

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04523

研究課題名(和文) 熱回収型太陽電池の原理実証

研究課題名(英文) A proof-of-concept study of heat recovery solar cell

研究代表者

上出 健仁 (Kamide, Kenji)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員

研究者番号：50454062

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、従来棄てられている排熱の一部を熱電変換による熱起電力として回収することのできる新概念太陽電池「熱回収型太陽電池」の原理実証を行うことを目的とした。本課題では特に、太陽光発電(PV)と熱電発電(TE)を組み合わせた直列2端子型PVTEハイブリッド素子に注力し、検証素子の試作と検証実験を通じ信頼性の高い設計理論を確立した。本課題で得られた設計理論を基盤として、PVTEハイブリッド素子の実用化に向けた研究開発が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽光発電(PV)における排熱は太陽電池を温め効率を低下させる。温度当たりの効率減少を示す出力温度係数はどのPVモジュールにも表示されており、より小さな負の係数が推奨される。熱電(TE)との組み合わせにより温度特性を向上し発電効率を高めるPVTEハイブリッド発電は有望であるがそのメリットが示されていない。その理由としてハイブリッド発電の設計論が確立されていなかったことがあり、本課題研究はこの点を解決した意義は大きい。市販されているTE素子を使用してハイブリッド素子が正の温度特性を得るための設計条件を示したことにより、本研究は原理実証段階から実用化に向けた開発段階へと前進した。

研究成果の概要(英文)：This research project aims to demonstrate the principle of a new concept of solar cell, "heat recovery solar cell," which can recover a part of the waste heat for the higher efficiency by incorporating thermoelectric effect in photovoltaics. In this project, we focused on a series 2-terminal PVTE hybrid device that combines photovoltaic (PV) and thermoelectric (TE) power generation, and established a reliable design theory through prototyping and verification experiments of the verification device. Based on the design theory obtained in this project, research and development for practical application of PVTE hybrid devices is expected in future.

研究分野：物性理論、太陽光発電、光電子デバイス

キーワード：熱回収型太陽電池 太陽光熱電ハイブリッド 原理実証 設計理論

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

低炭素社会実現のためには太陽光発電の普及拡大が必要である。そのためには低価格で高い変換効率を有する太陽電池の開発が求められており、材料・製造コストの低いシリコン系太陽電池の変換効率向上が重要な課題として研究が進められている。一方、結晶シリコン太陽電池の変換効率の理論限界(詳細つり合い限界)は29.5%(@AM0 1sun)程度であることが示されている。研究レベルでは既に、結晶シリコンで非集光セルの変換効率が26.7%と理論限界に接近した高い値がすでに報告されている。国立再生可能エネルギー研究所(米国、NREL)が公表する太陽電池の最高変換効率記録においてどの種類の非集光太陽電池も変換効率記録が飽和傾向を示していることは、単接合セル効率の限界値に近づいていることを示している(Si, GaAsをはじめ急発展を見せたペロブスカイトも同様)。

これを解決する手段として、太陽電池のさらなる高効率化のために複数の光吸収層材料を用いる多接合型太陽電池技術が確立されているが、これまでに高効率化が最も進んだ化合物多接合太陽電池は高コストのため、主な用途は宇宙用か地上用なら高日射地域で適用可能となる高倍率集光型に限られている。

電力に変換されなかった残りの大部分を占める排熱(PV効率が20%なら、残りの約80%に相当)の一部でも電力として回収することは魅力的な手段であり、すでに様々なアプローチが提案されている。しかし、いずれも原理検証段階であり技術は確立していない。一例として、太陽電池開発の初期から「ホットキャリア太陽電池」が理論提案されているが実現への原理的な難しさから、最初の提案から30年以上経つが実現していない。このように太陽電池からの排熱の一部を電力に変換し利用する熱利用技術は確立していない。

### 2. 研究の目的

本課題の目的は、従来棄てられている排熱やさらには外部の余剰熱を、熱電変換を利用して電力の一部に回収することのできる「熱回収型太陽電池」の原理実証を行うことである。これは太陽電池に熱電変換機能を持たせることにより、従来の理論限界(詳細つり合い限界)を超えるエネルギー変換効率を得られることを実証するプロジェクトである。

熱回収型太陽電池は古くから知られるホットキャリア太陽電池と異なり、熱緩和時間以内(通常ピコ秒以下)の超高速なキャリア取り出しを必要としないため、結晶シリコン太陽電池へも適用できるコンセプトである。これにより非集光シリコン太陽電池の従来理論による限界効率である約29%(本課題提案時の最高報告値は26.7%)を超える高効率化も可能となる。熱回収型太陽電池の原理実証は、現在95%の市場シェアを占めるシリコン太陽電池をさらに低コストにし普及を将来永続的に加速させる潜在的価値を持っている。さらに「熱回収型太陽電池」は物質を選ばず広く適用できるため、全ての太陽電池の高効率化に貢献し得る。

本プロジェクトでは、従来棄てられている排熱の一部を熱電変換による熱起電力として回収することのできる新概念太陽電池「熱回収型太陽電池」の原理実証を行うことを目的とした。熱回収型には大きく分けて2種類の素子(タイプIとタイプII)があるが、本課題ではタイプIIに特に注目し、太陽光発電(PV)と熱電発電(TE)を組み合わせた直列2端子型PVTEハイブリッド発電素子において正の温度特性(図1)を得るために最適な構造を明らかにした上で、その設計理論の正当性を検証素子の試作と検証実験を通じ示すこと目標とした。

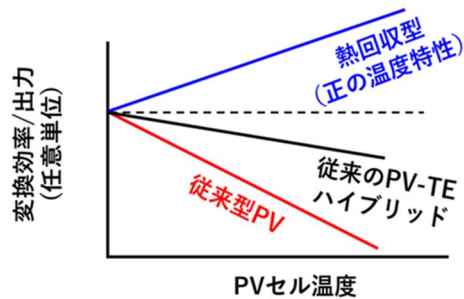


図1. 従来型太陽電池とPVTEハイブリッド素子の出力温度特性。正の温度係数を得る為の設計理論の確立が本課題の目的。

### 3. 研究の方法

(1) 正の温度係数を持つ直列2端子型PVTEハイブリッド(熱回収型太陽電池タイプII)が実現可能であることを実証するために、図2に示されるデバイス構造を作成し熱電変換素子とのハ

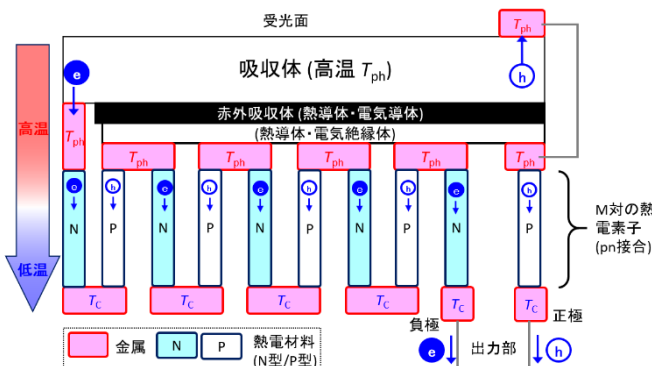


図2. 熱回収型太陽電池タイプIIの基本構造: 太陽電池(PV)と熱電(TE)素子(対数M)とが直列接続した直列二端子型PVTE素子。

イブリッド化によるデバイス特性の変化を、温度差やデバイスの設計パラメタの関数として、さらには温調機器による温度制御の有無によるデバイス特性の変化を系統的に測定し、理論モデル計算との整合性を比較・検証した。太陽電池セルには、本応募者が属する研究グループにおいて作製した高効率結晶シリコン太陽電池セル(非理想セル)を利用し、熱電変換素子については、理論計算に基づき設計した本研究に適合するビスマステルル素子の特注製作を専門業者に依頼した。ハイブリッド素子の作製、特性評価、解析は、主に代表者の所属する産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所において実施した。

(2) エネルギー選択層を用いた熱回収型太陽電池(タイプI)の理論の精密化と、実験による理論検証を行った。検証デバイスの作製、特性評価、解析は、主に代表者の所属する産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所において実施した。

(3) ホットキャリア太陽電池をはじめとし、非平衡状態を利用し熱回収を可能とする新たな光電変換機構に基づく太陽電池について理論探索する。構築されたモデルに基づきデバイスの動作原理や特性を明らかにし、その実現可能性についても検討を行う。

#### 4. 研究成果

##### 主な成果

(1) 熱回収型太陽電池タイプ II 結晶シリコンとビスマステルル(BiTe)熱電材料を利用を用いた二端子直列 PVTE 素子について理想モデルに基づく数値シミュレーションを実施し、設計最適化により結晶シリコン単体セルの理論限界を超える変換効率が得られる可能性があることを示した[ ]。

次に、結晶シリコン PV と BiTe 系 TE 素子を組み合わせた二端子直列 PVTE の試作を行い、開放電圧がセル温度とともに増加する正の温度特性を確認した[ ]。その後、PVTE 素子の試作と系統だった測定・解析を継続し、温度制御を行った測定において開放電圧に加え出力もセル温度とともに上昇する「正の温度特性」の観測に成功した(図3)[ ]。

その後、原理検証実験と理論モデルの改良を継続して行い、信頼性の高い PVTE ハイブリッド素子の一般論を構築し、4端子型と等しい出力を2端子型で得るための設計論を確立した[ , ]。確立された理論は最終的に論文として公表している[ ]。さらに、最終年度において、二端子型 PVTE ハイブリッド素子で発生する不整合損失を回避する最適設計の理論公式の妥当性を、太陽電池からの熱流も同時に評価したより詳細な実験により確認するに至った(図4)[ , ]。

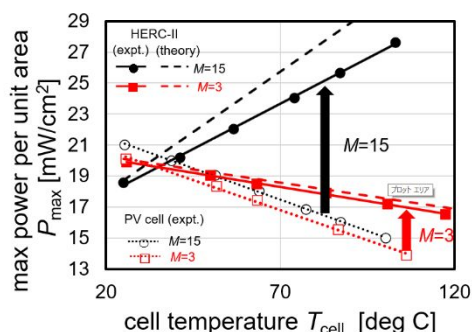


図3. 温度制御下(外部熱注入)の実験で観測した PVTE ハイブリッド素子の正の出力温度特性【 K. Kamide et al., EU-PVSEC 2021 より転載】

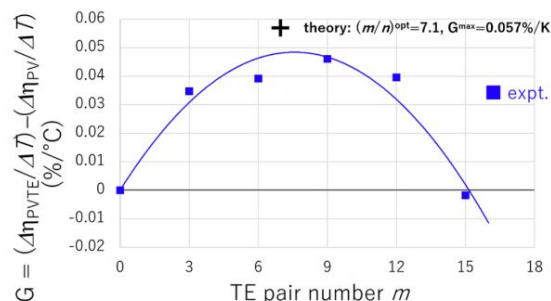


図4. 直列二端子 PVTE ハイブリッドによる温度係数利得。最適 TE 素子対数が理論と整合【 上出他、応物 2022 秋(©応用物理学会)より転載】

(2) 熱回収型太陽電池タイプ I 熱回収型太陽電池(タイプI)の基礎理論について論文発表し[ ], その後のより詳細なモデル計算により、正の温度特性がキャリアの非輻射再結合や高温化に伴う半導体バンドギャップ縮小により損なわれることなく得られることをモデル計算に基づき明らかにした[ , , ]。当該理論によれば、タイプIはエネルギー選択層(半導体材料)による熱起電力により開放電圧の温度特性が正になる太陽電池である。検証実験のターゲットとして、開放電圧におけるその熱回収効果の観測を目指し、温度勾配を付けた結晶シリコン太陽電池を用いた開放電圧測定による検証を行った。セルの温度上昇による光起電力の減少がセル自身(半導体材料)の熱起電力により相殺し、その結果として開放電圧の温度係数が消失する(= 零になる)ことを観測した(図5)[ , , ]。その後、得られた実験結果について詳細な理論計算と比較し両者の整合性を確認したことにより、熱回収型太陽電池(タイプI)の基礎理論が部分的に裏付けられた[論文未発表]。

(1)(2)に記載された一連の成果により、「熱回収型太陽電池」の原理検証はおおむね達成された。今後の展望としては、PVTE ハイブリッド素子の実用化に向けた最適化を行うことである。

特に、原理検証においては試作機における熱回収効果を温度制御下で評価し分析したが、実用化に向けては実用に耐える冷却構造（放冷構造）を最適化する必要がある。また、熱回収型タイプ I の検証実験で得られた成果については早期の論文が望まれる。

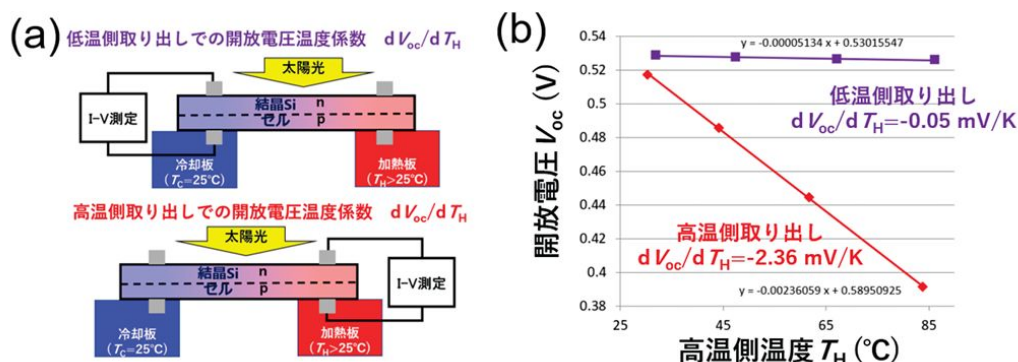


図5 .温度勾配を付けた結晶シリコン太陽電池を用いた開放電圧測定：(a)実験系模式図と(b)低照度 0.05sun で測定された開放電圧のセル高温側温度  $T_H$  に対する依存性（■：低温側キャリア取り出し、●：高温側キャリア取り出し）【 上出他、応物 2022 春(©応用物理学会)より転載】

### その他の成果

(3) 太陽電池の非平衡理論に基づき、ホットキャリア太陽電池の I-V 特性と安定性に調べ新たな知見を得た。安定で高効率なホットキャリア太陽電池を実現するためには、オージェ再結合係数の大きな光吸収層を利用するべきという一つの設計指針を得た(図6) [ , , ]。

この他、ホットキャリア太陽電池を実現するための新しいコンセプトとして米国研究者らにより提唱されているホットキャリアのバレー間散乱の利用について、本研究代表者が開発した太陽電池の非平衡理論に基づく理論検証を行い、バレー間散乱がデバイス特性の向上に寄与するためには散乱の一方向性（非相反性）が必要になることを明らかにした[ , ]。

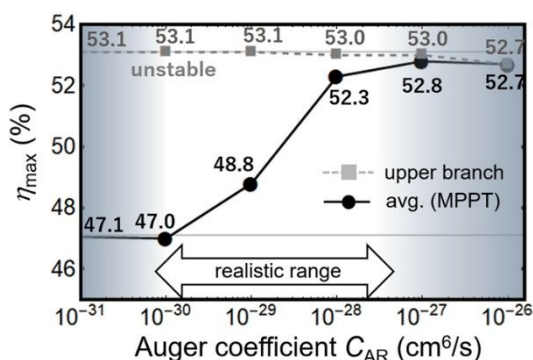


図6 ホットキャリア太陽電池の変換効率とオージェ再結合係数の関係【 K. Kamide, J. Appl. Phys. (2020) より転載(CC BY 4.0)】

### <引用文献>

K. Kamide, T. Mochizuki, H. Akiyama, and H. Takato, "Heat Recovery (HERC) Solar Cell Using Thermoelectric Materials: HERC-SC Type II," 29th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-29) (2019).

上出健仁、望月敏光、秋山英文、高遠秀尚、「熱回収型太陽電池の設計と実証実験」AIST 太陽光発電研究成果報告会 2019.

K. Kamide, T. Mochizuki, J. Sakuma, H. Akiyama, and H. Takato, "Experimental Test of Heat Recovery in Silicon Solar Cells with Thermoelectric Materials," 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (2021).  
doi: 10.4229/EUPVSEC20212021-1B0.16.4

佐久間 惇、上出健仁、望月敏光、高遠秀尚、秋山英文「二端子直列太陽電池-熱電素子タンデムの出力最大化設計手法」第 83 回応用物理学会秋季学術講演会（2022）.

J. Sakuma, K. Kamide, T. Mochizuki, H. Takato, and H. Akiyama, "Output-power equivalence of four-terminal and series type PVTE hybrid tandems," the 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (2022).

J. Sakuma, K. Kamide, T. Mochizuki, H. Takato, and H. Akiyama, "Output-power equivalence of two- and four-terminal photovoltaic-thermoelectric hybrid tandems," Applied Physics Express 16, 014003 (2023).

上出健仁、佐久間惇、望月敏光、高遠秀尚、秋山英文「直列 2 端子 PVTE ハイブリッドの普遍的ロスレス結合公式」第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (2022).

K. Kamide, J. Sakuma, T. Mochizuki, H. Takato, and H. Akiyama, "Universal lossless coupling formula for 2-terminal PVTE hybrids: theory and experiments," the 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33) (2022).

K. Kamide, T. Mochizuki, H. Akiyama, and H. Takato, "Heat-Recovery Solar Cell," Physical Review Applied 12, 64001 (2019).

上出健仁、望月敏光、秋山英文、高遠秀尚「熱回収型太陽電池におけるエネルギー選択層狭帯域化の効果」第 80 回応用物理学会秋季学術講演会(2019).

K. Kamide, T. Mochizuki, H. Akiyama, and H. Takato, "Effect of Narrow Bandpass Filtering in Heat Recovery (HERC) Solar Cell," 29th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-29) (2019).

K. Kamide, T. Mochizuki, H. Akiyama, and H. Takato, "Effects of the non-radiative recombination and bandgap reduction in heat-recovery solar cell," 47TH IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC 47)(2020).

佐久間惇、上出健仁、望月敏光、高遠秀尚、秋山英文「温度勾配を持つ太陽電池の開放電圧における熱回収効果の検証」第 82 回応用物理学会秋季学術講演会 (2021)

上出健仁、佐久間惇、望月敏光、秋山英文、高遠秀尚「熱回収型太陽電池タイプ 0 による開放電圧実験の進展」第 69 回応用物理学会春季学術講演会(2022).

上出健仁、佐久間惇、望月敏光、高遠秀尚、秋山英文「熱回収型太陽電池の原理検証：太陽電池のゼーベック効果確認」AIST 太陽光発電研究成果報告会 2022.

上出健仁「ホットキャリア太陽電池の I-V 特性と安定性」第 80 回応用物理学会秋季学術講演会 (2019).

K. Kamide, "Current-voltage curves and operational stability in hot-carrier solar cell," Journal of Applied Physics 127, 183102 (2020).

上出健仁「ホットキャリア太陽電池の I-V 特性と安定性に関する理論研究」AIST 太陽光発電研究成果報告 2020.

上出健仁「バレー間散乱を利用したホットキャリア太陽電池の理論検討」第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 (2020).

上出健仁「ホットキャリア太陽電池におけるバレー間散乱利用の理論的検証」AIST 太陽光発電研究成果報告 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Sakuma Jun, Kamide Kenji, Mochizuki Toshimitsu, Takato Hidetaka, Akiyama Hidefumi	4. 巻 16
2. 論文標題 Output-power equivalence of two- and four-terminal photovoltaic-thermoelectric hybrid tandems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 014003 ~ 014003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/acb12d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 K. Kamide, T. Mochizuki, J. Sakuma, H. Akiyama, H. Takato	4. 巻 -
2. 論文標題 EXPERIMENTAL TEST OF HEAT RECOVERY IN SILICON SOLAR CELLS WITH THERMOELECTRIC MATERIALS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 EU PVSEC Proceedings: 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition	6. 最初と最後の頁 pp. 37-40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4229/EUPVSEC20212021-1B0.16.4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 K. Kamide	4. 巻 127
2. 論文標題 Current-voltage curves and operational stability in hot-carrier solar cell	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 183102 (1-16)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0002934	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kamide Kenji, Mochizuki Toshimitsu, Akiyama Hidefumi, Takato Hidetaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of the Non-Radiative Recombination and Bandgap Reduction in Heat-Recovery Solar Cell	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)	6. 最初と最後の頁 2175 ~ 2177
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/PVSC45281.2020.9300716	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kamide Kenji, Mochizuki Toshimitsu, Akiyama Hidefumi, Takato Hidetaka	4. 巻 12
2. 論文標題 Heat-Recovery Solar Cell	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 64001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.12.064001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 上出 健仁、佐久間 惇、望月 敏光、高遠 秀尚、秋山 英文
2. 発表標題 直列2端子PVTEハイブリッドの普遍的ロスレス結合公式
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会、東北大川内北キャンパス+オンライン
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐久間 惇、上出 健仁、望月 敏光、高遠 秀尚、秋山 英文
2. 発表標題 二端子直列太陽電池-熱電素子タンデムの出力最大化設計手法
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会、東北大川内北キャンパス+オンライン
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kamide, J. Sakuma, T. Mochizuki, H. Takato, H. Akiyama
2. 発表標題 Universal lossless coupling formula for 2-terminal PVTE hybrids: theory and experiments
3. 学会等名 the 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33)、名古屋国際会議場 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 J. Sakuma, K. Kamide, T. Mochizuki, H. Takato, H. Akiyama
2. 発表標題 Output-power equivalence of four-terminal and series type PVTE hybrid tandems
3. 学会等名 the 33rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-33)、名古屋国際会議場(国際学会)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上出 健仁、佐久間 惇、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 太陽光-熱電ハイブリッド素子の最適設計と検証実験
3. 学会等名 AIST太陽光発電研究成果報告2022、Web公開 ( <a href="https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2022/index.html">https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2022/index.html</a> )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上出 健仁、佐久間 惇、望月 敏光、高遠 秀尚、秋山 英文
2. 発表標題 熱回収型太陽電池の原理検証：太陽電池のゼーベック効果確認
3. 学会等名 AIST太陽光発電研究成果報告2022、Web公開 ( <a href="https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2022/index.html">https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2022/index.html</a> )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kamide, T. Mochizuki, J. Sakuma, H. Akiyama, H. Takato
2. 発表標題 Experimental Test of Heat Recovery in Silicon Solar Cells with Thermoelectric Materials
3. 学会等名 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition(国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 上出 健仁、佐久間 惇、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 熱回収型太陽電池タイプ0による開放電圧実験の進展
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、佐久間 惇、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 熱回収型太陽電池タイプIIにおける熱回収効果の検証実験
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐久間 惇、上出 健仁、望月 敏光、高遠 秀尚、秋山 英文
2. 発表標題 二端子及び四端子太陽電池-熱電素子ハイブリッドデバイスの最大出力
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐久間 惇、上出 健仁、望月 敏光、高遠 秀尚、秋山 英文
2. 発表標題 温度勾配を持つ太陽電池の開放電圧における熱回収効果の検証
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、佐久間 惇、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 二端子直列型太陽電池-熱電素子ハイブリッド素子の開発：熱回収型太陽電池の一形態として
3. 学会等名 AIST太陽光発電研究成果報告2021 ( <a href="https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2021/index.html">https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2021/index.html</a> )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kamide Kenji, Mochizuki Toshimitsu, Akiyama Hidefumi, Takato Hidetaka
2. 発表標題 Effects of the non-radiative recombination and bandgap reduction in heat-recovery solar cell
3. 学会等名 47TH IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE (PVSC 47), VIRTUAL MEETING (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上出 健仁
2. 発表標題 バレー間散乱を利用したホットキャリア太陽電池の理論検討
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 (オンライン)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 熱回収型太陽電池 (タイプI) の理論的進展：非輻射再結合とバンドギャップ縮小の効果
3. 学会等名 AIST太陽光発電研究成果報告2020 ( <a href="https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2020/index.html">https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2020/index.html</a> )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上出 健仁
2. 発表標題 ホットキャリア太陽電池のI-V特性と安定性に関する理論研究
3. 学会等名 AIST太陽光発電研究成果報告2020 ( <a href="https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2020/index.html">https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2020/index.html</a> )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上出 健仁
2. 発表標題 ホットキャリア太陽電池におけるバレー間散乱利用の理論的検証
3. 学会等名 AIST太陽光発電研究成果報告2020 ( <a href="https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2020/index.html">https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2020/index.html</a> )
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 Effect of Narrow Bandpass Filtering in Heat Recovery (HERC) Solar Cell
3. 学会等名 29th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-29), Qujiang International Conference Center (中国、西安), 2019/11/05 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 Heat Recovery (HERC) Solar Cell Using Thermoelectric Materials: HERC-SC Type II
3. 学会等名 29th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-29), Qujiang International Conference Center (中国、西安), 2019/11/07 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上出 健仁
2. 発表標題 ホットキャリア太陽電池のI-V特性と安定性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学 (北海道札幌市)、2019/09/20
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 熱回収型太陽電池におけるエネルギー選択層狭帯域化の効果
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学 (北海道札幌市)、2019/09/20
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 熱回収型太陽電池の設計と実証実験
3. 学会等名 AIST 太陽光発電研究 成果報告会 2019, つくば国際会議場 (茨城県つくば市)、2019/12/18
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上出 健仁、望月 敏光、秋山 英文、高遠 秀尚
2. 発表標題 熱回収型太陽電池における非輻射再結合とバンドギャップ縮小の影響
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会, 上智大学 (東京、千代田区)、2020/03/13
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

産総研 > 福島再生可能エネルギー研究所 > 研究ユニット > 太陽光デバイスチーム  
<https://www.aist.go.jp/fukushima/ja/unit/pvdev.html>  
AIST太陽光発電研究成果報告2022  
<https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2022/index.html>  
AIST太陽光発電研究成果報告2021  
<https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2021/index.html>  
AIST太陽光発電研究成果報告2020  
<https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2020/index.html>  
AIST太陽光発電研究成果報告2019  
<https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/results/2019/index.html>  
熱回収型太陽電池についてのpv magazineによる紹介記事  
<https://www.pv-magazine.com/2020/05/18/a-new-concept-for-heat-recovery-solar-cells/>

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------