

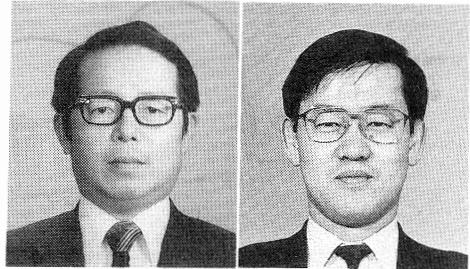
■ 展望・解説 ■

次世代技術における熱問題

Thermal Problems in Future Technology

成合 英樹*・矢部 彰**

Hideki Nariai Akira Yabe



1. まえがき

わが国において、先端技術や次世代技術に対する関心が高まったのはもう10年以上前になる。重厚長大技術により日本が技術的、経済的に一流国入りすると共に、電子技術の発達と自主技術開発の機運の中で、大学や公的な研究機関ばかりでなく、企業においても先端技術へ関心が向いたわけである。一方、熱や熱エネルギーの基礎と応用を研究する熱工学者の間では、エネルギー問題、特に、大型火力発電や原子力発電の開発、そしてオイルショック以後の新・省エネルギー技術に関連し、基礎となる伝熱工学、燃焼工学などに対し活発な研究活動が行われ基礎技術の開発に貢献すると共に、これら学問の発展に顕著な成果が得られた。このような熱工学者の次の関心もやはり先端技術や次世代技術と呼ばれるものの熱問題であった。

丁度そのような時、1980年に筑波研究学園都市が既成し、50に近い国立研究機関が集中すると共に、数多くの民間の研究機関も建設が予定されていた。(現在200以上が既に建設されたり建設中である。)ここでは数多くの先端的研究が行われており、また、熱を専門とする研究者も多かった。筆者らは日本機械学会の研究分科会としてこの次世代技術に於ける熱工学問題に関し筑波地区を中心に調査研究を行い報告書をまとめた¹⁾。この報告書の内容を基にして次世代技術とそれに関連する熱及び熱エネルギー問題について記すことにする。

2. 次世代技術と先端技術

先端技術や次世代技術というとき、定義は人により様々である。先ず用いられた先端技術という言葉は電子技術とその応用、特に軽薄短小化技術と結び付いた

各種応用技術、バイオと生物学に関連する分野、技術上のニーズを呼び起こす宇宙、核融合炉、高エネルギー物理や超低温応用等の分野が総称されることが多い。そして、次世代技術というときはこれら先端技術のさらに一步先にあつて技術上の顕著な革新が必要な分野というイメージがある。だが、これらは厳密な意味で区分けが困難であり、かつ、熱や熱エネルギーという観点からすると両者に共通の技術が含まれることが多い。本論では、熱及び熱エネルギー的に特に関連が深いと考えられる先端または次世代技術に焦点を当てて問題点と今後について記すことにする。従つて、遺伝子工学など若干熱とはなれている分野については省いてある。

今後の技術の発展を見るとき、ニーズに応えるための技術上の展開と、ある固有の技術そのものの発展による応用分野の拡大が考えられる。前者は利用分野から見た今後の技術といえ、後者は技術の機能上の発展といえる。そして両者は密接に絡み合つていて、ある分野でのニーズにより開発された技術が自ら発展して他の分野へ応用されることも数多い。表1に示すまとめ表はそのような観点から作られたものであつて、横軸と縦軸にそれぞれ利用分野と機能上の分類が示されている。ここでは利用分野と機能上の分類項目について、その選択について若干説明をしておく。

表1の横軸は利用分野別の分類である。21世紀を想定した次世代とはいえあくまで人間生活と結び付いたニーズが想定される。そして、エネルギー問題と環境問題は人類にとって永遠に続く課題と考えて良い。我々の生活の向上を考えたとき、生体、医学そして建築等居住環境の改善が21世紀でも引き続いて問題になる。また、21世紀に一層重要となる夢として宇宙がある。そして、これらニーズとも結び付くが先端または次世代技術そのものでもあるエレクトロニクスや材料加工の進歩がある。交通機関の進歩などまだまだ多くの項目もあるが本稿では一応熱が深く関係する利用分野と

* 筑波大学構造工学系教授

** 工業技術院機械技術研究所エネルギー部主任研究官

〒305 つくば市天王台1-1-1

表 1 次世代技術における熱問題のまとめ表

技術的事項のまとめ表 (次世代技術における熱問題)		(1) エネルギー		(2) 環境		(3) 材料, 加工		(4) 生体, 医学		(5) 建築, 居住		(6) エレクトロニクス		(7) 宇宙						
利用分野別視点		第 3-1 節 エネルギー有効利用		第 3-2 節 自然エネルギー利用		第 3-3 節 核エネルギー利用		第 3-4 節 地球環境熱工学		第 3-5 節 材料加工熱工学		第 3-6 節 生体熱工学とバイオ伝熱		第 3-7 節 居住環境熱工学		第 3-8 節 エレクトロニクス関連熱工学		第 3-9 節 宇宙熱工学		
機能視点		第 3-1 節 エネルギー有効利用		第 3-2 節 自然エネルギー利用		第 3-3 節 核エネルギー利用		第 3-4 節 地球環境熱工学		第 3-5 節 材料加工熱工学		第 3-6 節 生体熱工学とバイオ伝熱		第 3-7 節 居住環境熱工学		第 3-8 節 エレクトロニクス関連熱工学		第 3-9 節 宇宙熱工学		
(1) 温度 第 4-1 節 第 4-2 節 第 4-3 節	小温度差利用 超高温熱技術 極低温熱技術	高圧ヒートポンプ, 高温水利用発電 超流動利用, 超電導, セラミックス熱交換器	地熱 (直接抽出, 流体利 用) 融雪 大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却	(1) 温度 第 4-1 節 第 4-2 節 第 4-3 節	高圧ヒートポンプ, 高温水利用発電 超流動利用, 超電導, セラミックス熱交換器	地熱 (直接抽出, 流体利 用) 融雪 大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却
(2) 大きさ 第 4-4 節 第 4-5 節	分子熱工学及びミ クロ熱工学 マクロ熱工学	スターリングエンジ ン 有効エネルギー・エ ネルギーフロー 燃料電池 CAD 熱交換器の汚れ 熱交換器の汚れ 対策	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却	(2) 大きさ 第 4-4 節 第 4-5 節	スターリングエンジ ン 有効エネルギー・エ ネルギーフロー 燃料電池 CAD 熱交換器の汚れ 熱交換器の汚れ 対策	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却
(3) 密度 第 4-6 節 第 4-7 節	高熱除去熱 (熱安全工学) エネルギー貯蔵・ 輸送	低質燃料の燃焼促進 伝熱促進技術の評価 完全断熱材 能動的伝熱促進・伝 熱制御 スターリングエンジ ン 有効エネルギー・エ ネルギーフロー 燃料電池 CAD 熱交換器の汚れ 熱交換器の汚れ 対策	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却	(3) 密度 第 4-6 節 第 4-7 節	低質燃料の燃焼促進 伝熱促進技術の評価 完全断熱材 能動的伝熱促進・伝 熱制御 スターリングエンジ ン 有効エネルギー・エ ネルギーフロー 燃料電池 CAD 熱交換器の汚れ 熱交換器の汚れ 対策	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却
(4) 外力場 第 4-8 節	外力場関連熱技術 ①. 電磁場 ②. 無重力 ③. 遠心力場 ④. 振動 ⑤. 超音波	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却	(4) 外力場 第 4-8 節	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却
(5) 制御と促進 第 4-9 節 第 4-10 節	微小温度差制御と 熱制御 伝熱促進, 断熱技 術	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却	(5) 制御と促進 第 4-9 節 第 4-10 節	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却
(6) 性能 第 4-11 節 第 4-12 節 第 4-13 節	熱システムの高性能化と性能評価法 熱伝導器熱シ ステムの経済性 熱関連機器の設計 (スーパーコンピュータ 利用と熱交換器の汚れ 対策)	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却	(6) 性能 第 4-11 節 第 4-12 節 第 4-13 節	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却
(7) 計測及び熱物性 第 4-14 節	計測及び熱物性 ①. 計測法 ②. 熱物性	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却	(7) 計測及び熱物性 第 4-14 節	伝熱促進と熱制御 (伝熱制御) 伝熱制御技術① ドリムパイプ④	大源便地熱エネルギー 地中熱利用 地下水循環 超大型ヒートパイプ	プラズマ伝熱 固有安全炉, 中小 型炉, 高圧炉, 超高温 核融合炉, 超高温 利用	炭素固定燃焼 地球の温暖化 異常気象 地下水循環	高温田セラミ ック材料 ダイヤモンド, CBN の合成, 高温 強度 微粒子	生体のエネ ルギー 細胞のエネ ルギー	火災 地下室 冷暖房	1. 半導体製造 2. 電子デバイス 電子機器冷却	宇宙船から の除熱法 観測機器の 冷却

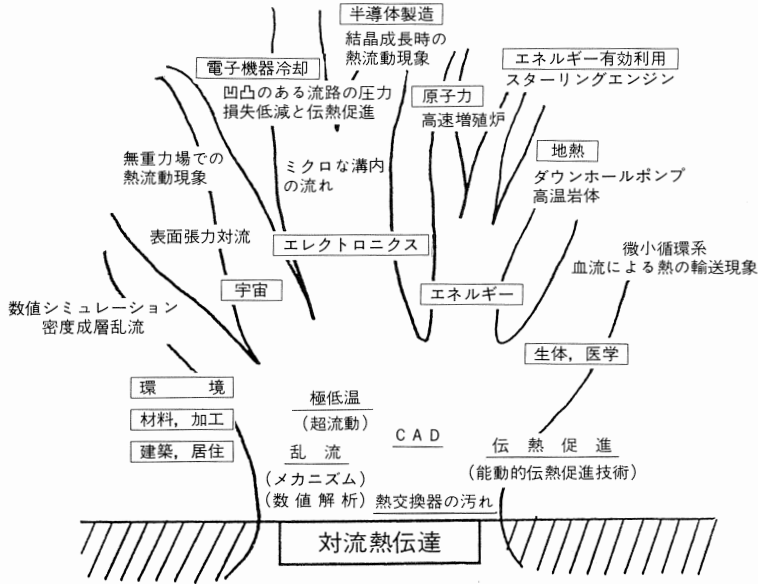
して以上を取り上げた。

熱に関する機能的観点としては、熱問題の今後の技術課題として項目をとらえている。温度の視点からすると極低温、超高温、小温度差など、大きさからいうとマイクロとマクロの熱工学などが今後一層重要になる研究課題である。また、熱の密度から、高熱流束やエネルギー貯蔵、輸送、外力場や熱の制御、伝熱促進な

ども今後熱の発展する課題である。その他熱システムの性能や物性・計測などの項目が考えられる。これら縦横のマトリックスの中に各技術課題が入るわけである。以下の章では、21世紀に想定される課題を中心にそれぞれの項目について概括してみることにする。

また、従来より多くの場合使用されている現象に基づいた学問的分類から次世代技術における熱問題を展

(1) 対流熱伝達に関する次世代技術の樹状図



(2) 相変化熱伝達に関する次世代技術の樹状図

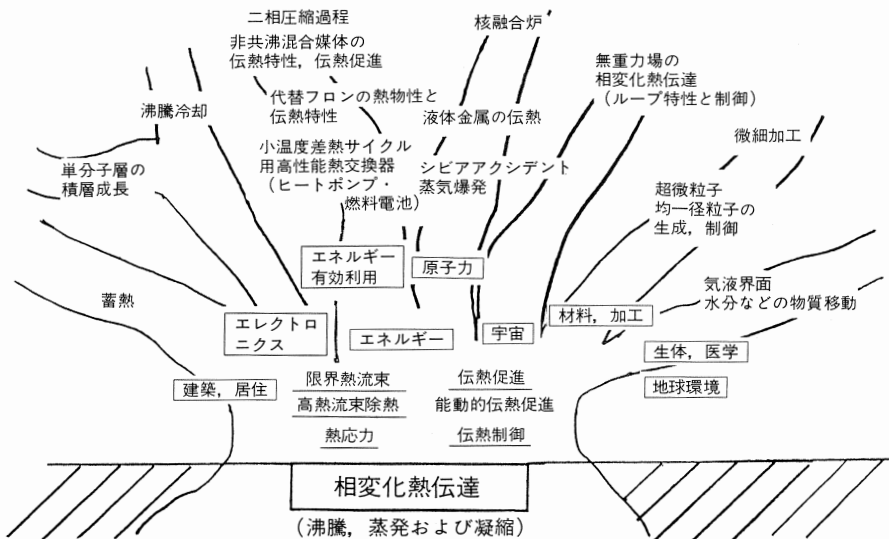


図-1 次世代技術の樹状図

望した時どようになるかの樹状図を対流伝達、相変化熱伝達を例に、図-1に示す。図からわかるように、種々の利用分野に対して、各熱伝達形式は重要な役割を果たすことが予想される。

3. 利用技術分野別展望

3.1 エネルギー有効利用における熱工学的課題

エネルギー有効利用は、総合的な課題であり、エネルギーの発生に関わる問題、利用時における節約、排熱の低減と利用など多岐に渡っている。省エネルギーは今後も重要な課題であるが、地球環境との調和、また、資源の有効利用の視点が大切であり、内容としては、いかに効率良く利用するか（高効率化）と、いかに人間、地球、宇宙のために有効に利用するかであるということが出来よう。具体的なニーズとしては、低質燃料の利用を含めた燃焼促進、熱交換器のコンパクト化のための低温から高温までの伝熱促進、経済性を備えた蓄熱技術の開発、完全断熱材の開発を含む熱損失の防止技術、エネルギー機器個々の高性能化と熱システムの高性能化、エネルギー担体の開発を含むエネルギー輸送技術の開発、省エネルギー機器相互の性能評価方法の解析、発電所などの大規模燃焼器における燃焼ガスからの水蒸気潜熱の回収利用、未利用エネルギーの利用促進に伴う熱交換器の汚れ防止法の確立などがある。また、地域エネルギーシステムとしてのエネルギーの有効利用を検討することも重要であり、熱エネルギー産民複合カスケード利用や電力負荷平準化を目的とする蓄熱式エネルギーシステムを最適化することも課題である。

3.2 自然エネルギー利用における熱工学的課題

自然エネルギーのうち、太陽エネルギーは電磁波エネルギーゆえに大気汚染物質を発生しないという特徴があるため、地球規模環境保全に寄与し、将来有望なエネルギー資源であるが、経済性の向上が大きな技術開発課題となっている。太陽エネルギーについては、集熱効率の向上、蓄エネルギーの高性能化、また、システム構成時の熱損失の低減が重要であり、光利用においても太陽電池の出力が温度の上昇と共に低下するので、効率よく太陽電池を冷却することが重要である。

地熱エネルギーは、比較的安定したエネルギー資源であり、水蒸気や有機物熱媒体を媒介にした地熱発電などはすでに実用に供しているが、環境保全が将来重要な課題である。また、地温を最大限利用する融雪法、地熱を広い領域から採取するための長さ数キロにも及

ぶ超大型ヒートパイプの開発²⁾、深さ数キロ以上の高温岩体を利用する高温岩体発電では、地熱抽出の熱交換部に相当する水圧破砕による岩盤中への割れ目の形状、発生した水蒸気を少ない圧力損失で効率よく回収するための2本目の井戸の位置の決め方と導通方法等が熱問題としては大きな課題である³⁾。

3.3 核エネルギー利用における熱工学的課題

原子の核分裂エネルギー、核融合エネルギーは、1原子の発生するエネルギーが非常に大きく、ウラン235の1gの核分裂反応と、重水素1gが結合する核融合反応では、いずれも約1MW・dayのエネルギーが発生し、かつ、超高温での利用も考えられる。それゆえ、化石燃料代替資源として、燃焼の不要な、また、炭酸ガス・窒素酸化物の発生しないエネルギー源としてどこまで利用できるかが研究開発のポイントとなる。さらに、物質の合成、生成、表面処理などの核エネルギーで実現できる物質および放射能・放射線の有効利用も重要な課題である。現在、研究開発が続けられている固有安全炉、中小型軽水炉、高転換軽水炉、高速増殖炉、核融合炉に関連する安全性の確立、炉心溶融時の蒸気爆発などの現象解明、さらには、高温のプラズマの熱衝撃による壁面の現象解明などが具体的課題である。

3.4 地球環境における熱工学的課題

人類の生産活動の拡大に伴う地球規模の環境破壊が顕在化してきており、地球温暖化、成層圏オゾン層破壊、酸性雨、熱帯雨林の減少、砂漠化、海洋汚染の影響と対策が重要な課題となっている。現状では、科学的な現象の理解さえ不十分であるが、政治・行政レベルで緊急な対応が求められており、現象解明と影響評価の研究、対策技術の開発が実施に移されつつある。熱工学的には、運動量、熱、物質移動を伴う環境中でのそれぞれの諸現象に対して、それを支配している素過程についての熱工学の立場からの現象解明と厳密な定式化、さらには、不確実性の程度の評価法が強く求められている。具体的には、気液界面、植物などの地表物質との交換過程⁴⁾、密度成層流中での乱流構造・乱流輸送機構の変化、内部重力波、物体まわりの流れ等が課題である。大気、海洋における運動と熱移動、物質（水蒸気、汚染物質）の輸送、拡散、変質、沈着過程には熱流体工学が主要な役割を担うが、気象学、海洋学等の地球物理分野、および、化学、生物学、農学などとの協同作業も必要である。

3.5 材料加工における熱問題

高硬度セラミックス加工や超精密加工において、工作機械の熱変形制御、断熱対策および高性能工具材料の開発が不可欠である。工具材料の高性能化は、材料加工の高効率化、省エネルギー化に有効であり、プラズマCVD法、超高压合成法等でダイヤモンド、CBN（立方晶窒化ほう素）焼結体の合成が研究されている。具体的課題としては、気相合成ダイヤモンド粒子間結合強度の向上、ヘテロエピタキシャルによるダイヤモンド単結晶膜の合成、衝撃処理による粉体の改質⁹⁾、新材料の合成、ダイヤモンド、CBN焼結体の熱伝導率の向上、耐熱性の改善、高温複合材料の材料設計と開発、加熱切削によるセラミックスの加工と加熱切削用旋盤の開発、超精密工作機械の熱変形の制御等がある。

3.6 生体とバイオテクノロジーにおける熱問題

医療・福祉分野における熱関連機器は、今後の高齢化社会の到来とともに重要性を増す。また、体温調節機構を始めとする生体内部での産熱・伝熱・放熱現象の解明が、これからの基礎研究課題であり、特に、複雑なシステムを構成することから細胞レベルのミクロなスケールでの現象の解明が重要となる。機能的特殊衣服の開発（水冷服、加温服）に関連しては、熱移動、水蒸気などの物質移動特性の計測および熱的快適性に関する研究。また、安全な医療機器の開発に関しては、生体内部における熱移動・物質輸送機構の解明と工学的立場からのモデル化、生体組織の熱物性値の計測、手術中における人間と医療機器との熱の授受等が重要な具体的課題である。

3.7 建築における熱工学的課題

建築・都市の熱環境の予測および調整、また、火災性状予測および防災技術に関連する熱問題を扱う居住環境熱工学では、扱う対象の個性性、形状の複雑さ、非定常性等が、熱に関係する他分野と比較して著しい。通常時の熱環境予測については、現在まで、動的予測を可能にすることで、超高層化、省エネルギー等の課題に対処してきており、アトリウム、高品位空調等の設計・制御にも反映されつつある。防火安全技術でも、アトリウム、膜構造、ドーム構造等の防火計画に応用されつつある。次世代技術における具体的課題としては、居住環境の高品質化に関連して、高品位空調、アトリウム等アメニティ空間の環境調整技術の確立と快適性指標の明確化・火災時も含めた居住環境の高品質化に対応する熱環境予測技術、自然調和型環境調整技術に関連して自然エネルギーによる環境調整、地下空

間⁶⁾、宇宙などの特殊環境の調整技術の向上が挙げられる。

3.8 エレクトロニクスに関連する熱工学的課題

今後共、電子機器の高集積化（例えば4 Mbit DRAM→64 Mbit）および微細化（0.8 μmプロセス→0.3 μm）が進められ、これを実現するための加工技術の高度化とこれに伴う熱的問題の解決⁷⁾、コンピュータ冷却のための冷却技術の開発、実用化（数10W/cm²程度の熱流束除熱と温度制御）が不可欠となる。具体的課題としては、結晶成長に関連して、熱物質移動、相変化を含む融液の伝熱現象の詳細解明と結晶品質管理。酸化、拡散に関連して、複雑形状内での高精度放射伝熱の解析、計測、制御。CVDに関連して、膜成長の機構解明と予測、制御。コンピュータ冷却に関連して、高熱流束除熱と温度管理技術^{8,9)}、また、各種計測技術の開発と熱設計のための物性値等のデータベースの蓄積、さらには、ミクロスケールとマクロシステムの複合体としての伝熱問題を扱うための方法の確立が挙げられる。重要な目的は電子回路の製作と動作の信頼性確保にあり、このためには熱・流体部門、加工・実装部門および素子開発・回路設計部門の三者相互の緊密な連携が不可欠である。

3.9 宇宙に関連する熱工学的課題

宇宙船の熱輸送・熱制御技術は、宇宙船の大型化、複雑化にともない流体ループを用いたシステムが主流となりつつあり、特に効率の高い二相流体ループが必須であると考えられている¹⁰⁾。具体的課題としては、ヒートパイプの発展形としての毛細管力を可能な限り活用する熱交換モジュールの開発、微小重力場での相変化熱伝達の促進技術の確立¹¹⁾、二相流体ループの特性と制御が挙げられる。また、宇宙での材料創成に関連して、微小重力場での熱流動現象、凝固過程の解明などが重要である。

4. 機能別展望

4.1 小温度差利用熱サイクルの高性能化技術

小温度差熱サイクルによる排熱や自然エネルギーの昇温利用および発電利用は、省エネルギーの推進や自然エネルギーの利用促進にとって重要な鍵である。そのためには、排熱の主要部分を占める50℃程度以下の低温排熱の有効利用の促進、地熱発電・海洋温度差発電などの自然エネルギー利用小温度差サイクルの高性能化が大きな課題となる。より具体的には、非共沸混合媒体利用を含めた小温度差サイクル用熱交換器の高

性能化, 多段圧縮・凝縮, 多段再熱・再生, エコノマイザーサイクル, ロレンツサイクル化などの種々の高性能化手法の組合せによる小温度差熱サイクルの高性能化, 代替フロン開発も含めた, 規制対象フロンを使用しない熱サイクルの開発, 熱利用と電力・動力利用の質の違いを考慮した各種小温度差熱サイクルの相対評価方法の確立がある。

4.2 超高温熱技術

地球的規模の環境保全, 化石燃料の有効利用の面から高温化・超高温化による熱機関の高熱効率化は重要である。具体的には, 高温材料であるセラミックスの耐熱性の向上, 高強度化, 経済性の向上, 隔壁式のセラミックス熱交換器の開発, ガスタービンブレードのセラミックス化が重要な課題である。また, 燃焼技術の高度化に関連して, コージェネレーション用小型エンジンのNO_x, SO_x等の低減, スス発生量の低減, 循環型水素燃焼器の開発, パルス燃焼の高度化, 炭素固定化燃焼などが重要である。さらに, プラズマの化学的利用や核エネルギーの有効利用に関連して, 超高温プラズマの制御と材料との相互作用の解明も重要な課題である。

4.3 極低温熱技術

超電導は当面は低温超電導が主要であり, 液体ヘリウム冷却を必要とするが, 高温超電導も多くの分野で応用されるようになる。この場合, 超電導磁石などの冷却が途切れた時の急激な発熱に対する安全性の検討, 冷凍機の高信頼化が重要な課題である。超流動研究は, 理学的側面が先行しているが, 超伝導機器冷却, 宇宙応用などの応用技術開発も活発化しつつある。宇宙機器冷却では, 70Kレベルのものが, 地球観測をはじめとする実用衛星に应用されるであろう。天体観測では2K以下の温度も要求される。具体的には, 超流動乱流現象の解明とレイノルズ数 10^9 以上の超流動風洞の開発。宇宙用冷却ミッションの長寿命化に関連して, 断熱技術, 宇宙用冷凍機の高信頼化。さらには, 宇宙用1K以下冷却システムの開発がある。

4.4 分子熱工学およびマイクロ熱工学

マイクロエレクトロニクス関連技術の進展による, 分子がいくつか凝集した大きさからサブミクロンの大きさの領域までの, より微視的な工学体系, 技術体系の確立と工業的利用が重要となる。具体的課題としては, 半導体素子の高密度化, 高性能化, 信頼性向上に関連して, 微細加工技術¹²⁾, レーザ・電子ビーム等による計測制御技術, 高密度熱流束半導体チップの冷却

とマクロシステムとの整合性の確立¹³⁾。新しい機能素子の発現に関連して, 超微粒子, 分子クラスター, 超格子等の物性値制御が重要である。

4.5 マクロ熱工学

地球は, 太陽エネルギー, マグマのエネルギーなどを熱源とする大きな熱機関であるという視点で捉えて, 熱物質輸送, エネルギー貯蔵などを議論することが, 地球環境問題の顕在化と共に, 重要性を増しつつある。具体的には, 自然エネルギー分布とその利用, 海洋熱収支, 土壌表面における熱物質交換過程の解明などの地球環境に関連する問題, 季節間蓄熱を対象とした帯水層熱エネルギー貯留技術の確立, 土壌内の熱物質輸送に重要な役割を果たす地下水循環の解明¹⁵⁾などが重要となる。

4.6 高熱流束除熱

高熱流束の除熱技術は, 特にトカマク型核融合炉第一壁の構造機器にかかわる工学上の具体的課題として指摘され, 伝熱過程や材料の損傷挙動を明らかにすることを目的として, 10MW/m²以上の熱流束に対する基礎実験や理論解析が実施されてきている。しかしながら, 種々の分野でも高熱流束が使用されるようになりつつあり, たとえば, 放射光施設で使用される精密光学素子の除熱, 超高中性子束炉の燃料からの除熱, スパレーション中性子源の中性子発生用陽子ビームターゲット¹⁶⁾や, X線CTのX線発生用電子ビームターゲットの設計上考慮すべき熱負荷も重要である。具体的課題としては, 入射ビームによる発熱過程の解明, 素子としての機能を考慮した冷却方式の最適化と除熱限界の解明, 高熱負荷素子用材料及び構造の最適化, 除熱性能と構造物としての健全性を考え併せた設計技術の確立, すなわちコンポーネントとしての変形・溶融などの許容限界の明確化が挙げられる。

4.7 エネルギー貯蔵, 輸送技術

エネルギー貯蔵・輸送は, 省エネルギーにとって極めて有効な技術であるが, 現在まで熱損失および経済性に問題が残されており, 実際の国単位のエネルギーフロー中で貯蔵, 熱輸送技術の占める割合は大きくない。しかし, エネルギー有効利用の観点からは, エネルギー貯蔵・熱輸送技術の確立が極めて重要であり, 丹念な効率向上, 経済性向上の研究開発と共に, ブレークスルー的な技術シーズが強く求められている。具体的課題としては, 材料に関連して, (蓄熱密度/価格)の増大化, 材料安定性, 安全性, 材料間の共存性の向上, また, 要素機器に関連して, 蓄熱密度(重量, 体

積)の向上,伝熱特性の向上,熱応力,断熱技術の向上.さらに,システムに関連して,コストの低減,負荷応答性,効率,寿命,信頼性向上などがある.

4.8 外力場(電磁場,無重力等)関連熱技術

外力(電磁力,無重力,超音波振動)を利用した伝熱技術は,伝熱促進ばかりでなく,熱制御,および伝熱形態も変化させる伝熱制御技術としての付加価値があり,今後,重要性が増大すると予想される.現在まで,磁場を利用する単結晶成長の制御¹⁷⁾や静電場を利用するEHD(電気流体力学)熱交換技術などが研究開発されてきているが,今後,外力場を伴う伝熱現象の解明を通して,技術の最適化,最高性能化が重要な課題である.また,超音波を利用する伝熱促進や振動を利用するドリームパイプなど,種々のシーズが今後共見いだされ,能動的な伝熱促進・制御手段として活用されるものと思われる.

4.9 微小温度差制御と熱制御

伝熱や温度制御技術の向上は,精度を求めるニーズと相まってかなり進んだものとなるであろう.材料製造,精密加工,省エネルギー技術等をはじめ,広い分野に関連するものであって特に自由に伝熱をコントロール可能な熱制御技術の開発は熱エネルギー高度利用に大きく貢献する.具体的な課題としては精密温度測定方法の開発や伝熱現象とメカニズムに及ぼす外力の影響の解明が今後必要であって,21世紀へ向けて地道な研究が進むと考えられる.

4.10 伝熱促進,断熱技術

熱エネルギー有効利用技術進展のためには,伝熱促進及び断熱技術の向上が必要不可欠である.伝熱促進で言えば各種熱交換装置用の伝熱面に伝熱促進技術が適用されているであろうし,この技術が,機器の冷却・加熱あるいは材料製造プロセスにおける伝熱にも応用されているのであろう.断熱では,スペースシャトル用断熱材などの先端技術が一般の断熱技術にも応用されていると予想される.具体的な課題としては,小温度差熱交換のための究極的技術,能動的伝熱促進技術,完全断熱材や完全断熱法の実現が挙げられる.

4.11 熱システムの高性能化と性能評価法

エネルギーの有効利用の観点から引続き重要な課題であり,特に,熱エネルギーの電気エネルギーへの変換における熱効率の向上の観点では,燃料電池や熱電併給システム(コージェネレーション)の普及がなされているであろう.また,排熱エネルギー回収技術やそれに関連しヒートポンプの需要が拡大しており,混

合媒体を使用したローレンツサイクルの採用による高性能化が行われるであろう.具体的課題としては各種熱サイクル間の相対的な性能評価法の確立が重要であり,エネルギー変換効率や有効率などが,温度レベル,需要の種類,さらには,省エネルギー性,地球環境保全技術としての貢献度などを考慮して議論されるであろう.

4.12 熱関連機器システムの経済性

次世代の技術とはいえその普及には経済性が大きく関係している.従って,次世代の熱システムを考える時経済性の評価が重要であり,耐用年数,燃料費,人件費等を含めたライフサイクルコストを併用し評価するのが望ましい¹⁸⁾.その上,次世代技術の動向は社会環境や経済問題に左右されるので長期的予測が難しいが,ユーザーの高級化,利便性指向と地球環境問題に結びつく省エネルギーを共に満足するような熱システムの開発が重要な課題である.

4.13 熱関連機器の設計

次世代に予測される熱関連機器の設計技術も大きな進歩がなされているであろう.エネルギー関連機器や電子機器の詳細な熱設計という製品開発期間の短縮に貢献できるニーズに対しては,複雑な伝熱現象の解明と共に,コンピューター性能の発達に伴う熱流体解析技術の進展により,精度よく,かつ,信頼性の高い設計が行われるようになっていくと予想される^{19~22)}.

4.14 計測及び熱物性

地球環境とエネルギー技術の進展には計測技術と熱物性の果たす役割が大きい²³⁾.特に次世代を目指し,薄膜,高温超伝導体,新規代替フロン等の熱物性に対するニーズが大きく,データベースも完備されることであろう.また,これらと関連して,計測技術,微小試料での計測技術の進展が予測される.さらに,地球規模の環境計測としてリモートセンシング技術の進展と,データベース化が行われることであろう.なお,代替フロン開発などの新規熱媒体の開発に関連しては,分子設計法,物性推算法などを駆使して,革新的な物質を生成することが重要である.

5. おわりに

以上,文献1の内容を基に利用分野と機能的視点別に,21世紀をにらんだ熱および熱エネルギー技術とその代表的な技術開発課題について記してきた.詳細は同文献を参照して頂ければ幸いである.終わりに引用させて頂いた同文献の各項目の著者の方々に深く謝意

を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 次世代技術における熱工学, 日本機械学会「次世代技術における熱工学問題に関する調査研究分解会」報告書(1989)
- 2) 白石他, 日本雪氷学会秋期大会講演予稿集, 昭和61年
- 3) 厨川道雄他, ロシアラモスHDRプロジェクトの水圧破碎(第1報~第8報)採鉱と保安, 29~33 (1983~1987)
- 4) 萩野谷成徳他, 天気, 31, 497~505, 1984
- 5) 伊崎文和他, 粉体工学会誌, 23, 250, 1986
- 6) 稗田哲也, 住宅用地下室の環境評価, 住生活, 1988
- 7) 鳳絃一郎, 超LSI技術, 6. 3節, 垂井康夫編, オーム社, 1981
- 8) 小木曾建, 電子通信学会誌, 65~7, 748~753, 1982
- 9) M. Ishizuka, et al., Trans. ASME, J. Heat Transfer, 109, 540, 1987-5
- 10) Y. Miyazaki & S. Oshima, Pump Assisted Heat Pipe ISAS Rept. SP 5, 149~154, Feb.1987
- 11) 阿部, 森, 第3回宇宙利用シンポジウム, 66, 1986
- 12) 阿刀田, 古室, 応用物理, 55, 312, 1986
- 13) W. Nakayama et al., ASME Paper, No. 84-WA/HT-89, 1984
- 14) 鷺見栄一, 底質温度測定装置の試作と現地測定例, 公害, 22, 4, 83~91, 1987
- 15) 藤縄克之, 農業土木学会誌, 56~8, 47~54, 1988
- 16) 増田, 三沢他, スパレーションパルス中性子源用劣化ウランターゲットシステムの安全解析, KEK International 88-11, 1988-10
- 17) 宗像鉄雄, 棚沢一郎, 融液よりの結晶育成過程における自然対流に対する磁場の効果, 機論B, 54-505, 2545, 1988
- 18) 信夫, 吉川, 里村, 松木, ヒートポンプ式太陽熱集熱システムの性能, エネルギー・資源, 8-5, 72~78, 1987
- 19) 鹿野, 池川, 中野, 機論B, 53-496, 3622, 1987
- 20) 山崎, 柳田他, 機論, 283, 昭和63-10
- 21) T. Yokono et al., Proc. 1st International Symposium on Supercomputers for Mech. Engr., 24, 1988-3
- 22) 石塚 勝, 機論B, 52-484, 281, 1988
- 23) K. Fujii et al., Rev. Sci. Instrum. 59-12, 2539~2543, 1988

協賛行事ごあんない

「CO₂と海洋のかかわりに関する

国際ワークショップ」開催について

1. 主 催 財団法人電力中央研究所
2. 組織委員会
名古屋大学教授 半田 暢彦 (委員長)
東京大学教授 石谷 久
山形大学教授 酒井 均
東京大学助教授 高橋 正征
3. 日 時 平成3年12月3日(火)・4日(水)
4. 場 所 (財)電力中央研究所 我孫子研究所
(〒270-11 千葉県我孫子市我孫子1646)
5. プログラム (概要)
①大気と海洋とのCO₂交換
②海洋の生物活動とCO₂
③海底火山活動とCO₂
④海洋への炭素ストックの可能性
6. 参加申込締切
平成3年11月20日(水)
7. 使用言語 英語

■ 問い合わせ・連絡先

〒270-11 千葉県我孫子市我孫子1646 財団法人電力中央研究所 我孫子研究所
大隅 多加志 または 坂口 勇, 丸山 康樹
TEL : 0471-82-1181 FAX 0471-83-2966