

---

# 日本伝熱学会特定推進研究課題報告書

*Report of Specific Promotion Researches  
in Heat Transfer Society of Japan*

特定推進研究企画委員会

小澤 守 (委員長・関西大学), 鹿園 直毅 (東京大学),  
花村 克悟 (東京工業大学)

*Specific Promotion Research Planning Committee*

*Mamoru OZAWA (Chairperson, Kansai University),*

*Naoki SHIKAZONO (The University of Tokyo),*

*Katsunori HANAMURA (Tokyo Institute of Technology)*

*e-mail: ozawa@kansai-u.ac.jp*

---

## 1. はじめに

2012年に日本伝熱学会に設置されました特定推進研究企画委員会は、我が国の抱える科学技術的課題への対応や今後の発展に寄与すると考えられる研究開発課題を選定し、課題ごとに研究グループを設置して検討を進めてまいりました。特定推進研究課題として現在までに7件の課題が選定されています。このたび「エネルギー極限利用のための大フラックス輸送ダイナミクス」(主査:鹿園直毅, 東京大学) および「波長選択ふく射輸送とエネルギー変換」(主査:花村克悟, 東京工業大学)の2課題につきまして最終報告が提出されました。報告書作成に向けて2年あまりにわたってご尽力いただきました委員各位に心より敬意を表します。以下にこれら2課題のエグゼクティブサマリーを記載し、会員の皆様に検討結果の概要をご紹介します。なお各課題報告書の詳細につきましてはそれぞれの主査までお問合せください。

## 2. 「エネルギー極限利用のための大フラックス輸送ダイナミクス」 HTSJ-FY2014-01

主査:鹿園直毅(東大生研) shika@iis.u-tokyo.ac.jp

我が国のエネルギー利用効率を一層高めるとともに、出力変動を伴う再生可能エネルギーを大量に導入するためには、あらゆるエネルギーデバイスの定格性能向上と低コストを両立させることに加えて、部分負荷も含めた非定常状態の動特性を向上させることが不可欠である。燃料電池や二次電池は、今後のエネルギーシステムの中でも重要な役割を果たすことが期待されており、一層の技術の進展が望まれている。低コストを実現する上での最大の鍵は出力密度の向上であるが、熱、物

質、イオン、電子の輸送フラックス(流束)が増大するにつれて、物質とエネルギーの輸送過程における不可逆損失も増大する。つまり、あらゆるエネルギーデバイスは高出力密度・高エネルギー密度・大ダイナミックレンジに向かうことになる。本研究課題では、この大フラックス場に注目し、それを実現するために必要となる重要な研究領域を抽出した。

大電流密度、すなわち大フラックスにおいては、反応活性点へのイオンや活物質の輸送が律速過程となる。特に、良好なイオン輸送パスの実現が重要である。この大フラックス場、広いダイナミックレンジの非定常場において顕在化する輸送現象の不可逆損失を低減させることが、様々なエネルギー機器の重要な研究課題となる。大フラックス場における輸送ダイナミクスを解明し、物質とエネルギー輸送促進のための理工学を構築する必要がある。

一方、このような大フラックス場における現象解明が進んでも、それを実際に作り上げることが出来なければ意味が無い。電池の電極構造は非常に微細で複雑であり、その構造形成プロセスには非常に多くの制御パラメータが存在する。それらの複合的な要因が重なった結果として電極構造が具現化され、電極特性や電池機能が発現される。すなわち、電極形成から特性評価に至る一連のプロセスを一体として研究することが重要となる。ここで、電極微細構造形成技術は、混合、塗布、乾燥、焼結等の熱流動プロセスであり、これまでその複雑さから科学的なアプローチが遅れている。所望の電極構造を具現化するためには、このような微細構造形成プロセスにおける様々な素過程を

解明し、高度に制御する必要がある。更なる高出力密度化や低コスト化を目指すためには、経験とノウハウに基づいたアプローチから脱却し、製造プロセスの素過程を解明するための基礎科学とともに、制御パラメータを最適化するための熱流動設計技術の革新が不可欠である。

以上のように、大フラックス場で顕在化する不可逆損失の律速過程の現象解明、そして大フラックス輸送を具現化するための電極設計技術を支える学術基盤を構築する必要がある。特に、電極形成から特性評価に至る一連のプロセスを一体として研究することが重要である。新たな計測・シミュレーション技術の開発など挑戦的課題に満ちた研究領域が広がっており、輸送現象を基軸とする伝熱学会において横断的に取り組むべき研究領域である。

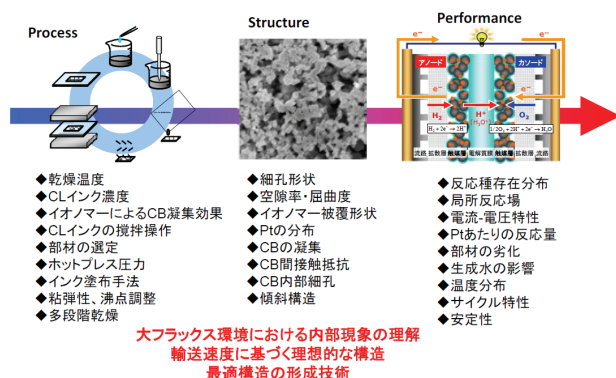


図 1 製造プロセスから構造，特性評価に至る一連の研究を一体化して推進

### 3. 「波長選択ふく射輸送とエネルギー変換」

HTSJ-FY2014-02

主査：花村克悟（東工大）

hanamura@mech.titech.ac.jp

熱ふく射は、その本質的な特徴である波長依存性と半球状に放射されるといった現象が十分理解されていないために、工業的にも重要なエネルギー輸送の1つの形態でありながら、特に実機レベルにおいては取り扱いが複雑なものとして課題の対象から外されてきた、といっても過言ではない。あるいは基礎的な研究から実機へと適切に拡張されてこなかったともいえる。

本研究は、特にふく射の放射波長制御に着目し、従来の黒体や灰色体の仮定では発想しえないエネルギー輸送や変換について、その可能性を検討し

たものである。具体的には、「1. ふく射の放射波長制御を利用した加熱炉および乾燥炉」、「2. 選択波長フィラメント照明」、「3. 熱光起電力電池を用いた発電」である。

1. においては、リチウム電池などに利用されるフィルムの乾燥加熱炉において、有機溶媒や溶質の吸収波長帯に合わせた波長制御エミッターをメートル単位の高さで製作し、加熱炉内温度を100℃以下、さらにヒータ表面温度も300℃以下に抑えつつ高い乾燥速度を実現しようとするものである。例えばノルマル・ブチル・ピロリドンといった溶媒の吸収帯5.9μm（および3.4μm）の波長に合わせて、光導波管の原理に基づき3μm角（深さも同じ）のマイクロキャビティを周期的に施した選択波長エミッターを用意する。このとき、従来のエッチング法ではなく、シリカナノ粒子溶液から型に合わせてシリカを溶液成長させる手法によりメートル単位のマイクロキャビティが容易に製作可能となり、この表面にAuを製膜することで、広い面積の選択波長エミッターが容易に製作できることが分かってきた。このように加熱炉の概念そのものが根本的に変わる可能性を見出している。

2. においては、上記のマイクロキャビティ、あるいはシリカなどの誘電体を挟みAu製スプリットリングを周期的に配置したフィラメントにより、赤外線放射を抑え、可視光域の放射率を1に近づけることによって、LED照明の変換効率50%を凌ぐ、省電力照明機器を製作しようとするものである。ニッケル鏡面にサイズ0.5μm角（深さも同じ）の周期的マイクロキャビティを施すことにより、同じ表面温度において、放射波長が短波長側にシフトすることが確認されている。一方、クロム表面にシリカを製膜し、その表面にAu製のスプリットリング（U字型）を周期的に配列することで、そのサイズに近い波長が選択的に放射されることが示されている。

3. については、連続鋳造工程における1000℃以上の鋼材から放射されるふく射をGaSb半導体光起電力電池に導くことで、放熱損失エネルギーを電気として回収する方法や、給湯器内部に上記のGaSb半導体電池を放射波長制御エミッターとともに配置することで、給湯の際に電気を供給することができる壁掛けコジェネの可能性について

検討している。従来の表面燃焼バーナーから放射されるふく射を利用した発電実験により、床暖房時の水ポンプ動力として十分活用できる可能性を示している。さらに、それを小型化するために、エミッター表面近傍に存在する近接場光（エバネッセント波）を利用することを提案し、ピラー構造表面を介することで、上記の GaSb 半導体電池に有効な波長域の近接場光のみを増強することも可能であることを示している。

このように本研究では、特にエネルギー変換に着目し、課題は残されてはいるものの、近い将来に成果が期待できる事例を中心に、ふく射輸送制御といった研究課題の重要性が示されている。

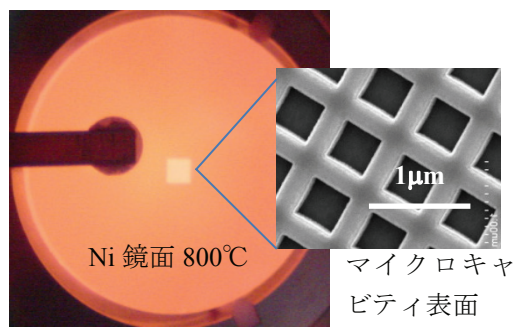


図2 Ni 鏡面研磨表面にマイクロキャビティを施すことによる可視光域の波長シフト（中央の2mm×2mm のキャビティ領域の色が周囲に比べ短波長側にシフトしている）