

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「太陽光発電高効率化技術開発」

研究開発成果等報告書

平成25年5月

委託者 近畿経済産業局

委託先 学校法人立命館

目 次

第 1 章	研究開発の概要	頁：1pg1
1－1	研究開発の背景・研究目的及び目標	
1－2	研究体制	
1－3	成果概要	
1－4	当該研究開発の連絡窓口	
第 2 章	本論	
2－1	分散型 MPPT デバイスの効率化等の研究 (学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術コンサルタント株式会社)	頁：2-1pg1
2－2	分散型 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能付加の研究 (学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術コンサルタント株式会社)	頁：2-2pg1
2－3	屋外実フィールド及び既存運転中太陽光発電での検証・研究 (学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術コンサルタント株式会社、上新電機株式会社)	頁：2-3pg1
2－4	分散型 MPPT デバイスのプロトタイプ製作 (学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術コンサルタント株式会社)	頁：2-4pg1
第 3 章	全体総括	頁：3pg1

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

現在、国内において、再生可能エネルギーの持続的な利活用・拡充の実現を図ることは経済産業省を中心とした国策の一環として官民あげての取り組みとなっている。再生可能エネルギーの内、太陽光発電に注目し以下の研究開発の実現を図ることにより、国の再生可能エネルギー拡充施策に寄与を行いたい。

現在、太陽光発電は複数のパネルを接続し、この複数パネルの集合体に対して最大の電力を取り出す方式にて発電を行っているが、この方式では、単体パネルを構成するセルの製造品質や設置環境によって効率的な発電とならない実態がある。また、現在の技術で単体パネルそれぞれに対して効率化制御を行うことは大きなコストアップとなっている。また、構成している単位パネルが劣化や故障で不活性不機能となった場合、これを即日に出検することができず、結果、不機能パネルを含む並列もしくは直列群の発電低下が発生している。

このような課題・ニーズが川下分野横断的な共通の課題・ニーズとして存在している。

上記の課題・ニーズに対して、太陽光の単体パネル単位に装着する電子部品デバイスとシステムを設計・開発し、研究室及び屋外フィールド等での検証研究を経て実用化を図り以下の目標を達成することを研究の目的としている。（本件研究開発デバイスを「分散型 MPPT デバイス」と表記する。）

- ❖ 太陽光発電高効率化：

従来の太陽光発電に対して、発電利用率 5 %UP 以上。

- ❖ 開発デバイス 1 基当たりのコスト：

最終供給レベルで \$ 10（¥800～¥900）／100W

- ❖ 太陽パネルが不活性・不機能となった場合、この自己検出機能を「分散化 MPPT デバイス」にオプションとして付加し、大規模（メガソーラー）な太陽光発電事業において、この効果を有効とし発電維持に寄与する。（この自己検出機能には分散化 MPPT デバイスが不機能となったときの検出も含む。）

1-2 研究体制

(1) 管理員および研究員

【事業管理機関】 学校法人立命館

①管理員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
栗山 俊之	研究部リサーチオフィス (BKC)・課長	
藤澤 知宏	研究部リサーチオフィス (BKC)・課長補佐	
安川 竜二	研究部リサーチオフィス (BKC)・課員	
加藤 早恵子	研究部リサーチオフィス (BKC)・課員	

②研究員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
高倉 秀行	理工学部電気電子工学科・教授	①、②、③

【再委託先】

株式会社イー・プランニング

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
板垣 禮二	代表取締役	①、②、③、④
山下 勇	執行役員・事業開発本部長	

SK 電気技術コンサルタント株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
曾根 健二	代表取締役	①、②、③、④

上新電機株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
遠山 雄一	経営企画本部店舗開発部長	③、④

【アドバイザー】

〒661-0974 兵庫県尼崎市若王寺3丁目11番20号

関西電力株式会社 研究開発室エネルギー利用技術研究所

主席研究員：磯 修

(2) 委託期間

開始 平成23年10月12日

終了 平成25年 3月29日

1-3 成果概要

① 分散型 MPPT デバイスの回路設計研究と効率化等の研究

平成23年度は、での検証用の「分散型 MTTP デバイス」の設計・回路作成（バラック回路）を行い、同回路が太陽光パネルの最大電力を適正に反映できていることの理論確認を立命館大学研究室にて行った。その結果、以下を確認することができた。屋外実フィールド検証研究に移行した。

- ❖ 開発した分散型 MPPT デバイスは、昇圧型で動作し、MPPT 動作は理論通りの動作であることが確認できた。
- ❖ 直列接続動作において、適切に出力電圧がバランスすることを確認した。
- ❖ 変換効率は、90%前後であり、開発デバイス効率改善が必要であることがわかった。

平成24年度は、設計製作した試作品等により実験室試験、電子素材の選定設計、評価、試験を繰り返し実施したが、高効率デバイスの開発目標である5%総合効率アップには未だ届いていない。理論値と実際のデバイスの実験室試験データは目標値に近いデータが得られているが、フィールド試験データは、未だ挿入損失の方が多い状態である。

しかしながら、徐々にその差は縮まりつつあり、現時点では、ハード的な課題はほぼ解決したと考えている。残る課題は、MP 点（最大電力点）を探るソフト上の課題であるため、そのアルゴリズムを今後継続して徹底的に研究することとする。

ハード的にはほぼ合格点が与えられる装置の開発ができた。ソフト改良を研究し、当初目標値を達成する目途がたつたと表明できる。

①-1 屋外実フィールド検証設備の構築

分散型 MPPT デバイスの適用能力性の検証には、複数の太陽光パネルに同デバイスを取り付けて実証研究を行う必要があった。このため実際の屋外実フィールドに実証用設備を構築して、この実証研究並びに分散型 MPPT デバイスの適用能力拡大の実証研究を行うことを目的とした。

前項①及び次項②の実フィールドでの検証研究のため、次の検証用設備を構築した。

(平成23年度)

(1) 上新電機株式会社東大阪店：検証設備構築

実証方法は、太陽光パネルの各メーカ（Sharp、Panasonic、京セラの3社）毎に分散型 MPPT デバイスを取付けた太陽パネルグループと取付けていないグループに分割して、出力特性等のデータ収集を直流電

力積算計で行った。

(2) 立命館大学研究室屋上：検証設備構築

既存の運転中太陽光発電の太陽パネルは経年劣化や増設等での仕様混同などで初期に期待した発電量が阻害されているものと推測される。このような設備に分散型 MPPT デバイスを取り付けることにより同デバイスの適用能力の検証研究を行うとともに同デバイスの適用能力拡大の実証研究を行うことを目的とした。

検証研究方法は、立命館大学研究室屋上の研究用太陽光発電設備の一部分を使用して、分散型 MPPT デバイスを取付けたグループと取付けていないグループに対する対比研究、実証検証・研究を行った。

同研究室の研究用既存太陽パネルを本研究検証用として使用。

② 分散型 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能付加の研究

現在多くのメガソーラ計画が発表されている。自然エネルギーの中で太陽光発電は比較的環境に掛ける負荷が低いと想定され今後の大きな拡大が社会から望まれると同時に期待もされている。太陽光発電システムの場合単位パネルの容量は現時点で 150～300[W] 単位のパネルを多数直並列接続して電力を供給している。この中の一部のパネルに不具合や劣化が起きると、その影響は劣化が起きたパネル単体に留まらず組み合わせたパネル全体に影響を及ぼしシステムの効率に悪影響を及ぼす。

この問題を解決する効果的な方法は現時点で見つかっておらず、メガソーラ設備を運営している事業者や計画している事業者から開発が望まれている。そこでこのニーズに対応できるパネル自己診断システム開発を目的とした。

今回の研究開発品である「分散型 MPPT デバイス」は各パネル個々に取り付けることから、センサー機能として電圧と電流を CPU に取り込み演算しているので、新たにセンサーの取付が不要である。本研究では Zigbee 素子規格による双方向通信によりパネル自己診断機能のシステム化を図るため次の施策を設定した。

- ❖ センサーデータは開発中の分散型 MPPT デバイスの内部信号の一部を加工する。
- ❖ 通信手段としては Zigbee 規格を使用した双方向無線通信とする。
- ❖ データ管理として基本的なデータ収集システムを構築する。
- ❖ 表示できるマンマシンインターフェイスを構築する。

平成 23 年度は、立命館大学研究室屋上にて簡易的なデータ収集演算装置を設計構築し上記で設定した目標を達成することができた。即ち、太陽光パネル自己診断機能は Zigbee 規格素子による双方向通信により簡易的なシステム化を行うことができた。

平成 24 年度は、自己診断システムの更なる機能強化、効果的マンマシンインターフェイスと汎用的な伝送システム（データ収集演算装置）の構築が達成できた。

平成 23 年度に採用した ZigBee 規格素子は 2.4MH z 帯域品を使用して立命館大学研究室屋上の既存太陽光パネルでの検証を行った。その結果、2.4GH z 帯域では複雑な障害物（パネル架台など）によって、分散型 MPPT デバイス個々に取り付けた ZigBee と親機（データ収集演算装置）ZigBee 間の通信が不安定に陥ることが散見されたため、900MH z 帯域の新規格 ZigBee（平成 24 年 11 月新規格）を採用してデータ通信授受の実証に移行した結果、分散型 MPPT デバイスの CPU に取り込みされたデータを正常に親機側に伝送できることが実証できた。

汎用性があるって効果的なマンマシンインターフェイスと広域伝送システムの構築の開発構想を基本に具体的なシステム図を策定して開発を行ったが、現在の ZigBee 通信規格はスター、メッシュ及びツリーシステムとなっており、このような ZigBee 規格からして前述の広域な事業用太陽光発電設備に完全な無線通信を現在の ZigBee 規格にて構築することは困難であることが判明した。

本件研究当初は ZigBee 規格素子によるリレーショナル・アドホック通信を実現することを目途としたが、残念ながらそのような ZigBee 規格は開発途上にあり、供給メーカーからの提供を待つ以外にないのが実情である。

しかしながら、本件研究にて開発を行った自己診断システムは今後のリレーショナル通信規格 ZigBee にも十分に対応できる汎用性のあるシステムであることから今後の通信規格の展開を注視して更なる汎用的な自己診断システム構築を目指すこととする。

検証結果は、太陽光パネルに取り付けた分散型 MPPT デバイス内の ZigBee 素子から太陽光パネルからの入力電圧、入力電流、入力電力、積算電力量、出力電圧、PWM のデータを PLC 経由（ZigBee 通信）にてデータ収集演算装置に取り込み、収集したデータより劣化・不良パネルの検出および過去の収集データ閲覧・取り込みが実現できるシステムができた。一部のデータの欠落が生じているが、今後、更なる信頼性に向けて研究を継続する。

③ 屋外実フィールド及び既存運転中太陽光発電での検証・研究

屋外実フィールドでの同システムの最大出力追尾（MP 点追尾）は、各モジュールの最大出力点をほぼ正確に追尾している傾向にあることが検証できた。開発した電力変換器がほぼ設計通り動作傾向にあることを確認することができた。

ZigBee 素子による送信は、一部のモジュールで一定の時間帯にデータ未受信の発

生があった。他のモジュールのデータは正常であったことから、信頼性向上のためにはこの原因について、今後、継続して考察することとする。

既存運転中太陽光発電での検証においても、開発した電力変換器がほぼ設計通り動作傾向にあることを確認することができた。また、太陽電池アレイの劣化や故障診断法として、直流積算発電量の比較が大変有効であることが明確になった。

④ 分散型 MPPT デバイスのプロトタイプ製作

プロトタイプ品の設計において、絶縁耐力、サージ耐力、コスト対応、電子部品選定、同耐久性能、コンデンサー選定、インダクタンス寿命、熱安全性能など各種の設計検討を実施してこれらに合致するプロトタイプ品を製作した。

コスト面については、10 万個製作時の原価試算を予定していたが、パーツコスト、製造コストを算出するには、専門製造メーカーの協力が不可欠で、当研究メンバー単独では困難であることが判明した。従って、製造コストは、再度、製造のみを行っている製造会社と検討を行うことに決定した。

尚、不要輻射等、IEC 基準の認証機関による認証を獲得するための認証試験を行う予定であったが、デバイス効率が目標に達していないこと等、課題に対する更なる研究・検証が必要なことから、認証試験を今回は断念し、これらの課題が解決してからの実施計画とすることとした。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

学校法人立命館 立命館大学 研究部リサーチオフィス (BKC)

担当者名 加藤早恵子

〒525-8577 滋賀県草津市野路町東 1-1-1

電話番号：077-561-2815 FAX：077-561-2811

E メール：kato-s-a@st.ritsumei.ac.jp

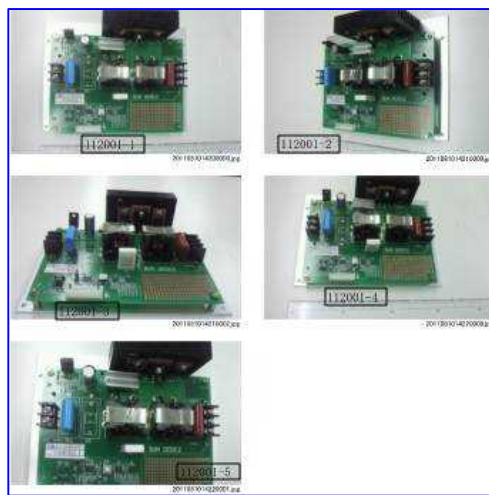
第2章 本論

2-1 分散型 MPPT デバイスの回路設計と効率化等の研究

(学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術コンサルタント株式会社、)

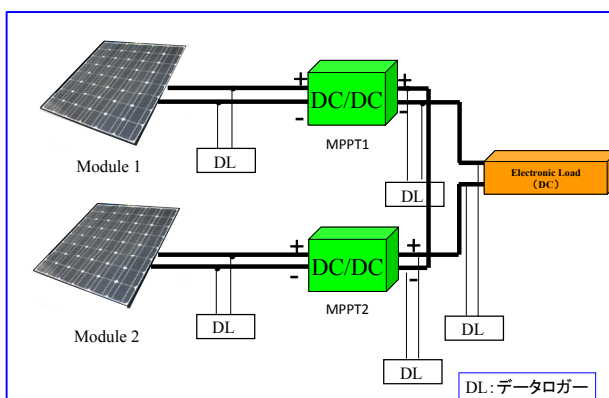
(A) 回路基礎研究

平成 23 年度、立命館大学研究室での検証用の「分散型 MTTP デバイス」の設計・回路作成を行い（図表 2.1.1～3）、同回路が太陽光パネルの最大電力を適正に反映できていることの理論確認を同研究室にて行った。その結果、屋外実フィールド検証研究に移行することができた。



図表 2.1.1 検証用ブラック回路

図表 2.1.2 実験設備の外観



図表 2.1.3 直列動作試験実験装置概念図

実証結果は、

- ❖ 開発した分散型 MPPT デバイスは、昇圧型で動作し、MPPT 動作も正常に動作し理論通りの動作であることが確認できた。
- ❖ 直列接続動作において、適切に出力電圧がバランスすることを確認した。
- ❖ 変換効率は、90%前後であり、開発デバイス効率の改善が必要であることがわかった。

(B) 回路効率化などの研究

* 目的

平成 24 年度は、以下に掲げる性能を確保し、実用化デバイス開発を目標とした。

- 1, 前年度、実証試験を行ったデバイスの実効効率が目的効率 5%に達していないため、種々の効率向上設計を実施した。試作デバイスの実証試験を行い効果判定を行う。
- 2, 実証試験の結果、能力が目的に達しない場合には、更に効率アップの研究試作を行い、研究目的である 5%の効率向上を達成することとした。
- 3, 発電電圧が低いときにもこの装置を効率的に運用するために、現在の昇圧コンバーターから、昇降圧自在型が使用できないかについての研究を行う。

* 検証研究方法

上記目標について、以下の検証方法を策定して実証試験を実施した。

1, 高効率化機器の開発。

前年度の高効率化対策から試作品を製作し、上新東大阪と立命館大学既設で実際のパネルを使用しての効率改善度検証のための前段階として、以下の作業を行った。

- a) DC/DC コンバーターを取り付ける前に、取り付けるパネルと、比較用パネルの、機器バラツキとロケーションの違いによる計測誤差を修正するために、一定期間、DC/DC コンバーターを取り付けない状態での発電量積算データを取得する。このデータで、パネル個体差・環境の違いによる発電量の差を計測して、後日 DC/DC コンバーターを接続して、一定期間計測したデータと比較するための補正係数を取得する。
- b) 電気配線を新しいデバイスに対応した配線への更新する。

結果として、発生電力量を一定期間計測し、DC/DC コンバーターの入っていない群と同一枚数である DC/DC コンバータを使用した群との積算発生電力量を一定期間経過後に取得する。

事前に得られている、データにより、補正を行い個体差、環境条件の相違を補正し、積算電力量の比較を行う。

- 2, このデータが目標値に達していたら、実証研究を終了して、次の段階へ移行する。目標値に達していなければ、個別原因を調査し、改良設計を行い、再度、試作品を製作交換して、実証試験、効果比較を繰り返す。

最終的に、性能が目標値に達するか、若しくは目標値に達していなくても限界であることが確認されたら、プロトタイプ試作に移行する。

3、昇降圧を同時に行えるコンバーターの開発

現在のコンバータは昇圧動作であるため、降圧動作は不可能である。しかしながら、実際のフィールドでは影の影響等により定電力・電圧変化型の出力を想定した場合、降圧動作が必要になってくる。その動作範囲は非常に限定的であるが可能性の追求のため、昇降圧が同時に出来る回路の研究を行う。

その手段として、多くの回路について調査した結果、SEPIC コンバーターが使用できるのではないかと想定。その装置の開発可能性を、舞鶴高専の指導もお願いして実際の回路研究、効率予想、回路上の諸定数の選定を行うことにした。

当初、SEPIC コンバータは、その基本原理上、変圧器の巻き線を分割し、両方に流れる電流の差分を調節することで、昇圧動作から降圧動作までを回路を切り替えることなしに連続的に行うシステムであることは確認済みである。

予想される問題点は次の様な点にあった。

- 1) 回路構成上、電流が2つの相互誘導を伴ったインダクタンスを流れるため、電流の流通経路が長くなり導体損失が増加する可能性がある。
- 2) 充放電を行うコンデンサーが1ヶ増加するため、この損失も増加する可能性がある。
- 3) 単純な昇圧コンバーターと比較した場合、ダイホードも増加するため、導通損失が増加する。

等、電流の流通経路が複雑化するため、エネルギー形態変更の様な高効率化を要求する回路に実用使用できるかの研究検証する必要があった。

(C) 成果と課題

1, デバイス設計～各種検証・評価・対策

DC/DC コンバータ設置の前段階として、設置する予定パネル群と、比較するための装置を設置しないパネル群の発電量比較を行った。1週間程度の計測結果では以下の数字であった。

(データーは一定期間の発電電力量、DC/DC 設置予定パネル群/設置しない予定のパネル群)

	第1回目	第2回目	第3回目	平均
シャープ製	98.1%	97.8%	98.3%	98.03%
パナソニック製	97.2%	96.8%	97.2%	97.06%
京セラ製	102.6%	101.8%	103.8%	102.73%

ここで、シャープと、パナソニック製では、DC/DC コンバーター設置予定のパネル群の方が発電量が低いデーターとなっているが、京セラ製のみ、コンバーター設置予定群の方が高いデーターとなっている。この原因について以下の項目で分析を行った。

a) パネル群の個別効率の差

- b) 設置環境の相違
- c) 電気回路構成上（電線長さ）の損失
- d) 回路上の損失部品（合流ダイオード）

以上の対策検討と京セラパネルの考察、直流計量器の精度不具合改善から再測定を実施した結果、下表を得た。他社のパネルと同一の結果となったため、この値を補正係数として採用する事に決定した。

	第 4 回目	第 5 回目	第 6 回目	平均
京セラ製	98.2%	97.3%	96.8%	97.4%

3, 前年度設計試作コンバーターの実証試験成果

前年度、設計した改良型のコンバーターの工場試験データは、平均効率 95.2%程度を示していたため、東大阪と立命館の実験設備に装着して実証試験を行った。その結果、シャープ製パワコンに接続した回路は回路電圧が大幅に変動し、安定運転が出来なかった。そこで、「シャープ製のパワコンがハンチングを起こす原因」の究明も実施した。

4, 効率向上のための再試作

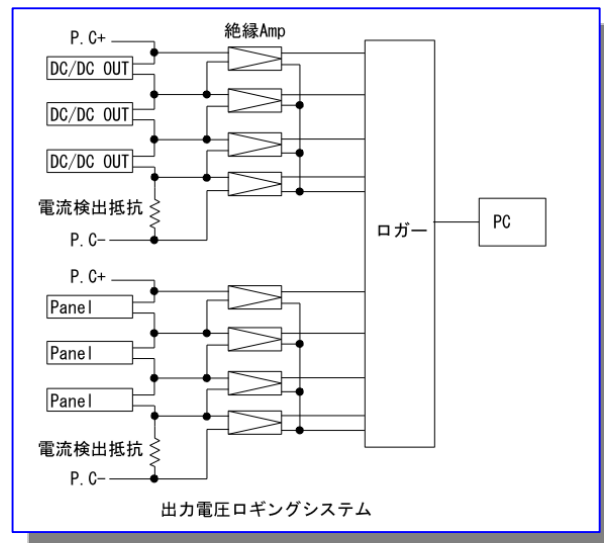
以下の改良点から改良設計を実施した。

- a) 使用インダクタンスの定数決定
- b) インダクタンスの形状
- c) インダクタンスギャップ形状
- d) 入力側コンデンサ選定（電解 C）
- e) 制御電源の選定
- f) FET 加熱対策
- g) FET ゲート回路に直列コンデンサ挿入し、FET : ON 時間を制限

これらの改良を行った結果、基盤を作成し実験室試験を実施した結果、最大効率 97.3%を確認できた。

検証設備での DC/DC コンバーター動作測定の回路と測定器構築を行い実施した。

測定回路



図表 2-1-4

- a) アイソレートアンプは、計装用のアイソレートアンプを自作使用。
- b) ロガーは、IV トレーサ用ロガーを使用。

測定結果した結果は、ハンチングが起き MP 点から外れた点（MP 点以外の点）で運転が行われおり、このため効率が低下。MPPT 動作のソフトに原因があることが判明した。（ハード面が原因ではない。）この原因は、次の通りであった。

- a) PWM 幅を変更しなくても出力電圧が変化したとき、入力電流が変化している。
- b) PWM の上限値が大きすぎる。
- c) PWM ステップ幅が大きすぎて、オーバーシュートを起こしている。

この対策をソフト的に実施し、模擬電源装置を使用して、テストを行った結果、良好なデータを得られた。東大阪検証設備にてこの対策を実施して、再度検証計測を行う事に決定している。（研究継続中）

- a) 出力電圧が変化したとき、入力電流が影響を受けることが確認できたため、比較データ（PWM 幅の調整をするためのデータ）を過去データから直前計測データに変更する。
- b) PWM 制御の幅の最大値を 70%から 62%に変更する。PWM70%では、入力電流の増加が大きくなるはずであるがパネルが定電流特性を持つため、電流は増加せず入力電圧のみが減少するという現象を確認したため。
- c) PWM のステップ幅を 2.5%から 0.5%に変更する。

【総括】

高効率デバイスの開発目標である 5%総合効率アップには未だ届いていない。理論値と実際の装置の実験室レベルでのテストデータは目標値に近いデータが得られているが、フィールド試験データは、未だ挿入損失の方が多い状態である。

しかしながら、徐々にその差は縮まりつつあり、現時点では、ハード的な問題はほぼ解決したと考えている。残りは、MP 点を探るソフト上の問題と思われるため、そのアルゴリズムを今後、徹底的に研究することとする。

通常のインバーター用 MPPT プログラムを参考に開発を進めてきたが、どうやらこのシステムでは欠陥がある模様である。根本的に異なるのは、出力電圧が可変である点にあると想定される。

開発当初は、基本的に出力電圧を CPU が考慮しないことを前提に開発を進めてきた（この理由は、理論上は出力電圧の外部変動により入力に変化しないため）が、もう一度根本的にアルゴリズムの検討が必要である。

【結論】

ハード的にはほぼ合格点が与えられる装置の開発が出来た。ソフト改良を研究し、当初目標値を達成する目途がたったと表明できる。

2-1-1 分散型 MPPT デバイス試作 (1)

分散型 MPPT デバイス (効率改善対応) の試作構築を次の通り実施した。

(1) 電子回路設計

分散型 MPPT デバイス回路

分散型 MPPT デバイスに付加する ZigBee 回路

(2) 分散型 MPPT デバイス収納 Box 設計と製作

(3) 試験など

① 抜き取り検査による効率の計測 (2/50台)

基板上JPIをショートし、デバッグ用ソフトにて計測
C1のコンデンサはフィルムコンデンサ 10uF/100V

● 計測方法



基板入力電圧: 基板上端子CN1A,CN1B間の電圧
入力電流: 抵抗 $R_{in}(100m\Omega)$ の両端電圧を計測し、算出
基板出力電圧: 基板上端子CN2A,CN2B間の電圧
出力電流: 抵抗 $R_{out}(100m\Omega)$ の両端電圧を計測し、算出

● 計測結果

基板番号: 121002

トランス仕様 PQコア 35/35 ギャップ1mm リード線径2.0mm

インダクタンス: 51.3 μ H

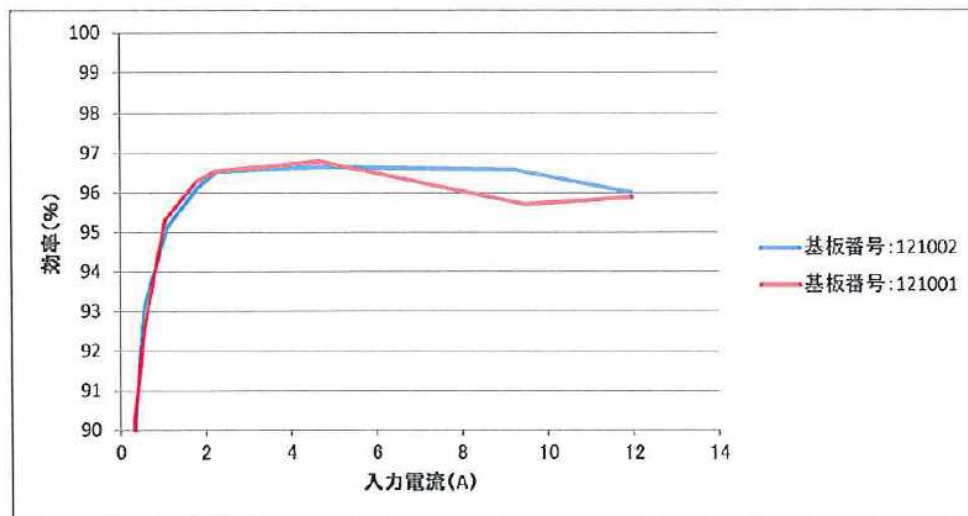
PWM(suitei)	基板入力電圧(V)	入力電流(A)	入力電力(W)	基板出力電圧(V)	出力電流(A)	出力電力(W)	効率(%)
10	20.045	0.0974	1.952383	49.937	0.02788	1.39124482	71.25880829
20	20.006	0.3466	6.9340796	49.947	0.12525	6.25586175	90.21906455
30	19.971	0.5695	11.3734845	49.955	0.212	10.59046	93.11535088
40	19.89	1.08	21.4812	49.979	0.4088	20.4314152	95.11300672
50	19.776	1.81	35.79456	50.012	0.688	34.408256	96.12705394
60	19.704	2.262	44.570448	50.03	0.88	43.0258	96.53436735
62	19.325	4.705	90.924125	50.133	1.753	87.883149	96.6554795
64	18.6	9.27	172.422	50.309	3.31	166.52279	96.57662106
66	17.696	11.96	211.64416	50.401	4.032	203.216832	96.01816181

基板番号: 121001

トランス仕様 PQコア 35/35 ギャップ1mm リード線径2.0mm

インダクタンス: 51.9 μ H

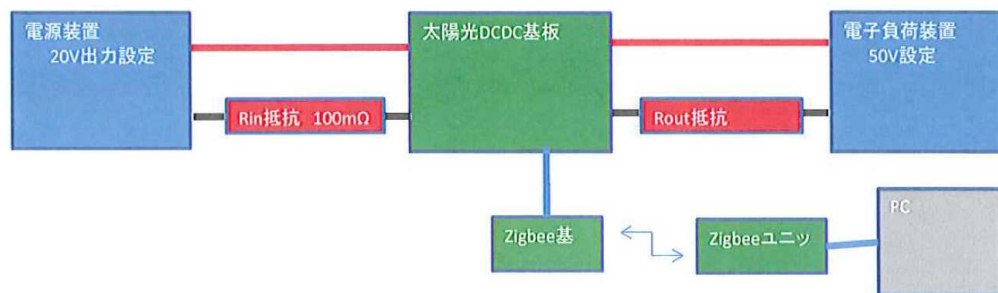
PWM	基板入力電圧(V)	入力電流(A)	入力電力(W)	基板出力電圧(V)	出力電流(A)	出力電力(W)	効率(%)
10	20.048	0.0898	1.8003104	49.932	0.025	1.2483	69.33804304
20	20.009	0.33245	6.65199205	49.943	0.12031	6.00864233	90.32846529
30	19.97	0.58	11.5826	49.953	0.215	10.739895	92.72438831
40	19.896	1.054	20.970384	49.976	0.4	19.9904	95.326819
50	19.782	1.775	35.11305	50.008	0.678	33.605408	96.27590881
60	19.711	2.2258	43.8727438	50.027	0.8467	42.3578509	96.54709788
62	19.328	4.7	90.8416	50.131	1.754	87.929774	96.79461172
64	18.593	9.5	176.6335	50.312	3.36	169.04832	95.70559569
66	17.657	11.965	211.265005	50.395	4.02	202.5879	95.89233251



② 簡易全数検査

基板上JP1をオープンとし、実測ソフトにて計測
C1のコンデンサはフィルムコンデンサ 10uF/100V

● 検査方法

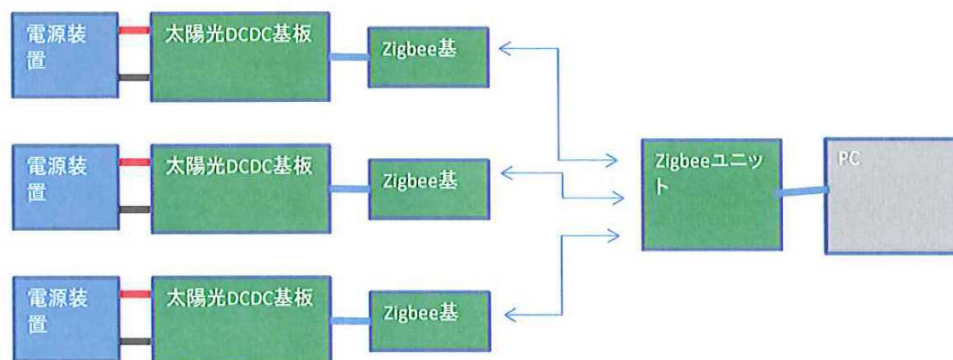


上記接続で、動作させ入力電流が約10Aまで上昇することを確認。(実測ソフトの確認)
また、各部のデータがZigbeeを使ってPCに表示されることを確認。(Zigbeeの通信確認)

③ Zigbee 並列同時通信確認

基板上JP1をショートし、デバッグ用ソフトにて計測
C1のコンデンサはフィルムコンデンサ 10uF/100V

● 検査方法



Zigbee通信の可能なユニットを3セット動作させ、PCに3種類のZigbee IDが表示されることを確認

● 検査結果

3種類とも、正常に通信されていることを確認しました。(3種類のIDが表示)

④ コンデンサC1をアルミ電解コンデンサ(100 μ F/50V)に変更したときの効率、その他の計測 (1/50台)

基板上JP1をショートし、デバッグ用ソフトにて計測
C1のコンデンサはアルミ電解コンデンサ 100 μ F/50V

● 計測方法

①の検査と同様の接続にて計測

● 検査結果

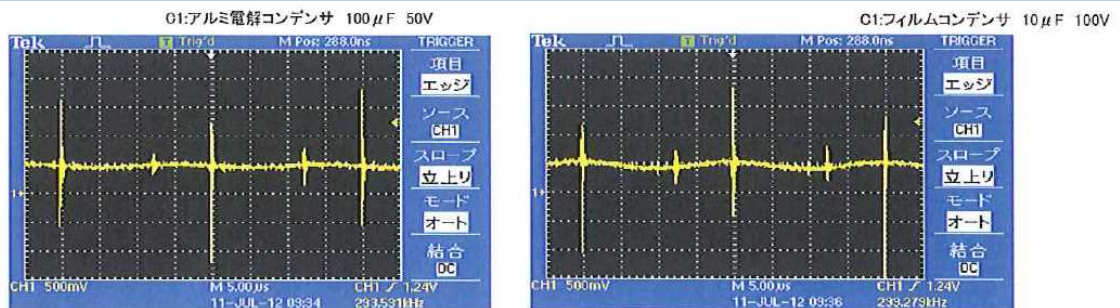
基板番号:121001

トランス仕様 PQコア 35/35 ギャップ1mm リード線径2.0mm

インダクタンス:51.9 μ H

PWM	基板入力電圧(V)	入力電流(A)	入力電力(W)	基板出力電圧(V)	出力電流(A)	出力電力(W)	効率(%)
10	20.02	0.095	1.9019	49.93	0.027	1.34811	70.88227562
20	19.98	0.336	6.71328	49.93	0.12	5.9916	89.24996425
30	19.95	0.549	10.95255	49.95	0.2	9.99	91.21163565
40	19.86	1.044	20.73384	49.97	0.39	19.4883	93.99271915
50	19.75	1.745	34.46375	50.01	0.659	32.95659	95.62682529
60	19.68	2.183	42.98144	50.03	0.823	41.17469	95.84103792
62	19.31	4.399	84.94469	50.13	1.630	82.01268	96.54833045
64	18.67	8.82	163.7874	50.31	3.14	157.9734	96.45027639
68	17.78	13.36	237.5408	50.47	4.46	225.0962	94.76106841
69	16.96	17.69	300.0224	50.61	5.58	282.4038	94.12757181
70	15.87	17.94	284.7078	50.67	5.27	266.5039	93.60611125

C1変更による入力電流波形計測(最高効率部にて計測 外付け抵抗100 Ω 両端)



C1をアルミ電解コンデンサに変更したときの部品温度

10分放置後C1温度 45.2 $^{\circ}$ C (周囲温度:27 $^{\circ}$ C)

C1をフィルムコンデンサに変更したときの部品温度

10分放置後C1温度 32.6 $^{\circ}$ C (周囲温度:27 $^{\circ}$ C)

(4) 製作写真



2-1-2 分散型 MPPT デバイス試作 (2)

分散型 MPPT デバイス (低入力域対応～ワイド域対応) の試作構築を次の通り実施した。

(1) 電子回路設計

分散型 MPPT デバイス回路

分散型 MPPT デバイスに付加する ZigBee 回路

(2) 試験など

計測方法

- ①メイン基板をテストモード、ZigBeeなしで起動
- ②電圧計測はメイン基板の入出力を直接計測
- ③電流計測はメイン基板の入出力のマイナス側に0.1Ωを挿入し、その両端の電圧から算出
- ④入力に使用した電源電圧を20Vに設定し、出力の電子負荷を50Vに設定
- ⑤計測順番は、入力電圧→出力電圧→入力電流→出力電流
- ⑥PWMのDutyを上げていきそれぞれ計測

周囲温度24℃

最新基板効率
番号122001

52.3 μH

PWM	入力電圧(V)	入力電流(A)	入力電力(W)	出力電圧(V)	出力電流(A)	出力電力(W)	効率(%)
10	20.017	0.0945	1.8916065	49.946	0.02702	1.34954092	71.344
20	19.978	0.335	6.69263	49.96	0.1206	6.025176	90.027
30	19.946	0.542	10.810732	49.97	0.2003	10.008991	92.584
40	19.876	1.0377	20.6253252	49.996	0.3932	19.6584272	95.312
50	19.763	1.7328	34.2453264	50.033	0.6564	32.8416612	95.901
60	19.696	2.1722	42.7836512	50.056	0.8218	41.1360208	96.149
62	19.328	4.622	89.334016	50.178	1.727	86.657406	97.004
64	18.652	8.88	165.62976	50.361	3.171	159.694731	96.417
66	17.855	12.965	231.490075	50.547	4.383	221.547501	95.705

最新基板効率
番号12005

51.6 μH

PWM	入力電圧(V)	入力電流(A)	入力電力(W)	出力電圧(V)	出力電流(A)	出力電力(W)	効率(%)
10	20.011	0.0995	1.9910945	49.946	0.0291	1.4534286	72.996
20	19.975	0.3423	6.8374425	49.96	0.12297	6.1435812	89.852
30	19.944	0.5525	11.01906	49.971	0.2045	10.2190695	92.74
40	19.866	1.0575	21.008295	49.997	0.4004	20.0187988	95.29
50	19.757	1.7618	34.8078826	50.032	0.6665	33.346328	95.801
60	19.69	2.2067	43.449923	50.054	0.8339	41.7400306	96.065
62	19.333	4.589	88.719137	50.166	1.7173	86.1500718	97.104
64	18.688	8.781	164.099328	50.354	3.1585	159.043109	96.919
66	17.664	12.981	229.296384	50.515	4.326	218.52789	95.304

前回基板効率
前回基板1

51.3 μH

PWM	入力電圧(V)	入力電流(A)	入力電力(W)	出力電圧(V)	出力電流(A)	出力電力(W)	効率(%)
10	20.045	0.0974	1.952383	49.937	0.02766	1.39124482	71.255
20	20.006	0.3466	6.9340796	49.947	0.12525	6.25586175	90.219
30	19.971	0.5695	11.3734845	49.955	0.212	10.59046	93.115
40	19.89	1.08	21.4812	49.979	0.4088	20.4314152	95.113
50	19.776	1.81	35.79456	50.012	0.688	34.408256	96.127
60	19.704	2.262	44.570448	50.03	0.86	43.0258	96.534
62	19.325	4.705	90.924125	50.133	1.753	87.883149	96.655
64	18.6	9.27	172.422	50.309	3.31	166.52279	96.579
66	17.696	11.96	211.64416	50.401	4.032	203.216832	96.018

前回基板効率
前回基板2

51.9 μH

PWM	入力電圧(V)	入力電流(A)	入力電力(W)	出力電圧(V)	出力電流(A)	出力電力(W)	効率(%)
10	20.048	0.0898	1.8003104	49.932	0.025	1.2483	69.338
20	20.009	0.33245	6.65199205	49.943	0.12031	6.00864233	90.328
30	19.97	0.58	11.5826	49.953	0.215	10.739895	92.724
40	19.896	1.054	20.970384	49.975	0.4	19.9904	95.327
50	19.782	1.775	35.11305	50.008	0.676	33.805408	96.276
60	19.711	2.2258	43.8727438	50.027	0.8467	42.3578609	96.547
62	19.328	4.7	90.8416	50.131	1.754	87.929774	96.795
64	18.593	9.5	176.6335	50.312	3.36	169.04832	95.706
66	17.657	11.965	211.266005	50.395	4.02	202.5879	95.892

(3) 製作写真

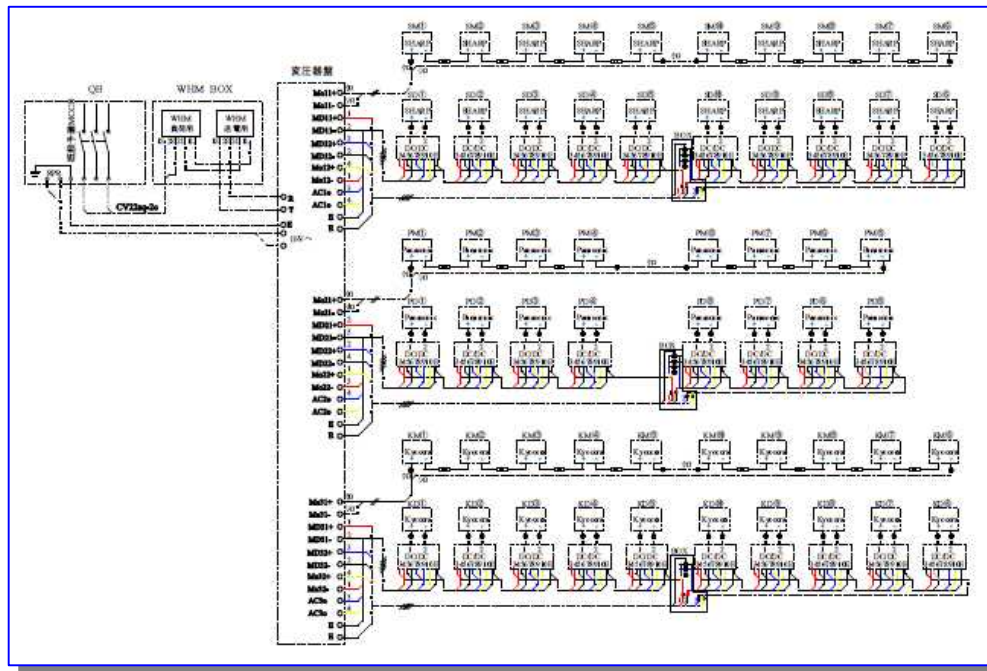


(学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術コンサルタント株式会社、)

(1) 上新電機株式会社東大阪店検証設備

[illegible]

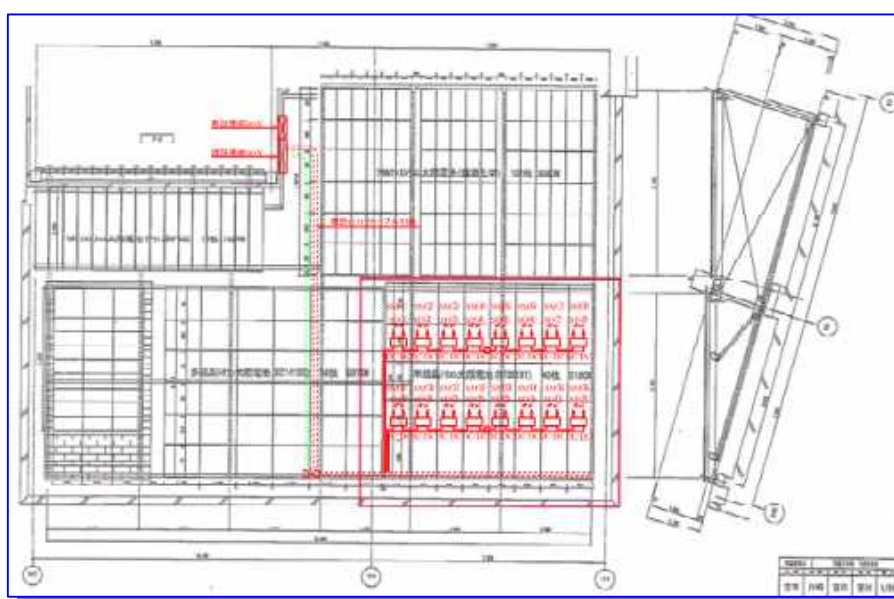
東大阪店検証設備電気・制御設計回路図（抜粋）



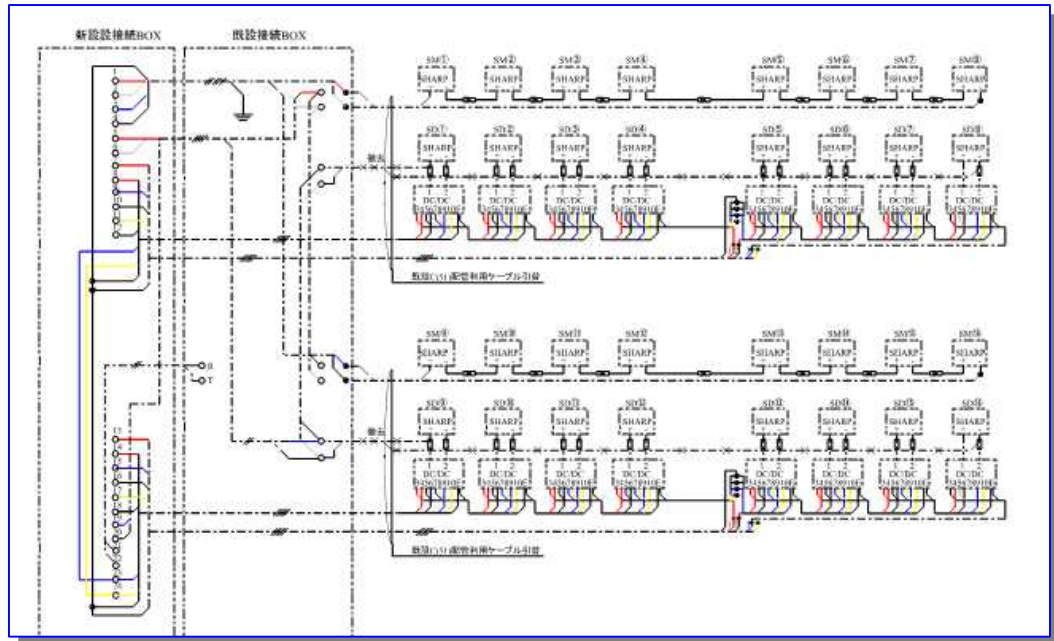
分散型 MPPT デバイスを取り付けた状況



(2) 立命館大学研究室屋上既存太陽光設備の一部を利用した検証設備



立命館大学研究室屋上検証設備電気・制御設計回路図（抜粋）



2-2 分散型 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能付加の研究

(学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気
技術コンサルタント株式会社)

(A) 目的・検証研究方法

平成 23 年度は、太陽パネルが品質劣化や故障等で不活性・不機能となった場合の自己検出機能を「分散化 MPPT デバイス」にオプションとして付加できるよう基礎研究（回路設計、各種検出通信方法等）を行った。平成 24 年度はこの回路設計の強化と汎用的な検出システム（自己診断検出監視システム）構築の研究と検証を行い、自己診断機能の完成を目指した。

昨年 7 月の新エネルギーに対する固定価格制度のスタートから現在多くのメガソーラ計画が発表されている。自然エネルギーの中で太陽光発電は比較的環境に掛ける負荷が低いことから、地域の分散化電源として今後も大きな拡大が期待されている。太陽光発電システムの場合単位パネルの容量は現時点で 150～300[W] 単位のパネルを多数直並列接続して電力を供給している。この中の一部のパネルに不具合や劣化が起きると、その影響は劣化が起きたパネル単体に留まらず組み合わせたパネル全体に影響を及ぼしシステムの効率に悪影響を及ぼす。

この問題を解決する効果的な方法は現時点で見つかっておらず、メガソーラ設備を運営している事業者や計画している事業者から開発が望まれている。本研究はこのニーズに対応できるパネル自己診断システム開発を目的とした。

研究開発品である「分散型 MPPT デバイス」は各パネル個々に取り付けることから、センサー機能として電圧と電流を CPU に取り込み演算しているので、新たにセンサーの取付が不要である。本研究では Zigbee 素子による双方向通信によりパネル自己診断機能のシステム化を図ることとし、平成 23 年度は、次の施策を実施した。

- ❖ センサーデータは開発中の分散型 MPPT デバイスの内部信号の一部を加工する。
- ❖ 通信手段としては Zigbee を使用した双方向無線通信とする。
- ❖ データ管理として基本的なデータ収集システムを構築する。
- ❖ 表示できるマンマシンインターフェイスを作成する。

結果、設定した目標を達成することができた。即ち、太陽光パネル自己診断機能は Zigbee 素子による双方向通信によりシステム化を行うことができた。

平成 24 年度は、昨年からの継続課題であった次の事項の研究を行った。

- ❖ 自己診断システムの更なる機能強化。効果的マンマシンインターフェイスと

広域伝送システムの構築。

- ❖ 構築した Zigbee 素子による自己診断システムを実フィールドにて検証と効果確認。

ZigBee（じぐビー）とは、
センサーネットワークを主目的とする近距離無線通信規格（世界標準規格）の一つ。低速で転送距離が短く転送速度も低速である代わりに、安価で消費電力が少ないという特徴を持つ。基礎部分の（電氣的な）仕様は IEEE 802.15.4 として規格化されている。論理層以上の機器間の通信プロトコルについては「Zigbee アライアンス（ZigBee Alliance）」が仕様の策定を行っている。
なお、ZigBee の名称はミツバチ（Bee）がジグザグに飛び回る行動にちなんで名付けられた。（出展：<http://ja.wikipedia.org/wiki/ZigBee>）

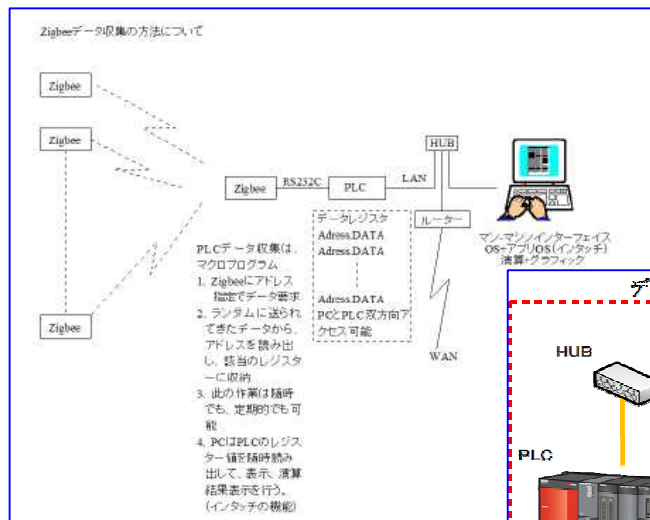
(B) 成果と課題

（自己診断機能システム構築の詳細は次項で述べる。）

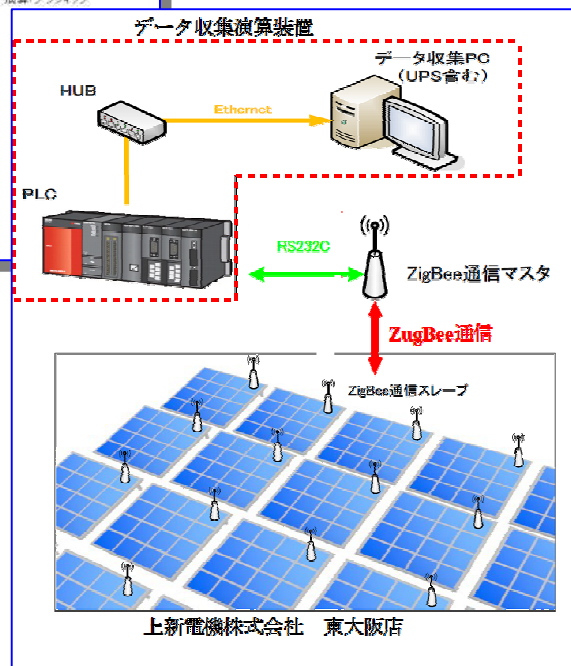
B-1 自己診断システムの更なる機能強化。効果的マンマシンインターフェイスと広域伝送システムの構築。

B-1-1. 昨年に採用した ZigBee 素子は 2.4MH z 帯域品を使用して回路構築を実施して立命館大学研究室屋上の既存太陽光パネルでの検証を行った。その結果、2.4GH z 帯域では複雑な障害物（パネル架台など）によって、分散型 MPPT デバイス個々に取り付けた ZigBee と親機（データ収集演算装置）ZigBee 間の通信が不安定に陥ることが散見されたため、900MH z 帯域の新規格 ZigBee（平成 24 年 11 月新規格）を採用して分散型 MPPT デバイス電子回路に組込を行いデータ通信授受の実証に移行した。その結果、分散型 MPPT デバイスの CPU に取り込みされたデータを正常に親機側に伝送できることが実証できた。（収集データは次項に示す。）

B-1-2. 汎用性がある効果的なマンマシンインターフェイスと広域伝送システムの構築の開発構想として昨年度に下図（図表 2.2.1）を立案し、これを基本に具体的なシステム図（図表 2.2.2）を策定して開発を行った。
その結果、太陽光パネルに取り付けた分散型 MPPT デバイス内の ZigBee 素子から太陽光パネルからの入力電圧、入力電流、入力電力、積算電力量、出力電圧、PWM のデータを PLC 経由（ZigBee 通信）にてデータ収集演算装置に取り込み、収集したデータより劣化・不良パネルの検出および過去の収集データ閲覧・取り込みが実現できるシステムができた。



図表 2.2.1



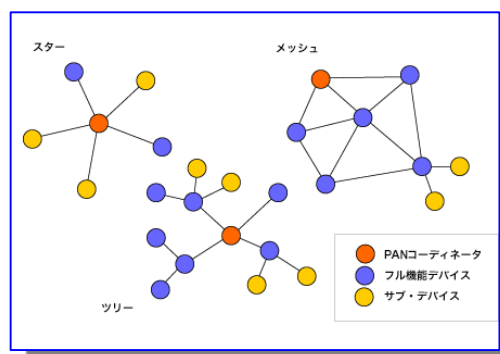
図表 2.2.2

B-2 課題

現在、広範囲な事業用太陽光発電（例えば3万～4万kW発電設備）では30～50ヘクタール内でのパネル配置となり、パネル単体もしくはパネルグループ単位でのデータ送信が望まれるところである。

しかしながら、現在、市場に供給されている ZigBee 規格では、図表 2.2.3 に示すスター、メッシュ及びツリーシステムとなっている。

図表 2.2.3



このような ZigBee 規格からして前述の広範囲な事業用太陽光発電設備に完全な無線通信を現在の ZigBee 規格にて構築することは困難である。

本件研究の当初は ZigBee 素子によるリレーショナル通信を実現することを目途としたが、残念ながらそのような ZigBee 規格は供給メーカーからの提供を待つ以外にないのが実情である。

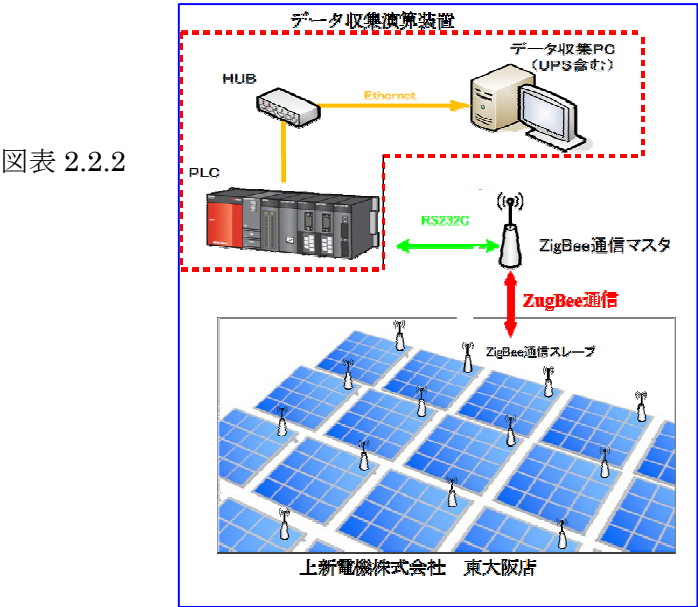
しかしながら、本件研究にて開発を行った自己診断システムは今後のリレーショナル通信規格 ZigBee にも十分に対応できる汎用性のあるシステムであることから今後の通信規格の展開を注視して更なる汎用的な自己診断システム構築を目指すこととする。

データ収集演算装置でのデータ収集時に一部データの欠損が生じた。これは Data 収集用 PLC スタックは 64 レベル（仕様）であるが、Zigbee 電源が天候関係でリセットを煩雑に発生した場合、スタックオーバーで CPU が停止したため通信異常ではなくデータが一部欠落した。この種の CPU は煩雑に OnOff を行う様には出来ていないスタックレベルが比較的小さい。太陽光 Panel 出力は天候原因でこの現象が発生する。対策として、今後リアルタイム通信をオフして、すぐにリセットオンする事を考慮する必要がある。今後この改善機能を組み込むこと検討する。現在の運用上、一部データの欠如はあるもデータ収集は継続できており本研究上には問題は無い状況である。

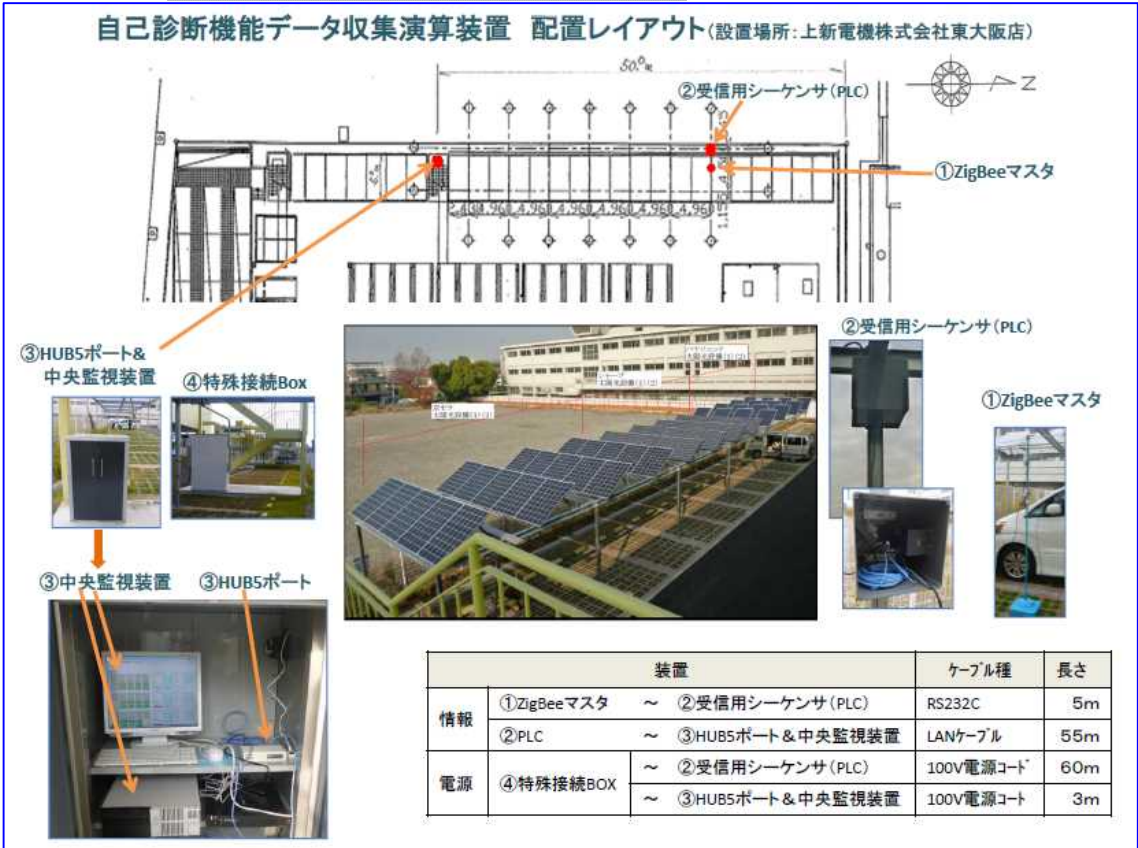
2-2-1. 分散型 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能の構築

(1) データ収集演算装置及び同システムの構築

前項 B-1-2 に記載したシステム図（図表 2.2.2）を基本に、上新電機株式会社東大阪店にてシステムを構築（図表 2.2.4）した。



図表 2.2.4



(A) PLC 機能

PLC のシリアルコミュニケーションユニット (RS232C) にて ZigBee 通信マスタとの通信を実施する。

❖ ZigBee 通信機能

分散型 MPPT デバイス内蔵 ZigBee から入力電圧、入力電流、入力電力、積算電力量、出力電圧、PWM データを発信させて取得する。

❖ 積算電力量処理

積算電力量の差分計算および山超え処理。

❖ Ethernet 接続処理

データ収集装置と Ethernet 通信を実現する機能

❖ 時間同期処理

データ収集装置と時間同期処理を実施。

(B) 劣化・不良パネル検出 (積算電力量異常) 機能

同検出方法は、対象パネルの 1 時間あたりの積算電力量と計測ポイントグループの 1 時間あたりの積算電力量平均値を比較し、予め設定しておいた閾値以上 (閾値はパラメーター画面で設定する) の差が発生した場合に劣化もしくは不良パネルとして検出する機能とした。

(C) システムのマンマシンインターフェースは、モニター画面、トレンド画面、アラーム画面およびパラメータ画面で構築。

(2) データ収集演算装置によるデータ収集

データ収集演算装置によるデータ取り込みが実現。これらのデータは CSVFile でダウンロードすることができ、パネル特性解析などに使用できることが実現できた。実際に取り込みを行った平成 25 年 1 月～3 月の CSVFile (図表 2.2.5)

図表 2.2.5

A07_201301.csv	B07_201301.csv	C07_201301.csv	D07_201301.csv	E07_201301.csv
A07_201302.csv	B07_201302.csv	C07_201302.csv	D07_201302.csv	E07_201302.csv
A07_201303.csv	B07_201303.csv	C07_201303.csv	D07_201303.csv	E07_201303.csv
A08_201301.csv	B08_201301.csv	C08_201301.csv	D08_201301.csv	E08_201301.csv
A08_201302.csv	B08_201302.csv	C08_201302.csv	D08_201302.csv	E08_201302.csv
A08_201303.csv	B08_201303.csv	C08_201303.csv	D08_201303.csv	E08_201303.csv
A11_201301.csv	B11_201301.csv	C11_201301.csv	D11_201301.csv	E11_201301.csv
A11_201302.csv	B11_201302.csv	C11_201302.csv	D11_201302.csv	E11_201302.csv
A11_201303.csv	B11_201303.csv	C11_201303.csv	D11_201303.csv	E11_201303.csv
A12_201301.csv	B12_201301.csv	C12_201301.csv	D12_201301.csv	E12_201301.csv
A12_201302.csv	B12_201302.csv	C12_201302.csv	D12_201302.csv	E12_201302.csv
A12_201303.csv	B12_201303.csv	C12_201303.csv	D12_201303.csv	E12_201303.csv
B03_201301.csv	C03_201301.csv	D03_201301.csv	E03_201301.csv	
B03_201302.csv	C03_201302.csv	D03_201302.csv	E03_201302.csv	
B03_201303.csv	C03_201303.csv	D03_201303.csv	E03_201303.csv	
B04_201301.csv	C04_201301.csv	D04_201301.csv	E04_201301.csv	
B04_201302.csv	C04_201302.csv	D04_201302.csv	E04_201302.csv	
B04_201303.csv	C04_201303.csv	D04_201303.csv	E04_201303.csv	

CSVFile 内容（単位パネルの出力特性データ）

下表（図表 2.2.6）は A07 の位置にあるパネルの 2 月 1 日のデータ（データ個数は 6,503 個）

図表 2.2.6

配置番号:A07 H24.2.1 Data						
2013/2/1 0:00	2013/3/1 0:00	6503				
PTIME	INPUT V	INPUT I	INPUT W	INPUT WH	OUTPUT V	PWM
2013/2/7 10:52	21.6	1378	29.213	102.3	57.3	40
2013/2/7 10:53	22.3	1824	40.857	103.04	57.4	42
2013/2/7 10:54	21.9	2227	48.311	103.53	52.7	47
2013/2/7 10:55	22.3	2906	66.035	104.25	56	57
2013/2/7 10:56	22.2	3966	89.308	105.49	65.3	63
2013/2/7 10:57	17.5	6745	96.874	106.92	46.9	64
2013/2/7 10:58	22.3	6978	157.036	109.63	65.9	61
2013/2/7 10:59	19.5	8463	178.97	111.68	48.7	62
2013/2/7 11:00	22.4	8378	187.667	114.34	62.5	61
2013/2/7 11:01	22.3	8463	191.263	117.31	58.5	62
2013/2/7 11:02	22.4	5090	113.038	121	64	61
2013/2/7 11:03	22.5	7360	168.201	122.59	61.9	61
2013/2/7 11:04	22.4	7084	157.74	125.52	61.7	61
2013/2/7 11:05	22.7	5642	128.284	128.04	62	62
2013/2/7 11:06	16.5	5854	88.77	129.89	41.9	63
2013/2/7 11:07	18.7	7254	159.885	132.54	47.7	63
2013/2/7 11:08	22	6724	138.026	135.26	55.7	62
2013/2/7 11:09	22.5	6406	143.79	136.7	58.5	62
2013/2/7 11:10	18.8	4539	99.299	138.53	50.1	64
2013/2/7 11:11	16.7	4836	90.433	140.57	43.8	63
2013/2/7 11:12	22.5	3245	71.895	141.94	61.3	62
2013/2/7 11:13	22.4	1887	45.81	142.99	61.7	42
2013/2/7 11:14	22.4	2015	45.136	143.87	56.6	45
2013/2/7 11:15	20.2	1696	33.411	144.46	53.6	45
2013/2/7 11:16	22.4	1209	26.588	144.89	64	37
2013/2/7 11:17	22.2	890	19.465	145.3	57.3	32
2013/2/7 11:18	22.3	784	17.167	145.55	56.8	30
2013/2/7 11:19	22.3	763	16.62	145.85	53.5	27
2013/2/7 11:20	22.3	912	20.52	146.26	59	32
2013/2/7 11:21	22.5	1209	27.429	146.57	61.4	35
2013/2/7 11:22	22.1	1654	35.175	147.08	48.6	40
2013/2/7 11:23	22.3	1145	25.177	147.5	61.2	35
2013/2/7 11:24	22.3	848	17.091	147.89	62.7	27
2013/2/7 11:25	22.3	806	18.054	148.14	54.8	27
2013/2/7 11:26	22.3	1039	24.106	148.57	54.4	30
2013/2/7 11:27	22.3	1103	24.486	148.91	59.8	35
2013/2/7 11:28	22	1018	22.599	149.22	54	32
2013/2/7 11:29	22.2	869	22.599	149.6	60.2	30
2013/2/7 11:30	22.1	1039	24.106	149.91	53.7	32
2013/2/7 11:31	22.3	827	21.274	150.32	53.6	27
2013/2/7 11:32	22.2	721	17.014	150.56	55.9	25
2013/2/7 11:33	22.4	530	11.925	150.86	58.9	22
2013/2/7 11:34	22.4	487	10.908	151.02	54.1	22
2013/2/7 11:35	21.6	636	12.812	151.19	48.7	25
《データは以下に続く、データ数=6,506行》						

2-3 屋外実フィールド及び既存運転中太陽光発電での検証・研究

(学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気
技術コンサルタント株式会社、上新電機株式会社)

(A) 目的・検証研究方法

平成 23 年度に構築した以下の検証設備にて、データ収集演算装置等により計測を実施し、その計測データ解析を行いテーマ①②の研究と連携した。

❖ 屋外フィールド（上新電機株式会社東大阪店）検証

平成 23 年度に太陽パネル各種仕様(国内主要メーカー 3 社)の検証用設備を構築し施設回路に系統連系を行っている。

太陽パネルの各種仕様（主要メーカー 3 社）毎に分散型 MPPT デバイスを取付けたグループと取付けていないグループに分割して検証設備が構築できており、この設備を利用してデータ収集と評価を行った。

❖ 既存運転中太陽光発電（立命館大学高倉教授研究室）での検証

既存の運転中太陽光発電の太陽パネルは経年劣化や増設等での仕様混同などで初期に期待した発電量が阻害されていることから、平成 23 年度に立命館大学高倉教授研究室設備に分散型 MPPT デバイスを取付けたグループと取付けていないグループに分割した検証設備の構築ができています。この設備を利用して効率等のデータ収集と評価を行った。

(B) 成果と課題

2-3-1. 新規導入実験施設でのデータ解析

太陽光発電システムの大規模な導入が進められる場合、たとえば、近隣の建物が一時的にアレイに影を落とすなど、日照条件最適ではない場所に導入される場合が今後増加してくると予測される。このような場合、ストリングごとに最大出力追尾するこれまでのパワーコンディショナ方式では、日射が少ない太陽電池モジュールの特性に出力が制限され、出力の大幅な減少が起こることが容易に想像される。

このような条件でも十分発電可能なシステムを実現する 1 つの有力な技術として、本研究を提案し、その実証試験を実施してきた。ここでは、ビルの西側に太陽電池アレイを設置した場合、ある時間帯にアレイに影が入り込む条件を想定した実験設備を導入した結果について述べる。

ここで用いた手法は、本研究で実現を目指している最大出力追尾装置（MPPT）に通信機能を搭載した直流電力変換器からの 1 分ごとの動作データを中心に解析を進めた。

計測データは、太陽電池モジュール出力電圧、同出力電流、同直流電力、直流電力変換器出力電圧、およびチョッパオンオフデューティ比である。

図 2.3.1-1 に、晴天日(2013 年 3 月 4 日)の典型的な太陽電池モジュール出力電力の日変化を示す。横軸は 1 分ごとのデータ点を示しており、開始が午前 7 時、終了が午後 5 時の 10 時間のデータが表示されている。同図は、S 社製の 200W 級モジュールに、開発した直流変換器を接続し、これを 5 台直列接続して家庭用インバータに接続した場合のデータであり、正午付近でほぼ定格の 1kW の出力が得られていることがわかる。

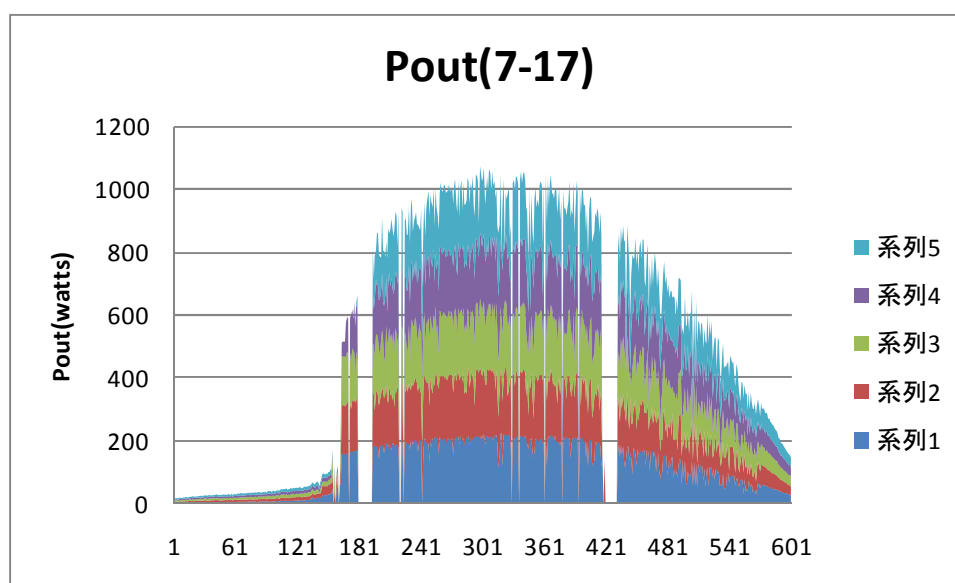


図 2.3.1-1 ストリング 7 の各電力変換器からの出力の日変化
(2013 年 3 月 4 日、7 時から 17 時)

色別に示したものは各モジュールからの電力であり、各モジュールともほぼ同じ出力が得られていることがわかる。

同システムの最大出力追尾の様子を、図 2.3.1-2 に示す。5 台の和は 100V 前後であり、各モジュールの最大出力点をほぼ正確に追尾していることがわかる。また、図 2.3.1-3 は、直列接続してインバータに送っている時の電圧値をモジュールごとに示したもので、250V 前後にまで昇圧されてインバータに送られていることがわかり、開発した電力変換器がほぼ設計通り動作していることを確認することができた。

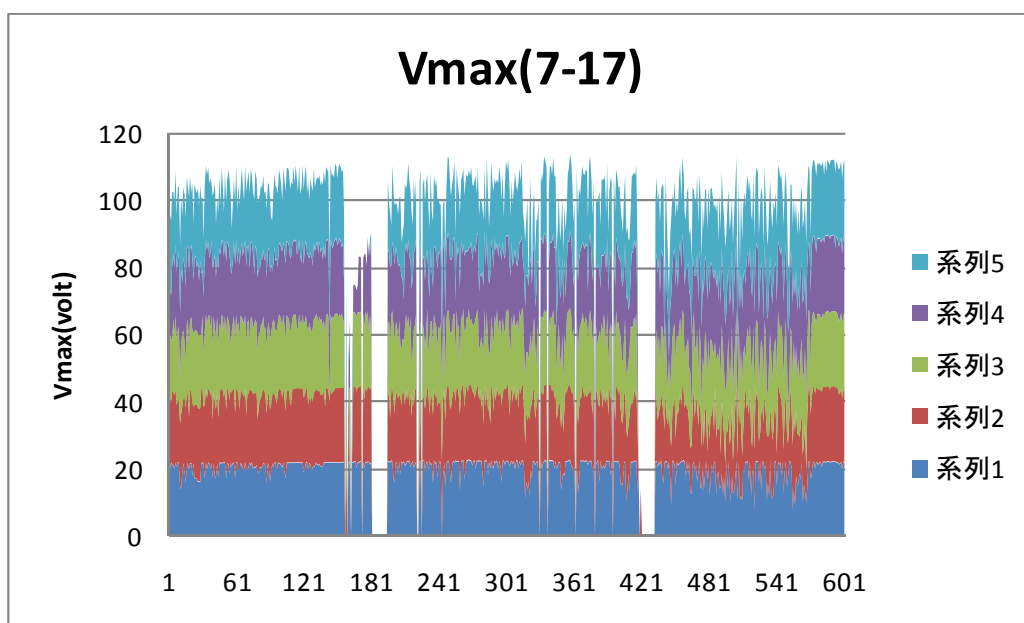


図 2.3.1-2 スtring 8 の各太陽電池モジュール動作電圧の日変化

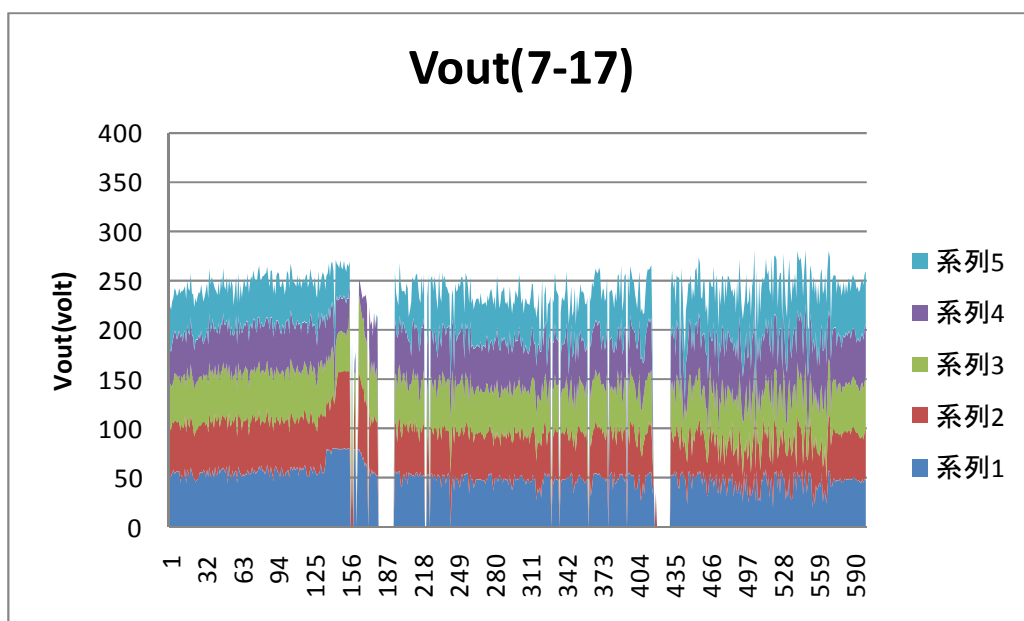


図 2.3.1-3 スtring 8 の各電力変換器からの出力電圧の日変化

参考のため、S 社製のもう一つのString（7）の動作データ、ならびに K 社製太陽電池モジュールを使用した、2 つのString（11，12）の動作データを、図 2.3.1-4 から図 2.3.1-12 に示しておく。

これらの解析から得られた知見を以下に箇条書で示す。

① 影の影響について

解析を行った日において、建物の影は午前 10 時から 10 時 30 分にかけて、アレイ

が全影の状態から無影の状態に移り変わっている。この様子は、太陽電池の発電電力パターン（図 2.3.1-2）を見ると明らかである。詳細にみると、最も西側の太陽電池モジュール（系列 1）の発電出力が最初に増加し、最も東側（系列 5）の出力増加が一番遅れて始まっている。また、図 2.3.1-3 に示した出力電圧のこの時間帯の変化を詳細にみると、一番西側の電力変換モジュールからの出力電圧が最初に高くなり、徐々に東側のモジュールの電圧が増加してきていることが読み取れ、設計通りの動作をしていることがわかる。

② 通信不能時間帯について

本実証サイトにおいては、特定の時間帯に通信不能になる現象が起こった。具体的には、午前 10 時頃から 20 分間と、午後 2 時より 20 分間である。これは毎日起こっており、これ以外の時間帯でこれほど長期に通信不能になる現象は見られないことから、Zigbee が使用している電波帯に近い周波数の電波が周囲から発射されている可能性が高い。

また、一部の Zigbee 素子との通信が全くできていないケースが全 14 モジュールのうち 2 モジュールあった。ストリング 7 の系列 5 がこれにあたる。この原因については現在調査中であるが、Zigbee の不良あるいは通信障害物の影響の可能性が高い。

（この原因について、H25.03.22 に現地詳細調査を実施した。その結果、この 2 つのモジュールの ZigBee 素子シリアル番号がデータ収集演算装置に正しく書き込みされていないことが判明した。同装置のパラメータ画面から正しいシリアル番号を入力したところ正常に通信復帰した。単純なる書き込みミスであることが判明した。）

ストリング 1 1 では、系列 1 のデータについて 10 時より 14 時まで全くデータが受信されていなかった。他のモジュールのデータは正常であったことから、信頼性向上のためにはこの原因についても調べる必要がある。

③ K 社アレイの異常

図 2.3.1-11、および図 2.3.1-12 より明らかなように、すべての太陽電池モジュールが影にある時間帯で、電力変換器の出力電圧合計が 350V 付近にあり、インバータが電力を受け付けていない可能性が考えられる。このシステムでは、1 台のインバータに通常の直列接続太陽電池モジュールストリングと、電力変換器からの出力が同時に接続されているため、両者の出力が競合し、何らかの不都合が生じていると推測できる。今回は、実証データの精度向上のためにこのような接続を行っているが、実際にはこのような接続法はあり得ない。しかしながらなぜこのような動作をしたのかについては、両者を独立に動かしてみるなどの検討が必要である。

④ ノイズ

計測データについて詳細にみると、変動幅が比較的大きい。インバータ自身にも最大出力追尾機能が存在し、インバーター電力変換器間、あるいは電力変換器間の動作の競合の可能性がある。

東大阪テストサイト動作確認データ（2013 年 3 月 4 日）

① MPPT 動作

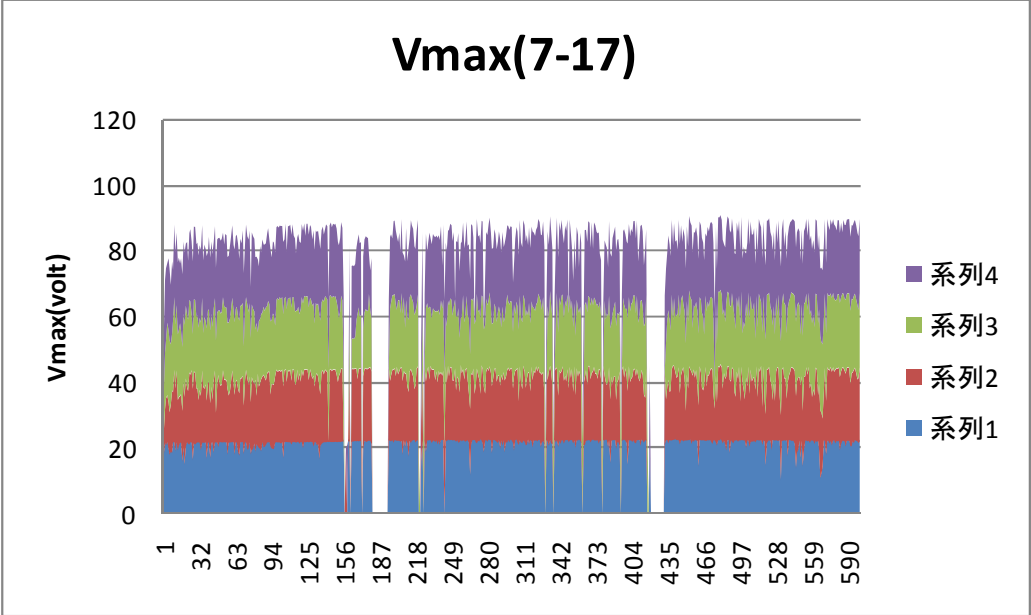


図 2.3.1-4 スtring 7

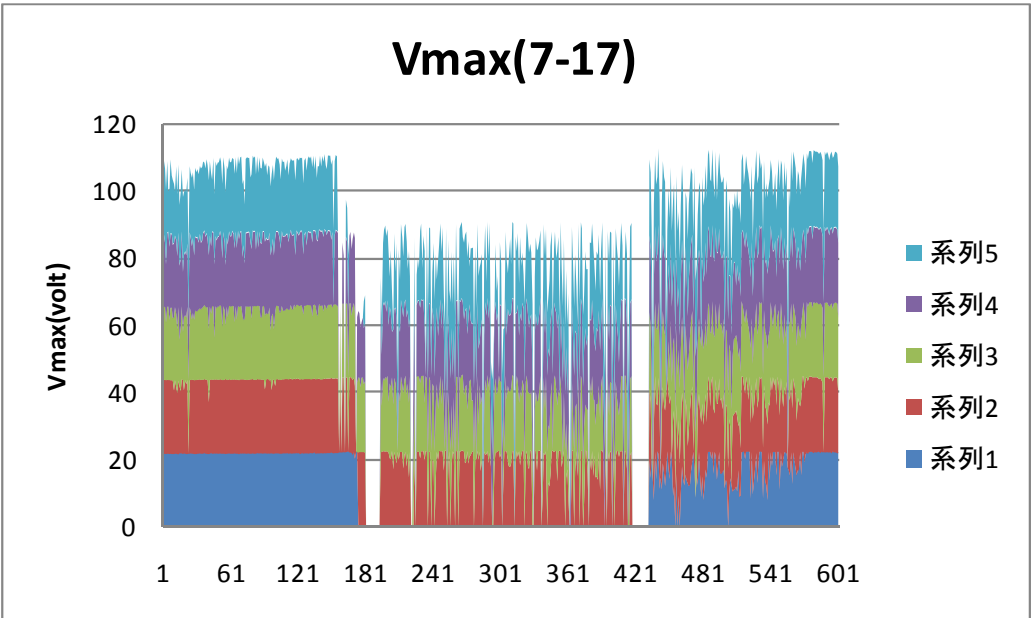


図 2.3.1-5 スtring 1 1

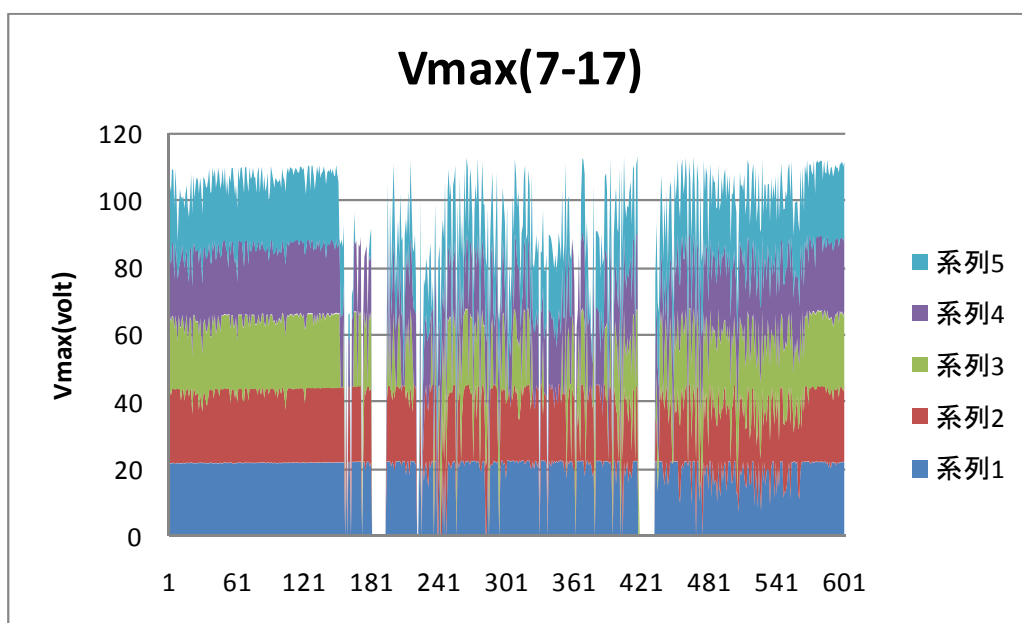


図 2.3.1-6 スtring 1 2

② 陽電池直流出力

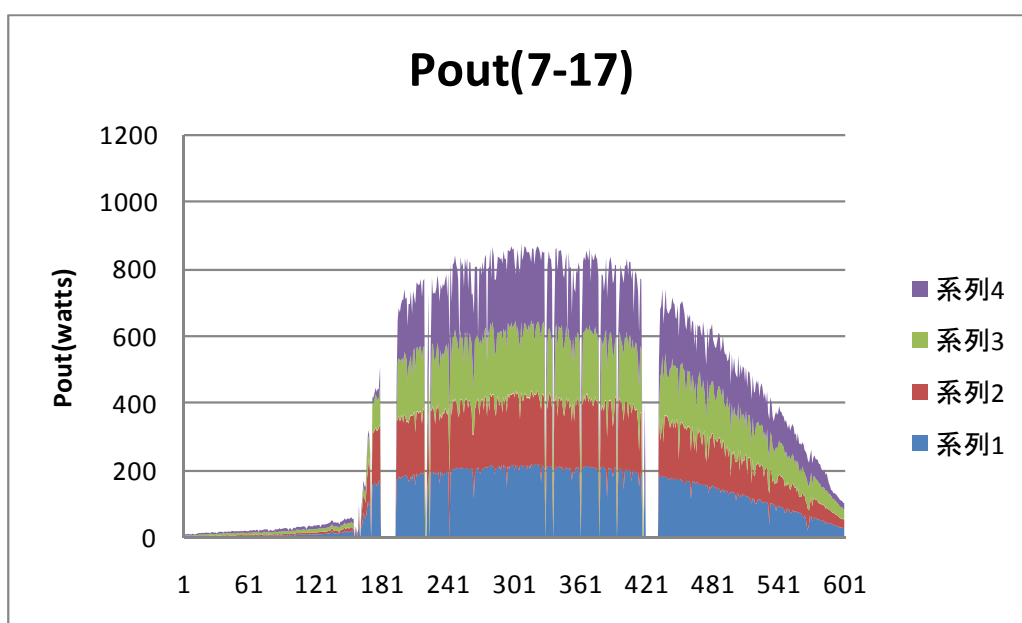


図 2.3.1-7 スtring 7

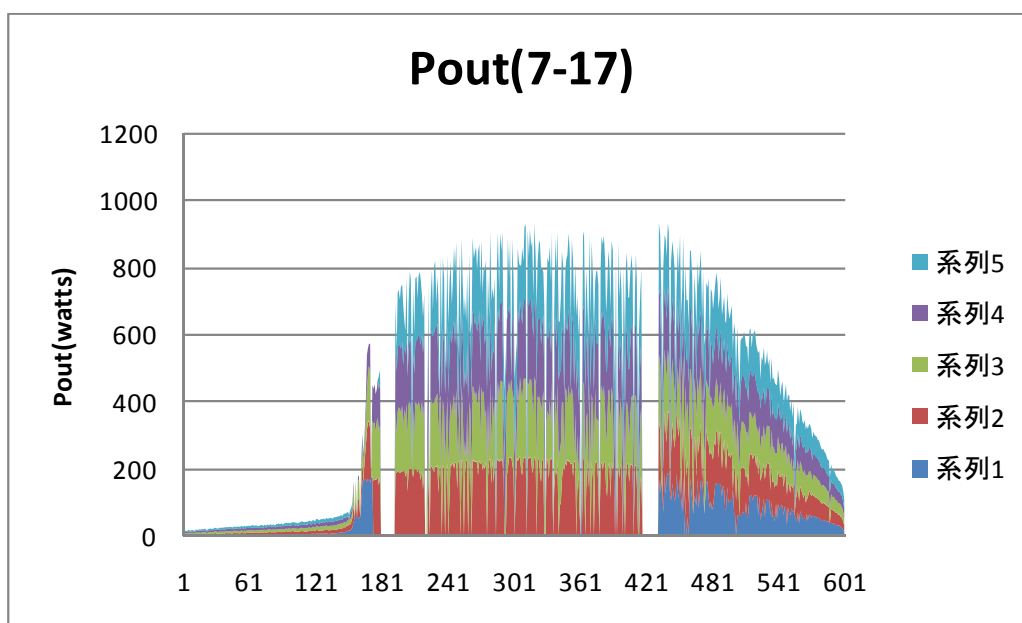


図 2.3.1-8 スtring 1 1

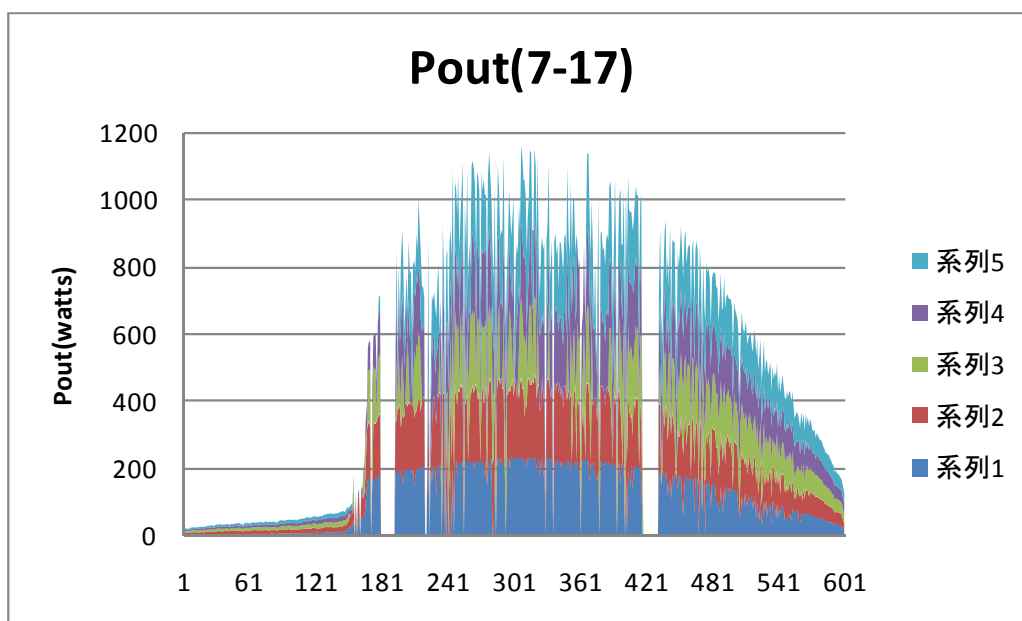


図 2.3.1-9 スtring 1 2

③ 出力電圧

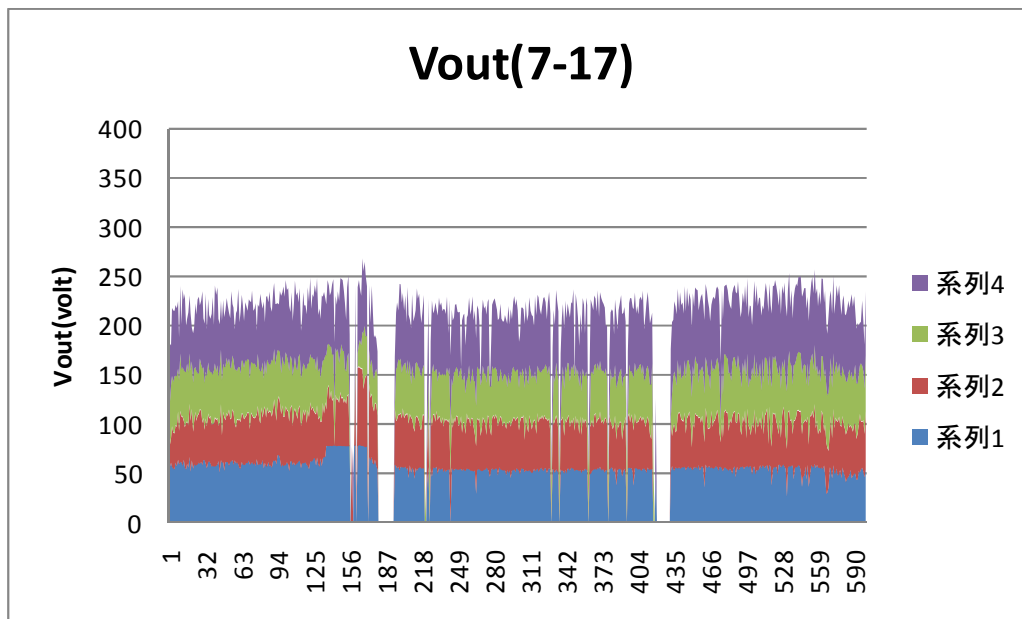


図 2.3.1-10 スtring 7

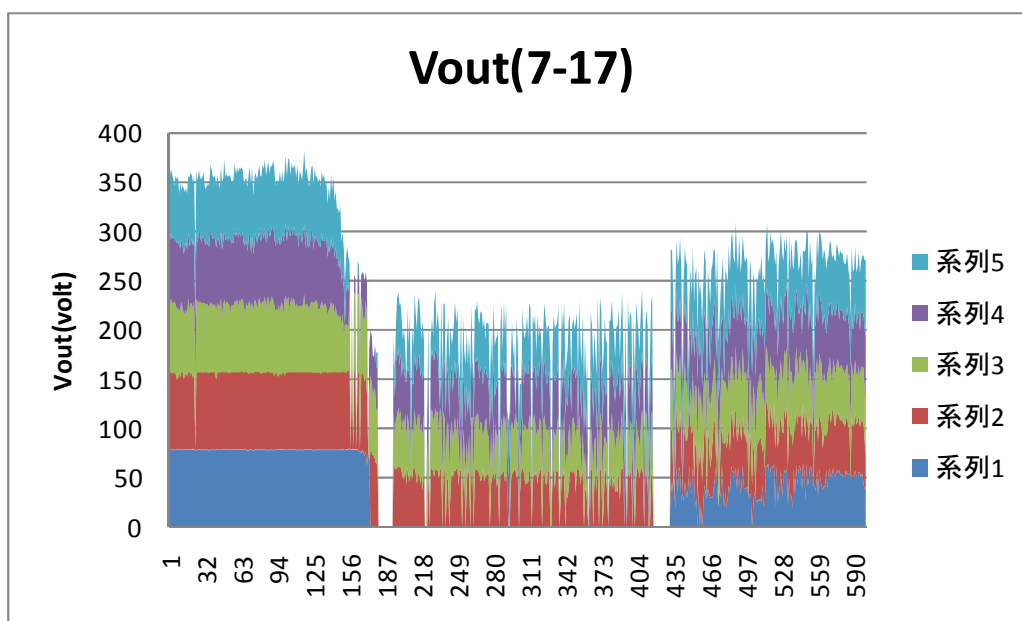


図 2.3.1-11 スtring 1 1

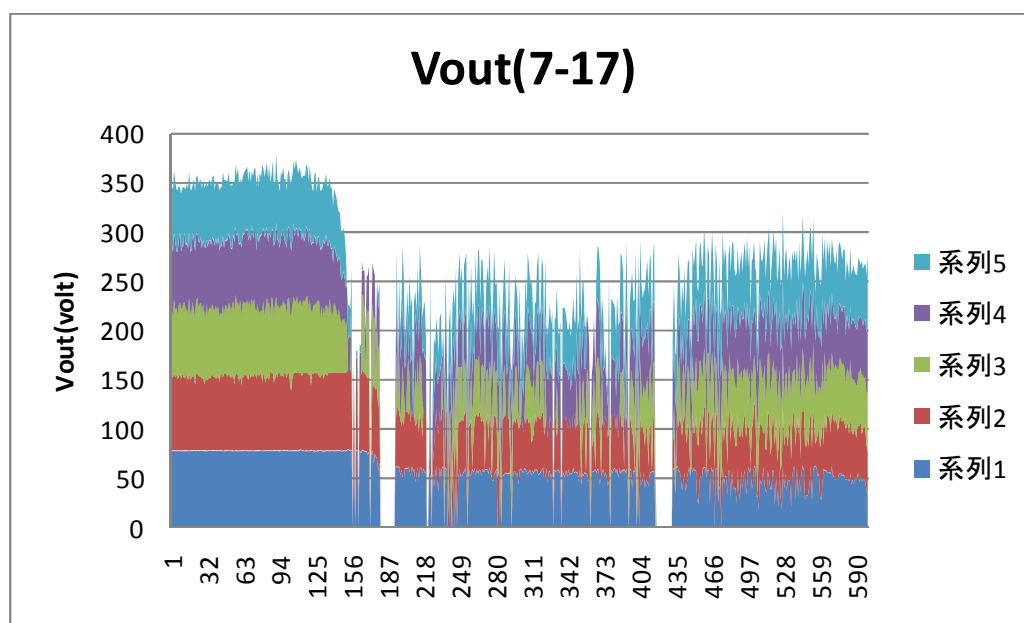


図 2.3.1-12 スtring 1 2

2-3-2. 既存運転中太陽光発電システムへの導入試験

太陽電池モジュールの寿命は、現在 20 年以上が要望されている。これは、太陽光発電の発電コストは、この寿命と反比例の関係にあるためである。しかしながら 10 年以上経過した太陽電池モジュールの性能は、当初ほぼ同一であった定格出力値も不均一になるのが一般的で、発電システムの発電量は、より劣化したモジュールの性能に引きずられ大きく低下する可能性が大きい。このことは、2-3-1 で述べた日射による不均一と同様である。

このような条件でも十分発電可能なシステムを実現する 1 つの有力な技術として、本研究を提案し、動作開始から 10 年以上経ている既存運転中太陽光発電システムの一部に開発した電力変換器を取り付け、実証実験を行った結果について述べる。

ここで用いた手法は、2-3-1 節と同様に本研究で実現を目指している、最大出力追尾装置 (MPPT) に通信機能を搭載した直流電力変換器からの 1 分ごとの動作データを中心に解析を進めた。計測データは、太陽電池出力電圧、同出力電流、同直流電力、直流電力変換器出力電圧、およびチョッパオンオフデューティ比である。

図 2.3.2-1 に、晴天日(2013 年 2 月 14 日)の太陽電池出力電力を示す。横軸は一分ごとのデータ点を示しており、開始が午前 7 時、終了が午後 5 時の 10 時間のデータが表示されている。同図は、S 社製の 125W 級モジュールに、開発した直流変換器を接続し、これを 4 台直列接続して家庭用インバータに接続した場合のデータである。本アレイの設置角度は 15 度であり、2 月の日射はかなり斜め方向であるため、快晴日ではあるが正午付近で 400W の出力となっていることがわかる。色別に示したものは各モジュールからの電力であり、各モジュールともほぼ同じ出力が得られていることがわかる。

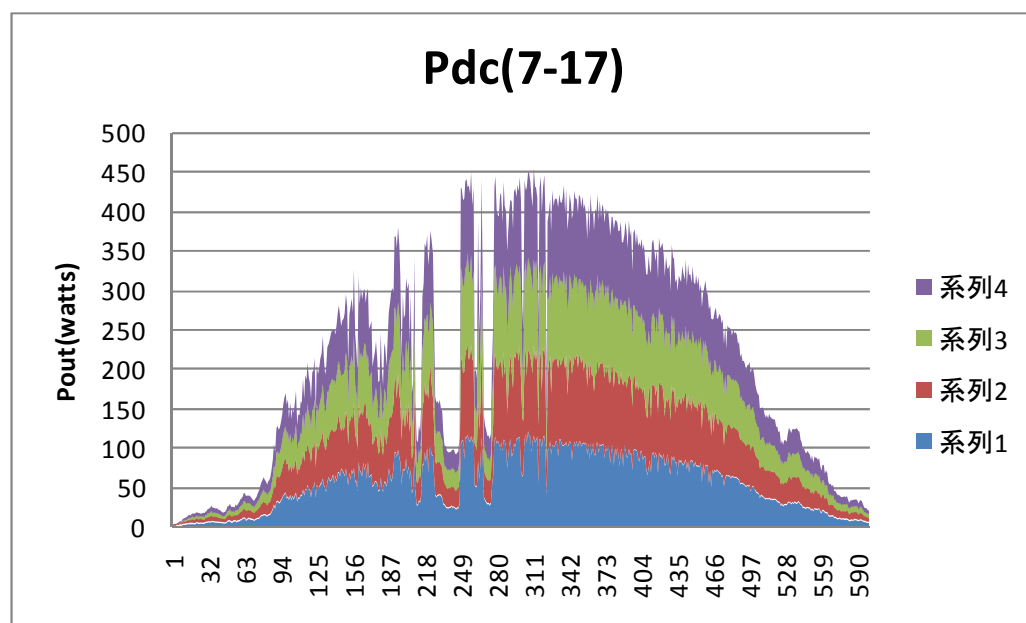


図 2.3.2-1 太陽電池モジュール 1 から 4 の直流出力電力
(2013 年 2 月 14 日、7 時より 17 時)

同システムの最大出力追尾の様子を、図 2.3.2-2 に示す。4 台の和は 80V 前後であり、各モジュールの最大出力点をほぼ正確に追尾していることがわかる。また、図 2.3.2-3 は、直列接続してインバータに送っている時の電圧値をモジュールごとに示したもので、200V 前後にまで昇圧されて太陽電池出力電力が送られていることがわかる。これらの結果より、開発した電力変換器がほぼ設計通り動作していることを確認することができた。

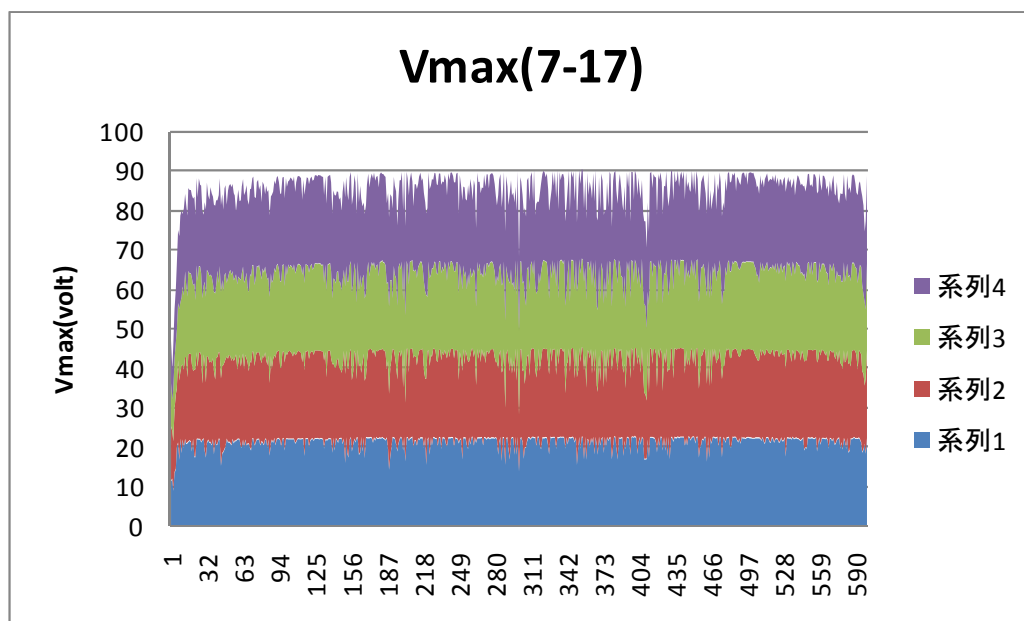


図 2.3.2-2 各太陽電池モジュールの動作電圧

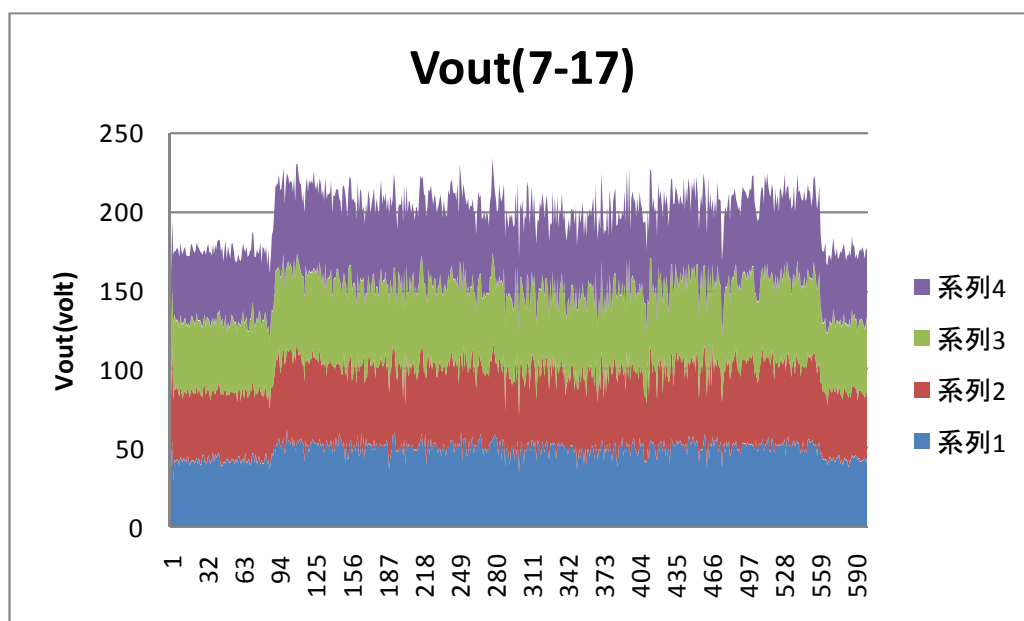


図 2.3.2-3 電力変換器からの出力電圧

参考のため、残りの3つのストリングの動作データを、図 2.3.2-4 から図 2.3.2-12 に示しておく。

これらの解析から得られた知見を以下に箇条書で示す。

① 動作データについて

2-3-1 節の場合に比較して、本実証施設のデータはノイズも少なく、日の出、日の入りの数点を除いて通信不能となる状態も無い。出力電圧の変動も、インバータとの整合性をとることでさらに少なくできるものと考えられる。

② 劣化したモジュールの診断について

10 年以上動作させた太陽電池システムの診断の一例として、今回導入した太陽電池モジュールの直流発電量を Zigbee より送られてきたデータより解析した。表 2.3.2-1 に 1 日分の発電量の違いを示す。400Wh という異常な値がみられた 1 モジュールの他は、最大 569Wh、最小 522Wh であり、±5 %以内となっている。400Wh の出力のモジュールは明らかに性能劣化していることが図 2.3.2-9 からも見えて取れる。この結果より、太陽電池アレイの診断法として、積算発電量の比較が大変有効であることが明確になった。

表 2.3.2-1 各太陽電池モジュールの 7 時から 17 時までの発電量 (Wh)
(2013 年 2 月 14 日)

ストリング	モジュール 1	モジュール 2	モジュール 3	モジュール 4
1 - 4	557	522	558	551
5 - 8	536	562	560	541
9 - 12	564	569	535	548
13 - 16	555	400	564	563

③ 日の出後 90 分、日の入り前 30 分の出力データ異常について

図 2.3.2-3 にみられるが、日の出後の一定時間ならびに日没前 30 分でインバータ側の動作電圧が 50V 前後大きく変動している。これについては原因を特定することはできていないが、本システムにおいても、2.3.1 節の K 社システムと同様、1 台のインバータに通常の直列接続太陽電池モジュールストリングと、電力変換器からの出力が同時に接続されているため、両者の出力が競合し、何らかの不都合が生じていると推測できる。

立命館大学テクノコンプレクス動作確認データ（2013 年 2 月 14 日）

① MPPT 動作

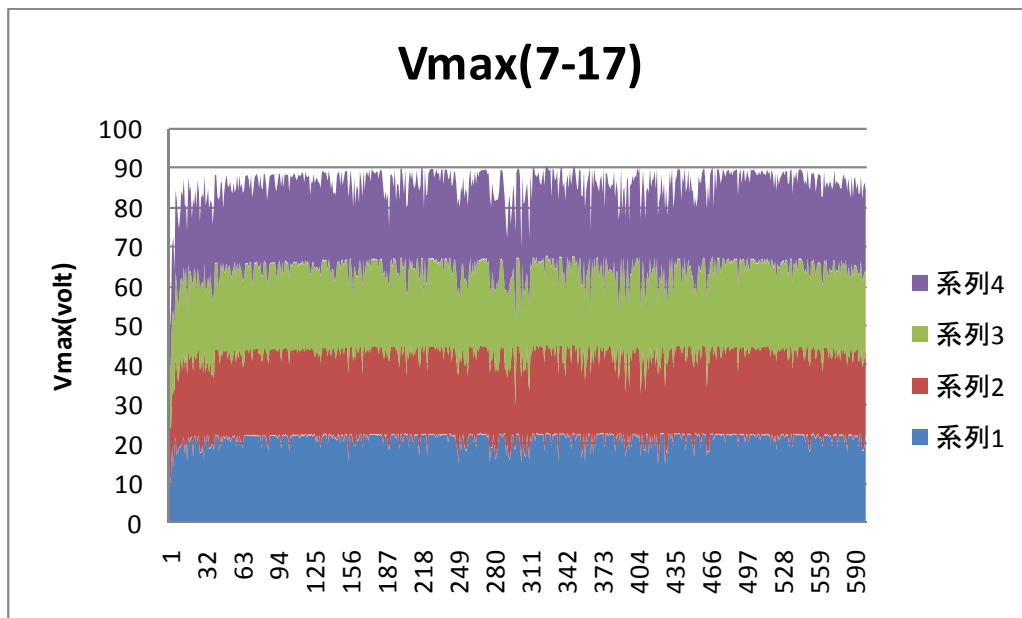


図 2.3.2-4 モジュール 5-8

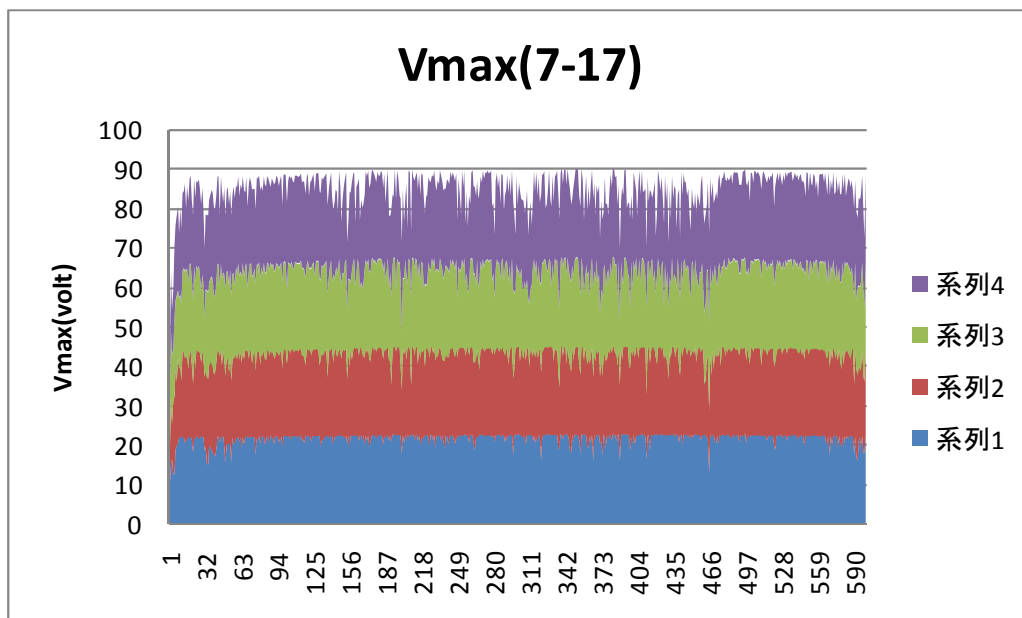


図 2.3.2-5 モジュール 9-12

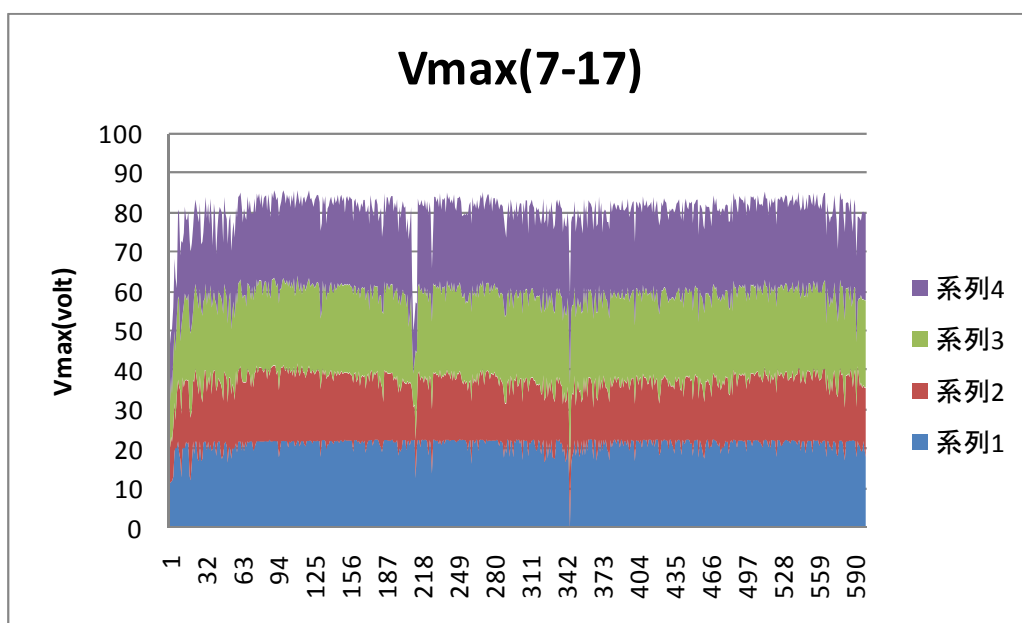


図 2.3.2-6 モジュール 13-16

② 陽電池直流出力

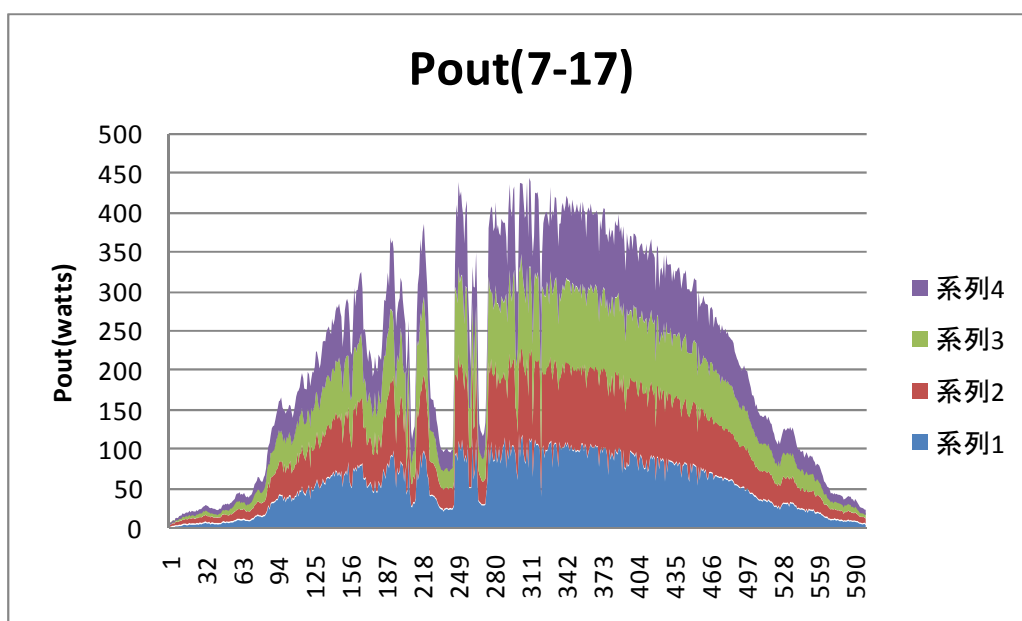


図 2.3.2-7 モジュール 5-8

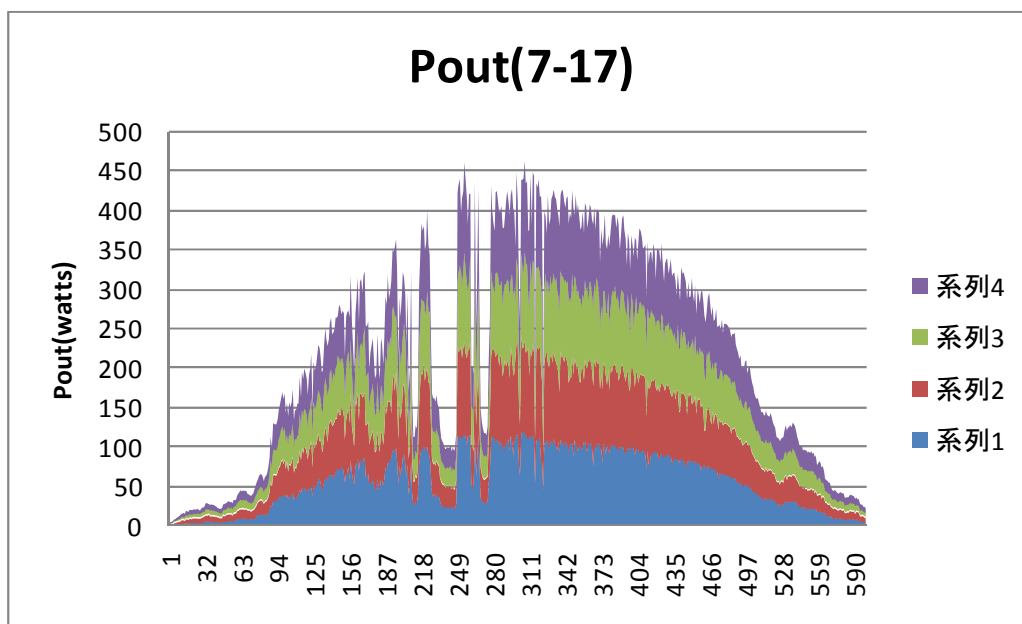


図 2.3.2-8 モジュール 9-12

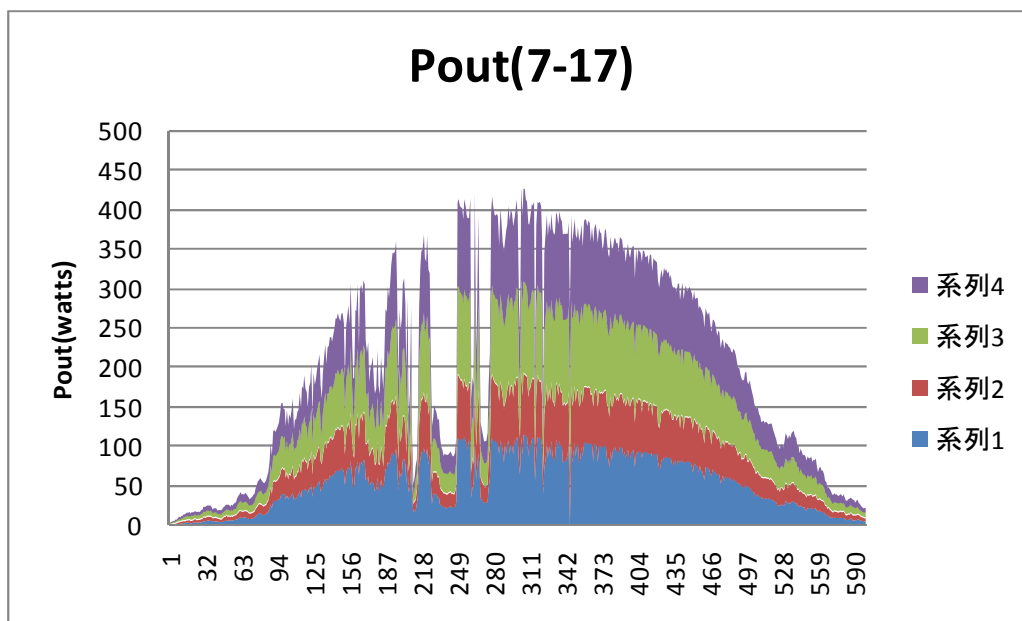


図 2.3.2-9 モジュール 13-16

③ 出力電圧

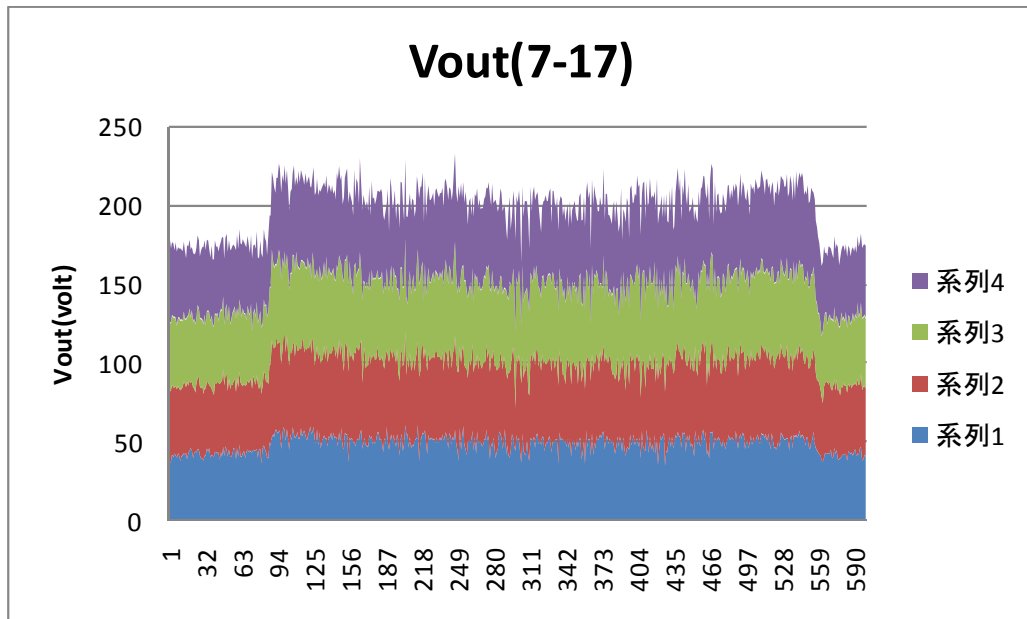


図 2.3.2-10 モジュール 5-8

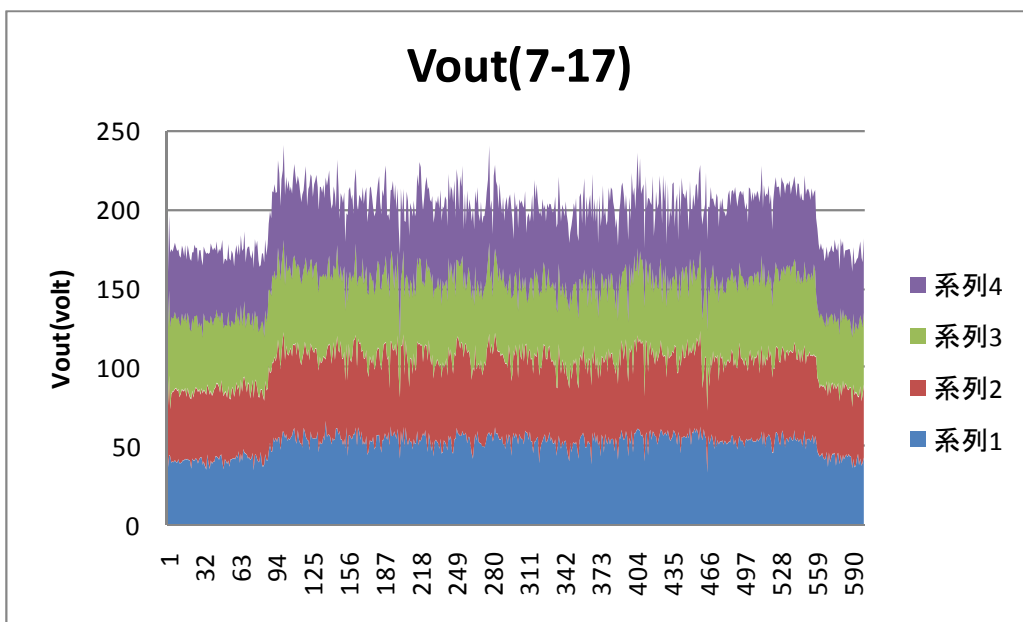


図 2.3.2-11 モジュール 9-12

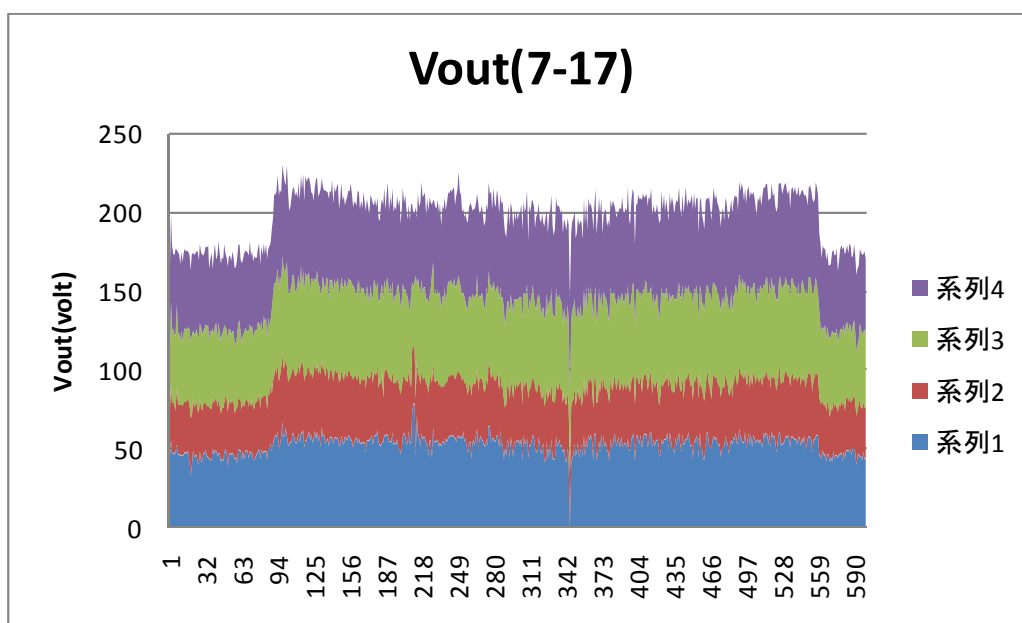


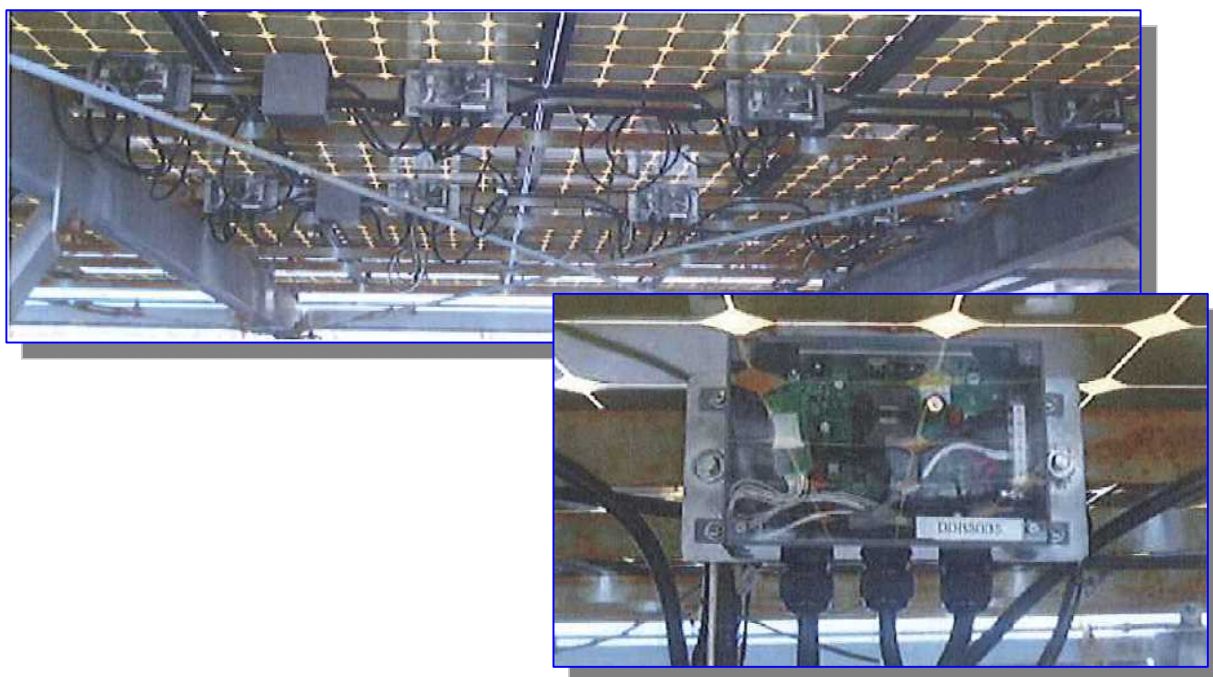
図 2.3.2-12 モジュール 13-16

2-3-3. 屋外実フィールド及び既存運転中太陽光発電での検証設備の構築

立命館大学高倉研究室屋上及び上新電機株式会社東大阪店に前 1 章にて試作製作した分散型 MPPT デバイスの取付構築を行った。

東大阪店については前 2 章にて記載したデータ収集演算装置によりデータ収集を行い、立命館大学高倉研究室屋上の既存太陽光設備については昨年度に構築したデータ収集演算装置にてデータ収集を行い、前項のデータ解析を実施した。

立命館大学高倉研究室屋上検証設備状況



上新電機株式会社東大阪店検証設備状況



2-4 分散型 MPPT デバイスのプロトタイプ製作

(学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術
コンサルタント株式会社、上新電機株式会社)

(A) 目的・研究方法

目的

本品はパネル毎に取り付けることを前提としている。このため、多くの数量が必要となるが、太陽光発電はその設備利用率が、10～12%程度と低いため設備構築コストが大きなコスト要因となる。このような環境の中でコスト増加要因となる本装置は、当然得られる利益と費用増加分が見合い、プラスにならないければ装置の普及はあり得ない。従って、普及を図るためにはそのコストはミニマムに抑えなければ拡販は望めない。このため、性能が満足できる目標に達したら、量産のための技術的手法の開発が急務である。この理念に基づき、量産品のプロトタイプの目標を以下に述べる様な性能で製作することに決定した。

a) 絶縁耐力

この装置はパワーを扱う装置である。同時に、出力電圧は 70V 以下と低いが、出力を直列に接続した場合、対地電圧は DC1000V 級を考える必要がある。したがって、安全性に関しては、対地電圧耐力の問題を特に考慮しなければならない。

b) サージ耐力

本装置は、入力回路に太陽光発電パネルが接続されることを前提として計画されている。太陽光パネルは屋外に裸で設置されるため雷サージの影響を受けやすいことが知られている。このため入力回路から混入する雷サージに対しても十分な安全性を確保しなければならない。

c) 不要輻射

本装置は、屋外で大量に使用されることを前提条件としている。このために不要電波輻射は最小限に抑える必要がある。目標としては、不要輻射に対して非常に厳しい規格である IEC の基準をクリアすることを前提条件として、認証機関による認証を獲得する。

d) コスト対応

本研究の最終目的である、10US\$/100W を達成するために部品選定で出来るだけ、チップ部品の採用を試みる。コスト的にはリード部品でもチップ部品でも大きな違いがないが、実装コストが大幅に異なるので出来るだけチップ部品を採用する事にする。同時に、部品コスト低減のため、専用部品の採用は極力避けて、当初の思想通りの汎用部品に置き直す。この点は重要な要素で、多少部品点数が増加しても、安価な部品を使用することで、トータルコストの低減をはかる。

e) 部品の複数種の採用

電子部品の寿命は近年とみに短い傾向が出てきている。これは技術革新が早いのと、

継続生産を行うための拡販量の確保が難しいという業界の事情が裏に存在する。たとえば、非常に有名な IC に NE555 という IC が存在する。タイマーを作るための IC であるが、機能的に他の応用が可能な点が存在するため、ここ 15 年間同種の IC が供給されている。しかしながら、このような例は非常に珍しい例で、大半はセカンドソースが作られずに市場から姿を消すのが通例である。しかし、この問題は、修理部品の確保とこのような用途（産業用で長期間使用されることが想定されている場合）致命的な欠陥となる可能性がある。このため、出来るだけ他の需要の多い半導体を選択する必要がある。

f) 部品、パーツの耐久性の評価

前述の様に、この装置は耐久性が要求される。装置は 20 年間程度、殆どメンテナンスレスで動き続けることが要求される。このため、温度条件等で寿命がコントロールされる部品は、その動作条件を厳しく吟味する必要がある。特に、接触接点を持つ部品は、接触部の金属の化学変化が問題点となる。屋内の環境に置かれた部品の劣化は、安定して少ないのが通常であるが、屋外の環境変化が激しい場所に置かれた金属は周囲環境の変化で劣化が激しいのが通常である。

g) 製造の容易性

コストダウンの最も重要な要素に製造の容易性があげられる。トータルコストの低減のためには、原価の内、最も高い製造の容易性を高めなければいけない。特に、プリント基板以外の部品形状は重要な製造の容易性を阻害する原因となる。なぜなら、この部分の多くは、機械による組立が困難で、直接人が行う必要があるからである。人が行う業務は人件費となって原価を押し上げる。この費用は原価低減の逆の作用となるため、徹底的に検討を要することとなる。

h) 熱安全性

本装置は、パワーを扱う機器であり最大通過電力は 300W を想定している。この装置の損失電力は全負荷効率 96% を想定したとして、12W 程度となる。この損失電力は全て熱に変換され装置の温度を上昇させる。従って、この熱を放出しなければ装置は温度が上昇し、熱破壊を起こすのは必然である。この温度上昇値を決定するのは以下の要素と想定し、放熱を司るケース設計を行うこととする。

- 1) 使用パワー半導体（FET&ダイオード）の安全使用温度を超過しないこと。
- 2) インダクタンス温度が、絶縁物の使用最高温度（E 種絶縁）を超過しないこと。
- 3) 電解コンデンサの寿命は 10℃2 倍の法則により、使用環境温度によって寿命が決定されるため、製品寿命まで交換しないで使用可能な平均温度にケース内を保つこと。
- 4) 外部輻射熱による温度上昇を考慮すること。
- 5) 外気温度は 40℃を想定すること。

i) 原価試算

原価試算を行う事は、このような製品の試作において必須事項である。このため、10 万個製作時のコスト試算を行う事を目標とする。

以上の点を考慮して、設計をすることに決定し、量産品を作っている既存メーカーに製造を依頼することに決定した。

(B) 成果と課題回路・装置の構築

前項目的を達成させるために、各項目について以下の検討研究、試験を行い各定数、選択を行った。

決定事項

a) 絶縁耐力

目的達成のため、各装置の電位分布を検討した。結果、市販品のケースにはプラスチック製を想定することでフローティング動作に耐えられることが確認できた。一部、対地静電容量の変化によって、充電電流が無視できない可能性が存在するためと、充電部分の電界強度集中点で破壊の可能性が存在することが判明したため、対地静電容量の変化による電界強度変化の低減のため、静電シールド塗料を内面に塗布することを決定した。

もう一点の問題点は放熱板である。この放熱板は熱伝導率確保のため、発熱集中点から一定の距離どうしても金属板を採用する必要がある。通常この用途にはアルミ板が使用される。このアルミ板は接地電位と同電位になる可能性があるため、FET のドレインと直結した場合、ドレイン 1000V が印加される可能性があり、ドレインゲート間耐圧を終えてしまう。このため、通常は、ドレインと放熱板をマイカ、シリコンラバー等で絶縁を行う。この絶縁材が、常時 1000V の耐圧に耐えられるかどうか、今回の試作品では大きなテーマとなった。

マテリアルとして、熱伝導製の優れたシリコンラバーの耐圧に関しての情報は少なく、メーカーのデータシートにも乗っていない。マイカに変更すれば、1000V 程度の耐圧は簡単得られるが、近年その製品供給は少なく継続性に不安があるため、シリコンラバーを使用することにして、絶縁耐力を確認するため、試験を行った結果。0.5mm 厚シリコンラバー絶縁破壊電圧は、3000V～5000V を示すことが確認された。しかしながら、この値は静的耐圧であり、繰り返しインパルスが想定される今回の用途に単純には適用できない。このため、雷インパルス試験を行った。

結果は 破壊先頭電圧 20kV で破壊率 20% という結果を得た。但し、この値も単発のパルスであり、連続パルスのデーターではないが、前回の静的破壊電圧と、インパルス破壊試験電圧から、推定して、1000V クラスの繰り返しパルス電圧に充分耐えられる

と判断した。この試験に使用したシリコンラバーは 0.5mm 厚であったので、安全を考慮し 0.8mm 厚のシリコンラバーで絶縁することに決定した。このことにより、アルミ放熱板は接地電位での装着が可能となったが、原則的には、浮動電位で運転出来る様にケースを考慮して本項目の結論とした。

b) サージ耐力

サージは基本的にパネルから流入するものと、外部出力電線から流入するものとに分割される。パネルから、流入するサージがどの程度なのかは不明であるので、参考として、IEC の例を採用する事にして、入力側に、バリスタ型サージ吸収装置 150V 1kA(尖塔電流値)を取り付けることに決定した。また、出力回路には外部電線からの誘導サージ考えられるので、この対策も検討した。対地サージに関しては、装置そのものがフローティング電位で運転しているため、特に静電容量の変位が発生しない限り、理論的には問題が無い。しかしながら、出力電線間に発生するサージに対しては何らかの対策が必要と考えて検討をした結果、以下の点が判明し、発生電圧と同方向の極性を持つサージに対しては、回路内部の最終出力段にバイパスダイオードを持つため、このダイオードの順方向インパルス電流の許容度がサージ電流に耐えることを確認したことで解決した。一方、発生電圧と逆方向のサージ電圧には、このダイオードは効かないため、サージ吸収ダイオードを取り付けることに決定した。

両方のダイオードの尖塔電流値は 1.5kA 500 μ s である。

c) 不要輻射

不要輻射に関しては、IEC の基準をクリアすることを目標としていたので、概略計算の結果は十分であることが確認できたが、最終的には認証機関に持ち込んで検査をして、認証してもらうことを前提とした。一応、対策としては、ケースのプラスチック素材にカーボンを混入することで、ある程度の減衰は期待できる構造とした。

もし、認証機関での検査値が IEC の基準をオーバーした場合、静電遮蔽等の電波漏洩防止措置が必要となる。

d) コスト対応(チップ部品の採用)

現時点での、リード線部品は以下の部品である

- 1) 入力回路コンデンサ
- 2) 電流検出抵抗器
- 3) FET
- 4) ファーストリカバリダイオード
- 5) シリーズレギュレータ
- 6) 出力回路コンデンサ

- 7) バイパスダイオード
- 8) 入力回路バリスタ
- 9) 出力回路サージ吸収ダイオード

これらの部品のうち、現時点ではチップ化できない（製品が存在しない）部品は以下の部品である。

- 1) フィルムコンデンサ（出力コンデンサ）
- 2) 入力回路用バリスタ
- 3) 出力回路用サージ吸収ダイオード
- 4) バイパスダイオード

上記、パーツ以外はチップ化が若しくは表面装着が可能である事が判明した。この内、FET とファーストリカバリダイオードは、現時点ではサンプル品が入手できる種類が少ないため、今回の試作には使用できないが、量産化時点では、充分大量発注になることが予想されるため可能であることが判明した。そのため、残る部品は電流検出抵抗器となった。この抵抗器は $10\text{m}\Omega$ で通過電流値は最大 10A を想定している。この電流値で、損失電力を計算したら、 1W となる。規格表では当該抵抗値を持つ抵抗器の定格電力は 1W なので使用が可能と考えられるが、定格いっぱいでの使用は、温度上昇が著しいので、今回は、4 個を使用して、合成抵抗値 $10\text{m}\Omega$ とすることで熱集中を排除することに決定した。

以上の検討結果から、将来の量産品では大幅なチップ部品採用が可能と判断されたが、今回の試作では小ロット入手製に問題があるため、チップ化は電解コンデンサ、電流検出抵抗器のみをチップ化部品とすることで決定した。

e) 部品の複数種対応

セカンドソースを持つ部品選定が重要な要素であると、考え以下の部品について検討した。

- 1) FET
- 2) ファーストリカバリダイオード
- 3) ドライバーIC
- 4) 制御電源供給用 IC
- 5) OP Amp
- 6) CPU
- 7) コンパレータ
- 8) 抵抗器
- 9) コンデンサー
- 10) サージ吸収素子
- 11) インダクタンスコア

結果、

1) FET,ファーストリカバリダイオード、サージ吸収素子はセカンドソースメーカは、存在しないことが確認できたが、同一に近い規格の商品が多くメーカーから販売されているため、特にこの問題について、検討を必要としない事が判明した。セカンドソース供給メーカーより、表面実装用の規格品の入手が重要である事が判明した。

2) ドライバーIC,OP Amp&コンパレータは今回のテーマに属する選定が重要と思われた結果、OP には LM324 という世界的にセカンドソースメーカが存在する。

NE555 の様な製品の採用を決定した。実際の使用は2個 LM324 が内蔵されたセカンドソースメーカのものである。FET ドライバーIC は、試験試作品が東芝の IC であったため、セカンドソースメーカが存在しないことと、長期的には供給に不安があるため、テキサスインスツルメント社の該当品に変更した。この IC はナショナルセミコンダクター社からも販売されていて、供給に支障が出ないものと想定された。

3) CPU

CPU は種々検討したが、セカンドソースの考え方が無いため、基本的に互換品は存在しないことが判明した。従って、現状の CPU であるルネッサンステクノロジ社の R シリーズと決定した。同機能を持つ CPU は数社存在するが、ピン配置、内部設定プログラム等が異なるため、置き換えは単純には出来ないが、ソフトは、ソースプログラムが C 言語で記述しているため容易に移植可能と判断した。

4) インダクタンスコア

今回の計画ではインダクタンスコアの材質は TDK H52 系の素材であるが、他社には同等のコアが存在しないため、セカンドソースメーカ品のある商品の採用は断念した。

5) 抵抗器、コンデンサ

これらの商品は、多くのメーカーから同種規格の商品が販売されていて、将来的な供給の不安も殆ど考えられないことから、性能重視で行くことを決定した。

これらの検討結果、当初方針のセカンドソースメーカ品を採用する事は不十分であった。多分、電子部品については進歩の度合いが激しいのと、設計が多様になっているため、セカンドソース供給が重要視されなくなったと思われる。このことは、ルネッサンスの経営問題で、自動車会社が車の生産に支障をきたさない様に対策を行うという新聞発表に現れていると思われる。

f) 部品、パーツの耐久性の評価

電子製品で、経年劣化を心配しなければいけない部品は以下の部品が想定される。

- 1) アルミ電解コンデンサ
- 2) インダクタンス巻き線の絶縁劣化
- 3) 接触接続部の酸化等化学変化
- 4) 半田の劣化

これらの、劣化要因の中で、それぞれ対策を行う必要がある。

1) アルミ電解コンデンサ

アルミ電解コンデンサには有名な寿命法則が存在する。通常 10°C 2 倍の法則である。このことから、使用環境とリップル電流が寿命を決定することが解る。そこで、規格表から取り出したメーカー保証寿命から、20 年間の寿命を想定して、使用温度を何度に設定すれば良いかを検討してみる。

大半のコンデンサは、想定寿命計算の規定温度が 85°C 品と 105°C 品が存在する。コスト的には 85°C 品の方が安価であるが、本製品は屋外設置を想定しているためと長寿命を想定しているため、 105°C 品を検討する。

必要寿命の検討

必要寿命は、装置の耐用年数 20 年と想定して、時間に換算して

$$20[\text{年}] * 8760[\text{時間}] = 175,200[\text{時間}]$$

となるが、夜間は使用しないので、この時間は 1/2 と想定される。

従って、使用寿命は、

$$175,200/2 = 87,600[\text{時間}] \quad \text{通常の } 105^{\circ}\text{C} \text{ 寿命は } 2000\text{--}3000[\text{時間}]$$

仮に 2000 時間保証品を使用すると仮定して

$$87,600/2000 = 43.8$$

10°C 毎に 2 倍法則を適用すると、 $43.8 < 2^6$ となるため、 60°C 温度低下を必要とする。 $105 - 60 = 45^{\circ}\text{C}$ となり、周囲温度は上回っているが、通常使用時の温度上処置が周囲温度に対して 20°C を上回ることが予想されるため、使用できない。

3000 時間品で再計算を行う。

$43.8 < 3 * 2^4$ となり使用温度 65°C 20 年間の使用時間寿命が確保できる。

周囲温度からの温度上昇値を 25°C 未満に抑えることで、寿命達成可能である。

コンデンサのリップル電流による内部温度の上昇は、負荷電流に比例するため、全負荷時の温度上昇が仮に 40°C あったとしても、稼働時の平均電流は稼働率（運転に間中）25%を終えることは無いので、平均温度上昇は 25°C 未満であると推定できるため、 105°C 3000 時間保証のコンデンサを使用することで期待寿命 20 年間はクリアできるものと想定される。

この検討は、入出力に接続するコンデンサの寿命についてであるが、CPU 電源用の

コンデンサもアルミ電解コンデンサであるが、リップル電流が非常に小さいため、温度上昇は連続運点時でも 5℃に満たないため、寿命については、問題は無いと考える。

2) インダクタンス用巻線絶縁物の寿命

この絶縁物としてはポリウレタン系の塗布絶縁物が使用されている。このポリウレタン系の絶縁物の最高使用温度は 150℃程度であるが、絶縁物も温度と寿命に深い関係を持っている。通常の使用状態ではポリウレタン系では 150℃で 10 年以上の寿命が確認されているが、局部的な温度上昇が起こればこの温度を終えてしなう可能性が存在する。

この巻き線も温度上昇値は製品によるバラツキも考慮しなければいけないので、実際の温度は 100℃以下とすることが推奨される。そこで、定格全負荷状態で、製作したインダクタンスの巻き温度上昇値を測定した結果以下の様なデータを得た。

測定条件

周囲温度	(室温 25℃)
負荷	100%(300W)
時間	1 時間後

測定結果

サンプル(1)	73℃
サンプル(2)	58℃
サンプル(3)	86℃
サンプル(4)	65℃
サンプル(5)	72℃
サンプル(6)	68℃
サンプル(7)	59℃
サンプル(8)	66℃
サンプル(9)	81℃
サンプル(10)	72℃
平均温度	70℃

室温を差し引くと温度上昇値は $70-25=45℃$

測定値に大きなバラツキが生じている。この原因を調査したが明確な結論は出せなかった。推定原因はギャップ位置と巻線のバラツキにあると想定される。コアの温度上昇はギャップ位置が最大になっている。どちらかという巻き線の温度上昇値は、自分自身の導通損失による温度上昇値よりも、コアのギャップ付近に現れるホットスポットに影響を受けている様に思われた。

最大温度上昇を示したサンプル品での温度上昇値は 6℃である。このインダクタンス

は手巻き製品であるためバラツキが多いが、工場で製作した場合このバラツキは減少すると思われるが周囲温度 40℃を想定した場合、さらに温度上昇が 15℃加わるため、最大温度上昇を示したサンプル(3)の固体では $86+15=101^{\circ}\text{C}$ になると想定できる。この値は、絶縁物の許容最大温度にはほど遠い値であり、寿命を考慮した 100℃とほぼ同等であるため、この部分は、現状設計でも寿命的には問題が無いものと結論を出した。

3) 接触部の劣化

外部配線と接続するための端子台が、この装置唯一の接触接続部である。(現時点では Zigbee のコネクタも接触部であるが、量産品では固定接続を想定しているため、除外する)

通常はネジ締め付け接触を行うが、外部接設置を考慮した場合、この接続部に水が侵入しない様にカバーをしなければ、長年の使用に支障が発生することが予想される。しかしながら、ねじ締め接続部に防水カバーを設ける構造は非常に複雑になり、確実性も低くなる。

そこで、接続を要するケーブルを再度チェックして、すでに試験結果の出ている、PV ケーブル接続用の接続コネクタを使用することでこの問題をクリアした。基盤からのリード線に PV ケーブルを直接接続し、リード線 (PV ケーブル) 引出し構造とする。接続コネクタは、メーカーごとに異なるため、今回の試作品には取付ないで、圧着タイプの接続コネクタを後付で取り付けることに決定した。

このことにより、プラスチック製ケースと PV ケーブルの防水性の確保のみとなり、コスト低減に寄与するものと思われる。

4) 半田接続部の劣化

半田接続部は、ペースト等の化学変化を起こす物質の残存物と、空気中に含まれる亜硫酸ガス等の化学変化物質のために、半田の硬化現象と浸食現象が知られている。これらの劣化対策として以下の点を施すことに決定した。

- ◆ 半田は無鉛ハンダとし、ペースト除去は完全に行う。
- ◆ ROHAS 対応の部品、ハンダを使用する。
- ◆ 表面浸食を防止するため、完成基盤は部品装着後完全にコーティングを行う。

g) 製造の容易性

製造の容易性の確保のため、チップ部品の採用は基よりケース整形の容易さ、使用アルミ放熱板の取付方法等、多くの検討要素があることは明白であるが、残念ながら、当方には製造に関する経験がないため、この検討は、量産メーカーにゆだねるほかは無いことが判明し試作品製造メーカーに依頼した。

h) 熱安全性

本装置の、発生熱量は最大電力創出時に約最大 5%のロスを想定している。実験室レベルでは、最大負荷時に 96.5%を示しているが、熱設計では 95%を想定する。

最大電力は 300W と想定しているので、損失熱量は

$$300 \times 0.05 = 15 \text{Wto}$$

となる。この熱量を外気に逃がさなければならない。そこで温度上昇の限界値を計算してみる。多くの熱損失の内、最大の熱損失はファーストリカバリダイオードで発生することが判明しており、その値は 8W 程度と全損失の 50%を超える。このファーストリカバリダイオードの形状は TO220Typ で、このタイプの放熱板無し状態での温度上昇値から見た最大許容損失は 1.5W であることはデータシートから読み取れる。

この最大損失時の、接合点温度は 120℃程度と推定される。

形状 TO220 型の半導体の接合部から放熱板までの温度抵抗値はおおよそ 4℃/W であるので、TO220 パッケージの外壁温度抵抗は

$$(120-25)/1.5=59.3^{\circ}\text{C/W}$$

となり、放熱器なしでは耐えられない。そこで、最大負荷時の放熱に耐えられる放熱抵抗を計算してみる。

外気温度は 40℃

ジャンクション温度の最大値は 120℃

発生熱量は 8W

許容熱抵抗の最大値は

$$(120-40)/8=10^{\circ}\text{C/W}$$

このうち、接合部から半導体表面までの熱伝導抵抗 4℃/W 絶縁シート熱抵抗 1.4℃/を差し引くと

$$10-4-1.4=4.6^{\circ}\text{C/W}$$
 の熱抵抗が放熱板に許容される最大熱抵抗となる。

実際には、ダイオードだけを計算しているので、FET、シリアズレギュレーターの熱放散も考慮すると、さらにこの半分程度の熱抵抗が許容限度となる。

仮に、2.3℃/W の放熱抵抗を持つアルミ厚 2mm の平板でこの放熱器を製作すると、約 0.03 平方メートルの面積が必要となる。

今回の計画では、アルミ放熱板の面積は 0.018 平方メートルと必要面積の 60%程度しかないので、プラスチックケースの放熱面積も考慮し、上記放熱抵抗値をクリアすることにする。実際には、計算値上はクリアできるが実験を行うことにした。

実験は、放熱位置に FET を取付、ゲート電圧を調整し、損失電力をドレイン損失として FET に与え各部の温度上昇を確認した。結果は以下の計測値となった。

周囲温度 : 25℃

発生熱量 : 8W

ケース温度 : 41.8℃
FET 表面温度 : 53℃

実際の使用状態では、発生熱量が倍になるのでケース温度は 60℃が最大値となる。
FET 表面温度はその値に 12℃+となるため 72℃さらに周囲温度の差分を+すると
87℃となり、ジャンクション温度は 120℃前後となる事が予想され、安全が確認された。

このことにより、製造メーカー推奨のアルミ放熱板付プラスチックケースでプロット
タイプの製造に入ることを決定した。

このときの、ケース内温度は、計測値計算値で 60℃を超えることが確認された。こ
の温度は、CPU その他の半導体使用上は問題ないことが確認できたが、電解コンデン
サーの寿命に影響を与えるため、稼働時間中の平均温度を試算してみたところ、ケース
内温度の平均温度上昇は 15℃前後となる事が確認できたため、コンデンサーの寿命計
算には影響がないことが確認された。

i) 原価試算

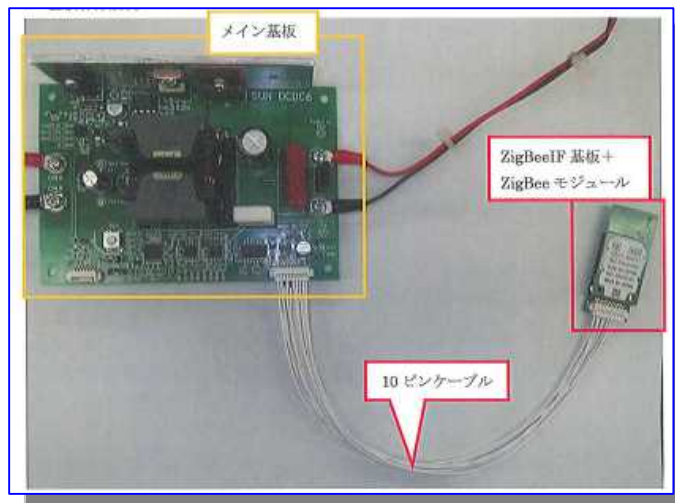
10 万個製作時の原価試算を予定していたが、パーツコスト、製造コストを算出する
には、製造メーカーの協力が不可欠で、当研究メンバー単独では不可能と言うことが判明
した。従って、製造コストに関しては、2 章の効率が目標値に追いついていないことも
あり、今後、効率が目標値に達したとき、再度、製造のみを行っている製造会社と検討
を行う事に決定した。

以上の検討結果に基づき。量産品プロットタイプの製作を実施し本年度の研究成果とした。

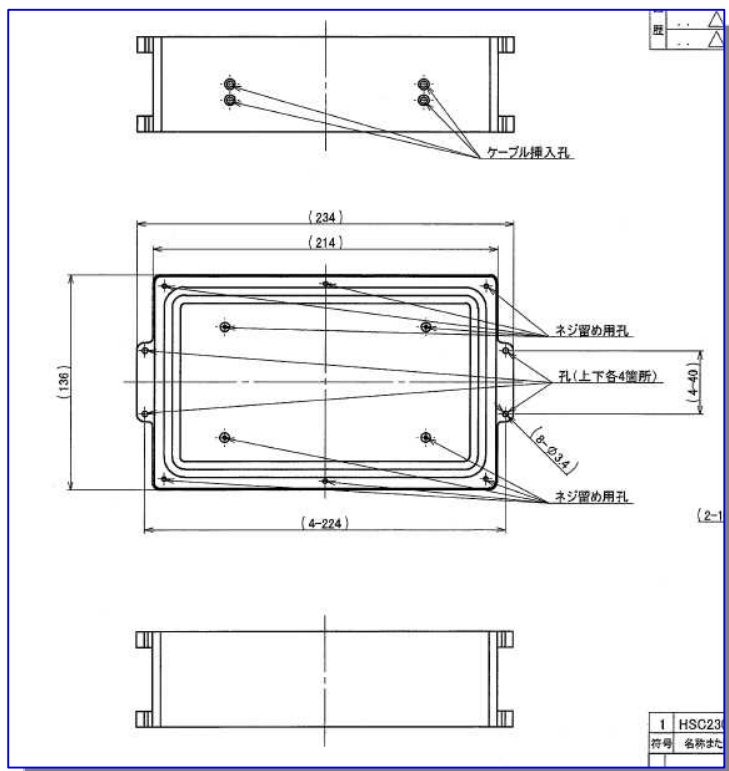
尚、不要輻射等、IEC 基準の認証機関による認証を獲得するための認証試験を行う予定
であったが、デバイス効率が目標に達していないこと等、課題に対する更なる研究・検証が
必要なことから、認証試験を今回は断念し、これらの課題が解決してからの実施計画とする
ことに決定した。

2-4-1 分散型 MPPT デバイスのプロトタイプ品の製作

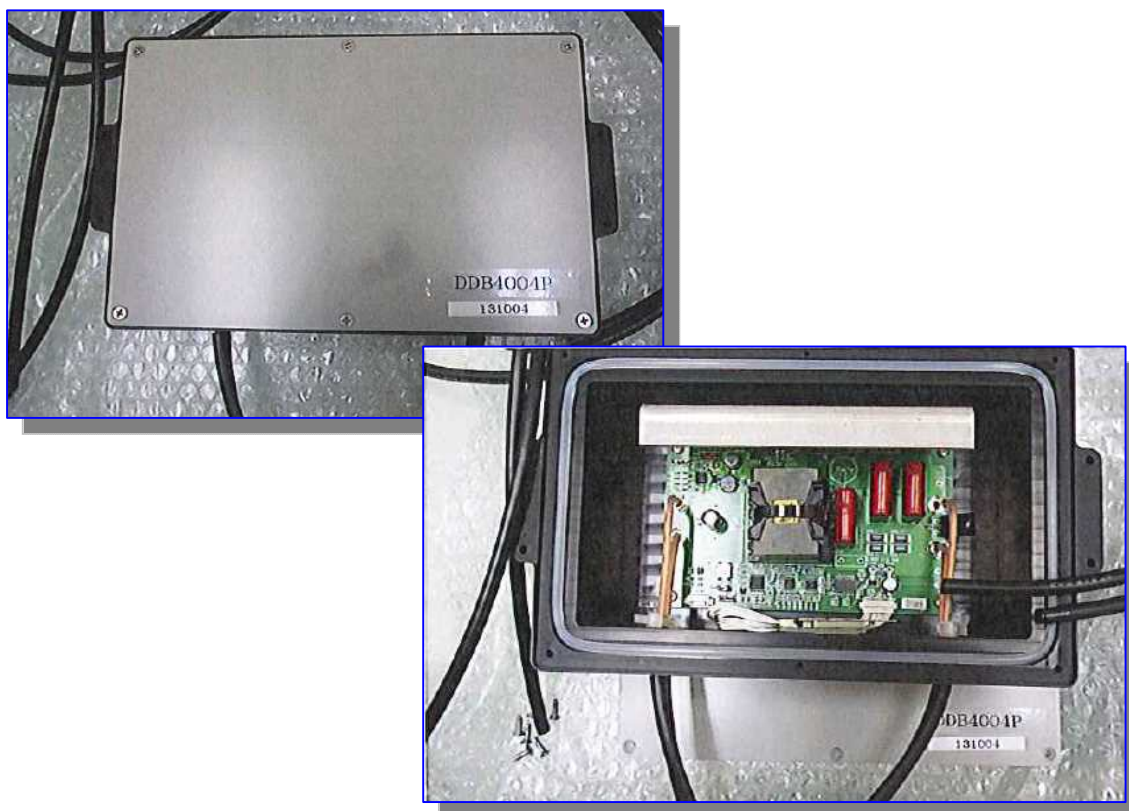
プロトタイプ品：電子回路基盤本体



プロトタイプ品：ケース設計図（抜粋）



プロトタイプ品（完成写真）



第3章 全体総括

(学校法人立命館、株式会社イー・プランニング、SK 電気技術
コンサルタント株式会社、上新電機株式会社)

複数年（平成 23・24 年度）の研究開発成果

本研究開発は、平成 23 年度（開始 10 月）、平成 24 年度の約 2 カ年を通じて行った。全期間を通じて研究上の困難点や予期しない課題・不具合などが輻輳したこともあったが、一つづつ原因を究明し対策立案して取組を行い、この結果、開発した「分散型 MPPT デバイス」は、ハード面ではほぼ合格点が与えられる装置の開発を行うことができた。以下に全研究期間を通じた成果・課題等の要約を記載する。

平成 23 年度は、次 4 つの基礎研究・開発等を実施した。

- ① 分散型 MPPT デバイスの回路設計研究
- ② 屋外実フィールド検証・研究
- ③ 既存運転中太陽光発電での検証研究
- ④ 分散化 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能付加の研究

この内、①は分散型 MPPT デバイスの回路設計・製作を行い立命館大学高倉教授研究室にて検証（太陽光パネルの最大電力を適正に反映できていること等の検証評価）を行って②と③の屋外実フィールド検証に移行することができた。

屋外及び既存運転中太陽光発電での検証研究（②、③）では分散型 MPPT デバイスの適用能力各種検証を行って、平成 24 年度の分散型 MPPT デバイス（改良型）に反映する目標を「運転時実行平均効率を 95%以上」「軽負荷時の CPU 停止防止」等と設定した。

また、「④分散化 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能付加の研究」では、この回路設計と検出システム（Zigbee 素子による双方向通信システム）を研究し、立命館大学研究室屋上に基礎的なデータ収集演算装置システムの開発を行いデータ収集を実施し、更なる汎用性があるマンマシンインターフェース機能のある自己診断機能システム開発の基礎を形成した。

平成 24 年度は、平成 23 年度の研究開発を継続し、次の 4 つの研究・開発を実施した。

- ① 分散型 MPPT デバイスの効率化等の研究
- ② 分散型 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能付加の研究
- ③ 屋外実フィールド及び既存運転中太陽光発電での検証・研究
- ④ 分散型 MPPT デバイスのプロトタイプの製作

(これらの成果と課題については、第一章に概要および第二章に詳細を記載している。)

この内、「①分散型 MPPT デバイスの効率化等の研究」では、平成 23 年度に構築した実フィールド（上新電機株式会社東大阪店）での検証も含め、設計製作した試作品等により、実験室試験、電子素材の選定設計、評価、試験を繰り返し実施したが、高効率デバイスの開発目標である 5%総合効率アップには未だ届くことは出来なかった。理論値と実際のデバイスの実験室試験データは目標値に近いデータが得られているが、フィールド試験データは、未だ挿入損失の方が多い状態である。しかしながら、徐々にその差は縮まりつつあり、現時点では、ハード的な課題はほぼ解決し、ハード的にはほぼ合格点が与えられる装置の開発ができた。残る課題は、MP 点（最大電力点）を探るソフト上の課題であるため、そのアルゴリズムを今後継続して徹底的に研究しソフト改良に取り組むこととしている。当初目標値を達成する目途がたったと表明できる。

「③屋外実フィールド及び既存運転中太陽光発電での検証・研究」においても、各モジュールの最大出力点をほぼ正確に追尾している傾向にあることが検証でき、開発した電力変換器がほぼ設計通りの動作傾向にあることを確認することができた。

「②分散型 MPPT デバイスへのパネル自己診断機能付加の研究」では、自己診断システムの更なる機能強化、効果的マンマシンインターフェイスと汎用的な伝送システム（データ収集演算装置）の構築が達成できた。本件研究当初は ZigBee 素子によるリレーショナル通信を実現することを目途としたが、残念ながらそのような ZigBee 規格は開発途上にある。しかしながら、本件研究にて開発を行った自己診断システムは今後のリレーショナル通信規格 ZigBee にも十分に対応できる汎用性のあるシステムであることから今後の通信規格の展開を注視して更なる汎用的な自己診断システム構築を目指すこととしている。

「④分散型 MPPT デバイスのプロトタイプ製作」においては、絶縁耐力、サージ耐力、コスト対応、電子部品選定、同耐久性能、コンデンサー選定、インダクタンス寿命、熱安全性能など各種の設計検討を実施してこれらに合致するプロトタイプ品の製作を行った。製造コスト面では専門製造メーカーの協力が不可欠で、当研究メンバー単独では困難であることが判明した。従って、製造コストは、再度、製造のみを行っている製造会社と検討を行う事に決定した。

研究開発後の課題・事業化展開

本件研究は、今後も継続して次の研究開発課題に取り組み、設定目標達成を図ることとしている。

- (A) 分散型 MPPT デバイスの MP 点(最大電力点)を得るアルゴリズムの研究、ソフト改良とこの検証。
- (B) 分散型 MPPT デバイス製造コスト研究(専門製造メーカーとの連携)
- (C) パネル自己診断機能の広域性機能強化(ZigBee リレーショナル規格開発を待って実施)。

現在、国内では昨年(平成 24 年)7 月の新エネルギー固定価格買取制度の国の施策もあって、特に太陽光発電事業開発が活性化している。1 万 kW(10 メガ)や 4 万 kW(40 メガ)を超過するような大規模な太陽光発電事業開発が各地で始動し始めている。例えば 4 万 kW であれば約 13 万枚(300W 級パネル想定)の太陽パネルが約 50 ヘクタール程度の土地に配置されることとなる。このような大規模なパネル配置においても、太陽パネルの一部分に影がかかったり劣化すると特性上、全体発電量がダウンすることとなる。今回の研究開発品である「分散型 MPPT デバイス」を付加することにより、各々の太陽パネルあるがままの発電量を引き出すことが可能となる。

非住宅用太陽光発電設備認定容量は、平成 24 年 12 月迄で 385.7 万 kW(出展：経済産業省資源エネルギー庁 <http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/dl/setsubi/201212setsubi.pdf>)、平成 25 年 1 月迄で 574.9 万 kW(出展：経済産業省資源エネルギー庁公表資料)に達している。

設備認定容量は平成 25 年 3 月末では向け更に大幅に増加となっており、平成 25 年以降もこの傾向は増大すると予想されている。この環境下にあつて「分散型 MPPT デバイス」の完成品の市場導入は事業的にも効果・成立することが予想できる。ただ、分散型 MPPT デバイスの製造に際しては専門製造メーカーとの一体的協力・連携が必要となる。

また、太陽光発電の大きな欠点の一つに「どのパネルが劣化しているか?故障しているか?」が簡単に判明できない実態がある。4 万 kW であれば 13 万枚ものパネルが配置されており、この中から劣化パネルを判定することは現在には不可能に近い実情である。

海外製の安価なパネルも含めパネルメーカーは 20 年以上の性能品質保証を謳っているが、パネルの劣化や故障を証明するのは事業者(操業者)側の責任となっており、メーカー側の長期間性能品質保証がその意味をなさないのが実態でもある。本件研究の「自己診断システム」はパネル劣化診断が可能であり、前述の分散型 MPPT デバイスの付加機能としての事業性を有している。

以上