展 望

科学技術はどこまで進むか

Future Trend of Science and Technology

近藤 悟

Satoru KONDO

- 1949年4月生まれ
- 1975年名古屋工業大学大学院修士課程修了後(財)未来工学研究所入所、主任研究員、技術予測等科学技術政策論、科学技術庁、経済企画庁、労働省などの委員会委員
- (財)未来工学研究所(〒102 東京都千代田区北の丸公園2-1)

1. はじめに

科学技術庁では、約5年ごとに継続的に大規模な技術予測調査を実施してきている。科学技術のあらゆる分野を対象に、デルファイ法という予測手法を適用して向う30年間の技術の発展動向を予測しており、日本の多くの研究者、技術者がこの予測調査に参加している。

最新の第4回技術予測調査は、1987年に実施され、現在第5回技術予測調査のプロジェクトが始まったところである(本調査は、科学技術庁より委託を受けて(財)未来工学研究所が実施)。

本稿では、この第4回技術予測調査結果より、技術革新のメガトレンドを展望する中で、主に生産技術がどのような方向に発展していくと期待されているかについて概観する。

2. 技術革新のメガトレンド

これまでも国や企業等において技術予測活動はなされてきたが、今後技術予測を行う場合、従来までとは異なり、“できるだけ長期的に幅広く”技術革新のトレンドをみていくことが特に重要になってきている。

そこで、まず科学技術庁技術予測結果等より、今後技術がどのような形で発展していくかという技術革新のメガトレンドについて概観したい。

技術革新のトレンドの見方についてはいろいろ考えられるが、一つの見方として、表1に示す三つの視点から整理することができる。すなわち、『技術革新のタイプ』、『新技術・新製品開発のね

らい・目的』、『リーディング・テクノロジー』の三つである。

まず、『技術革新のタイプ』の視点からみた場合のポイントとして、「ブレークスルー型」とともに「技術融合型」での発展がこれから特に期待される点が挙げられる。「ブレークスルー型」の技術革新というのは、別の表現を借りれば「意外性に富んだ技術革新」、あるいは「不連続的な技術革新」といえる。最近の代表的な事例として、ノーベル賞を受賞した「高温超伝導材料」が挙げられる。一方、「技術融合型」の技術というのは、文字どおり異なる領域の技術が組合わされ融合されて一つの新たな技術として出てくるもので、具体的にはロボット等に代表される、メカニクスとエレクトロニクスの技術を融合させたメカトロニクス技術が挙げられる。

今回の予測調査によると、2000年までに急速に進む主な技術分野は、情報・エレクトロニクス

表1 技術革新のメガトレンド

I. 技術革新のタイプ
◎ブレークスルー型
◎技術融合型
II. 新技術・新製品開発のねらい・目的
◎高付加価値化
◎ヒューミフレンドリー化
III. リーディング・テクノロジー
◎インテリジェント化(情報・エレクトロニクス技術の質的革新:インテリジェンシーの高い技術の追求)
◎バイオ化(バイオテクノロジーの質的革新:生体機能の模倣利用の追求)

技術の分野で、現在以上に、処理能力の向上、ハード装置の小型化、低コスト化、信頼性の向上等が進むことは確実である。このような情報・エレクトロニクス技術の進展に伴い、あらゆる技術分野で情報・エレクトロニクス技術の組込みが進展していくと予想され、この展開の一つの流れとして技術が、よりシステム化、巨大化していくと予想される。

次に『新技術・新製品開発のねらい・目的』からみたポイントとしては、「高付加価値化」とともに「ヒューマンフレンドリー化」が問われてきている点が挙げられる。内外の技術開発競争の激化に伴い、技術の高度化や極限化等を目指した「高付加価値化」が今後とも進展しようが、その一方で、使う側に立った技術、人間の特性に合った技術、人間に優しい技術といったヒューマンフレンドリーな技術のよりいっそうの進展が期待される。このような人間社会との調和の視点からは、今後は加えて『環境保全性』を重視した技術が求められるようになってくると予想される。

このようなヒューマンフレンドリーな技術開発がよりいっそう要請されてくるに伴い、広い意味でのヒューマン・インタフェース向上のための技術開発の進展が期待される。この関連の新技術や新製品の開発が日本でもいくつかなされてきており、例えば、ロボット技術では、あたかもロボットがいる場所に作業員自身がいるような臨場感を持って操作できる遠隔操作技術の開発が期待されている。また、労働省では高齢者が使いやすい情報電子機器の開発に取り組む方向での検討がされており、通商産業省からも、体の不自由な人やお年寄りの方にも使いやすいパソコン機器開発のガイドライン（案）が発表されている。メーカの方でも、例えば、紙とペンを使う感覚で誰でも簡単に使いこなせる手書き入力パソコンの新製品が発表されており、ヒューマンフレンドリー技術の事例といえる。

最後に、『リーディング・テクノロジー』（技術革新の大きなトレンドを長期的にみた場合、いろいろな分野にわたって技術革新を引張っていく技術をリーディング・テクノロジーと筆者は呼んでいる）として、二つの技術領域が挙げられる。

一つは、「インテリジェント化」技術、すなわ

ち、機械に推論や判断の能力をもたせて人間の知的活動を支援するようなインテリジェンシーの高い技術の進展が予想され、情報・エレクトロニクス技術の質的革新ととらえることができる。人間の知能が必要であると考えられる領域を機械が行うための技術が進展していくということである。

もう一つは「バイオ化」技術、言替えると“生体に学ぶ”技術で、すなわち、新たなブレークスルーのアプローチとして、生体の機能を利用したり改変したりする技術、例えば、新しい医薬品とか植物の品種改良に関する技術、あるいは、生体のもつ高度な機能を模擬利用する技術、例えば、人間の筋肉のような繊維状のロボットのアクチュエータとか、人間の認識や記憶の機能を利用した情報・処理技術等とが今後いろいろな分野で応用されていくと予想され、特に生体のもつ高度な機能を模擬利用する方向は、バイオテクノロジーの質的革新ととらえることができる。この生体機能の模擬利用については、まだ基礎的段階にあり、バイオ技術としては、当分の間は、新しい医薬品とか植物の品種改良とか、生体機能を直接利用する技術の進展が予想される。いずれにしても中長期的にみた場合、この二つの領域の技術がいろいろな分野にインパクトを与えながら発展していくことが期待される。

なお、この二つの領域の技術のおおよそのトレンドとしては、技術の「インテリジェント化」が今後10年から15年にかけて、また技術の「バイオ化」が今後15年後頃から進展が期待されており、今後20年から30年にかけてこの二つの領域の技術の融合化、すなわち、バイオエレクトロニクス技術（例えば、学習や記憶の機構の計算機科学への応用）が進むと予想される。

3. 生産技術のトレンド

科学技術庁の技術予測調査では、17の分野にわたって予測を実施しているが、その中の一つに「生産・労働」分野がある。この「生産・労働」分野での予測状況を中心に、生産技術のトレンドを概観する。

生産技術の予測によると、個別技術として興味深い結果がいくつかみられるが、ここでは、前述

した技術革新のメガトレンドの視点より、生産技術のトレンドとして注目すべき点を、特に三つの点に絞ってみてみる。

なお、「生産・労働」の分野で重要度の高かった上位 10 課題を参考までに表 2 に示しておく。

3・1 新材料製造技術の新展開 まず、技術融合化、技術のインテリジェント化の流れでみると、進展著しい情報・エレクトロニクス技術の適用により、分子・原子レベルでの物質の設計・合成・加工の進展が期待されている。半導体材料、超伝導材料といった今世紀の 2 大革命に匹敵する材料の出現の予測はむずかしいが、新たな材料革命を誘起しうる可能性を秘めた技術が「設計・合成・加工」技術といえる。

その代表的な一つの技術として、「原子・分子レベルでの解明に基づいて制御する技術」が挙げられる。物質を原子・分子レベルで理解して制御することは、新しい物質・材料の開発という面で大きな意味を持っている。具体的には、原子・分子層を一層ごとに成長させる技術や化学結合論的に

可能な範囲で任意の分子や原子を任意に配合して所定の物質を合成する技術等の開発が期待されている。現在のところは、同じ組成の物質を一層ごとに制御して数層にわたって成長させることが可能になった段階で、一層ごとに任意の物質を積層するところまではむずかしく、原子・分子レベルで制御して新材料を創出する入口のところにいると言われている。この技術は、今後半導体材料の開発競争等の中で進展が予想され、予測調査では、2000 年前後に実現すると予測されている。

「設計・合成・加工」技術として注目されるもう一つの技術が、「計算機科学による物質の設計・合成技術」である。必要な機能を持つ材料を開発しようとする場合、偶然の発見という幸運による場合を除いて、多くの材料について試作・評価を繰返ししながら目的の材料に到達していくことになる。このような材料開発の一方で、物質に対する理解の進捗、種々の理論や計算手法の開発、データの蓄積、コンピュータの進歩等により、計算機科学を材料開発に適用しようという手法が検討さ

表 2 重要度「大」の比率が高い上位 10 課題
(「生産・労働」分野)

課 題	重要度「大」の比率(%)	実現時期(年)
22 効率の良いエネルギー貯蔵方法が開発され、電力の供給が安定化され、発電所の負荷変動は極端に少なくなる。	74	2004
10 常温、常圧に近い条件で、各種の物質の合成が可能となるような人工の高性能触媒が開発され、基礎化学品製造分野で実用化される。	70	2004
19 生物の脳と同様なホロニックな情報処理が可能なコンピュータを利用した生産システム、OA システムが開発される。	64	2012
78 潜在危険性評価や災害想定技術が実用化され、コンビナート、航空機、タンカー、大型貯槽の規模や性能と安全性の兼ね合いを定める技術が確立された安全対策が普及する。	64	2004
37 原子炉中の特殊環境下で人間に代わって作業を行う知能ロボットが実用化される。	62	1998
11 二酸化炭素とアンモニアから生物工学的合成によって蛋白質を生成する技術が開発される。	58	2005
9 物性の差で分離する高分子分子膜が実用化される。	57	1996
77 人間の誤動作を起こす生理・心理的なメカニズムが解明され、人間の行動への警報を発するシステムが実現する。	51	2009
12 光合成の機構を応用した化学合成により、糖質を生産する技術が実用化される。	50	2010
28 原子力廃棄物の再資源化率が 30% を超えるようになる。	50	2004

れ始めている。技術予測結果によると、21世紀初頭には、計算機科学による物質の設計・合成関連の技術が実現してくると予測されている。

このような原子・分子レベルでの材料の「設計・合成・加工」技術の進展に伴い、インパクトの大きい材料の発見、目標とする特性を持った材料の効率的開発等が期待される。

基礎研究の水準の国際比較調査を実施したが（科学技術庁委託調査）、その中で日本の水準が比較的高い数少ない分野の一つとして「設計・合成・加工」技術が挙げられ、日本において、今後、新しい材料の開発が進展していくと予想される。

3・2 生体に学ぶ生産技術の展開 今回の予測調査では、技術のインテリジェント化と並んで生体に学ぶ領域の展開に期待が集まった。「生産・労働」分野でも『生体利用・生体模擬』関連の将来技術の課題を20課題取り上げて予測調査を実施したが、この関連課題の重要度が高くなっているのが特記される。バイオテクノロジーを適用した生産技術の出現は、従来までの生産技術のコンセプトを根底から変えてしまう可能性がある。また、省資源・省エネルギー、環境保全の面での貢献も期待される。

「生体のもつホメオスタシス（恒常性維持機構）の工学的自動調節装置への適用」、「生体のエネルギー変換機構の工学的応用」、「人間の筋肉のような繊維状のアクチュエータを利用した小型ロボット」、「常温・常圧での製造技術」、「バイオテクノロジーを適用した廃液処理技術」等が期待されている。その中で、特に「生物の脳と同様なホロニックな情報処理が可能なコンピュータを利用した生産システム」への期待が高いのが特記される。

生産システムの自動化の方向として、CIM（Computer Integrated Manufacturing）からHIM（Human Integrated Manufacturing）への展開が提案されている。将来、人間を組込んだ生産システムの展開の流れ中で、また、生体模擬利用のトレンドの中で、この「ホロニック生産シス

テム」が将来の新しい概念の生産システムを提示しているといえよう。なお、『生体利用・生体模擬』関連の生産技術の実現は2000年以降となっている。

3・3 人間科学を重視した生産技術の展開

今回の予測調査では、『人間科学』に関連する予測課題を充実したが、この関連課題も『生体利用・生体模擬』関連と並んで重要度が高かった。技術革新のメガトレンドの中のヒューマンフレンドリー化の流れの中でとらえることができる。生産技術の進展は加速化してきているが、その傾向の中で、労働者の立場に立ったマンマシンインタフェースの構築、安全・衛生対策の高度化が重要な課題となる。特に、人口構造の高齢化に備えて、高齢化が生産技術の革新の中で、その能力を生かして健康で安全な生産活動を行っていただけるための総合的な研究の推進が求められている。

技術セキュリティ対策関連として比較的重要度が高かった課題としては、「人間工学的条件を考慮した技術体系が整備されて利便性、安全性が飛躍的に向上」、「人間の誤動作を起こす生理的・心理的メカニズムを考慮した警報システム」、「潜在危険性評価や災害想定技術による大規模技術システムの安全対策」等がある。これらの課題は、いずれも2000年以降に実現すると予測されている。

なお、高齢者に適合した生産システムの関連課題としては、「高齢者とのインタフェースを考慮した生産工場が多分野で出現」、「高齢者の機能劣化の総合的サポートシステム」、「中高年層のキャリア開発計画訓練システム」等があり、比較的重要度が高い。これらの課題は、2000年前後に実現すると予測されている。

いずれにしても、完全無人化という従来までの概念の効率化指向から、HIMさらにはホロニック生産システムへと展開していく場合、ヒューマンインタフェースに配慮していくことが極めて大切であり、「人間科学」の進展を期待したい。

（原稿受付 1990年10月15日）