

見聞記

熱電発電国際会議に参加して

An Introduction to the XI International Conference on Thermoelectrics, 1992

太田 敏 隆*

Toshitaka Ohta

1. はじめに

第11回熱電変換国際会議が1992年10月7日から9日までの3日間テキサス州アーリントンのテキサス大学アーリントン校で開催され、参加の機会を得たので報告する。この会議は1976年から熱電エネルギー変換国際会議として隔年に開催されていたが、国際学会の設立を機に1988年から名称を変更し、偶数年にはアメリカ合衆国で、奇数年にはそれ以外の国で開催されてきた。1993年11月には電気学会、国際熱電学会と池谷科学技術振興財団の共催でパシフィコ横浜において開催の予定である。

2. 熱電変換とは

熱電変換¹⁾はゼーベック効果を原理とする熱電発電と、その逆変換であり、ペルチエ効果を原理とする熱電冷却との総称である。いずれも半導体素子内の現象を利用するため、保守が不要で、信頼性が高く、小型軽量で静しゅく性に富むという特徴を持っている。熱電発電はこの特徴を生かして、宇宙用、軍用や僻地用などの特殊用途で、1kW以下の小出力システムに採用されてきた。熱電冷却は局所冷却が可能であり、また、電流の方向を変えるだけで加熱と冷却の両方を行うことができる。このため、半導体製造プロセスでのエッチング液の恒温槽、光通信用半導体レーザや固体撮像素子 (CCD) の冷却など、様々な電子デバイスの冷却に使われている。

しかし、民生用の熱電冷蔵庫や熱電空調システム、また、凡用の熱電発電システムなどは実用化されていない。この原因は熱から電気、そして、電気から熱への変換効率が小さいからである。最近、この変換効率を大幅に向上することにつながる2つのアプローチが盛んに試みられ、発表されるようになってきた。ひと

つは既存材料の高性能化の限界を理論的に明らかにした上で、極限性能を実現する方策を提案し、その実証を図るという比較的堅実なアプローチである。もうひとつは熱電特性が明らかにされていない材料の中から、全く新しい高性能材料を開発するアプローチであり、成功すれば変換効率を飛躍的に向上できる。本報では材料研究における以上のアプローチを中心に、変換効率向上の可能性を持つ新しい熱電発電システム技術と熱電冷却の中規模応用技術について紹介する。

3. 既存材料の極限性能の追求

既存材料の代表は深宇宙探査機ボイジャーなどに搭載されたラジオアイソトープ熱電発電器で使われたシリコンゲルマニウム (SiGe) 系材料である。この系の材料に関する理論的考察はかなり進んでおり、極限変換効率は温度差1000Kの時に23.3%になることがモデル計算が示された。より現実的な値である16.8%の変換効率を実現する手法も同時に提案された。

この手法を実現する試みは2年前前から続けられていたが、今回の会議では50~200Åの窒化ボロン超微粒子を混入したSiGe系材料において、熱電性能指数が15%向上したことが初めて報告された。この性能指数の改善率は理論予測と一致しており、超微粒子の混入率を高めることによって性能指数は40%改善されることが見込まれている。欠点は超微粒子の作製速度が遅く、高価になると考えられることであるが、本質的なものではなく、超微粒子の材料や作製方法の変更が有効であると思われる。

室温付近の熱電特性が優れているビスマステル系材料は熱電冷却材料として広く使われている。この系の材料の極限性能を把握する理論的アプローチは緒にたばかりであるが、最適なキャリア濃度を達成するだけで、性能指数を10%以上向上できることが発表された。値は $3.6 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ であり、フロンを全く使わない冷却方式である吸収式と同程度の成績係数を

* 電子技術総合研究所 環境エネルギー研究室主任研究官
〒305 茨城県つくば市梅園1-1-4

実現できる¹⁾。しかし、最適なキャリア濃度を保った商用素子を生産することは歩留まりの関係から不可能に近く、実験室レベルの技術にとどまると考えられる。商用素子につながる高性能化手法の提案が待たれる。

4. 新しい高性能材料の探索

新高性能材料としてまずルテニウムケイ化物がある。この系の材料はキャリア濃度を最適にすることによって、宇宙用材料（前出のSiGe系）の3倍の性能指数が得られることが実験値にもとづくモデル計算により示された。現在は最適キャリア濃度を達成するために、最適なドーパント（不純物）材料を探索する段階にある。今回の会議ではホウ素を不純物として熱間等方圧プレス法で作製したルテニウムケイ化物は、従来試みられてきた熔融育成法で作製した試料と比べて電気伝導率を2桁以上向上できることが示された。ホウ素では最適な不純物濃度を達成できなかったため、大きな性能指数は得られていないが、新しい作製技術の適用により不純物探索研究が更に進展すると期待される。

今回は新材料アンチモン化イリジウムの熱電特性が初めて報告された。この材料は全くドーピングしない研究の初期段階で、既存材料と比較し得る水準の性能指数を持っていることが注目される。この材料系の熱電特性データは熱起電力を増大させることによって性能指数を向上する余地が十分であることを示している。このため、近い将来に200~500℃の温度域での熱電変換効率を飛躍的に向上させる可能性を持っている。

5. 新しい熱電発電システム技術

ポーラスな熱電素子内で往復流超断熱燃焼を行うことにより、素子にかかる温度差を増大させてシステム効率を大幅に向上できるという提案が行われた。全く新しい素子形状とシステム構成に関する提案であり、燃焼・伝熱技術から熱電発電システム技術に対する提案は初めての試みと思われる。今回は素子の両端で生じる熱損失の大部分を燃料ガスの往復流によって回収できるという解析結果と予備実験の結果が発表された。ポーラス素子内の温度分布は素子内の熱伝導ではなく、燃料ガスによる対流条件などによって決定されるという解析結果が正しい場合、熱電特性のうち熱物性（素子の熱伝導率）の改善によって性能指数の向上を目指す研究アプローチは重要性を減し、素子の電気物性（熱起電力と電気伝導率）の改善によって高性能化を図るアプローチが重要性を増すことになる。さらに、

バルク状素子からポーラス状素子へと、熱電素子の形状を一変させる可能性も秘めており、今後の展開が楽しみである。

6. 熱電冷却の新しい応用

昨年の会議で報告された、駐機中の航空機を熱電冷却によって空調する試みの続報が発表された。表に示すように、3種類の現状システムにはいくつかの欠点があり、熱電冷却システムは全ての評価項目にわたって平均以上の評価を得ている。特に保守、信頼性、環境汚染と騒音の項目では最高の評価が下された。また、熱電冷却システムは航空機に搭載されている補機を使った冷却システムよりも効率が高いと評価されており、注目に値する。

今回は熱電冷却の放熱に使用する外気を前もって蒸発冷却することによって、冷房能力45.8kWのシステムの成績係数を1.49に向上できることが報告された。

表1 駐機中の航空機用空調システムの比較

	補機による 冷却システム	集中式冷却 システム	直膨式冷却 システム	熱電冷却 システム
保守費	×	△	×	○
信頼性	○	△	×	○
環境汚染	×	△	△	○
騒音	×	△	×	△
効率	×	○	○	△
コスト	×	×	△	×

(Gwilliam, S.B. et. al ; Proceedings of the XI International Conf on Thermoelectris, to be published)

7. おわりに

会議への参加者は100名程度で、一昨年にカリフォルニア工科大学で開かれた時より20名程少なかった。旧ソ連からの講演が10件程度キャンセルされ、また、例年は取り消しが無いイギリスや西独からの講演取り消しが5件程あったことが影響したのであろう。日本からの参加者は約16名で、大学関係者が11名、民間から4名であった。例年に比べて大学関係者が多く、民間からの参加者が少なかったという印象である。来年の会議が横浜で開催されることと、景気の動向が影響していたと思われる。

参考文献

- 1) 熱電気相互変換利用技術調査専門委員会；熱電気相互変換利用技術の最近の動向，電気学会技術報告（II部）第434号（1992），(株)電気学会。