

# 製造技術のロードマップ(案)

研究開発の視点から

NEDO技術参与 大山尚武

## 1. マイクロ化

	1990 2000 2010 2020				現在の産業規模	産業としての伸び	日本の競争力	関連分野
	1990	2000	2010	2020				
(1) ナノ機能広域発現技術 ナノ加工装置 機能付加加工 フォトン加工 ナノ形状ナノ機能計測	プロジェクト 先端促進	フォトン	ナノマニュファクチャリング ナノ加工マザーマシン 機能付加加工 加工技術と組立技術の融合 ナノスケール状態計測・分析		小 (半導体製造装置の一部、原子レベルの測定装置)	大 (エレクトロニクス、バイオ、環境等種々の分野に適用可能。)	大	ナノテクノロジー
(2) マイクロナノマシン技術 高集積機械 MEMS 化学との融合	技術力強化 先端促進	マイクロマシン DNAチップ マイクロ流体システム	マイクロリアクター パワーMEMS マイクロサテライト	ナノマシン	小 (センサ、アクチュエータ、光スイッチ等)	中	中	ナノテクノロジー
(3) マイクロファクトリー技術 個別ニーズ対応生産 ビジネスモデルの革新 修理部品のオンサイト作製	知的資産、 (技術力強化) 先端促進	マイクロ旋盤 マイクロプレス マイクロ化学工場 ポータブルマイクロファクトリ マイクロファクトリモデル実験			小 (現在まで無し)	中 (生産体系をオンサイト、分散型に変換できる可能性大)	大	環境
	<b>研究開発の段階</b> 知的資産：知的資産の創造、技術課題の抽出 プロジェクト：産学官の叡智を結集したプロジェクト 技術力強化：ニーズに直接対応した産業技術力強化のための支援 <b>研究開発の目的</b> 先端促進：先端技術の開発 基盤強化：基礎基盤の高度化							

## 2. 自律化

		1990	2000	2010	2020	現在の産業規模	産業としての伸び	日本の競争力	関連分野
(1) 人間と生活に適合する製造技術 人間協調共存型ロボット 人間代替 メンタルコミットロボット 遠隔操作ロボット 福祉機器、住宅空間の創造 バリアフリー	プロジェクト (技術力強化) 先端促進		ヒューマノイドロボット		工作ロボット   メンタルコミットメントロボット ペットロボット 二足歩行ロボット I T S 組み込み自動車   極限作業ロボット (宇宙、超高温)	中 (産業用)	大 (アミューズメント分野、家庭内医療福祉、極限環境作業への適用大)	大~中	情報 ライフサイエンス
(2) ITとMTの融合 人間の創造性を最大限発揮する設計支援システム 経営工学との融合 人材の育成 技能の技術化 エンジニアリングデータベース 仮想現実感 プロダクトイノベーション ビジネスモデルの構築	プロジェクト (知的資産) 基盤強化		FMS	デジタルマイスタープロジェクト   ナレッジネットワーク   切削研削データベース   技能のモデル化		大	中 (ナレッジネットワークとしてネットワーク上で利用可能)	大	情報
(3) 生体機能模倣技術 人工臓器、人工骨、人工筋肉 DNA利用製造技術 自己組織化製造技術 自律分散型製造技術 ポストゲノム対応バイオプロセス	知的資産 (技術力強化) 先端促進			ティッシュエンジニアリング 植物利用生産技術	バイオミメティック加工 自己組織化製造技術   ポストゲノム対応バイオプロセス	小	大	小	ライフサイエンス

### 3. 環境調和化

		1990	2000	2010	2020	現在の産業規模	産業としての伸び	日本の競争力	関連分野
(1) 循環型社会構築技術 サステイナブルデベロップメント LCA、 インバースマニュファクチャリング マテリアルリサイクル	知的資産 基盤強化			3R(リサイクル、リユース、リデュース) 分離解体、分別技術 有害物質極小化 有害物質除去技術 廃棄物改質技術		小	大 (社会的要請により急激に進展する可能性大)	中	環境
(2) 高度安全性・信頼性 保全・メンテナンス 快適 ITS 材料との融合 知的基盤の整備 高信頼性トライボロジ	知的資産 基盤強化			スマートストラクチャ 構造制御技術 構造安全性 標準化 危険状態の発生確率低減技術 事故発生時の危害低減技術 危険状態の検知技術 危険の顕在化設計技術		大	小～中 (社会的要請により急激に進展する可能性あり)	大	環境
(3) 資源・エネルギー有効利用 エミッションフリー 超高温セラミクスガスタービン エコトライボロジ	知的資産 先端促進			ネットシェイプ加工 生産工程の省エネルギー、省資源化。 エネルギーマネジメント技術 製品のエネルギー単価の更なる低減		大	中 (エネルギー有効利用の一層の推進)	大	環境

は、産学官の叡智を結集したプロジェクトで実施中または実施したものの。

[説明資料]

製造技術のロードマップ(案)---研究開発の視点から---

新エネルギー産業技術総合開発機構 技術参与 大山 尚武

製造技術分野のロードマップ(案)についての具体的説明は以下の通りである。

21世紀の製造技術分野における技術研究開発の大きな目標は、持続可能な発展を可能にする「人間・環境調和型製造技術」を実現することである。そのために、マイクロ化、環境調和化、自律化の3つの方向からのアプローチが重要と考えている。この視点は、近年の製造技術の動向を分析し、研究発展の方向性としては、分野横断的に研究機能を集中して、マイクロ化(極限化、微細・精密化、新機能の発現)、自律化(自立化・知能化・協調作業の促進)、コンカレント化(環境調和化、異分野技術との融合化・同時並行化)の基本3方向に製造技術分野を発展させていくことが、人間・環境調和型高度製造技術を実現する上で不可欠との判断に基づいている。

[歴史的分析---研究開発の視点から---]

まず、日本における製造技術開発の歩みを、国立研究所の果たしてきた役割から考えた場合、製造技術の基礎・基盤をより高度化するための技術研究開発と、先端技術を開拓する技術研究開発を、車の両輪として、製造技術の発展に貢献するべく研究開発をリードしていくことが重要と考えられる。

具体的に、63年の歴史を閉じた工業技術院機械技術研究所における製造技術の発展との関わりを概観すると以下ようになる。昭和12年に設立された当時の我が国は、機械工業を中心とする重工業がようやく発展段階に入りかけた時期に当たり、我が国の機械工業が海外依存から脱却して真の独立を図るために、技術の基礎となる研究を行うことが重要な役割であった。機械技術研究所では、機械技術の基盤である工作機械の国産化に貢献するべく、工作機械製造業者の試作した工作機械の構造、運転、精度の各試験・審査を精力的に行い、試験研究で得られた資料や技術を業界に積極的に提供し、製造者と一体になって工作機械の高度化に努力してきた。

終戦後、文化国家として再生するためには、戦前戦時を通して養ってきた機械工業の技術を中心とした工業立国が重要であると考えられ、「東洋のスイス」を旨として、時計、ミシン、写真機などの精密機械工業および軽工業製品が、研究対象として取り上げられた。これらは、表面粗さ測定やレンズ試験装置などで実用化、また、工業標準規格制定の原動力として貢献した。

その後次第に産業も復興し、占領時代が終わりをつげるに至って、自動車工業においても乗用車の生産制限が緩和され、また、機械工業の基幹となる工作機械工業の振興が図られるに至った。官民一致協力のもとに自動車の品質向上を実現するため、自動車業界からの寄附で作られていた東村山分室においては、自動車試験道路の舗装工事が行われ、長年にわたってほとんど毎日各方面で活用され、自動車についての走行性能試験や走行性能の各種計測機器の開発が行われた。工作機械に関しては、昭和31年に開始された工作機械に自動制御を適用する研究が精力的に行われ、数値制御のジグ中ぐり盤や位置決めと輪郭決めを数値制御されたフライス盤などが開発された。この開発は多くの賞を受賞し、メカトロニクス技術を機械工業の基盤である工作機械で実現することにより、我が国NC工作機械の今日の繁栄の基礎を築くことに貢献した。

昭和40年代以降の高度成長期に入ると、産業界の努力のもと、我が国の機械技術は目ざましい発展を遂げ、世界に冠たる技術国家となることが出来た。また同時に、貿易の自由化により国際競争はますます熾烈となり、日本・米国・欧州が各々の特色を活かしながら伯仲する国際競争の時代を迎えている。この間、機械技術研究所は、日本が時代の流れを先導し、日本から新しい機械技術を生み出していくことを目的に、機械技術に関する将来ビジョンを提示するとともに、機械技術における先端領域への挑戦と基盤技術の強化に努め、人間環境調和型高度機械技術の実現を目指してきた。

以上が、日本の機械製造技術の発展の歴史であり、国としての関与の仕方も時代とともに変化していることが理解できるが、常に、製造技術の基礎・基盤をより高度化するための技術研究開発と、先端技術を開拓する技術研究開発を、車の両輪として、製造技術の発展に貢献するべく研究開発をリードすることが、日本の製造技術を発展させる上で重要であると言える。

[製造技術の位置づけ]

産業競争力会議は、2010年をにらんで、バイオテクノロジー、情報通信、機械、化学、エネルギー、医療・福祉、材料、環境等の分野に、技術開発目標を設定する国家産業技術戦略を産学官の英知を結集して策定し、当該戦略を科学技術基本計画に反映させるべく、平成11年に国家産業技術戦略を取りまとめた。ここにおいて、4つの大目標として、

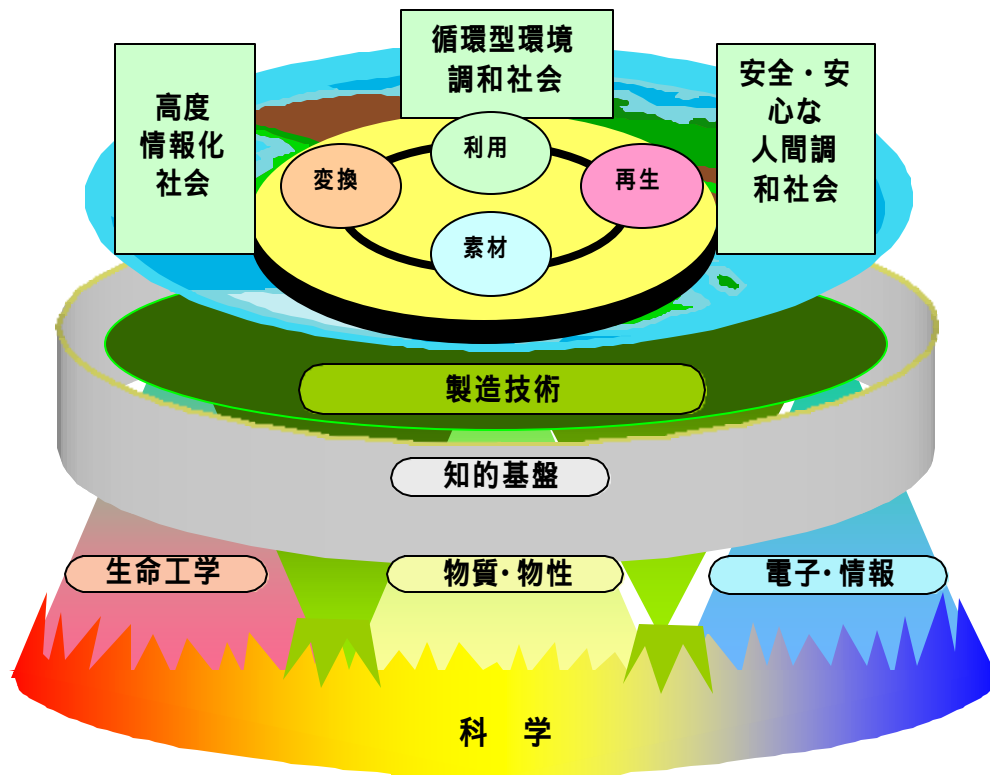


図1 産業技術における製造技術分野の位置づけ

(1) 高齢社会における安心・安全で質の高い生活の実現 (2) 経済社会新生の基盤となる高度情報通信社会の実現 (3) 環境と調和した経済社会システムの構築 (4) エネルギー・資源と食料の安定供給の確保の実現を目指している。このような観点から産業技術について体系的に考えてみると、図1に示すような製造技術分野の位置づけが考えられる。高度情報化社会、安全・安心で人間に調和した技術を持つ社会、エネルギーや資源も含めて環境と調和した循環型経済社会を実現するために、社会や人間に役立つ製品を作り上げる技術として、人間社会に近いところで、人間社会を支えているのが製造技術分野の特徴であろう。また、製造技術分野は、生命工学、物質工学、電子・情報などの工学分野やそれに関連する科学分野と融合して、新しい技術の人間社会に対する出口を作り上げる技術を広く横断的に形作るという意味で、人間社会との接点に位置付けられると考えることが出来よう。さらに、計量標準やISOで代表される工業標準、エンジニアリングデータベースなどの知的基盤と製造技術分野との関係は、人間社会を支える産業技術の一つである製造技術分野を、知的基盤分野はさらに周囲から支えてくれている状態と考えることが出来る。

#### [ロードマップの説明]

以下に、各キーワード毎の具体的説明を示す。(以下、「分野：技術区分(キーテクノロジー)」は科学技術基本計画における技術区分による。)

A. マイクロ化に関する技術的方向性としては、

#### (1) ナノ機能広域発現を目指す研究開発の推進

具体的には、「マイクロ・ナノレベルでの機能発現のメカニズムの解明と産業技術に資する工学的体系化を図り、それらの統合と情報との融合を図ることにより、新たなマクロ的機械機能や革新的製造システムなどを実現し、新産業創出や既存産業の高度化、自然や人間と調和した循環型社会の実現に資する。」(産業技術戦略III 重点化戦略 p.11より) ナノ機能のメカニズム解明、マイクロ効果の広域発現化技術、加工技術と組立技術の融合、ナノスケール状態計測・分析技術、機能付加加工の実現等の重要な技術課題が存在する。また、レーザー光など種々の量子ビームを活用するナノ加工技術の開発は、対象材料や雰囲気に影響されにくい汎用性のあるナノ加工手段を提供できる可能性があり、エレクトロニクス分野への応用を初めとして、バイオ、環境等のナノテクノロジーの発展にとって必須な基盤的加工技術として貢献しうる。汎用性のあるナノ加工装置の実現は、ナノ・マニファクチャリング技術の中核技術であり、産学官の英知を結集したプロジェクトとして技術の見極めが重要な段階を迎えている。

分野：技術区分(キーテクノロジー)：

材料：共通基盤技術(計算機利用技術(分子設計技術))

製造技術：微細加工(精密研磨技術、プラズマ加工技術、精密部品加工技術)

#### (2) 微小機械要素の組み合わせによる機能の発現を目指すマイクロマシン技術の進展とナノマシンへの挑戦

適用技術開発目標を明確に持つ微小機械要素のアセンブル技術であり、技術の進展により、目標となるアセンブル機械の大きさが小さくなる。アセンブル技術は、適用対象により異なるため、対象機能に合わせた個別のアセンブル技術が必要になるので、目標を明確

化して実用化を促進し、役に立つマイクロマシン技術を一一つ作り上げることが当面の目標となる。細胞の分別・操作、微量の化学薬品の合成、特殊な反応場を提供するマイクロリアクター、分散型エネルギー源としてのパワーMEMS（Micro-Electro-Mechanical System）、コスト低減を目指したマイクロサテライト、医療診断用DNAチップ、ポータブルな環境分析機器などを実現するマイクロ流体機構は広く社会にインパクトを与えるシステムである。マイクロマシン技術の基礎研究が今後飛躍的に進展することにより、構成可能な機械の大きさが十分に小さくなると、小型のアクチュエータとして筋肉の機能を果たしたり、人工臓器等の実現の可能性が生じる。さらに、エネルギーの供給技術が進展すると生体や人工物の内部の高度な検査・修復などが可能となり、医療福祉技術や安全保安技術における極めて大きな発展が期待できる。（ナノマシン技術としての展開）

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

材料：生体材料（人工皮膚・人工臓器）

製造技術：微細加工（マイクロマシン）

### （3）マイクロファクトリーによる高速加工化、高精度化、省資源化、省エネルギー化の追求

従来の機械加工技術をより高速化し、設計・試作期間の短縮を実現するためには、高精度、かつ、高速で広域な機械加工の出来ることが必須である。そのためには、機械の位置制御部分の質量を最大限小さくし、慣性力の影響を減少させた加工機械を製作することが重要である。このような加工機械が実現すると、省資源、省エネルギー、省スペースも実現でき、マイクロファクトリーという概念を提案できる。このためには、全体の質量を低減することによりどこまで高速化し得るのか、新たなメカニズムの活用等により質量の小さい機械の相対位置制御でどこまで高精度化出来るのか、さらに、小さな慣性力でどこまで難加工材を加工できるのかという大きな技術的課題が存在する。

また、循環型製造技術を構築するためには、省エネルギー、省資源という必要最小限の環境負荷で生産を行うことが要求されるばかりでなく、小型ゆえに、スペースの制約が緩く、低コストでシステムの再構築が容易であるという特徴を活かして、製品ニーズに合わせて、短期間でスペース制約要因も少なく、比較的 low コストで製造システムを変更できるマイクロファクトリー技術を確立することが重要である。さらに、量子ビーム加工装置の小型化が実現できれば、量子ビーム加工装置と統合し、環境調和化に対応する微細加工システムを構築できる可能性がある。これらは、個別ニーズ対応生産、修理部品のオンサイト作製などを実現でき、製造技術の体系をオンサイト、分散型に大きく変換し、ビジネスモデルに革新をもたらす可能性を有している。このため、マイクロプレスやマイクロ旋盤として具体的ニーズに対応した製造プロセスに組み込む技術開発とともに、ビジネスモデルの変革の可能性を見極める社会システムまで考慮したマイクロファクトリーモデル実験等が重要な段階である。

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

製造技術：微細加工（超精密計測技術）

B．自律化、情報化に関する技術的方向性としては、

#### （1）人間と生活に適合する製造技術

製造技術分野において人間代替手段としてのロボット技術、宇宙や超高温等の極限環境

下での作業ロボット、人間を心身共にサポートする技術研究開発、身障者や高齢者の生産活動を支援する機器、生活空間の創造などロボット工学の応用と人間協調共存型ロボットシステムの研究開発が重要な段階である。

また、ロボットの概念をより広く検討し、製造プロセスに関与するすべての機器、プロセスをロボット技術と考え、人間と適合する製造技術を体系的に確立し、産学官の英知を結集して、人間および社会、さらに人間生活と適合する製造技術を作り上げることが重要である。

さらに、人間と機械システムとの調和を図る上で、家庭生活の中に動きのある機械が入る場合の人間の心理的相互作用についての体系立てた研究も重要である。そのような研究の成果の一つとして、人間の心を癒すメンタルコミットメントロボットの研究も重要である。また、高齢化社会への対応のための人間協調共存型ロボットシステムの研究開発、人間代替の役割をする極限作業ロボットの研究開発も重要である。

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

情報通信：システム複合（ITS、情報家電・ホームセキュリティシステム）、ヒューマンコミュニケーション（ヒューマン・インタフェース技術）

## （２）高度情報化技術との融合による人間の創造性を最大限発揮する設計支援システムの確立

機械技術と情報科学との融合化は、NC工作機械、メカトロニクスなどの現在までの機械技術の発展を生み出してきたが、今後は、高度熟練技術者の持つ技能をいかに技術として再構築していくかが、最も重要な視点となる。これは、製品を設計するプロセスに於いて、設計者がいかに創造性を発揮できるかに貢献する技術であり、人間の創造性をサポートする大きな手段を提供するものとなる。循環型社会構築の要請から来る要因を、製造、運転、廃棄のプロセスまで考慮しながら、バーチャルリアリティや高速試作手法を駆使して設計し、さらに、種々の技能のメカニズムまで把握した上で、独創的な製品を創造することが重要である。そのためには、種々の計測手段を開発して、製造プロセスの技能を解明し、技術として再構築すること、また、3次元金型等の試作を高速で実現し、設計者の創造性にフィードバックをかける技術の確立等が重要である。

また、設計と同時に生産できるシステム、製造ノウハウを盛り込んだCADシステムの構築、オーダーメイド生産システム等を進めるためには、製造技術に関わる知識のテクノインフラとしての集積・共有・流通によるエンジニアリングデータベースの確立と、これに対応する機械装置の開発が課題である。

さらに、仮想現実感などを活用し、感覚機能を有する自立的製造技術および熟練作業者の技能を共有する製造技術の研究開発が重要である。

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

情報通信：システム複合（バーチャル技術）

製造技術：システム技術（バーチャルリアリティ技術（バーチャルプロトタイプング）、ヒューマンセンタード生産、複数企業共同生産システム（リーン生産システム））

## （３）生体等の機能を模した新しい機械技術の研究

従来の機械の概念に捕らわれず、動物や生物の機能や機構、動作概念を模して、新しい動作原理・機構を有する新しい機械技術の研究が重要である。自律分散機械、人工臓器、



バイオロボティクスの研究課題が重要となるが、さらに、ティッシュエンジニアリングなどの再生医療技術、植物利用生産技術、脳科学、ゲノム科学等生物学の研究成果を取り入れた知能化研究開発など、バイオ研究の最先端成果を反映させる革新的機械・製造技術の創成も重要である。

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

ライフサイエンス：共通・基盤技術（バイオミメティクス）

C．環境調和化に関する技術的方向性としては、

#### （１）循環型社会構築のための製造物解体・再利用・資源化技術

3 R (Reuse, Reduce, Recycle)で代表される循環型社会構築を促進するため、製造物解体技術、再利用技術、資源化技術等を推進することが重要である。3 Rの体系化、分解・解体技術の研究、インバースマニュファクチャリング、エコファクトリーの概念の具現化の促進、ライフサイクルアセスメント解析に基づく再利用・資源化技術の提案等が重要である。また、サステナブルディベロプメントを実現するための循環型製造工程を促進する研究開発課題の抽出が重要なポイントであり、社会システムまで含めた研究開発の促進体制を構築することが重要である。

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

環境：循環型社会システム（製品・プロセスのライフサイクルアセスメント（LCA）、インバースマニュファクチャーリング）

材料：エネルギー・環境用材料（電池用材料）

製造技術：システム技術（ライフサイクル解析、低エントロピー化指向製造システム）

#### （２）安全に関わる研究開発の強化、機械の信頼性を確保する標準化戦略

製造システムの安全性／信頼性を長期的に保障するために、構造材料・設計・システム化技術、製造プロセス技術、メンテナンス技術等に関わる安全工学研究を体系的、戦略的に実施することが重要である。また、製造システムの信頼性を向上させ、人間と共存できる安全な機械システムとして社会で貢献して行くためには、知的基盤の整備、ISOなどの標準化により、製造システムの信頼性を向上させることが重要である。具体的には、材料技術との融合による機械構造材料からシステムにいたる製造プロセスの安全／高信頼化設計、構造材料としての機械材料の信頼性評価手法の確立と知的構造材料技術の確立（スマートストラクチャー構造制御技術、構造安全性）、製造システム／要素のヘルスマニタリング、交通事故低減のためのITS技術、高信頼性トライボロジー技術、産業機械システムの対震防災技術などを実現することが重要と考えられる。

研究開発にあたっては、製造技術分野のみではなく、広く学問的な関連領域や省庁横断的な連携・協力を実施し、「高齢社会における安全・安心で質の高い生活」の実現に資することが重要である。

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

材料：建築・構造物・輸送関連材料（複合材料等）

製造技術：システム技術（品質管理システム）

社会基盤：その他輸送機器（自動車の衝突安全性向上技術、船舶の設計製造に関する情報技術）

情報通信：信頼性（耐故障システム技術）

### （3）資源・エネルギー有効利用技術

低価格、高付加価値化の追求に加え、エネルギー資源の消費量低減、地球環境負荷を抑える「環境負荷低減」技術の実現が重要になる。製造技術全体で現在使用されているエネルギー量、資源量を体系立てて把握するとともに、有効利用を一層推進することがサステイナブルディベロプメントを実現する上で重要である。投入するエネルギー・資源の極小化、廃棄物の排出汚染物質の極小化を実現する環境調和型の製造技術の実現（エミッションフリー）、ネットシェイプ加工、製造工程の省エネルギー化・省資源化、エネルギーマネジメントを含むエネルギー有効利用システム技術が重要である。

分野：技術区分（キーテクノロジー）：

環境：地球環境（地球温暖化による影響の予測解明）

エネルギー：自然エネルギー利用（太陽光発電、風力発電）、省エネルギー・エネルギー利用技術（エネルギー貯蔵技術、コジェネレーション、廃熱利用技術、ヒートポンプ・冷凍サイクル）