

カーボンニュートラル・サーキュラー社会の熱利用を支える基盤研究

① ビジョンの概要

カーボンニュートラル・サーキュラー社会の実現や災害・テロへの対応等、これまでの技術体系の延長線では十分対応できない課題が顕在化している。貴重なグリーン燃料の徹底的な省エネルギー利用、ヒートポンプによる熱供給、供給リスクの高い材料からの転換等、熱機器の不連続な変化を実現するために、材料・構造・製法からゼロベースで見直し、これを支えるための新たな学術体系を再構築する。

② ビジョンの内容

熱工学は、我が国の高度成長を支えた蒸気タービン火力発電技術、オイルショック以降のガスタービンや原子力発電技術、民生用の冷凍空調技術、さらには情報機器の温度制御技術等、社会を支える基盤工学としてこれまで発展を続けてきた。一方、近年カーボンニュートラル社会への移行、資源安全保障、サーキュラー社会の実現、自然災害・戦争・テロ等の非常時への備えといった、これまでの技術の延長線では十分に対応できない課題が顕在化しており、社会の大きな転換点を迎えている。熱は、民生部門および産業部門の最終エネルギー消費のうち、それぞれ 57%および 56%を占めるほど膨大な量が消費されている。これからは、徹底した断熱・熱再生・蓄熱を、低純度なリサイクル材料により実現する必要があるなど、これまでになく難しい課題が突きつけられている。その実現のためには、第一に、社会構造変化に伴って必要とされる新たな熱技術の具体像を示し共有する必要がある。第二に、銅など高価で供給リスクの高い材料からアルミや樹脂などの安定供給が可能な循環型材料への変更が不可欠である。第三に、汚れや着霜など実運転時の性能低下要因を科学的に解明して制御する必要がある。これらは伝熱工学の分野や業界単独ではなく、不確実性が高い中で様々な分野の人々が協働して進めなければならない。リサイクル材のように品質の劣る素材を用いて高い機能や信頼性を実現することは、高品質材料をふんだんに使って新機能を発現すること以上に難しいと言える。本ビジョンは、カーボンニュートラル・サーキュラー社会を支える熱技術を革新するために、熱技術の材料・構造・製法からゼロベースで見直すための新たな学術体系を構築することを提案するものである。

③ 学術研究構想の名称

カーボンニュートラル・サーキュラー社会の熱利用を支える基盤研究

④ 学術研究構想の概要

カーボンニュートラル・サーキュラー社会の実現や災害・テロへの対応等、これまでの技術体系の延長線では十分対応できない課題が顕在化している。膨大な熱需要に関わる技術開発を目的として、貴重なグリーン燃料の徹底的な省エネルギー利用、ヒートポンプによる熱供給、供給リスクの高い材料からの転換などの大きな課題解決のために、熱技術をゼロベースから見直すための新たな学術体系を再構築する。

⑤ 学術的な意義

民生と産業部門の需要の過半を占める熱利用は、カーボンニュートラル時代において抜本的な変革が求められる。エクセルギー損失の大きい大温度差プロセスの徹底的な削減、変動型再生可能エネルギーの需給調整機能向上、低品位素材や媒体を通じた熱交換など、制約条件の非連続的な変化の下で、性能・信頼性・コストを全て両立する必要がある。これは、従来の熱工学で暗黙のうちに仮定されてきた定格運転、高機能材料の使用、管理された使用条件といった前提が成り立たなくなことを意味する。変動、汚れ、物性のばらつき等、これまで数式やモデル化に馴染みにくく敬遠されてきた外乱にも正面から向き合い、ロバストな新たな学術体系として再構築する必要がある。例えば、部分負荷運転や再生可能エネルギーでは変動が前提となることから、非定常な変動流れへの対応が求められる。加速と減速を繰り返す振動流の気液相変化では、密度の大きな液相の慣性力が低レイノルズ数であっても気液界面形状に大きな影響を及ぼすため、主たる熱抵抗である液膜厚さが定常の場合とは大きく異なる。このような非定常な相変化現象は十分に解明されていない。また、寒冷地へのヒートポンプの普及では、室外機への着霜により能力不足や成績係数の低下が生じる。霜は雪と同様な複雑な三次元結晶構造を有するが、固体表面の濡れ性、局所の温湿度条件、気相物質伝達等が霜構造に与える影響、そして制御法についてはほとんど明らかにされていない。また、水道水に溶け込んだナトリウムやカルシウムがスケールとして伝熱面表面に析出して流動を阻害するが、各地の実際の水の条件などについて、科学者はほとんど情報を持っていない。さらには、熱機器には熱伝導率が高く加工が

容易な銅が大量に使用されているが、銅は今後風力発電や電気自動車等の用途で需給が逼迫することが予想されており、代替化が求められている。しかしながら、同じレベルの熱機能と信頼性をリサイクル材等で代替することは、残念ながら現在の技術では難しい。以上は多くの事例の一部であるが、今後このような課題を解決する新たな熱工学を構築できれば、実学として将来の熱需要の革新に貢献できる。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

欧米においては、熱機関により昇降温して蓄熱することで、変換時の損失を理論的にゼロとすることができ、カルノーバッテリーの研究など、すでに顕在化しつつある変動型再生可能エネルギーの需給調整に対応するための熱技術の研究開発が盛んになっている。このような取り組みは、基本に立ち戻って考えれば容易に着想できるものであるが、残念ながら我が国は従来の成功体験に基づく外挿型の研究開発思考のためか、様々な外的要因の変化に応じて考え方を根本から見直す取り組みは欧米の後塵を拝している。当該研究を通じて、社会ニーズと基礎研究側のシーズとのマッチング機能も強化されることが期待される。

⑦ 社会的価値

日本の強みである素材や部品産業を、カーボンニュートラル・サーキュラー社会に適した形でリノベーションしていくことが重要だと考える。これまでの学界や業界の縦割り構造を打破し、新たなニーズに基づいて分野の壁を越えた協業が必要である。ニーズとシーズの間で要求機能や制約条件を共有し協業すれば、大きなブレークスルーが期待できる。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール 共通基盤技術を核として、新しいコンセプトの機能評価用サンプルを作製し、これをユーザーが評価し、顕在化された課題をあらためて基礎研究にフィードバックするというスパイラルを有機的に回す体制を構築する。このような国レベルでの研究・開発・設計プロセスから、従来にない新たな熱技術が生み出され、カーボンニュートラル・サーキュラー社会に実装される。

実施機関と実施体制 大学、国家研究機関、企業が連携した異分野融合のコンソーシアムを立ち上げる。熱に関わる計算科学・材料技術・製造技術等の共通基盤技術を核として、新たな機能を発現するサンプルを試作し、ユーザーによる評価で顕在化された課題をあらためて研究にフィードバックするというスパイラルを有機的に回す仕組みを整える。百聞は一見に如かずとの言葉があるように、実際に機能するモノを見せないと、真に有効な協業にまでつなげることは困難である。不確実性が大きい20～30年後のカーボンニュートラル・サーキュラー社会に向けて、キャッチアップ型ではない基盤技術を構築するためには、このようなPDCAサイクルを回しながら実効的に研究を進めることが不可欠だと考える。

総経費 41.2 億円

所要経費 特任教授人件費	1,350 万円×5 名×10 年間 = 6 億 7,500 万円
特任准教授人件費	1,090 万円×5 名×10 年間 = 5 億 4,500 万円
ポスドク人件費	700 万円×20 名×10 年間 = 14 億円
大型温湿度制御型環境試験室	4 億 5,000 万円
材料耐久性向上基礎研究費	3,500 万円×10 年 = 3 億 5,000 万円
製造技術基礎研究費	3,500 万円×10 年 = 3 億 5,000 万円
製構造設計技術開発基礎研究費	3,500 万円×10 年 = 3 億 5,000 万円
計	41 億 2,000 万円

⑨ 連絡先

鹿園 直毅（東京大学）