げます。

最後に、私のことを最優先に考えた大学、大学院生活を送らせて頂いた両親と、私と同時代にエネルギーシステム研究室に御在籍された全ての方々、授業などで関わった方々には大変お世話になりました。心から感謝致します。