

# 中小企業基盤技術の展望

## 1. 製造業の技術・技能の変化と展望

我が国の製造業は、これまで高い生産性と安定した品質を維持するために、生産プロセスの自動化や高度化を追求してきた。特に70年代以降、コンピュータ技術の発展により生み出されたNC（数値制御）やPLC（プログラマブル・ライン・コントローラ：プログラム入力によりライン工程の変更が可能なシステム）などが登場すると、いち早く生産システムに組み込み、エレクトロニクス製品に代表されるような品質とコスト競争力に優れた多くの工業製品を世界中へ送り出す結果となった。その後、石油危機の後も、省エネルギー化、消費者ニーズの多様化等の新たな経済社会情勢に対応した製造戦略を展開し、高度なメカトロを応用したFMS（フレキシブル生産システム）やジャストインタイムなどのプロセスイノベーション技術を開発することにより、引き続き強い国際競争力を保ってきた。

このような新技術が開発・導入されてきた背景には、図 1-1 で述べたように作業者の技能と技術が相互に作用しあい、それぞれの高度化を促したことが挙げられる。特に我が国の製造現場は、中小企業を中心とした優れた現場作業者の技術・技能や提案力、改善力などのいわゆる「現場力」に支えられてきた。こうした実績の積み上げが、世界をリードする高度な新技術の開発を促す大きな要因であった。

しかし、90年代に入ってグローバル化や情報化の進展にともない、特に情報化への対応の遅れや高コスト構造から、図 1-2 に示すように、米国製造業に比べ、我が国製造業の比較優位が相対的に低下していくこととなった。米国の製造業が復権した大きな要因は、ネットワークに代表される情報通信技術を取り入れたことによる生産性の著しい向上の結果と言われている（図 1-1）。こうした背景から、我が国でも情報技術と融合した製造技術を整備し、新しいものをいち早く作るための製造環境を創出することによって、競争力ある製造業を生み出すことが求められており、以下のような対応の方向が重要である。

## コスト・品質競争から新製品コンセプト力へ - プロダクトイノベーション -

我が国におけうこれまでの国際競争力の強い製品としては、図 -1-3に示すように、ビデオやCDなどのエレクトロニクス製品や半導体など、欧米で開発されたものが大部分である。すなわち、我が国製造業の競争力はこうした製品を、高品質かつ低コストに製造するための「プロセスイノベーション」により成し遂げられてきたと言える。

今後、さらに競争力を維持・強化をするためには、プロセスイノベーションに加え、高付加価値のオリジナル製品を生み出すことが不可欠である。したがって現場においては、製造プロセスの改善や提案力のみならず、製造プロセスを踏まえた上で新しい製品を提案できるコンセプト力（「プロダクトイノベーション」）が求められるようになってきている。

また、ネットワークにより遠隔診断などの新しいサービス形態が生み出されており、こうしたビジネスモデルに対する特許も認められるようになってきている。それに伴って、新製品に対する提案力や創造力に加え、経営・サービスなどに関する知識の重要性も増加してきている。

## 開発・設計・製造部門の連携強化 - ITを活用したコンカレントエンジニアリング -

開発、設計から製造までの企業内情報の共有化は、製品開発のリードタイム短縮、品質向上、コスト低減を図るために重要である。こうした技術情報の交換は、従来、優秀な現場の人材による異種工程間のコミュニケーションによって自然に行われてきており、このようないわば「人間援用型コンカレント（同時並行的）エンジニアリング」が我が国の高い競争力を支える大きな要因の一つでもあった。

今日では、このようなコンカレントなシステムは、ネットワーク技術の活用により、企業内技術情報の共有化や利用を、効率的かつ迅速に行うことを可能にしている。このため、情報のデジタル化によって様々な情報を共有できるように扱うことが重要になってきており、これに応じて現場作業員も、情報技術や情報システムを扱える基礎知識など、新たな技術や技能が求められるようになってきている。

## ニーズへの迅速な対応 - イノベーションのスピード化 -

情報通信技術が急速なスピードで社会に変化を与えつつある今日においては、こうした社会状況やニーズの変化をいち早く捉え、それに対応した戦略を展開し、研究開発から製品化までの時間、あるいは製品化されたものを量産化に移すまで時間などを短縮することが、高い競争力を維持する上で重要である。つまり、「プロセスイノベーション」や「プロダクトイノベーション」のスピード化を図る提案力や創造性が求められるようになっている。

このような動きに対応するために、製品に合わせて柔軟かつ迅速に構造が変化できる生産システムを構築することが重要である。また、それぞれ得意な個別技術をもつ企業同士が、目的とする製品を製作するために、情報ネットワークを介してバーチャルな企業形態を組織することも考えられる。

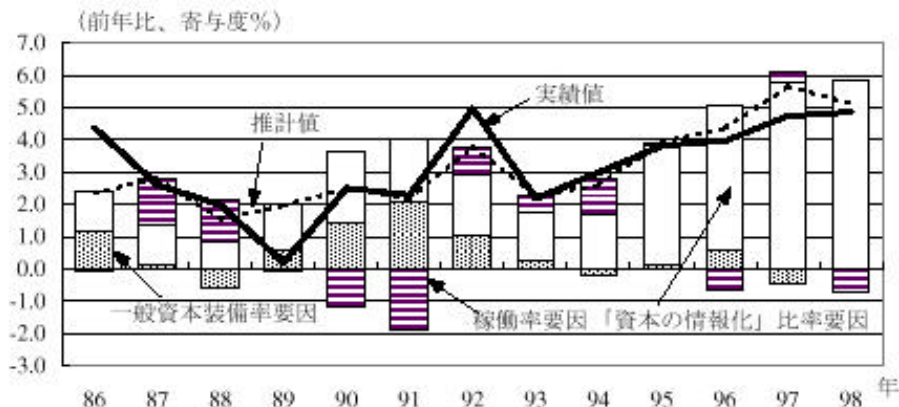
### 新加工技術 - マイクロ化と環境対応 -

今後ますます拡大すると考えられる情報通信や医療・バイオなどの製造業分野では、部品はさらに小型化・精密化していくことが求められている。これに対応した微細加工・組立技術は、低コスト化や省エネルギー・環境負荷低減の観点などからも、新しい付加価値を生み出すとが期待される。また、レーザやイオンビームなどの高エネルギービームを用いた超微細加工技術、原子・分子操作技術の開発による新たな機能性材料や構造の発現など、挑戦的な課題を発見し、新たな事業展開に結びつけることが重要である。

また、現場における生産機械の省エネ化や廃棄物の低減に向けたゼロエミッション化に対する技術開発、さらに製品開発においてはリサイクル性に優れた構造や材料の選定、長寿命化など、製品のライフサイクルを通しての省資源・省エネルギーや環境負荷の低減に資する製品の設計・製造技術は重要である。

このためには、現場の作業者にも先端的技術や環境負荷の予測や低減技術に関する知識や問題解決能力などが求められている。

(図表 1 4) 労働生産性の関数推計 (製造業)



$$(推計式) \ln(\text{労働生産性}) = 0.478 \ln(K_1/L) + 0.329 \ln(K_2/K_1) + 0.433 \ln(\text{設備稼働率})$$

(9.4)                      (32.9)                      (9.8)

$K_1$ : 一般設備ストック (情報化関連ストックを除いた設備ストック)、 $K_2$ : 情報化関連ストック、 $L$ : 労働投入量

AdjR<sup>2</sup>=0.996、D.W=1.72、推計期間: 80~98年、( )内はt値。

(日銀調査月報、2000年2月より)

図 - 1 - 1 米国における労働生産性向上へのIT投資の貢献度

米国優位あるいは同等とする評価が全般に多く、特に情報通信、バイオテクノロジー等の将来の発展可能性が見込まれる産業分野では米国の優位が著しいとの評価。

技術分野	日本優位		同等	米国優位		
	相当	少々		少々	相当	
日本側からの評価	エネルギー			●		
	環境			●		
	電子デバイス			●		
	通信機器システム				●	
	情報機器システム			●		
	ソフトウェア・システム				●	
	情報家電	●				
	バイオテクノロジー				●	
	医療技術				●	
	製造技術		●			
	新素材			●		
	電子・光学材料		●			
	交通・建築・インフラ			●		
	技術経営・技術人材等				●	
米国側からの評価	エネルギー	エネルギー効率 材料の貯蔵・配給・送電等 新発電			○○○	
	環境	環境監視・評価 汚染制御 環境改善・汚染除去		○	△△	
	情報通信	通信製品 通信 コンピュータ・システム 情報管理 知的最適化システム センサー ソフトウェア・作成ツール		△		△△△
	生物システム	バイオテクノロジー 医療技術 農業・食品技術 人間システム			○△△	△
	製造技術	個別製造技術 連続材料加工 マイクロ・ナノ組立・工作技術		△○	○	
	材料	材料 構造			△	△
	輸送技術	航空力学 航空電子・制御技術 推進・駆動技術 統合システム 人間とのインターフェイス			△	△△△

注1) 90年から94年の間の日本の技術力のトレンド >技術格差が拡大 ○不変 <技術格差が縮小  
注2) 日本は経営者へのアンケート(1999年)。米国は産学官からなる委員会での評価(1995年)。

図一 1-2 日米の技術レベルの比較

米国の研究者が行ったアンケート調査では、画期的製品38品目のうち、我が国で発明されたものは全く存在せず、新商品化されたものでさえ2品目とされている。これは米国はプロダクト・イノベーション型であるが、我が国はプロセス・イノベーション型の構造をしていることを示している。

### 発明、新製品化、商品化の数（全38品目中）

	米国	欧州	日本
発明	29	11	0
新製品化	30	6	2
商品化	17	3	24

注) 上記数は複数国・地域で発明等がなされたものがあるため必ずしも合計は38にはならない。  
また、発明・新製品化・商品化の定義はアンケート回答者の判断による。

### 調査対象品目（38品目）

先端複合材	デジタル時計	マイクロプロセッサー	AV機器
電気自動車用バッテリー	メモリ半導体DRAM	軍用レーダー	コピー機器
アンチスキッドブレーキ	医薬品	ノートブックコンピュータ	デスクトップコンピュータ
自動焦点カメラ	ファクシミリ	数値制御工作機	半導体検査装置
自動車	光ファイバ	ロケット推進技術	ジェットエンジン
バイオテクノロジー	液晶ディスプレイ	ロボット	医療用画像診断装置
民間ジェット機	ファジイロジック 応用技術	半導体レーザー	TQM (TQC)
通信機器	卓上計算機	ソフトウェア	ビデオレコーダー
CDプレーヤー	高温超伝導体	スーパーコンピュータ	
CAD	半導体製造装置	テレビ受像器	

出所：米国商務省（DOC）

出典：イノベーション研究会中間報告 平成10年6月 通商産業省

## 2. ものづくりとITの融合

### (1)ものづくりにおける情報技術（IT）の重要性

設計から製造、検査までに至るプロセスにおいて、現場作業者の技能やノウハウに依存していた部分を可能な限り客観化・マニュアル化するとともに、ITの活用により、制御・工程管理等をデジタル化するための技術開発が重要である。人間のもっている技能やノウハウを機械によって代替することは機械の知能化につながり、より環境変化に対応できる柔軟な機能をもった製造システムが実現できる。また、作業者の創造性を支援する情報を提供できるインタフェースをもった情報データベースシステムの構築は、新製品や新技術の開発を促すことにもつながっていくと考えられる。

また、工業大学や工業高校などにおける次世代の製造業を担う若者は、情報技術を用いた最新の製造技術に強い関心を寄せており、現場作業に高度な情報技術を取り入れていくことは、製造現場を敬遠しがちな若年層にものづくりへの関心を呼び起こさせる効果も期待される。

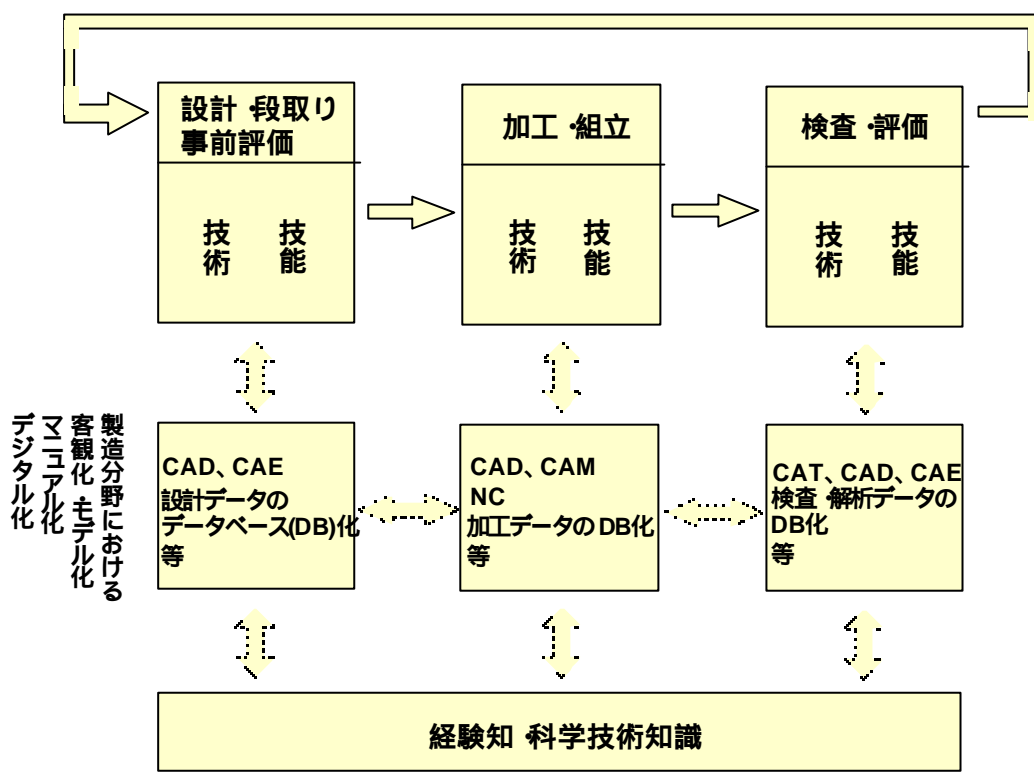
ものづくり力を向上させるためには、それを構成する4つの要素をそれぞれ伸ばしていくことが必要である。 - 1 で述べたように、各要素は技術部分と技能部分によって構成され、時代の進展と共に技能の一部は技術で代替され、それに伴って技能もより高度なものが加わることにより、各要素全体が拡張されてきた。したがって各要素を拡張するには、そのような技術・技能の発展メカニズムを何らかの形で刺激あるいは助長することが重要である。今日においては、そのための最も有力な手段の一つがITの活用である。

設計・段取りの要素を例にとると、例えば、機械加工において、変形の少ない固定治具の位置やびびり（共振）を起こさない最大能率加工条件などの決定は、熟練作業者の経験と勘に頼る部分が多い。しかし、その物理的モデルが解明され、有限要素法などを利用したCAE技術で材料に加わる応力現象等が分析可能になれば、これまで技能に依存していたかなりの部分が技術で代替できることになる。

加工・組立や検査(検知)、評価の各軸の要素についても同様であり、たとえばITによって技術化されるものについては、柔軟な生産が可能な加工システム、五感代替型センサ、知識ベースシステムなどが考えられる。また技能に対する支援については、前述と同様なバーチャルリアリティを使った訓練システム、五感で直接操作できるヒューマンマシンインタフェース技術、知識ネットワーク技術などが挙げられる。

また、設計、製造、検査等のデジタルデータが共有化されることにより、設計から製造、評価に至る一貫したデータ管理が可能となり、ユーザニーズ、アフターサービス、クレーム処理にきめ細かく迅速に対応できることになる（図 - 2 - 1）

そして、その代替された技能に見合う分だけ、作業者は新たな技能の獲得の「ゆとり」が生まれることになるが、ここでITの支援により、その「ゆとり」部分を効果的に活用することが期待できる。この部分はイメージ力や問題解決力などに対応するので、たとえばバーチャルリアリティーを利用した新しい作業などの体験システムが導入されれば、作業者のイメージ力などをさらに高めることが期待できる。このように、技術と技能の各部分がそれぞれ拡張され、それによってプロダクトイノベーションを含む「ものづくり力」全体も拡張されると考えられる。



**製造分野における客観化・マニュアル化・デジタル化**

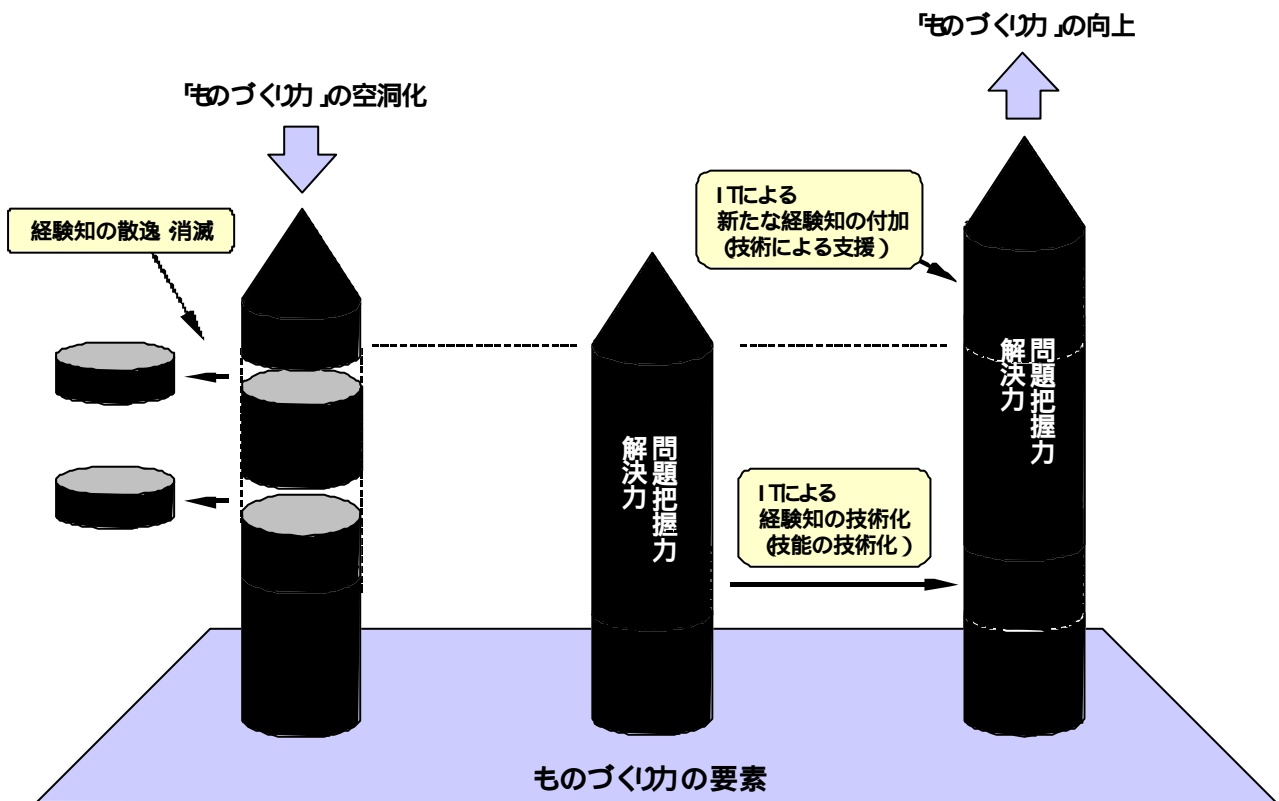
(中小企業庁作成)

図 - 2 - 1 製造分野における客観化・モデル化・マニュアル化・デジタル化

## (2)ものづくり分野のIT化の留意点

ところで、こうしたIT化において注意しなければならないことが2点挙げられる。第一は、高度な技能を習得することのみに重点を置き、それまで不可欠であった経験力・現場力を失ってしまういわゆる技能の空洞化についての懸念である。たとえば、NCにより加工プロセスがブラックボックス化し、加工異常の検知や診断に関する知識が少なくなってしまう問題などがある。このような空洞化に陥ると高度なIT関連の技術や技能が身についても、その後のものづくり力アップにはつながらない恐れがある。(図 - 2 - 2)

第二は、いわゆる情報格差(デジタル・デバイド)の問題である。中小企業のIT化は大企業に比べて遅れているが、中小企業間でもIT化に適切に対応できる企業とできない企業では、将来の発展に大きな差が生まれる可能性が高い。IT化は、中小企業に大きなビジネスチャンスをもたらす一方で、対応に向けての挑戦と新たな負担やリスクを求めることになることへの認識が必要である。



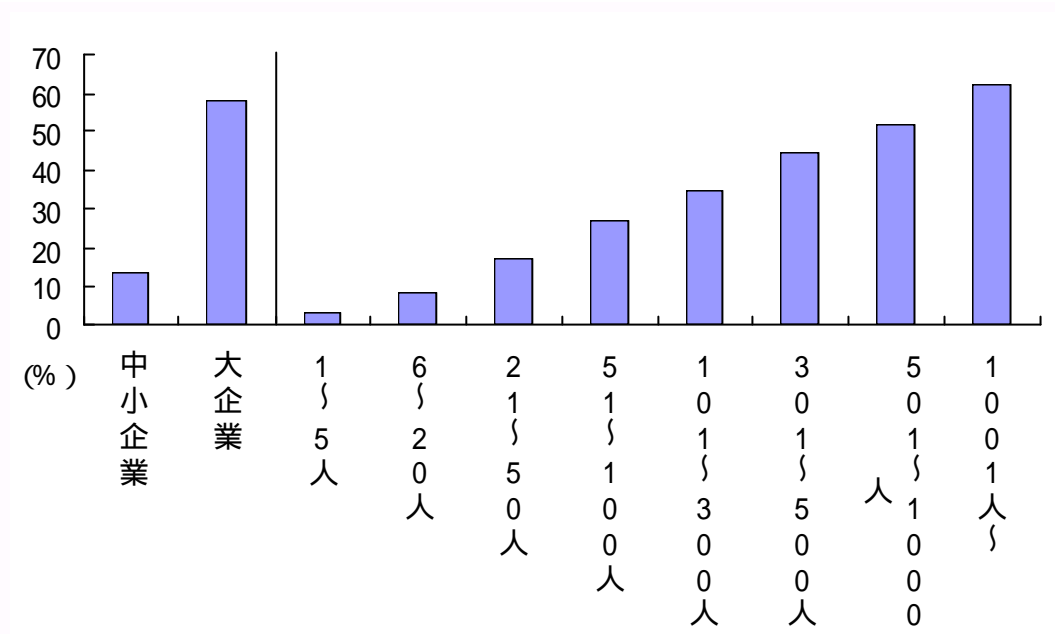
(中小企業庁作成)

図 - 2 - 2 ITによるものづくり力強化の考え方

ものづくりにおいて、ITは技能の代替や支援を行うことにより、ものづくり力をアップさせる「ツール(道具)」であり、ものづくりの機能と融合されて初めてその力が発揮されると言える。これまでのところ、中小製造業におけるITは、販売や物流、生産管理などのいわゆる間接部門を中心に導入されてきた。こうした間接部門では、ITによって省力、迅速かつ柔軟化が達成され生産性が大幅に向上している。ま



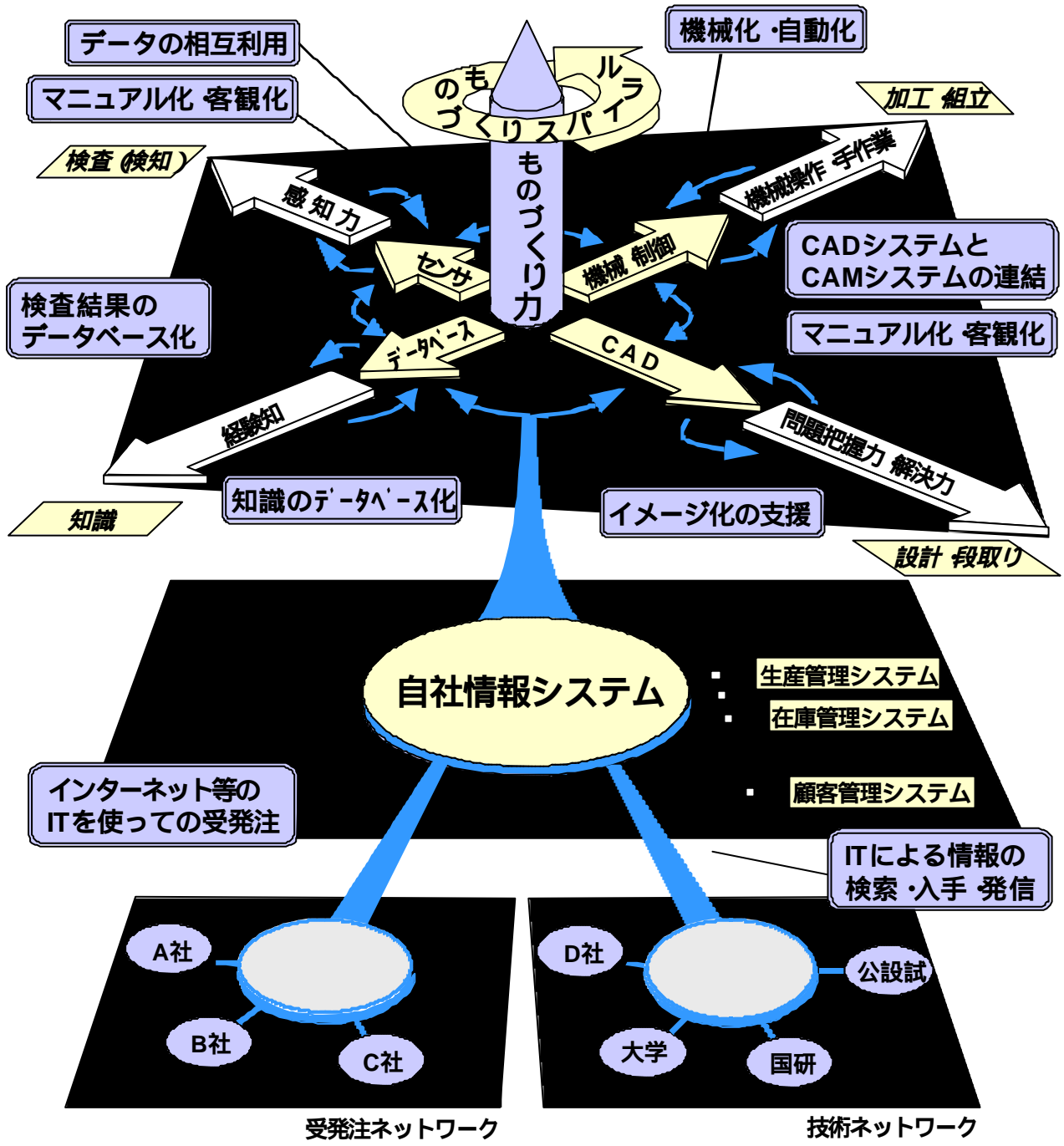
たネットワークビジネスなど新たな業務形態が生まれ、新事業の展開に対する効果も大きい。しかしながら、図 -2-3に示すように、大企業に比べ、多くの中小企業ではまだ設計・製造・評価部門へのITの導入は大きく遅れている。こうした部門のIT化を進めつつ、さらに中小企業の特徴でもある現場力についても、ITを活用して高めていくことが、プロセスイノベーションのみではなくプロダクトイノベーションを喚起し、今後の中小製造業の競争力強化につながると考えられる（図 -2-4）。



資料：通商産業省・中小企業庁「商工業実態基本調査」平成10年

図 - 2 - 3 CAD/CAMの導入企業割合（製造業）

IT (情報技術) の導入により得られるものづくり環境  
 - データ情報の伝達・共有化、距離と時間の短縮 -



(中小企業庁作成)

図 - 2 - 4 ITの導入で得られるものづくり環境