

熱電発電と太陽電池の共存

矢野 歳和* 木皿 且人^{**1)} 鈴木 一行^{***1)}
 石川 東一郎^{**2)} 新野 正之^{***2)}

1. はじめに

地球温暖化に影響を及ぼす温室効果ガス (Green House Gas: GHG) の削減目標は2008年から2012年の第一約束期間は京都議定書で明記されている。これに引き続く2013年からの第二約束期間の削減目標に関して、2010年の国連気候変動枠組み条約第16回締約国会議 (Conference of the Parties 16: COP16) がメキシコのカンクンで開催されたが、結論は次年以降に持ち越しとなった。

GHG 削減は地球温暖化防止のほかに化石燃料の枯渇対策や省エネルギーによるコストダウン効果の側面もある。我が国は GHG の1990年比25%削減目標を国際的に公約し、2050年には80%削減も視野に入れている。再生可能エネルギーの導入は GHG 削減の選択肢の一つとして期待されているが、その課題はエネルギーを効率的にかつ最大限に利用すること、つまり総合熱効率を最大とすることが GHG 削減のための大きな課題である。

2. 太陽エネルギーの熱電発電と太陽電池の共存

再生可能エネルギーの一つに太陽がある。太陽エネルギー利用には大きく分けて光利用と熱利用の2種類がある。光利用はいわゆる半導体の太陽電池を用いる光発電がよく知られ長い歴史がある。熱利用には古くは給湯のみの太陽温水器が利用されてきたが、近年は鏡で集光し熱機関による発電を行う方式が着目されている。

太陽電池には多くの種類があり、その電気への変換効率は10%程度であり、変換効率の最大は単結晶シリコン基盤を用いて20%程度といわれる⁽¹⁾。太陽エネルギー利用で最大の総合熱効率を得るためには光と熱の双方を、つまり太陽放

射エネルギーの全ての波長域を利用する必要がある。熱電変換素子 (Thermoelectric Converter, TEC) は廃熱からの発電に利用されてきたが太陽熱発電に利用された例はほとんどない。そこで熱電発電を選択肢の一つに組み込むと太陽エネルギー利用には以下の方法がある。

- (a) 可視光発電
- (b) 可視光発電、赤外熱電発電と熱回収
- (c) 可視光と赤外の光発電と熱回収
- (d) 太陽熱電発電のみと熱回収

太陽電池の温度上昇は性能低下につながる。一方、熱電変換素子は温度が高くなり、表裏の温度差が大きいほど発電性能が上昇し、また排熱温度が高ければ熱利用の選択肢が広がり熱回収で給湯などに利用できる。

(a) に示すようにこれまで太陽電池は可視光域を中心とした利用のみであったが、(b) のように木皿、新野らは可視光域を太陽電池で発電し、赤外域は熱電発電に熱回収を組み合わせた実証試験を行った⁽²⁾⁽³⁾。図1に熱電発電と太陽電池の複合利用の方法を示す。もちろん地上では大気の影響で太陽光スペクトルに吸収帯が存在する。可視光と赤外との分離は

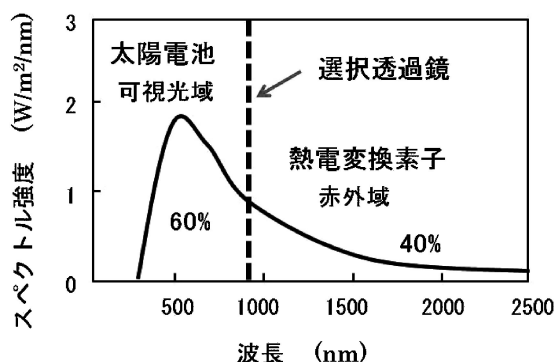


図1 熱電発電と太陽電池の複合利用。

* 公立大学法人宮城大学教授；食産業学部環境システム学科(〒982-0215 仙台市太白区旗立 2-2-1)

**1) 宇宙航空研究開発機構主任研究員 **2) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構研究員

***1) 航空宇宙技術振興財団課長 ***2) 航空宇宙技術振興財団研究参与

Coexistence Both Thermoelectric Converter and Photovoltaic Cell; Toshikazu Yano*, Katsuto Kisara**, Kazuyuki Suzuki***, Toichiro Ishikawa** and Masayuki Niino*** (*Miyagi University, Sendai. **Japan Aerospace Exploration Agency, Kakuda. ***Foundation for Promotion of Japanese Aerospace Technology, Sendai)

Keywords; thermoelectric converter (TEC), solar energy, renewable energy, thermal efficiency, solar cell, smart combined heat and power (smart CHP), smart grid, heat removal

2011年1月6日受理

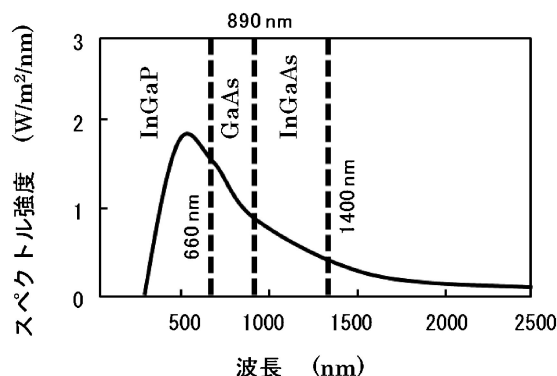


図2 3接合型化合物太陽電池の光利用.

波長選択鏡を用いる．可視光域は60％，赤外域は40％のエネルギーが利用可能であり，これらを最大限に利用すれば発電で25％，排熱回収で30％，総合熱効率55％が可能といわれている．(c)に示す可視光と赤外の光発電の例として，多接合型化合物太陽電池がある．太陽電池も開発が進み効率上昇を続けており，3つの層の接合によるInGaP/(In)GaAs/Ge型は宇宙で実用化され，改良型のInGaP/GaAs/InGaAsの3層接合型化合物太陽電池では35.8％の変換効率を達成している⁽⁴⁾．図2に3接合型化合物太陽電池の光利用の各スペクトル範囲示す．この方法では660 nmと890 nmで3層に分離して発電する．この3層接合型化合物太陽電池の集光比を上げると42％の変換効率が達成可能である⁽¹⁾⁽⁴⁾．(d)については後述する．

3. 太陽追尾式光熱複合システム

宇宙航空研究開発機構(JAXA)や航空宇宙技術振興財団(JAST)が中心となり，新野と木皿らは前項(b)に示した太陽電池による可視光発電と熱電変換素子による赤外熱電発電とを組合せ，それに加えて熱回収の実証試験を宮城県利府町と中国内モンゴルのオルドスで行った．図3に太陽光熱複合システム実証装置，図4に熱電変換素子と太陽電池の配置を示す．図4では上部のフレネルレンズで太陽光を集光し，反射鏡を経由して選択透過鏡に到り，赤外線を透過させて集熱体を加熱し，両側の冷却板との間に熱電変換素子をはさんで温度勾配をつけ熱電変換を行う．冷却板は水冷しており，回収した排熱は給湯などに利用できる．一方，選択透過鏡で反射した可視光域を中心とする光は集光型の太陽電池で発電する⁽²⁾⁽³⁾．

4. 太陽追尾式熱電変換装置による実験

一方，前述の(d)に示すように総合熱効率を上げシステムを単純化するため，太陽エネルギーの大部分を熱回収に主力を置く方法がある．これは可視光と赤外を含む太陽光全波長域を用い，太陽追尾装置により熱電発電のみを行い，熱回収を行う方法である．図5に宮城大学に設置した太陽追尾式熱電発電システムを示す⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾．追尾装置のパネル全体の大きさは縦2 m横4 m面積8 m²である．中央に設置した熱電発電装置は縦2 m横2 m面積4 m²であり，フレネルレンズを持つ熱電発電要素が縦と横各10セット，計100セットの要素



図3 太陽光熱複合システム実証装置.

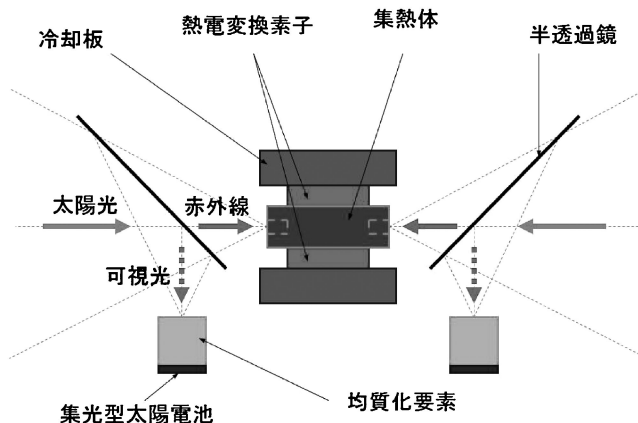


図4 熱電変換発電と太陽電池の配置.

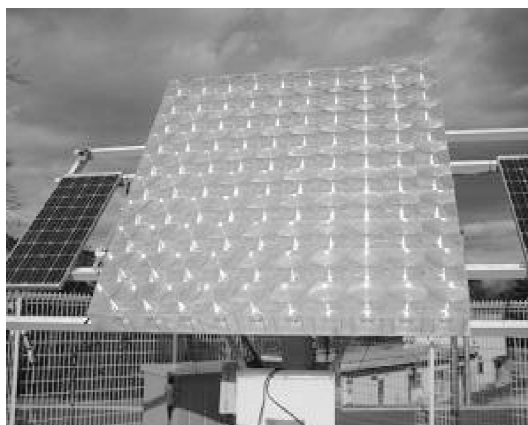


図5 太陽追尾式熱電発電システム(宮城大学に設置).

からなる．図6にフレネルレンズ付きの熱電発電要素を示す．フレネルレンズの大きさは縦横ともに200 mmの正方形であり，焦点高さが200 mm，フレネルレンズの集光倍率は100倍である．図7に熱電変換素子の詳細を示す．実験ではBiTe系熱電変換素子を用い熱流束99 kW/m²で表面温度が550 K近くになり，熱電変換素子に182 Kの温度差が生じ0.5 Wの出力が得られた．また，追尾装置に載せた熱電モジュールに熱電対を取付け，一日の温度変化を計測した結果を図8に示す．この実験では冷却にフィンを用いているが，冷媒を循環させることで排熱回収が可能となる．この熱電変換素子を利用する方法は，太陽熱発電で主流となりつつあるガスタービンサイクルのように大型で複雑な設備とはならず，高い信頼性が期待できる．また熱電変換素子の高温材

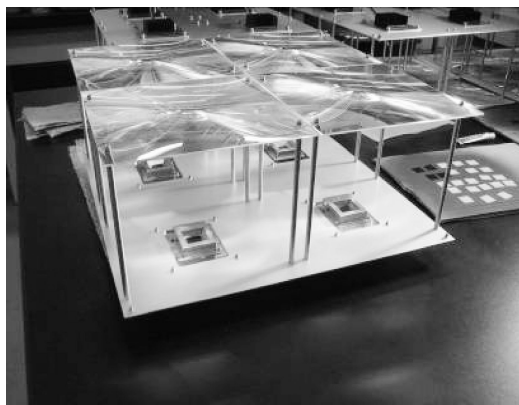


図6 フレネルレンズを持つ熱電発電要素.

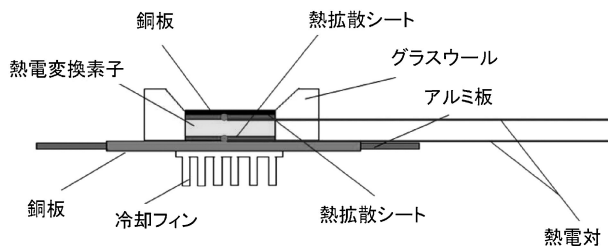


図7 熱電変換素子詳細.

料開発に伴い熱電変換効率も従来の数%程度から将来的に10数%も研究開発の途上にあり、そのうえ給湯など排熱利用も可能となるのが利点である。燃料電池と同様の方法で太陽熱発電を分散型でコンパクトにし光と熱の管理を十分に工夫すれば、総合熱効率80%の可能性も高い。

5. 熱電発電の今後の展開

太陽の光と熱による発電は昼間しか利用できない欠点がある。電力網と系統連携すれば問題は少ないが、独立分散電源としても役立たせるには他の再生可能エネルギーと結合しスマートグリッドを構成することで欠点を克服できる。図9に太陽熱とバイオマス利用に熱電発電を利用するスマート熱電併給システムを示す。電気は二次電池に充電し、熱は蓄熱器に貯蔵することによりエネルギー利用の幅が格段に広がる。この方法により総合熱効率が飛躍的に上昇する可能性がある⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。

近年、太陽電池の効率が上昇しているが、熱電変換素子の効率は飛躍的に増大していない。しかし、熱電変換素子の堅固性と高い温度の排熱回収が可能で総合熱効率の向上が望めることを考慮すれば、熱電発電と太陽電池を需給の用途に応じて使い分けることや併用も可能となる。最終的には性能とコストのバランスが必要となり、そのうえで総合熱効率を高くすることが最も重要であり、これが結果的にはGHG削減に大きく貢献できる。

文 献

(1) NEDO 再生可能エネルギー技術白書, 平成22年7月, 独立行

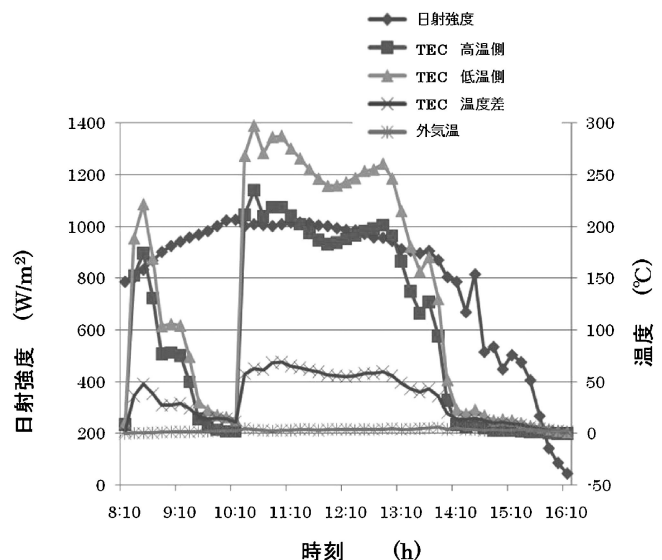


図8 太陽追尾熱電変換装置の一日の温度変化.

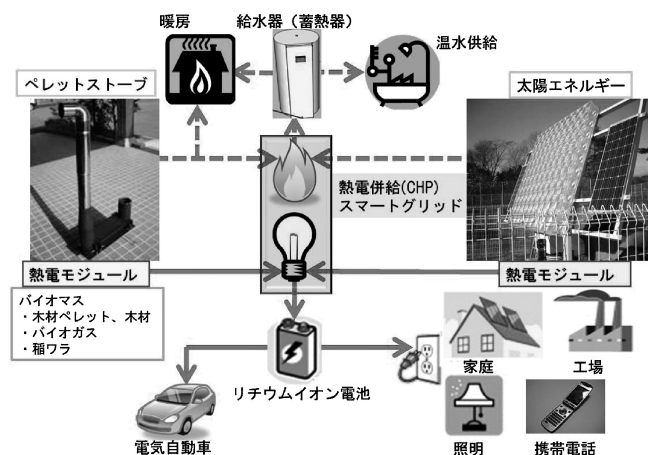


図9 熱電発電を利用するスマート熱電併給システム.

政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, (2010).

- (2) 木皿且人, 新野正之, 鈴木一行, 石川東一郎, 鈴木拓明: 傾斜機能材料論文集, **19**(2005), 115.
- (3) 木皿且人: 熱電変換技術ハンドブック, 榊NTS, (2008), 533.
- (4) 高木達也: 化合物太陽電池, シャープ技報2010年2月, **100**(2010), 28.
- (5) 石井優希他: 日本機械学会東北支部, 第45期総会講演会講演論文集, 2010-1 (2010), 242.
- (6) 矢野歳和, 新野正之他: 傾斜機能材料論文集, **24**(2010), 94.
- (7) 独立行政法人科学技術振興機構と中国科学技術部の連携, 戦略的国際科学技術協力推進事業『太陽光熱複合発電における高効率熱利用のための熱電材料開発とシステム評価』(2008年から2011年実施).
- (8) S. Sugimoto, T. Yano, Y. Ishii, K. Hoyama, M. Niino, K. Suzuki, K. Kisara and T. Ishikawa: Proceedings of the International Conference on Renewable Energy 2010, 27June-2July, Yokohama, Japan, (2010), P-Pv-94.
- (9) T. Yano, *et al.*: Proceedings of the 17th European Biomass Conference, Hamburg, Germany, (2009), 582.
- (10) 穂山香奈他: 第5回バイオマス科学会議発表論文集, 日本エネルギー学会, (2010), 54.
- (11) T. Yano, K. Hoyama, S. Sugimoto, Y. Ishii, T. Orikasa, M. Niino, K. Suzuki, K. Kisara and T. Ishikawa: Proceedings of the International Conference on Renewable Energy 2010, 27June-2July, Yokohama, Japan, (2010), O-He-1-6.