

## 12. 「製造」分野の調査結果

### — 目 次 —

12.1. 注目領域の動向	675
12.1.1. 国を挙げた「ものづくり」の強化	675
12.1.2. 技術展望と調査の方向	675
12.1.3. 主な技術予測	676
12.2. 回答状況および回答者の内訳	678
12.3. 予測課題のフレーム	679
12.4. 我が国の重点科学技術分野	682
12.5. 我が国にとっての重要度	682
12.5.1. 重要度の高い課題	682
12.5.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の重要度	683
12.6. 期待される効果	684
12.6.1. 全体的な傾向	684
12.6.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の期待される効果	686
12.7. 実現予測時期	687
12.8. 現在第一線にある国等	688
12.8.1. 全体的な傾向	688
12.8.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の現在第一線にある国等	689
12.9. 我が国において政府がとるべき有効な手段	691
12.9.1. 全体的な傾向	691
12.9.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の政府がとるべき有効な手段	692
12.10. 我が国において懸念される問題点	693
12.10.1. 全体的な傾向	693
12.10.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の懸念される問題点	694
12.11. 第6回調査との比較(前回調査との比較)	695
12.12. 集計結果一覧	696
12.13. 回答者コメント例(課題別)	708
12.14. 未来技術年表	712

## 12. 「製造」分野の調査結果

### 12.1. 注目領域の動向

#### 12.1.1. 国を挙げた「ものづくり」の強化

我が国の製造業は、メカトロ技術など新技術をいち早く取り入れ、これに優秀な現場作業者を融合させることによって諸外国を一步リードする高い競争力を保ってきた。ところがバブル経済崩壊後、グローバル化の進展や少子・高齢化、若者の製造業離れ、アジアを中心とした諸国の急速な工業化の進展など、経済や社会の多様かつ構造的な変化による影響により、製造業は国内産業に占める割合が次第に低下し始めた。しかし、製造業は我が国基幹産業として、新産業の創出、雇用の増大、貿易の振興など我が国経済のあらゆる領域にわたりその発展に寄与するとともに、国民生活の向上に貢献するものであるという認識は変わっていない。

そこで、国を挙げて製造基盤技術の積極的な振興と製造技術を尊重する社会的機運を醸成しようという動きが見られたのが最近の顕著な動きであった。その代表的なものは小淵前総理を中心とした「ものづくり懇談会」である。また「ものづくり基盤技術振興基本法」が1999年6月に施行され、ものづくりは我が国の存続基盤を形成する重要な要素として、その基盤技術と担い手である製造技術者の果たす経済的・社会的役割の重要性が国として認識されたことは、まさに製造技術者・研究者にとっては新技術開発の加速的展開にもつながるチャンスとも言えよう。

こうした、ものづくり強化の動きの中で共通して指摘されている戦略は、IT対応や社会あるいはユーザーニーズに応じた基礎的基盤的技術力の確保、また競争に必要な低コスト化努力を行いつつも、コスト以外で差別化できる革新的技術や製品の開発とより提案型を目指した産業への転換を促進させ、さらにそれを可能とする人材の育成を図ることによって、世界市場をリードする確固たる優位性を確保することを目指すというものである。別の言い方をすれば、従来より我が国が培ってきた優れたプロセスイノベーションはさらに維持、発展させ、より魅力ある高付加価値製品を開発できるプロダクトイノベーションを促進させる企画戦略構築能力とそれを実行する技術開発能力の増進と言えよう。

#### 12.1.2. 技術展望と調査の方向

国のものづくり強化の議論を受けて、経済産業省を始めとして各工業会など様々な団体で具体的な技術開発の議論が進められている。まず製造技術の開発にあたって考えなくてはならないものが、次のような製造業を取り巻く共通の社会要請や環境変化への対応である。

##### (1) IT対応

インターネットとそれを支えるコンピュータに代表される情報通信技術の進展にはめざましいものがあり、製造業でも競争力強化の切り札としてITの導入が叫ばれている。製造業においてITがまず果たした役割は、その時間的・空間的拘束を越えて情報を受発信、共有化できる機能を利用した間接部門における省力化、効率化、省資源化への寄与である。製造プロセスへの導入は間接部門ほど進んでいないが、より開発・製造時間の短縮を実現するツールとして、また遠隔を克服するツールとして、さらに製造現場で重要な技能の教育や伝承ツールとしての期待が求められている。一方、ITのもつもう一つの特長である無限の組み合わせによる情報の受発信機能は、いわゆるネットビジネスと呼ばれる新しいビジネスモデルを登場させている。製造業もこれによって新しいモデルが生み出されることが期待されている。加えて、拡大し続ける製造知識の収集、維持に多大なコストを要する昨今、技能者のもつノウハウなどをデジタル化したデータベースやCAEの開発、またそれらを共有化する基盤システムの実現に対してもITに大きな期待がかけられている。

##### (2) 環境と調和した循環型社会の形成

環境問題は、当初の公害と呼ばれた局所的な問題から温暖化対策などのグローバルな問題、さらに循環型経済社会などへとますます広がりを見せている。製造業の多くは、その製造工程で大きなエネルギー

一を消費し、また製品そのものも使用から廃棄までのライフサイクルを通じて環境に大きな負荷を与える場合も多い。そこで低環境負荷型の製品や製造技術の開発、リサイクル法の開発などが急務である。また、化石燃料に頼らない新エネルギーの開発、導入も早急に求められている。

### (3) 少子高齢化への対応技術

今後ますます少子高齢化が進むことは、製造業にとっても深刻な問題になることが予想されている。若者の製造業離れが叫ばれる昨今、魅力ある職場の将来像を描けない製造業ではますます明日を担う人材の確保が困難になってくる。また、経験や知識の豊富な高齢者の更なる活用を図るだけでなく、障害者にも働ける職場の提供や女性労働者、外国人労働者も含めた人材確保策を講じていくことが求められている。

### (4) 人材の教育・育成

IT化や低環境負荷などの新しいものづくりへ対応は、やはり人のみによって可能である。つまり、そうした人材を育成することが今後ますます重要となろう。特に、プロダクトイノベーションに代表される創造的なものづくりへの転換を可能とするため知的に熟練した人材や、ITと製造技術の融合を可能とするための双方向の知識が豊富な人材、さらに幅広く経営についての知識と感覚を有する人材の育成が求められる。これを実現するためには、産学官が有機的に連携できる体制を制度面からも支援するとともに、ものづくりに対する人の意識改革と処遇の改善等が大切である。

### (5) 技術革新の促進

製造は素材と作るための製造設備、労働としての人、それに作るための方法を記述した情報をインプットし、製品にするための変換工程と考えることができる。そのため、製造技術に大きな変革を及ぼす要素として材料の存在は大きい。特にリサイクルしやすい材料、エネルギー消費の少ないより軽量で加工しやすい材料への転換は、循環型社会の形成のために今後ますます加速することが予想される。どのような材料が必要になってくるかは今後の社会ニーズで決まるであろうが、様々な材料を予測しそれに対応できる製造技術に備えることは、差別化できる大きな道の一つである。一方、ますます高密度・集積化する情報通信機器やマイクロ化する医療福祉機器などに対応できる技術の開発は、今後大きな産業として発展することが予想されている。また、生物に倣った機能の実現、あるいは生物の機能を利用した製造プロセスの開発も新たな差別化や産業を生み出すことが期待されている。

このような社会的・環境的な背景を考慮した技術課題は、企業活動の様々な面でもいろいろな関わり合いをもってくる。製品が工場から出荷されるまでの設計開発・製造においては、「ユーザーの欲する新しいものを早く、安く作る」環境を如何に構築するかがこれからの競争力向上の上で重要である。また、ユーザー需要の動向を的確に把握したマーケティングや世界最適化調達への対応、また製造した製品はそのライフサイクルにわたって最適化を図るために企業外へも目を向けた技術開発が大切である。

以上述べた重要技術要素と製造における企業の活動領域を考えることによって、52の予測課題を抽出、整理した。30年先を考えれば、製造技術も現在とはかなり異なったものになることもあり得るが、当面の技術トレンドで整理する方が日常の問題との比較でより回答しやすいと考えたためである。

## 12.1.3. 主な技術予測

主な技術要素を取り上げて、アンケート調査結果を次に紹介する。

### (1) 環境と調和した循環型社会の形成に向けた製造技術

重要度指数のトップ10として挙げられた課題を眺めてみると、「40 製造者責任が規定され、90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及」、「39 製品の全ライフサイクルで、生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及」、「42 生産システムと資源循環システムが一体となった、ものづくり型製造システムの普及」などを始めとして、環境・エネルギー関連課題が7つも占めている。中でもリサイクルを考えた製造技術が上位を占めており、地球規模問題の解決に取り組む火急的課題としてのリサイクルの重要性が読みとれる。

しかし、我が国の将来の重点科学技術における今後5～10年の間に優先して研究開発を実施すべき分野として、環境系は情報系の次に挙げられており、「重要性はわかるが、まずはIT化によって競争力強化」を期待しているのではないかと想像される。「環境は儲からない」から「環境は儲かる」をより具体化した研究開発課題の提示が、環境技術の早期開発に求められよう。

## (2)IT対応製造技術

重要度指数で見ると限りIT対応製造技術課題はトップ10にランクされたものはないが、「21 デジタル化と産業用ロボットで、製造業の労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革」や「51 アウトソーシングサービス企業群が発展し、“バーチャルエンタープライズ”が主流化」、「15 製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システムの普及」などは高い重要度にランクされている。大企業を中心に、いわゆるCAE(Computer-Aided Engineering)を中心としたデジタルファクトリー技術は現在開発が活発に進められており、回答者はむしろ新しいビジネスや製造モデルの登場を期待しているのではないだろうか。IT革命が巷をにぎわしている昨今、他の課題と比べてIT関連課題の実現時期は、早めに予想されている点に特徴がある。

## (3)ナノテクノロジー製造技術

「02 分子・原子レベルの物質製造制御技術による材料プロセスの実用化」や「14 超小型のウェアラブル機器を実現する数 $\mu$ mレベルの実装技術の実用化」、「06 ビーム技術等の高度化でオンゲストロームオーダーの超精密プロセス技術が実用化」は高い重要度にランクされている。このようにマイクロ化・ナノ化を目指した加工、組立技術は、我が国の得意とするプロセス技術をさらに極限化することによって差別化を図り、製品の高付加価値化と新規産業創出に期待する結果が現れたものと考えられる。そのため、社会・経済発展への寄与で割合が高く、また実現時期も他のテーマと比べて早いものが多い。一方、情報系技術は、我が国の重点科学技術分野における今後5～10年に最も優先すべき研究開発分野と回答されたが、10年以降では、生命系技術を挙げた割合が最も多かった。情報、環境の次は生命関連技術が製造技術に変革を及ぼすと多くの回答者が予想している。

( 森和男 )

## 12.2. 回答状況および回答者の内訳

「製造」分野の回収率は以下のような結果になった。R2の全分野の回収率は82%であり、本分野の回収率は、これを若干上回る結果となっている。回収人数で見た場合、16分野中11番目という結果であった。

表 12.2-1 「製造」分野のアンケート回収状況

回収状況					
R1発送	R1回収	R1回収率	R2発送	R2回収	R2回収率
212 人	198 人	93%	198 人	167 人	84%

R2回答者内訳については以下のようになっている。回答者の属性を見ると、全体の女性回答者の割合は3%であるが、本分野はそれを下回る0.6%となっている。年代では50代が最も多く52%を占める。職業別に見ると会社員の比率が高く、半数以上を占め、全体の比率より24%程度高い。職種は全体の傾向と比べると、研究開発従事者の割合が若干小さい。

表 12.2-2 「製造」分野のアンケート回答者の内訳

性別	男	164 人	職業	会社員	92 人	専門度の平均	大	15.0 %
	女	1 人		大学関係	58 人		中	26.3 %
	無記入	2 人		公務員	4 人		小	58.6 %
年代	20 代	1 人	職種	団体職員	6 人			
	30 代	7 人		その他	7 人			
	40 代	38 人		無記入	なし			
	50 代	86 人	研究開発従事	125 人				
	60 代	31 人	上記以外	42 人				
	70 代以上	4 人	無記入	なし				
	無記入	なし	合計	167 人				

(注)・専門度の平均:各課題の専門度に関する3つの選択肢(大、中、小)の回答割合の合計を課題数で割った値を示す。

### 12.3. 予測課題のフレーム

予測課題を検討するにあたって、その前提として、各分野の技術の体系をあらわすフレームの検討を行った。ここでいうフレームとは、横軸に領域、縦軸に目的をとったマトリックスであらわすものである。現時点での技術の将来性や重要度の観点から分野全体の技術のイメージを固めることをねらいとするとともに、予測課題の見直しのための作業フレームとしてもこれを利用する。

## 予測課題のフレーム「製造」分野

領域 関わり	製造とプロセス	
	共通基盤 [技術革新]	開発・製造・設計[コンカレント・エンジニアリング]
要素技術	材料	01 鋳型を用いずに、金属溶湯を任意の形に固めることができる技術が開発される。 02 分子・原子レベルでの物質製造制御技術により、材料をカスタマイズできるプロセスが実用化される。 03 特性が外部環境に対して適応する知能材料により、機械の性能が自立的に向上する技術が開発される。
	情報	05 オングストロームのオーダーまでの長さ、変位、表面粗さの測定やフェムト秒オーダーまでの計測が可能になる。 06 ビーム技術(イオン、電子、レーザーなど)、装置の制御技術の高度化およびセンサの高度化によりオングストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)が実用化される。 07 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャルマニュファクチャリングシステムが普及する。 08 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄の各プロセスにおいて技術者の創造性や発想を支援するシステムが実用化される。 09 人間の判断過程や、技能・ノウハウ・熟練度を明示化して、他の者による再利用や学習を可能とするブレインサポートシステムが開発される。 10 製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)が確立し、人間-機械-情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え、意図も含めて正確に伝わるインタフェース技術が開発される。 11 ミクロ技術をベースにした新しい法則・効果・現象が人工物設計論や製造工程設計論に大きな変革をもたらす。 12 各種マシン・装置がネットワーク化された巨大システムにおいて、その構造がシステム内部状態や環境状態で変化することにより、柔軟性、安全性、保守性に優れた自律適応システムが普及する。 13 人間の感覚(五感、ストレス、快適性など)を計測する技術が確立され、これに基づいて設計・製造される商品が普及する。 14 オプトエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、マイクロマシン等が複合化された、超小型のウェアラブル機器を実現する数μmレベルの実装技術が実用化される。 15 3次元のデジタルモデルでイメージプロトタイプを複製し、製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システムが普及する。 16 製造された工業製品のひとつひとつにその履歴(製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者など)を識別できるICチップを埋め込む、工業製品の生涯追跡システムが実用化される。 17 1オングストロームの分解能で周波数帯域100kHz以上の変位測定ができる技術が製造プロセスにおいて実用化される。 18 LSI製造のような、高度に複雑・精密な製造プロセスにおいて、化学反応のin-situモニタリングと、制御系へのフィードバックにより、所定の特性を制御し、後の検査が不要となる製造技術が普及する。 19 0.01ミクロンルール LSI製造のための分解能1ナノメートルの半導体微細加工・計測技術が開発される。
	エネルギー	24 非化石エネルギー(風力、地熱、太陽光・熱、廃熱)の利用が製造部門のあらゆる方面に普及する。 25 コージェネレーションシステム(燃料電池、マイクロガスタービン)が製造業に普及する。 26 省エネルギー・省スペースを目的とした製造設備のダウンサイジング化(現在の1/2~1/4)が広く実現する。
	加工・組立	30 複雑形状のダイヤモンド薄膜形成技術による硬膜が、軸受け等のしゅう動面や特殊工具において普及する。 31 摩擦発生メカニズムの解明により摩擦面の制御技術(電気、接触角、空気抵抗)が開発される。 32 ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。 33 自己潤滑機能をもった機械要素が実用化され、加工機械への潤滑油の供給が不要となる。 34 塑性加工や切削加工において、潤滑液を使用しないドライ加工技術が普及し、80%以上がドライ化される。 35 機械加工(鋳造、焼結、塑性)において加工精度が1μm程度のネットシェイプ加工が普及する。 36 自分で使用するもの(コンピュータ、小型自動車、自転車など)はキット化され、自分で組み立てるガレージマニュファクチャリングが普及する。
	環境	39 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。 40 不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。 41 二酸化炭素の回収技術の開発等が進展し、ゼロエミッションファクトリーが普及する。 42 「設計→生産→使用→廃棄」の生産システムと「回収→分解・選別→再利用→生産」の資源循環システムが一体となった、ものづくり-ものこわし型製造システムが普及する。
	バイオ	44 小型軽量のロボットに利用可能な、人間の筋肉と同等の機能をもつアクチュエータが開発される。 45 生物の機能をベースにした、新しい法則・効果・現象が人工物設計論、製造工程設計論に大きな変革をもたらす。 46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水を大量生産する技術が実用化される。 47 特殊環境(超高压、高pHなど)微生物の機能を利用した製造プロセスが実用化される。
	福祉	48 高齢者や障害者などにも働きやすい製造システムが普及する。

<社会・制度等の周辺課題>

- 50 理工系分野におけるインターンシップの拡充、産学の人材の流動化、研究・教育への企業の協力拡大など大学と企業の関係が密接化し、製造技術のイノベーションにおいて日本の大学がより大きな役割を果たすようになる。
- 51 設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する“バーチャルエンタープライズ”が主流となる。
- 52 製造分野において女性研究者・技術者の割合が50%になる。

製造とプロセス		
使用(運用・保守)[アウトソーシング]	販売・調達・リサイクル [世界最適市場]	安全 [人命尊重]
04 金属材料の表面特性の向上(摩耗量1/100、錆量1/100)により、設備の長寿命化(現在の2~3倍)技術が開発される。		
20 高度で複雑な機能をもつ機器・設備を工場外から保守・点検する技術が普及する。 21 デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす。	22 最適「もの造り」のために各国の製造技術関連情報がインターネット上で利用可能な総合データベースが開発される。 23 多種製品を製造するシステムにおいて、製品ごとの生産量を迅速かつ柔軟に調整することのできるリコンフィギュラブルな製造システムが普及する。	
		29 低負荷電源として利用するため、体を動かすことによって発生するエネルギー(100Wh以下)を貯蔵・利用する技術が普及する。
37 工作機械の熱変形を任意に制御する技術が開発される。		38 作業者の安全を確保するために製造プロセスの危険作業や極限作業においてロボットの利用が普及する。
		43 工業団地、各企業、各製造設備について、連鎖・複合的な事故まで想定し、周辺地域への影響を含め被害想定や潜在危険性評価を行う技術が普及する。
		49 製造現場における人間のリアルタイム動作解析に基づいて、ヒューマンエラーの可能性を警告するシステムが実用化される。

## 12.4. 我が国の重点科学技術分野

製造分野の回答者に対して、日本の将来を考える場合、どの科学技術分野に重点を置く必要があるかを問い、下表のような回答を得た。

表 12.4-1 「製造」分野の回答者が考える将来の重点科学技術分野

今後5～10年に優先して研究開発を実施すべき分野	情報系技術	134人 (80.2%)	2010年頃に研究開発の優先度が高い分野	情報系技術	47人 (28.1%)
	生命系技術	81人 (48.5%)		生命系技術	142人 (85.0%)
	地球・環境系技術	119人 (71.3%)		地球・環境系技術	138人 (82.6%)
	材料系技術	28人 (16.8%)		材料系技術	39人 (23.4%)
	製造・マネジメント系技術	76人 (45.5%)		製造・マネジメント系技術	33人 (19.8%)
	社会基盤系技術	20人 (12.0%)		社会基盤系技術	48人 (28.7%)
	無記入	13人 (7.8%)		無記入	15人 (9.0%)

## 12.5. 我が国にとっての重要度

### 12.5.1. 重要度の高い課題

回答者(専門度「なし」の回答者は除く)の我が国にとっての重要度の回答結果は以下のとおりである。

「製造」分野全体では重要度指数は65.4となっている。我が国にとっての重要度の評価が特にかかった課題(重要度指数の値が高い上位20位までの課題)は、次表に示すとおりである。最も重要度が高く評価されたのはリサイクル技術関連の課題であるが、そのほかに微細加工やエネルギー関連の課題が比較的上位を占めている。

表 12.5-1 重要度指数上位20課題

課 題	重要度指数	実現予測時期(年)
40 不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。	90	2015
39 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。	87	2017
42 「設計→生産→使用→廃棄」の生産システムと「回収→分解・選別→再利用→生産」の資源循環システムが一体となった、ものづくり-ものこわし型製造システムが普及する。	87	2017
41 二酸化炭素の回収技術の開発等が進展し、ゼロエミッションファクトリーが普及する。	86	2021
19 0.01 ミクロンルール LSI 製造のための分解能1ナノメートルの半導体微細加工・計測技術が開発される。	84	2013
24 非化石エネルギー(風力、地熱、太陽光・熱、廃熱)の利用が製造部門のあらゆる方面に普及する。	83	2018
02 分子・原子レベルでの物質製造制御技術により、材料をカスタマイズできるプロセスが実用化される。	81	2017
14 オプトエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、マイクロマシン等が複合化された、超小型のウェアラブル機器を実現する数μmレベルの実装技術が実用化される。	80	2014
25 コージェネレーションシステム(燃料電池、マイクロガスタービン)が製造業に普及する。	80	2013

課 題	重要度指数	実現予測時期(年)
28 電力の大規模な貯蔵(超電導、フライホイール、コンデンサ)により、製造プロセスにおけるエネルギー使用を最適化する技術が実用化される。	79	2019
46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。	79	2020
50 理工系分野におけるインターンシップの拡充、産学の人材の流動化、研究・教育への企業の協力拡大など大学と企業の関係が密接化し、製造技術のイノベーションにおいて日本の大学がより大きな役割を果たすようになる。	78	2012
10 製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)が確立し、人間－機械－情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え、意図も含めて正確に伝わるインタフェース技術が開発される。	78	2017
15 3次元のデジタルモデルでイメージプロトタイプを作製し、製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システムが普及する。	76	2009
21 デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす。	75	2012
06 ビーム技術(イオン、電子、レーザーなど)、装置の制御技術の高度化およびセンサの高度化によりオンストロムオーダの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)が実用化される。	75	2012
48 高齢者や障害者などにも働きやすい製造システムが普及する。	73	2014
18 LSI 製造のような、高度に複雑・精密な製造プロセスにおいて、化学反応の in-situ モニタリングと、制御系へのフィードバックにより、所定の特性を制御し、後の検査が不要となる製造技術が普及する。	73	2014
43 工業団地、各企業、各製造設備について、連鎖・複合的な事故まで想定し、周辺地域への影響を含め被害想定や潜在危険性評価を行う技術が普及する。	73	2016
07 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャルマニュファクチャリングシステムが普及する。	72	2011

### 12.5.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の重要度

領域別でみたとき、各領域の重要度指数の差はあまりない。

関わり別でみると「環境」(84. 5)の重要度指数が非常に高く、「加工・組立」(53. 4)の重要度指数が最も低くなっている。

図 12.5-1 領域別重要度指数

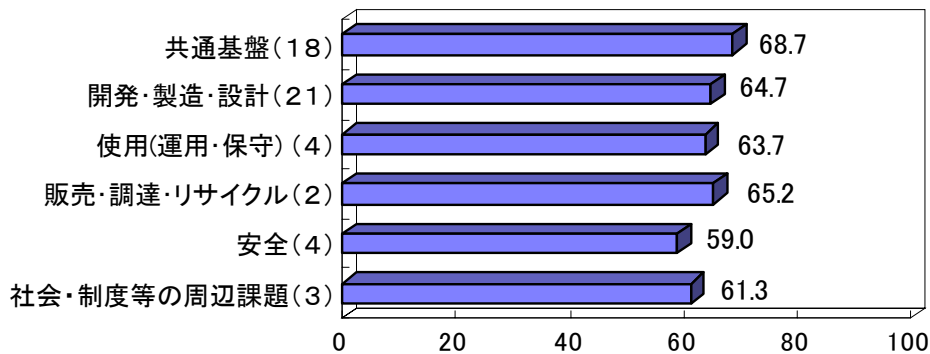
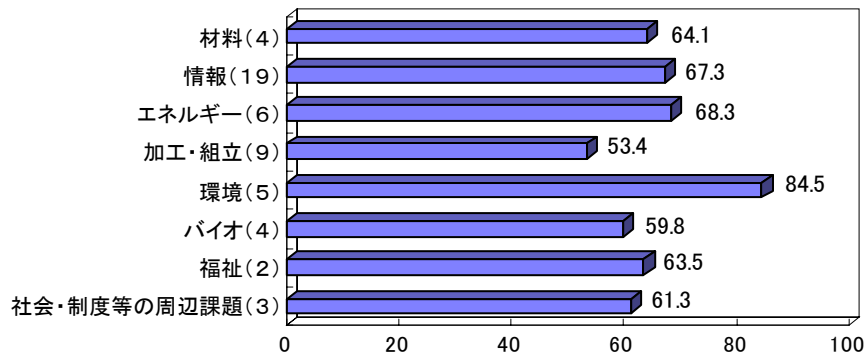


図 12.5-2 関わり別重要度指数



(注)・重要度指数 = (重要度「大」回答者数×100 + 重要度「中」回答者数×50 + 重要度「小」回答者数×25 + 重要度「なし」回答者数×0) ÷ 重要度総回答者数

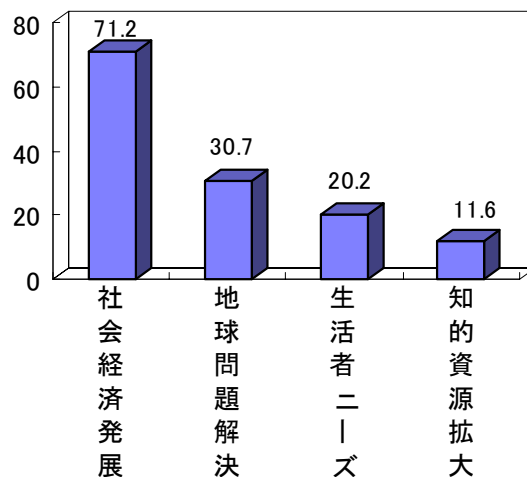
・カッコの中の数字は該当する課題数。

## 12.6. 期待される効果

### 12.6.1. 全体的な傾向

当該課題が実現することにより、期待される効果として「社会・経済発展への寄与」、「地球的規模の諸問題の解決」、「生活者ニーズへの対応」、「人類の知的資源の拡大」の4つの選択肢をあげ、複数回答方式で回答を求めた。回答(複数回答)結果は次に示すとおりである。

図 12.6-1 期待される効果(%)



全体では、「社会・経済発展への寄与」への期待が最も大きくなっており、2番目の「地球的規模の諸問題の解決」とは2倍以上の差がついている。

各効果の回答の比率が高い課題(回答の比率が51%以上で上位10位までの課題)を下表に示す。

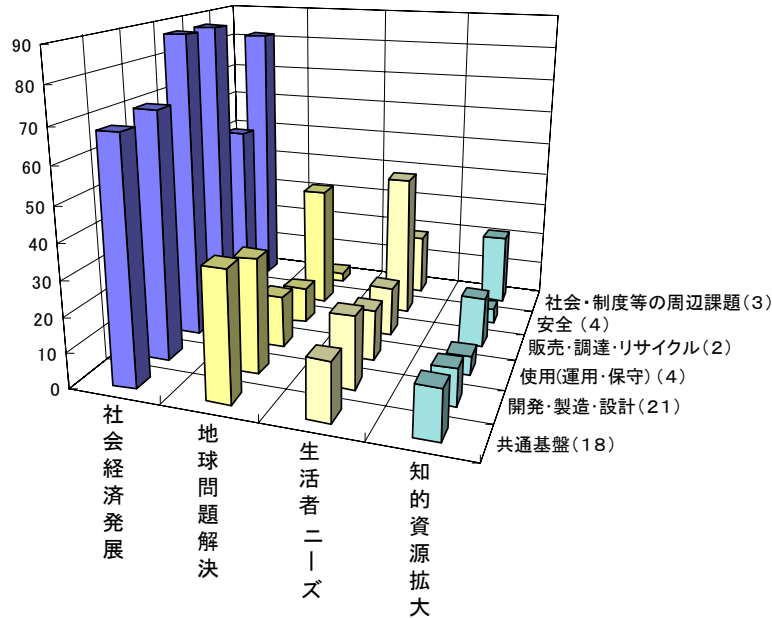
表 12.6-1 期待される効果の回答の比率の高い課題

区分	課題	比率(%)	実現予測時期(年)
社会・経済発展への寄与	19 0.01ミクロンルール LSI 製造のための分解能1ナノメートルの半導体微細加工・計測技術が開発される。	96	2013
	23 多種製品を製造するシステムにおいて、製品ごとの生産量を迅速かつ柔軟に調整することのできるリコンフィギュラブルな製造システムが普及する。	93	2012
	18 LSI 製造のような、高度に複雑・精密な製造プロセスにおいて、化学反応の in-situ モニタリングと、制御系へのフィードバックにより、所定の特性を制御し、後の検査が不要となる製造技術が普及する。	91	2014
	21 デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす。	91	2012
	51 設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する“バーチャルエンタープライズ”が主流となる。	91	2014
	32 ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。	91	2016
	15 3次元のデジタルモデルでイメージプロトタイプを作製し、製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システムが普及する。	90	2009
	37 工作機械の熱変形を任意に制御する技術が開発される。	89	2013
	07 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャルマニュファクチャリングシステムが普及する。	89	2011
	35 機械加工(鋳造、焼結、塑性)において加工精度が1μm程度のネットシェイプ加工が普及する。	89	2016
地球的規模の諸問題の解決	40 不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。	92	2015
	41 二酸化炭素の回収技術の開発等が進展し、ゼロエミッションファクトリーが普及する。	92	2021
	42 「設計→生産→使用→廃棄」の生産システムと「回収→分解・選別→再利用→生産」の資源循環システムが一体となった、ものづくり-ものこわし型製造システムが普及する。	91	2017
	39 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。	89	2017
	24 非化石エネルギー(風力、地熱、太陽光・熱、廃熱)の利用が製造部門のあらゆる方面に普及する。	89	2018
	28 電力の大規模な貯蔵(超電導、フライホイール、コンデンサ)により、製造プロセスにおけるエネルギー使用を最適化する技術が実用化される。	88	2019
	46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。	86	2020
	25 コージェネレーションシステム(燃料電池、マイクロガスタービン)が製造業に普及する。	81	2013
	27 常温、常圧に近い条件で利用可能な人工高性能触媒により、省エネ型製造プロセスが開発される。	77	2019
	34 塑性加工や切削加工において、潤滑液を使用しないドライ加工技術が普及し、80%以上がドライ化される。	71	2016
生活者ニーズへの対応	13 人間の感覚(五感、ストレス、快適性など)を計測する技術が確立され、これに基づいて設計・製造される商品が普及する。	79	2017
	36 自分で使用するもの(コンピュータ、小型自動車、自転車など)はキット化され、自分で組み立てるガレージマニュファクチャリングが普及する。	78	2014
	48 高齢者や障害者などにも働きやすい製造システムが普及する。	76	2014
	44 小型軽量のロボットに利用可能な、人間の筋肉と同等の機能をもつアクチュエータが開発される。	64	2018
	14 オプトエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、マイクロマシン等が複合化された、超小型のウェアラブル機器を実現する数μmレベルの実装技術が実用化される。	62	2014

### 12.6.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の期待される効果

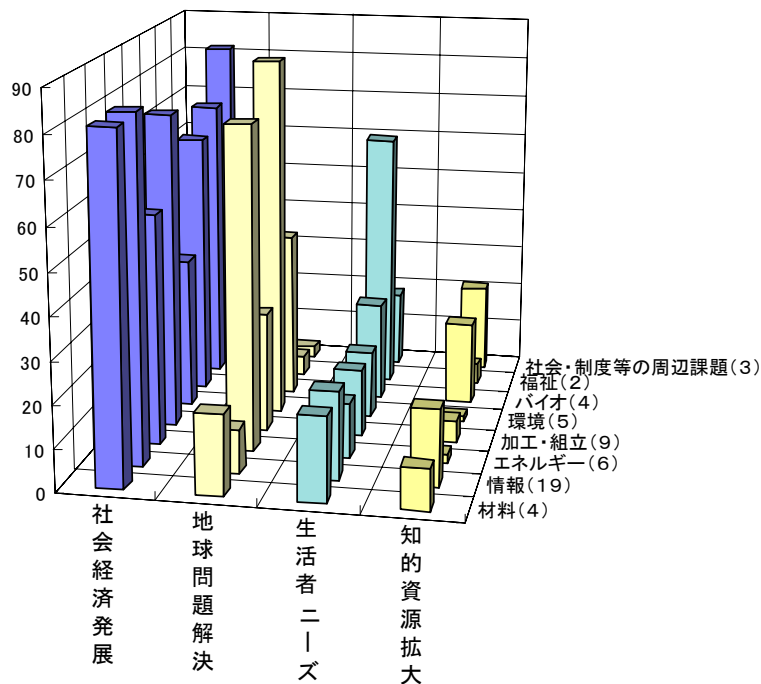
領域別にみると、「安全」以外で「社会・経済発展への寄与」への期待がとくに大きく、また、「安全」では他領域と比較して「生活者ニーズへの対応」が期待されている割合が大きい。

図 12.6-2 領域別期待される効果(%)



関わり別でみた場合には、「環境」、「エネルギー」以外では「社会・経済発展への寄与」が高い回答の割合を占めている。また、「環境」、「エネルギー」の両グループでは「地球的規模の諸問題の解決」への期待が大きい。さらに、「バイオ」でも、「地球的規模の諸問題の解決」が高くなっている。「福祉」では、「生活者ニーズへの対応」が高い。

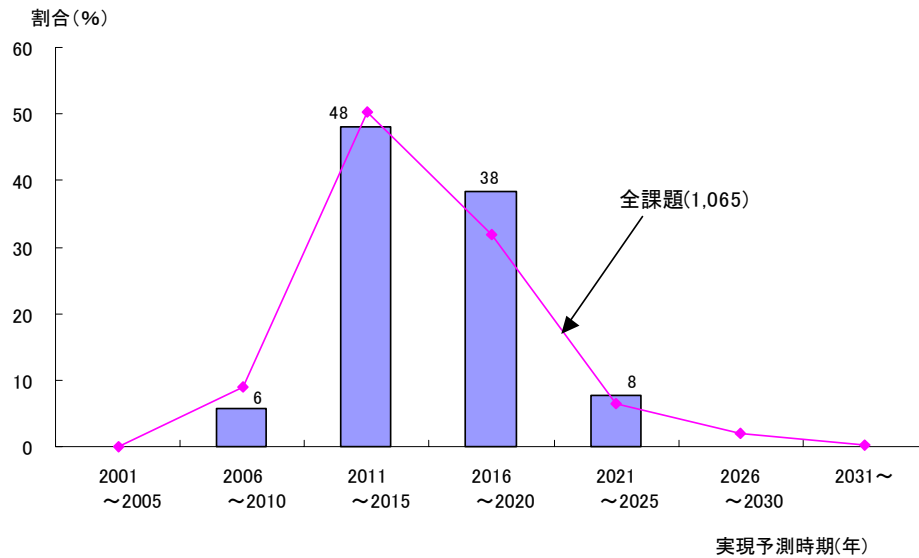
図 12.6-3 関わり別期待される効果(%)



## 12.7. 実現予測時期

実現予測時期の分布は、下図のとおりである。

図 12.7-1 実現予測時期



全課題の実現予測時期の分布と製造分野の実現予測時期の分布を比較すると、製造分野の課題では予測時期の回答の半数が2011年から2015年の間に位置しており、ピークは全課題の傾向と同じであり、その前後の割合もほぼ同じである。

一方、領域別課題数と関わり別課題数はそれぞれ次の表のとおりである。

表 12.7-1 領域別課題の実現予測時期

領域	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-
共通基盤(18)	0	1	10	6	1	0	0
開発・製造・設計(21)	0	1	6	11	3	0	0
使用(運用・保守)(4)	0	0	4	0	0	0	0
販売・調達・リサイクル(2)	0	1	1	0	0	0	0
安全(4)	0	0	2	2	0	0	0
社会・制度等の周辺課題(3)	0	0	2	1	0	0	0

表 12.7-2 関わり別課題の実現予測時期

関わり	01-05	06-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-
材料(4)	0	0	2	1	1	0	0
情報(19)	0	3	12	4	0	0	0
エネルギー(6)	0	0	2	4	0	0	0
加工・組立(9)	0	0	4	5	0	0	0
環境(5)	0	0	1	3	1	0	0
バイオ(4)	0	0	0	2	2	0	0
福祉(2)	0	0	2	0	0	0	0
社会・制度等の周辺課題(3)	0	0	2	1	0	0	0

領域別にみると、「共通基盤」の領域では2011～2015年に実現すると予測された課題が多く、「開発・製造・設計」の領域で2016年～2020年に実現すると予測された課題が多い。

関わり別では、「情報」でのみ2006年～2010年に実現すると予測された課題がある。

さらにここでは、実現予測時期のほかに「実現しない」、「わからない」という選択肢も設けている。それぞれの回答の比率が高かった課題(上位5課題)は以下の表のとおりである。

表 12.7-3 「実現しない」の回答の比率が高かった課題

課 題	「実現しない」の比率(%)	実現予測時期(年)
52 製造分野において女性研究者・技術者の割合が 50%になる。	31	2018
29 低負荷電源として利用するため、体を動かすことによって発生するエネルギー(100Wh 以下)を貯蔵・利用する技術が普及する。	11	2020
36 自分で使用するもの(コンピュータ、小型自動車、自転車など)はキット化され、自分で組み立てるガレージマニユファクチャリングが普及する。	11	2014
01 鋳型を用いずに、金属溶湯を任意の形に固めることができる技術が開発される。	11	2015
51 設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する“バーチャルエンタープライズ”が主流となる。	10	2014

表 12.7-4 「わからない」の回答の比率が高かった課題

課 題	「わからない」の比率(%)	実現予測時期(年)
47 特殊環境(超高压、高 pH など)微生物の機能を利用した製造プロセスが実用化される。	12	2022
01 鋳型を用いずに、金属溶湯を任意の形に固めることができる技術が開発される。	11	2015
46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。	10	2020
17 1 オングストロームの分解能で周波数帯域 100kHz 以上の変位測定ができる技術が製造プロセスにおいて実用化される。	9	2013
32 ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。	9	2016

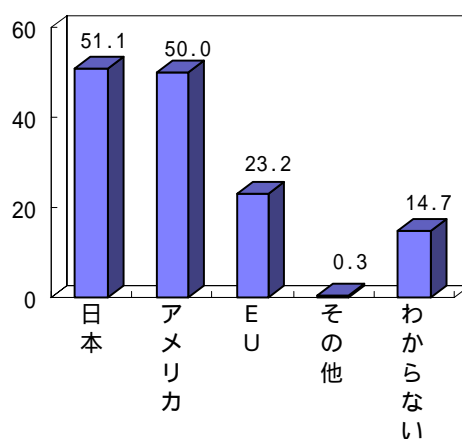
## 12.8. 現在第一線にある国等

### 12.8.1. 全体的な傾向

現在第一線にある国等の回答結果は以下の図のようになっている。

製造の分野全般では、第一線にある国は日本とする回答の割合が51.1%でトップだが、第2位のアメリカは50.0%であり、ほとんど差はない。EUは日米の約半分の23.2%となっている。

図 12.8-1 第一線にある国(%)



現在第一線にある国が「日本」という回答の比率が高かった課題(上位5課題)と低かった課題(下位5課題)は以下の表のようであった。

表 12.8-1 「日本」という回答の比率が高かった課題

課題	「日本」の比率(%)	実現予測時期(年)
26 省エネルギー・省スペースを目的とした製造設備のダウンサイジング化(現在の1/2~1/4)が広く実現する。	90	2013
21 デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす。	88	2012
38 作業者の安全を確保するために製造プロセスの危険作業や極限作業においてロボットの利用が普及する。	85	2013
35 機械加工(鋳造、焼結、塑性)において加工精度が1μm程度のネットシェイプ加工が普及する。	85	2016
30 複雑形状のダイヤモンド薄膜形成技術による硬膜が、軸受け等のしゅう動面や特殊工具において普及する。	81	2013

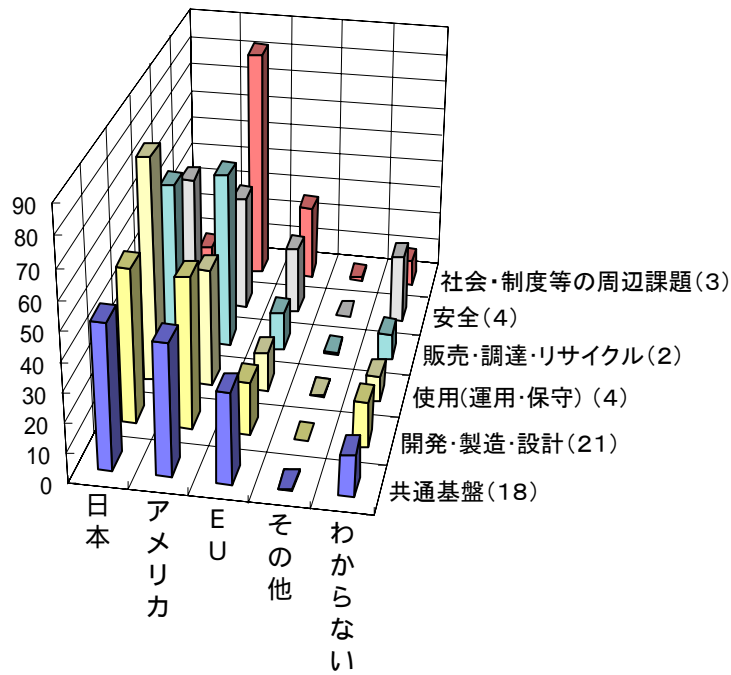
表 12.8-2 「日本」という回答の比率が低かった課題

課題	「日本」の比率(%)	実現予測時期(年)
52 製造分野において女性研究者・技術者の割合が50%になる。	5	2018
50 理工系分野におけるインターンシップの拡充、産学の人材の流動化、研究・教育への企業の協力拡大など大学と企業の関係が密接化し、製造技術のイノベーションにおいて日本の大学がより大きな役割を果たすようになる。	9	2012
51 設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する“バーチャルエンタープライズ”が主流となる。	10	2014
10 製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)が確立し、人間-機械-情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え、意図も含めて正確に伝わるインタフェース技術が開発される。	13	2017
36 自分で使用するもの(コンピュータ、小型自動車、自転車など)はキット化され、自分で組み立てるガレージマニファクチャリングが普及する。	18	2014

### 12.8.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の現在第一線にある国等

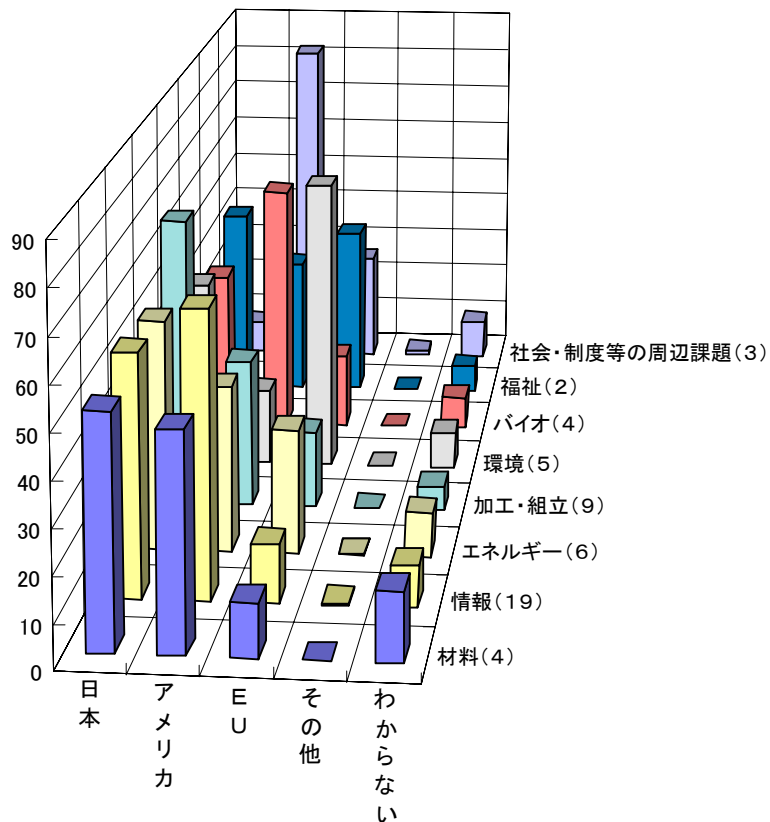
領域別にみると、「使用(運用・保守)」で日本が、「社会・制度等の周辺課題」でアメリカが他を大きくリードする結果となっている。

図 12.8-2 領域別第一線にある国(%)



関わり別にみた場合、「エネルギー」、「加工・組立」で日本が、「環境」でEUが、「バイオ」でアメリカがトップとなっている。

図 12.8-3 関わり別第一線にある国(%)

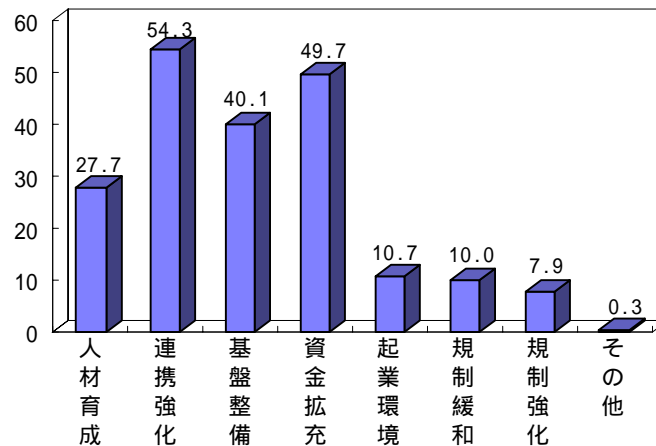


## 12.9. 我が国において政府がとるべき有効な手段

### 12.9.1. 全体的な傾向

我が国において政府がとるべき有効な手段の回答(複数回答可)結果は下図に示すとおりである。全体的には、「産学官・分野間の連携強化」、「研究開発資金の拡充」、「研究開発基盤の整備」、「人材育成と確保」が主要な手段として上位にあげられている。

図 12.9-1 政府がとるべき手段(%)



政府がとるべき有効な手段の回答の比率が高い課題(回答の比率が51%以上で上位5位までの課題)を次の表に示す。

表 12.9-1 政府がとるべき有効な手段の回答の比率が高い課題

区分	課題	比率(%)	実現予測時期(年)
人材育成と確保	52 製造分野において女性研究者・技術者の割合が50%になる。	70	2018
	10 製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)が確立し、人間-機械-情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え、意図も含めて正確に伝わるインタフェース技術が開発される。	52	2017
産学官・分野間の連携強化	50 理工系分野におけるインターンシップの拡充、産学の人材の流動化、研究・教育への企業の協力拡大など大学と企業の関係が密接化し、製造技術のイノベーションにおいて日本の大学がより大きな役割を果たすようになる。	84	2012
	26 省エネルギー・省スペースを目的とした製造設備のダウンサイジング化(現在の1/2~1/4)が広く実現する。	68	2013
	39 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。	67	2017
	12 各種マシン・装置がネットワーク化された巨大システムにおいて、その構造がシステム内部状態や環境状態で変化することにより、柔軟性、安全性、保守性に優れた自律適応システムが普及する。	66	2018
	49 製造現場における人間のリアルタイム動作解析に基づいて、ヒューマンエラーの可能性を警告するシステムが実用化される。	65	2015
研究開発基盤の整備	11 ミクロ技術をベースにした新しい法則・効果・現象が人工物設計論や製造工程設計論に大きな変革をもたらす。	68	2017
	46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。	65	2020
	40 不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。	60	2015

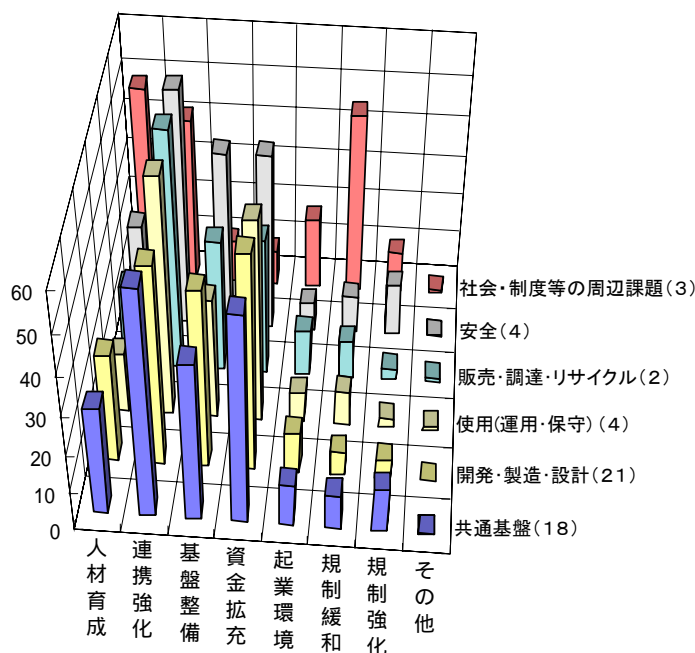
区分	課題	比率(%)	実現予測時期(年)
備 基 研 盤 究 の 開 整 発	19 0.01 ミクロンルール LSI 製造のための分解能1ナノメートルの半導体微細加工・計測技術が開発される。	59	2013
	02 分子・原子レベルでの物質製造制御技術により、材料をカスタマイズできるプロセスが実用化される。	59	2017
研 究 開 発 資 金 の 拡 充	46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水を大量生産する技術が実用化される。	73	2020
	02 分子・原子レベルでの物質製造制御技術により、材料をカスタマイズできるプロセスが実用化される。	68	2017
	44 小型軽量のロボットに利用可能な、人間の筋肉と同等の機能をもつアクチュエータが開発される。	68	2018
	41 二酸化炭素の回収技術の開発等が進展し、ゼロエミッションプラントが普及する。	67	2021
	06 ビーム技術(イオン、電子、レーザーなど)、装置の制御技術の高度化およびセンサーの高度化によりオンゲストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)が実用化される。	66	2012
規 制 緩 和 ・ 廃 止	51 設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する“バーチャルエンタープライズ”が主流となる。	54	2014
規 制 強 化 ・ 新 設	40 不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。	61	2015
	42 「設計→生産→使用→廃棄」の生産システムと「回収→分解・選別→再利用→生産」の資源循環システムが一体となった、ものづくりものこわし型製造システムが普及する。	52	2017

### 12.9.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の政府がとるべき有効な手段

領域別と関わり別の割合(%)は次のとおりである。

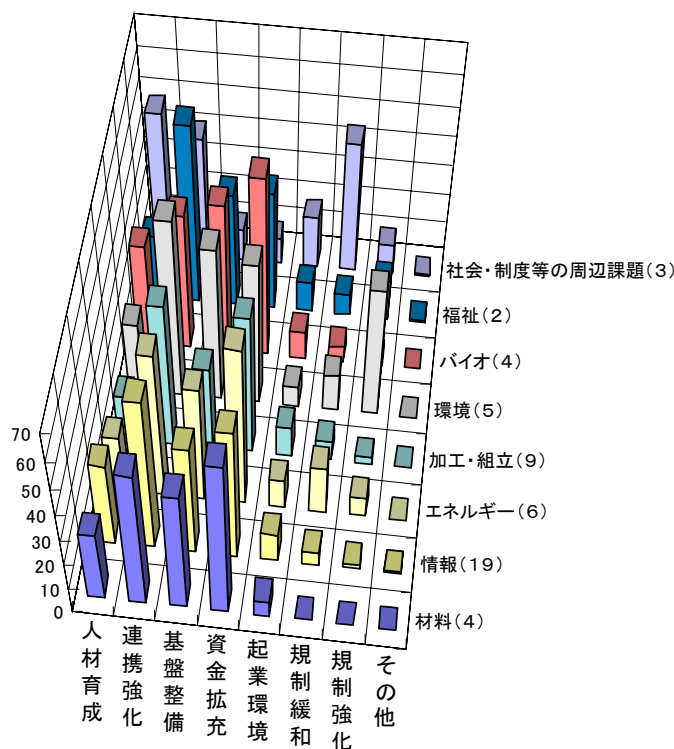
領域別にみると、「社会・制度等の周辺課題」領域で、「関連する規制の緩和・廃止」の割合が他領域と比較して高くなっているほかは全体と同じ傾向になっている。

図 12.9-2 領域別政府がとるべき手段(%)



関わり別でも、「環境」で「関連する規制の強化・新設」を支持する割合が高くなっているほかは全体と同じ傾向となっている。

図 12.9-3 関わり別政府がとるべき手段(%)

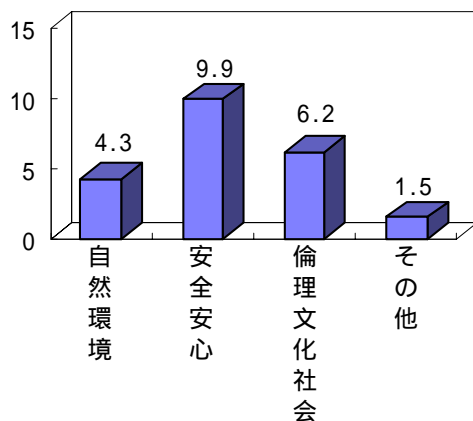


## 12.10. 我が国において懸念される問題点

### 12.10.1. 全体的な傾向

課題の実現に際しての、我が国で懸念される問題点についての回答(複数回答可)結果は以下のようになっている。全体としては「安全・安心へのマイナスの影響」が最も割合が高いが、4つの選択肢全部を足し合わせても、21.9%と回答への反応はあまり高くない(無回答が多い)。

図 12.10-1 懸念される問題点(%)

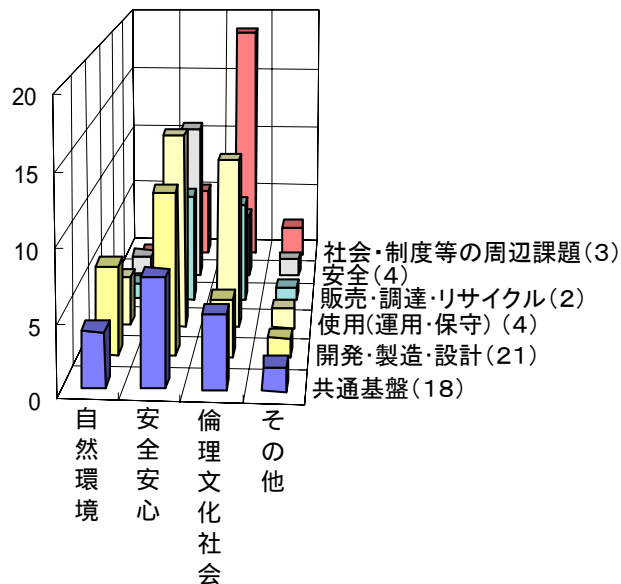


製造分野では、懸念される問題点に関して、51%を越える回答の比率を有する課題はなかった。

### 12.10.2. フレーム毎(領域別、関わり別)の懸念される問題点

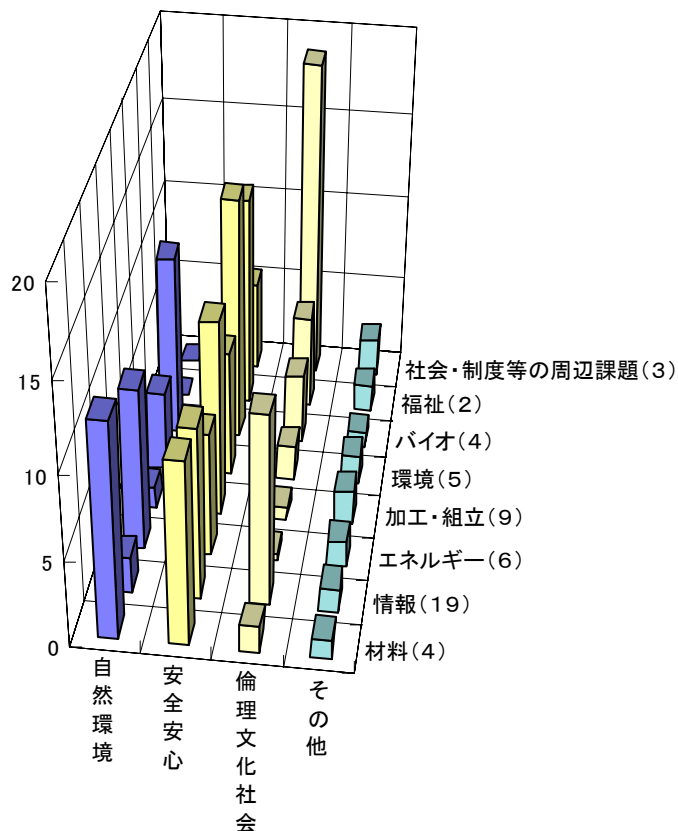
領域別にみると、「使用(運用・保守)」と「社会・制度等の周辺課題」の領域で「倫理・文化・社会へのマイナスの影響」、また、「使用(運用・保守)」では「安全・安心へのマイナスの影響」を指摘する回答の比率が高くなっている。

図 12.10-2 領域別懸念される問題点(%)



関わり別には、「情報」のグループで「倫理・文化・社会へのマイナスの影響」が、「材料」と「エネルギー」と「バイオ」で「自然環境へのマイナスの影響」が、回答の割合において高くなっている。

図 12.10-3 関わり別懸念される問題点(%)



### 12.11. 第6回調査との比較(前回調査との比較)

今回調査の課題(52課題)のうち、継続課題(前回調査と課題の内容が同一)が7課題、修正課題(前回調査の課題の内容を一部修正)が23課題、新規課題が22課題となっている。それぞれの割合は、14%、42%、44%となっている。このうち継続課題について前回調査の重要度の割合と実現予測時期を今回調査のそれと比較した結果を次の表に示す。

我が国にとっての重要度について見た場合、重要度指数の割合が増加した課題が4課題、減少した課題が3課題となっている。課題32の重要度指数は20ほども減少している。

また、実現予測時期についてみると、予測時期が遅くなっているものが4課題、予測時期が早くなっているものが1課題、変わらないものが2課題となっている。

表 12.11-1 第6回調査との継続課題の比較

課題 (今回)	重要度指数/実現予測時期(年)		課題 (前回)
	今回	前回	
09 人間の判断過程や、技能・ノウハウ・熟練度を明示化して、他の者による再利用や学習を可能とするブレインサポートシステムが開発される。	61 2013	56 2013	66 人間の判断過程や、技能・ノウハウ・熟練度を明示化して、他の者による再利用や学習を可能とするブレインサポートシステムが開発される。
13 人間の感覚(五感、ストレス、快適性など)を計測する技術が確立され、これに基づいて設計・製造される商品が普及する。	55 2017	63 2013	23 人間の感覚(五感、ストレス、快適性など)を計測する技術が確立され、これに基づいて設計・製造される商品が普及する。
30 複雑形状のダイヤモンド薄膜形成技術による硬膜が、軸受け等のしゅう動面や特殊工具において普及する。	48 2013	52 2006	03 複雑形状のダイヤモンド薄膜形成技術による硬膜が、軸受け等のしゅう動面や特殊工具において普及する。
31 摩擦発生のメカニズムの解明により摩擦面の制御技術(電気、接触角、空気抵抗)が開発される。	57 2016	56 2011	04 摩擦発生のメカニズムの解明により摩擦面の制御技術(電気、接触角、空気抵抗)が開発される。
32 ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。	52 2016	71 2010	06 ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。
39 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。	87 2017	86 2017	49 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルに於いて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。
46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。	79 2020	78 2021	55 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。

12.12. 集計結果一覧

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
材	1	鋳型を用いずに、金属溶湯を任意の形に固めることができる技術が開発される。	1	128	16	30	54	52	21	51	25	4	70	12	20	12
			2	112	13	31	55	50	15	60	20	5	82	8	14	8
			専	15	100	0	0	48	13	60	20	7	60	13	7	7
	2	分子・原子レベルでの物質製造制御技術により、材料をカスタマイズできるプロセスが実用化される。	1	119	11	26	63	75	57	33	8	2	74	21	21	25
			2	99	8	26	66	81	67	26	5	2	83	20	12	17
			専	8	100	0	0	78	63	25	13	0	63	25	25	13
	3	特性が外部環境に対して適応する智能材料により、機械の性能が自立的に向上する技術が開発される。	1	118	13	26	61	58	28	49	22	1	55	19	45	19
			2	99	8	28	64	56	22	59	18	1	74	11	42	10
			専	8	100	0	0	50	13	63	25	0	63	13	50	25
4	金属材料の表面特性の向上(摩耗量1/100、錆量1/100)により、設備の長寿命化(現在の2~3倍)技術が開発される。	1	128	22	30	48	66	40	44	15	1	77	42	16	9	
		2	109	19	31	50	69	41	52	6	1	85	36	11	4	
		専	21	100	0	0	70	48	43	5	5	86	24	10	10	
情	5	オンゲストロームのオーダまでの長さ、変位、表面粗さの測定やフェムト秒オーダまでの計測が可能になる。	1	130	15	29	56	61	32	48	20	0	60	8	12	46
			2	116	12	31	57	61	28	59	13	0	63	6	7	42
			専	14	100	0	0	70	43	50	7	0	64	14	7	21
	6	ビーム技術(イオン、電子、レーザーなど)、装置の制御技術の高度化およびセンサの高度化によりオンゲストロームオーダの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situモニタリング)が実用化される。	1	134	14	28	58	71	45	48	5	1	82	7	24	26
			2	115	14	27	59	75	51	46	2	1	86	5	15	20
			専	16	100	0	0	94	88	13	0	0	81	13	19	13
	7	設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャルマニファクチャリングシステムが普及する。	1	175	26	42	31	71	47	45	8	0	83	27	24	15
			2	146	25	43	32	72	46	50	4	0	89	23	13	11
			専	36	100	0	0	79	58	42	0	0	94	25	22	8
	8	設計、開発、製造、運用、保守、廃棄の各プロセスにおいて技術者の創造性や発想を支援するシステムが実用化される。	1	173	23	38	39	63	35	51	13	1	73	15	20	35
			2	143	24	36	39	65	35	57	7	1	81	9	13	33
			専	35	100	0	0	75	50	50	0	0	74	9	14	34
9	人間の判断過程や、技能・ノウハウ・熟練度を明示化して、他の者による再利用や学習を可能とするブレインサポートシステムが開発される。	1	151	23	30	46	64	32	57	10	0	69	7	25	50	
		2	128	23	27	50	61	27	65	9	0	77	2	16	50	
		専	30	100	0	0	73	50	40	10	0	60	3	10	53	
10	製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)が確立し、人間-機械-情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え、意図も含めて正確に伝わるインタフェース技術が開発される。	1	154	19	30	51	71	50	38	9	3	72	23	22	41	
		2	130	18	27	55	78	59	35	5	2	82	17	15	36	
		専	24	100	0	0	81	71	21	0	8	75	21	13	25	

実現予測時期						現在、第一線にある国等(%)					我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)							我が国において懸念される問題点(%)						
						日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響		
2006	2011	2016	2021	2026	2031	実現しない (%)	わからない (%)																	
						12	13	44	20	14	0	38	20	45	34	42	13	2	0	0	9	11	0	4
						11	11	51	16	11	0	38	19	54	31	46	9	0	0	0	9	11	0	3
						27	0	80	7	27	0	13	13	53	20	53	13	0	0	0	7	13	0	7
						3	4	47	70	18	0	13	39	45	54	58	8	2	0	0	16	9	4	3
						1	2	47	77	9	0	10	39	44	59	68	5	0	0	0	21	8	2	1
						0	0	75	38	0	0	0	25	38	63	88	13	0	0	0	13	13	0	0
						8	7	31	47	14	0	33	31	43	47	47	9	3	0	0	11	14	8	1
						6	4	31	60	10	0	25	30	44	54	53	8	0	0	0	6	20	4	0
						38	13	50	25	0	0	38	25	13	75	50	13	0	0	0	0	25	13	0
						2	5	63	40	23	0	19	20	52	44	54	6	2	0	0	12	7	1	1
						2	0	77	40	17	0	9	17	61	38	66	3	0	0	0	14	4	0	1
						5	0	100	24	24	0	0	10	67	43	62	5	0	0	0	19	5	0	0
						2	5	43	51	32	0	19	37	42	46	47	4	1	0	0	2	4	2	2
						2	2	46	63	24	0	14	34	42	48	63	3	0	0	0	1	3	3	0
						14	0	57	57	29	0	7	21	71	29	57	14	0	0	0	0	7	0	0
						1	4	58	57	25	0	13	34	49	52	55	10	1	0	0	4	7	2	2
						2	2	65	70	20	0	8	30	53	55	66	5	0	0	0	4	7	2	1
						6	0	100	75	13	0	0	25	63	31	69	6	0	0	0	6	13	0	0
						0	1	40	75	19	0	10	42	51	37	46	20	13	5	2	2	10	10	4
						0	0	37	88	14	0	5	42	62	33	46	18	10	2	1	0	11	12	2
						0	0	42	94	25	0	0	36	61	47	53	19	14	3	3	0	11	11	0
						2	5	28	75	13	2	13	44	51	39	37	22	3	1	1	3	7	14	3
						0	1	25	87	9	1	8	46	61	35	39	19	3	0	0	2	6	17	3
						0	3	29	89	9	3	6	40	54	37	46	23	6	0	0	0	9	14	0
						2	2	36	64	15	1	23	48	56	39	42	13	2	1	1	1	9	17	3
						2	2	31	77	13	2	18	50	64	32	41	13	2	1	1	0	6	25	2
						3	3	40	73	17	3	17	37	63	40	37	7	7	0	3	0	7	23	3
						11	5	19	62	18	1	25	48	50	43	42	12	10	1	2	1	8	19	3
						8	3	13	73	13	1	18	52	58	42	42	6	5	0	2	0	6	20	2
						21	0	13	79	17	4	13	50	50	46	33	8	8	0	4	0	4	25	4

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
情報	11	マイクロ技術をベースにした新しい法則・効果・現象が人工物設計論や製造工程設計論に大きな変革をもたらす。	1	114	20	24	56	65	36	52	11	1	75	18	19	52
			2	97	18	23	60	64	33	59	7	1	81	10	16	51
			専	17	100	0	0	69	47	41	6	6	76	6	29	53
	12	各種マシン・装置がネットワーク化された巨大システムにおいて、その構造がシステム内部状態や環境状態で変化することにより、柔軟性、安全性、保守性に優れた自律適応システムが普及する。	1	139	15	37	48	63	34	50	14	1	81	18	22	23
			2	117	14	33	53	60	25	66	8	1	83	10	23	15
			専	16	100	0	0	77	56	38	6	0	94	13	25	13
	13	人間の感覚(五感、ストレス、快適性など)を計測する技術が確立され、これに基づいて設計・製造される商品が普及する。	1	144	13	29	58	59	28	52	20	1	52	7	78	19
			2	121	12	25	63	55	19	63	17	1	50	2	79	11
			専	15	100	0	0	83	67	33	0	0	73	0	67	20
	14	オプトエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、マイクロマシン等が複合化された、超小型のウェアラブル機器を実現する数 $\mu$ mレベルの実装技術が実用化される。	1	137	14	29	57	76	54	40	5	0	74	9	58	12
			2	117	14	29	57	80	59	40	1	0	79	3	62	3
			専	16	100	0	0	91	81	19	0	0	75	6	63	0
	15	3次元のデジタルモデルでイメージプロトタイプを作製し、製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システムが普及する。	1	160	26	38	36	73	51	40	9	0	84	14	18	13
			2	137	25	37	38	76	54	44	2	0	90	8	11	5
			専	34	100	0	0	88	76	24	0	0	85	12	15	3
	16	製造された工業製品のひとつひとつにその履歴(製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者など)を識別できるICチップを埋め込む、工業製品の生涯追跡システムが実用化される。	1	156	15	31	54	56	27	44	27	2	59	43	38	7
			2	136	15	26	58	55	19	62	18	1	68	42	27	4
			専	21	100	0	0	74	48	52	0	0	67	48	33	0
	17	1オンゲストロームの分解能で周波数帯域100kHz以上の変位測定ができる技術が製造プロセスにおいて実用化される。	1	89	16	29	55	55	27	42	28	2	78	4	13	19
			2	78	13	29	58	54	21	54	24	1	81	5	5	10
			専	10	100	0	0	64	44	22	33	0	60	10	0	20
	18	LSI製造のような、高度に複雑・精密な製造プロセスにおいて、化学反応のin-situ モニタリングと、制御系へのフィードバックにより、所定の特性を制御し、後の検査が不要となる製造技術が普及する。	1	95	12	32	57	69	44	44	11	1	89	9	11	8
			2	82	12	28	60	73	49	46	5	0	91	7	6	4
			専	10	100	0	0	85	70	30	0	0	90	10	10	10
19	0.01マイクロルールLSI製造のための分解能1ナノメートルの半導体微細加工・計測技術が開発される。	1	107	19	21	60	79	59	38	2	1	91	11	19	17	
		2	93	16	24	60	84	68	30	1	0	96	6	13	8	
		専	15	100	0	0	90	80	20	0	0	100	20	20	7	
20	高度で複雑な機能をもつ機器・設備を工場外から保守・点検する技術が普及する。	1	153	22	33	44	62	33	48	18	1	82	22	24	10	
		2	136	21	35	43	61	27	64	9	0	87	14	16	2	
		専	29	100	0	0	74	48	52	0	0	90	10	21	3	

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)					我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)							我が国において懸念される問題点(%)						
		日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響		
2006 2011 2016 2021 2026 2031		(%)	(%)																	
		2	10	52	63	18	1	16	49	49	59	52	13	4	2	1	10	7	11	2
		0	5	62	72	15	0	8	48	46	68	55	7	3	1	0	5	5	8	1
		0	12	71	71	12	0	6	41	47	76	53	6	0	0	0	6	12	24	0
		5	5	42	60	14	0	24	42	55	45	46	9	9	1	1	6	21	10	1
		3	2	39	74	13	0	15	40	66	51	46	8	5	0	1	1	26	7	1
		6	0	38	88	6	0	6	19	69	38	31	6	0	0	0	6	19	13	0
		3	3	49	47	19	0	28	43	47	33	40	17	6	3	1	2	18	24	2
		5	2	56	55	16	1	17	45	55	29	46	10	3	2	0	0	16	30	2
		0	0	67	53	20	0	7	40	67	33	47	20	0	0	0	0	20	20	0
		1	5	69	60	21	1	9	33	53	51	53	20	7	2	0	7	7	10	1
		1	3	77	60	16	0	5	27	59	49	64	13	2	2	0	5	6	8	1
		6	0	94	63	6	0	0	25	56	50	75	13	0	0	0	6	6	6	0
		0	1	61	73	18	0	8	26	47	36	51	27	5	1	1	3	10	4	3
		0	0	60	80	13	0	4	16	61	31	59	17	4	0	1	1	11	3	2
		0	0	71	85	12	0	0	18	59	41	68	24	3	0	0	3	12	3	3
		3	5	54	42	14	0	25	20	36	31	31	19	12	17	1	6	9	10	2
		1	1	64	43	10	0	19	13	45	29	29	18	10	18	1	4	7	9	1
		0	5	86	29	10	0	0	14	33	57	43	33	5	10	0	5	14	14	0
		2	13	51	48	19	0	22	27	36	47	48	12	2	1	0	6	6	2	3
		3	9	59	56	15	0	13	23	47	47	58	5	1	0	0	4	4	1	3
		10	20	70	50	10	0	10	10	20	50	80	0	0	0	0	0	10	0	0
		4	12	54	49	12	1	24	31	51	47	53	14	2	2	0	11	5	3	1
		4	6	60	59	10	1	16	28	60	50	61	11	1	1	0	6	7	1	1
		20	0	50	60	0	10	10	50	50	70	70	30	0	0	0	0	10	0	0
		2	6	69	59	10	2	9	26	48	55	59	9	1	0	0	7	3	3	1
		2	5	76	55	5	1	5	24	58	59	65	8	0	0	0	3	4	1	1
		0	7	93	53	7	7	0	20	60	80	87	20	0	0	0	7	7	0	0
		1	5	61	50	15	1	20	22	49	31	47	14	20	6	3	3	25	8	1
		1	2	70	56	10	0	12	17	63	30	49	9	15	1	1	1	29	2	1
		0	0	72	41	10	0	7	14	45	34	52	7	17	3	3	0	14	3	3

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
情報	21	デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす。	1	166	23	35	42	71	48	41	10	1	86	7	36	15
			2	145	21	39	40	75	54	39	6	1	91	3	30	8
			専	30	100	0	0	77	59	34	3	3	87	3	13	17
	22	最適「もの造り」のために各国の製造技術関連情報がインターネット上で利用可能な総合データベースが開発される。	1	168	21	34	45	62	34	46	16	3	78	26	14	35
			2	144	22	28	49	64	34	54	10	1	83	17	9	27
			専	32	100	0	0	78	59	34	6	0	81	19	6	41
	23	多種製品を製造するシステムにおいて、製品ごとの生産量を迅速かつ柔軟に調整することのできるリコンフィギュラブルな製造システムが普及する。	1	149	24	36	40	67	41	45	13	1	91	12	27	6
			2	126	26	29	44	67	38	52	9	1	93	5	20	2
			専	33	100	0	0	77	58	36	6	0	97	6	18	6
エネルギー	24	非化石エネルギー(風力、地熱、太陽光・熱、廃熱)の利用が製造部門のあらゆる方面に普及する。	1	143	8	20	72	79	64	27	8	1	45	89	13	5
			2	120	8	16	77	83	69	24	7	0	44	89	9	1
			専	9	100	0	0	78	56	44	0	0	44	100	11	11
	25	コジェネレーションシステム(燃料電池、マイクロガスタービン)が製造業に普及する。	1	136	11	23	66	74	52	40	7	0	63	82	14	5
			2	117	9	19	72	80	60	37	3	0	62	81	7	3
			専	11	100	0	0	89	82	9	9	0	73	73	9	18
	26	省エネルギー・省スペースを目的とした製造設備のダウンサイジング化(現在の1/2~1/4)が広く実現する。	1	151	19	32	49	64	34	52	14	0	70	68	12	4
			2	133	18	26	56	64	32	60	7	1	73	66	6	2
			専	24	100	0	0	81	63	38	0	0	71	67	4	8
27	常温、常圧に近い条件で利用可能な人工高性能触媒により、省エネ型製造プロセスが開発される。	1	71	10	13	77	67	38	54	8	0	72	75	11	10	
		2	64	8	8	84	60	22	73	5	0	70	77	5	3	
		専	5	100	0	0	90	80	20	0	0	80	80	20	0	
28	電力の大規模な貯蔵(超電導、フライホイール、コンデンサ)により、製造プロセスにおけるエネルギー使用を最適化する技術が実用化される。	1	111	13	24	63	74	55	33	13	0	59	83	9	8	
		2	101	13	19	68	79	63	29	8	0	52	88	4	3	
		専	13	100	0	0	85	77	8	15	0	54	85	0	15	
29	低負荷電源として利用するため、体を動かすことによって発生するエネルギー(100Wh以下)を貯蔵・利用する技術が普及する。	1	74	14	18	69	51	24	38	30	8	42	54	49	5	
		2	70	9	11	80	44	9	53	35	3	29	60	47	3	
		専	6	100	0	0	50	17	50	33	0	17	67	83	17	
加工・組立	30	複雑形状のダイヤモンド薄膜形成技術による硬膜が、軸受け等のしゅう動面や特殊工具において普及する。	1	111	21	29	50	53	19	55	25	2	81	32	14	7
			2	98	15	29	56	48	8	68	23	0	85	23	6	2
			専	15	100	0	0	67	40	47	13	0	93	33	13	0

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)					我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)							我が国において懸念される問題点(%)						
		日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響		
2006 2011 2016 2021 2026 2031		(%)	(%)																	
		2	5	81	49	10	1	5	24	44	31	37	20	20	11	3	1	22	43	2
		1	2	88	42	6	1	3	19	54	28	32	17	19	8	2	0	20	48	1
		7	0	90	33	3	3	3	17	53	37	33	13	17	7	7	0	17	40	0
		13	5	36	67	23	1	14	28	47	32	29	17	21	8	4	1	12	15	2
		8	3	34	81	19	1	10	24	63	33	24	13	14	5	2	0	9	12	1
		6	3	38	84	19	0	6	28	66	41	25	16	13	6	0	0	16	22	0
		1	4	71	44	14	1	13	23	49	34	42	20	8	1	1	4	6	5	2
		1	2	79	41	8	1	9	17	63	34	46	10	6	1	0	2	7	3	1
		3	0	79	39	0	3	3	18	61	55	52	6	6	0	0	0	9	6	0
		6	3	37	41	60	1	10	22	45	48	50	23	31	24	1	13	7	1	2
		5	3	32	37	70	1	9	13	50	50	63	15	25	22	0	16	3	0	2
		22	0	33	56	78	0	11	22	44	44	89	22	67	33	0	22	0	0	0
		1	2	59	57	33	0	13	20	49	28	46	27	39	15	1	14	10	0	2
		1	1	72	62	29	0	6	14	58	24	53	21	41	11	0	13	9	0	2
		9	0	91	73	27	0	0	18	55	45	45	18	36	9	0	9	9	0	0
		3	3	80	21	17	0	12	19	54	38	48	17	13	4	0	5	7	1	3
		3	1	90	11	9	0	7	9	68	36	53	8	12	3	0	5	9	0	1
		4	0	96	13	13	0	4	8	71	46	71	13	4	4	0	4	13	0	0
		6	10	32	41	27	0	31	38	48	46	65	13	10	3	0	21	11	1	3
		5	6	28	48	20	0	30	30	47	50	63	6	5	2	0	19	6	0	2
		20	0	60	40	40	0	0	60	40	60	40	20	0	0	0	0	20	0	0
		0	3	56	40	31	0	20	36	45	50	57	13	21	5	1	7	12	0	3
		0	2	64	42	28	0	19	29	52	54	63	8	19	4	0	4	13	0	2
		0	0	77	31	31	0	0	15	38	62	46	8	31	8	0	8	23	0	0
		16	12	30	28	12	0	43	30	35	39	42	12	8	4	1	4	4	8	3
		11	7	30	29	14	0	44	33	46	40	56	7	6	1	0	1	3	3	1
		33	0	33	17	17	0	50	67	33	50	50	33	0	0	0	0	0	0	0
		2	2	71	38	28	0	16	20	45	40	52	22	5	1	1	3	6	0	1
		1	0	81	32	18	0	10	14	53	35	59	14	3	0	0	0	7	0	2
		7	0	100	53	20	0	0	20	53	47	80	20	0	0	0	0	7	0	0

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)					期待される効果(%)			
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
加工	31	摩擦発生メカニズムの解明により摩擦面の制御技術(電気、接触角、空気抵抗)が開発される。	1	116	21	31	48	59	29	51	18	2	71	38	17	32
			2	104	16	32	52	57	21	67	10	2	78	34	6	22
			専	17	100	0	0	71	47	47	0	6	59	47	6	12
	32	ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。	1	130	18	25	56	54	22	53	23	2	82	31	18	8
			2	117	15	30	56	52	12	72	15	1	91	21	9	3
			専	17	100	0	0	71	41	59	0	0	88	29	12	0
	33	自己潤滑機能をもった機械要素が実用化され、加工機械への潤滑油の供給が不要となる。	1	130	21	25	55	60	29	52	17	2	75	50	17	5
			2	115	20	22	58	58	23	66	10	1	80	53	6	2
			専	23	100	0	0	77	57	39	4	0	74	52	17	0
	34	塑性加工や切削加工において、潤滑液を使用しないドライ加工技術が普及し、80%以上がドライ化される。	1	139	27	31	42	60	33	42	23	2	59	64	10	4
			2	121	26	31	42	60	28	54	18	0	62	71	2	1
			専	32	100	0	0	77	59	31	9	0	63	78	3	0
35	機械加工(鋳造、焼結、塑性)において加工精度が1μm程度のネットシェイプ加工が普及する。	1	126	26	35	39	63	32	56	12	1	80	32	16	5	
		2	109	24	42	34	59	22	72	6	0	89	27	6	2	
		専	26	100	0	0	61	23	73	4	0	92	27	4	4	
36	自分で使用するもの(コンピュータ、小型自動車、自転車など)はキット化され、自分で組み立てるガレージマニファクチャリングが普及する。	1	132	7	33	60	35	5	31	57	7	33	10	67	8	
		2	120	8	27	66	32	3	24	68	5	25	4	78	3	
		専	9	100	0	0	47	11	56	33	0	33	22	56	33	
37	工作機械の熱変形を任意に制御する技術が開発される。	1	122	28	25	48	54	20	55	25	0	79	12	8	11	
		2	111	23	26	50	49	8	72	20	0	89	8	2	8	
		専	26	100	0	0	56	19	65	15	0	81	23	4	4	
38	作業者の安全を確保するために製造プロセスの危険作業や極限作業においてロボットの利用が普及する。	1	167	18	34	49	66	38	48	13	1	71	25	34	7	
		2	144	18	35	47	65	33	63	5	0	81	15	29	3	
		専	26	100	0	0	71	42	58	0	0	81	12	31	4	
39	製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エンタロピー化エコファクトリーが普及する。	1	144	13	33	54	81	64	33	3	0	51	90	17	6	
		2	121	9	27	64	87	75	22	2	0	49	89	9	2	
		専	11	100	0	0	91	82	18	0	0	45	91	18	0	
40	不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。	1	167	11	31	58	85	72	24	4	0	47	95	21	3	
		2	142	11	26	63	90	82	15	3	0	39	92	11	1	
		専	15	100	0	0	100	100	0	0	0	40	80	13	7	

実現予測時期						現在、第一線にある国等(%)					我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)							我が国において懸念される問題点(%)								
						日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響				
2006	2011	2016	2021	2026	2031	(%)	(%)																			
						8	12	51	42	26	0	28	39	41	44	47	7	1	0	1	2	6	0	1		
						8	5	61	47	24	0	20	32	47	47	58	7	0	0	0	0	0	7	0	0	2
						12	0	71	53	6	0	12	24	47	41	65	18	0	0	0	0	0	12	0	0	0
						6	16	45	31	20	1	35	26	42	28	41	15	6	3	1	3	12	2	2		
						5	9	56	33	18	0	29	19	58	25	41	8	4	2	0	2	13	0	0	2	
						12	0	82	29	18	0	12	12	59	35	76	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
						10	8	52	32	22	0	30	25	43	38	49	14	4	3	0	6	6	1	2		
						8	2	68	29	18	0	23	20	48	30	56	8	1	1	0	4	7	0	0	2	
						13	0	78	48	30	0	9	26	43	39	70	13	0	0	0	0	0	4	0	0	0
						9	7	63	17	32	0	19	20	52	35	55	16	6	7	0	4	4	1	4		
						8	2	79	8	30	0	11	17	64	25	60	8	2	5	0	2	5	0	0	3	
						13	0	78	6	47	0	0	9	63	31	75	9	6	9	0	3	6	0	0	0	
						5	6	70	29	21	0	13	25	46	44	52	18	4	0	0	2	6	1	3		
						3	4	85	22	16	0	7	17	58	42	62	11	1	0	0	0	0	5	1	3	
						8	12	85	35	19	0	8	8	58	62	88	12	0	0	0	0	0	8	4	0	
						13	14	26	57	15	1	25	14	17	11	18	29	34	11	1	5	26	2	2		
						11	7	18	70	10	1	20	8	13	7	9	35	41	6	1	2	37	0	1		
						11	0	56	67	11	0	0	22	0	22	11	33	33	0	0	11	44	0	0		
						2	6	65	25	24	0	20	20	45	33	49	7	3	0	1	2	5	0	2		
						3	2	76	25	20	0	14	10	60	28	57	3	2	0	0	0	0	5	0	3	
						8	0	88	27	27	0	0	12	50	38	73	4	4	0	0	0	0	4	0	4	
						1	3	79	42	11	0	8	19	51	34	44	15	17	11	1	2	13	6	2		
						0	1	85	43	8	0	4	13	63	35	51	9	14	8	1	1	19	6	1		
						0	0	88	35	0	0	0	19	62	19	54	4	19	15	0	0	0	15	4	0	
						2	6	43	24	58	0	19	39	58	49	45	14	22	33	2	4	4	4	4		
						3	1	47	17	70	0	12	33	67	55	55	9	17	36	0	6	6	3	2		
						9	0	55	18	55	0	0	36	55	55	64	9	9	45	0	0	9	0	0		
						3	3	40	14	76	1	10	31	52	50	40	14	22	54	2	4	5	4	5		
						1	2	45	5	82	0	6	24	62	60	44	11	17	61	0	6	6	2	2		
						7	0	53	0	67	0	7	20	60	47	40	0	13	67	0	13	13	7	0		

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)				期待される効果(%)				
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
環境	41	二酸化炭素の回収技術の開発等が進展し、ゼロエミッションファクトリーが普及する。	1	126	13	20	67	82	65	31	4	0	40	94	13	6
			2	110	8	15	77	86	72	26	2	0	30	92	6	1
			専	9	100	0	0	94	89	11	0	0	11	100	0	0
	42	「設計→生産→使用→廃棄」の生産システムと「回収→分解・選別→再利用→生産」の資源循環システムが一体となった、ものづくりものこわし型製造システムが普及する。	1	169	14	33	54	81	64	32	4	0	46	90	18	4
			2	147	13	29	58	87	74	26	1	0	37	91	9	1
			専	19	100	0	0	97	95	5	0	0	37	89	0	0
	43	工業団地、各企業、各製造設備について、連鎖・複合的な事故まで想定し、周辺地域への影響を含め被害想定や潜在危険性評価を行う技術が普及する。	1	104	9	27	64	70	45	44	10	1	39	61	48	4
			2	89	8	24	69	73	48	47	5	0	27	66	45	2
			専	7	100	0	0	93	86	14	0	0	57	71	57	14
バイオ	44	小型軽量なロボットに利用可能な、人間の筋肉と同等の機能をもつアクチュエータが開発される。	1	119	18	22	60	56	23	58	18	1	63	12	54	24
			2	108	12	19	69	54	14	74	12	0	62	3	64	13
			専	13	100	0	0	69	46	38	15	0	54	8	69	8
	45	生物の機能をベースにした、新しい法則・効果・現象が人工物設計論、製造工程設計論に大きな変革をもたらす。	1	104	15	24	61	60	31	50	17	3	68	28	22	50
			2	95	12	23	65	56	17	73	9	1	72	22	16	49
			専	11	100	0	0	64	27	73	0	0	82	27	18	18
	46	太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。	1	78	10	18	72	72	50	41	8	1	53	77	17	15
			2	71	7	13	80	79	59	38	3	0	52	86	8	6
			専	5	100	0	0	90	80	20	0	0	40	100	20	0
47	特殊環境(超高压、高pHなど)微生物の機能を利用した製造プロセスが実用化される。	1	66	8	14	79	54	22	52	26	0	53	42	14	23	
		2	60	5	10	85	50	12	67	22	0	68	48	7	12	
		専	3	100	0	0	58	33	33	33	0	33	67	0	33	
福祉	48	高齢者や障害者などにも働きやすい製造システムが普及する。	1	150	9	25	66	71	46	44	9	1	61	13	71	6
			2	137	9	21	70	73	48	49	3	0	63	5	76	2
			専	12	100	0	0	96	92	8	0	0	75	0	67	0
	49	製造現場における人間のリアルタイム動作解析に基づいて、ヒューマンエラーの可能性を警告するシステムが実用化される。	1	137	12	32	56	55	24	50	25	1	63	6	42	19
			2	124	12	27	60	54	17	64	18	1	75	4	48	8
			専	15	100	0	0	77	53	47	0	0	80	7	67	7
の社 会・ 制 度 等	50	理工系分野におけるインターシップの拡充、産学の人材の流動化、研究・教育への企業の協力拡大など大学と企業との関係が密接化し、製造技術のイノベーションにおいて日本の大学がより大きな役割を果たすようになる。	1	177	26	27	47	73	53	35	11	1	76	12	15	42
			2	148	26	26	48	78	59	33	7	1	80	5	11	41
			専	39	100	0	0	92	85	13	3	0	90	8	10	36

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)					我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)								我が国において懸念される問題点(%)							
2006	2011	2016	2021	2026	2031	日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響
	4	7	44	18	57	0	25	27	54	52	59	10	13	40	1	7	7	1	5			
	4	2	49	13	68	0	14	21	64	52	67	5	9	40	0	5	6	0	2			
	11	0	67	0	44	0	11	22	33	56	78	0	22	22	0	11	22	0	0			
	1	4	48	19	63	0	15	27	51	47	46	14	18	46	1	5	7	5	4			
	1	3	56	8	76	0	7	20	59	50	50	10	12	52	0	4	9	3	2			
	5	0	68	5	74	0	0	16	63	42	47	5	11	58	0	0	5	0	0			
	7	4	29	39	41	0	28	35	51	48	36	9	15	34	0	3	6	3	4			
	2	2	22	46	48	0	21	28	62	56	36	3	13	43	0	3	10	2	1			
	0	0	29	71	43	0	0	43	57	86	57	0	0	29	0	0	14	0	0			
	2	5	51	50	15	0	22	34	45	39	57	18	4	2	0	4	9	7	1			
	2	4	55	59	7	0	19	31	56	37	68	13	3	2	0	2	10	7	1			
	8	8	77	46	15	0	8	15	38	15	62	15	0	0	0	0	15	8	0			
	8	13	37	57	16	0	25	47	40	47	47	13	5	0	0	10	12	9	1			
	6	6	35	71	8	0	20	47	52	49	54	11	3	0	0	9	15	7	1			
	0	9	73	64	9	0	18	45	36	55	64	36	0	0	0	0	18	0	0			
	6	10	41	50	40	0	21	35	42	55	59	18	10	6	1	12	9	1	1			
	6	10	35	56	38	0	18	32	45	65	73	10	7	7	0	11	4	0	1			
	20	20	100	40	40	0	0	60	40	80	60	40	0	20	0	0	20	0	0			
	5	14	29	38	24	0	36	36	39	53	48	14	8	2	0	20	20	3	3			
	3	12	25	52	17	0	35	33	38	58	57	7	10	3	0	20	28	2	0			
	33	33	33	33	0	0	33	67	33	67	67	0	33	33	0	0	0	0	0			
	1	4	41	26	44	0	24	29	49	37	43	22	14	26	2	1	9	5	3			
	2	3	44	20	58	0	15	20	58	33	47	12	11	27	1	0	9	2	1			
	0	0	75	17	50	0	0	17	50	42	58	17	0	17	0	0	8	0	0			
	2	9	39	39	26	0	33	31	54	43	34	15	7	5	1	0	15	11	2			
	2	6	47	45	24	0	27	26	65	47	36	9	5	2	0	0	16	9	2			
	0	7	73	33	13	0	13	33	67	67	47	27	7	7	0	0	13	0	0			
	7	8	11	75	36	0	11	36	68	24	21	18	41	10	3	0	5	11	5			
	7	6	9	86	34	0	5	39	84	20	16	14	43	7	1	0	5	10	3			
	10	5	10	92	31	0	3	41	77	23	15	18	54	5	3	0	5	10	3			

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

区分	課題番号	課題	アンケート区分	回答者(人)	専門度(%)			我が国にとっての重要度(%)					期待される効果(%)			
					大	中	小	指数	大	中	小	なし	社会・経済発展への寄与	地球的規模の諸問題の解決	生活者ニーズへの対応	人類の知的資源の拡大
社会・制度等の周辺課題	51	設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する“バーチャルエンタープライズ”が主流となる。	1	168	19	27	54	56	28	44	25	3	89	5	17	10
			2	144	17	24	59	56	23	56	19	2	91	1	12	7
			専	24	100	0	0	73	50	42	8	0	92	4	17	17
	52	製造分野において女性研究者・技術者の割合が50%になる。	1	160	9	21	69	51	21	45	31	3	73	4	31	25
			2	142	8	19	73	51	18	50	29	3	73	1	31	15
			専	11	100	0	0	75	55	36	9	0	82	0	18	9

実現予測時期		現在、第一線にある国等(%)					我が国において政府がとるべき有効な手段等(%)							我が国において懸念される問題点(%)								
2006	2011	2016	2021	2026	2031	日本	アメリカ	EU	その他の国	わからない	人材育成と確保	産学官・分野間の連携強化	研究開発基盤の整備	研究開発資金の拡充	起業環境等の整備	関連する規制の緩和・廃止	関連する規制の強化・新設	その他	自然環境へのマイナスの影響	安全・安心へのマイナスの影響	倫理・文化・社会へのマイナスの影響	その他のマイナスの影響
		実現しない (%)	わからない (%)																			
		11	11	15	74	11	1	17	33	29	18	17	37	39	8	2	1	11	19	3		
		10	8	10	85	9	1	11	38	30	8	8	36	54	7	1	0	8	25	2		
		21	0	13	100	21	0	0	50	33	21	17	33	71	17	0	0	13	25	0		
		34	11	7	65	35	3	16	58	14	10	4	9	25	18	4	0	4	18	2		
		31	8	5	75	37	2	12	70	12	4	2	4	39	18	1	0	4	21	1		
		55	0	18	82	27	0	0	55	18	0	0	0	55	18	0	0	9	18	0		

(注)図形の見方に関しては7ページを参照

12.13. 回答者コメント例(課題別)

材 料	01 鋳型を用いず、金属溶湯を任意の形に固めることができる技術が開発される。 ○球形など、自然現象利用の形が見本となろう。○任意の形でなく、球形等に限定すれば可能性あり。○金型メーカーや金属加工業、工作機械メーカーがこの技術を使わざるを得なくなるかも。○精度が出ないので実用化しない。○宇宙工場の出現がキー。○材料アセスメントを十分に行うこと。○超電導マグネットの強力な磁界の応用として期待される。
	02 分子・原子レベルでの物質製造制御技術により、材料をカスタマイズできるプロセスが実用化される。 ○優れた物性の半導体等、可能性は大きい。○OMDの応用については今後大いに発展するものと考えている。○材料アセスメントの徹底。○技術的には可能だろうが、エネルギーの極端な無駄遣いは許されない。
	03 特性が外部環境に対して適応する知能材料により、機械の性能が自立的に向上する技術が開発される。 ○自立機械は夢であるが、実現したとすると大きな社会的影響がある。○次世代金属・複合材料研究開発協会の知的材料プロジェクトに期待。○建物材料などにとって特に(より)重要&効果大。○悪用されないこと。○限定された特定領域においては、いまでも可能性あるが、一般的にはきわめて困難。システムレベル≧知性のレベル。
	04 金属材料の表面特性の向上(摩耗量1/100、錆量1/100)により、設備の長寿命化(現在の2~3倍)技術が開発される。 ○傾斜材料、接合・複合化技術に期待。○省エネ、機械メンテナンスフリー化等得るもの大きい。○非常に望まれる技術であるが、原理、原則に基づいた発見が必要。○1/100→2~3倍とは変である。又この種の技術で1/100は無理で1/10を目指すべき。○非常に望まれる技術であるが原理原則に基づいた発見が必要。○表面処理用材料の環境への影響なきこと。
情 報	05 オングストロームのオーダーまでの長さ、変位、表面粗さの測定やフェムト秒オーダーまでの計測が可能になる。 ○すでに一部では可能になっている。○このレベルの時間の計測はすでに開発されている。○資金次第ではないか。オングストロームオーダーまでは測定できている。○急ぐ開発。○意外と速く実用化できるのではないか。
	06 ビーム技術(イオン、電子、レーザーなど)、装置の制御技術の高度化およびセンサの高度化によりオングストロームオーダーの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)が実用化される。 ○費用が高つくので、適用範囲は限定されるだろう。○オングストロームオーダーは無理。10 オングストロームオーダーとして回答。○加工は難しい。結果としてオングストロームオーダーで除去できるかも知れないが、任意の値にすることはむずかしい。○急ぐ開発。
	07 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャルマニュファクチャリングシステムが普及する。 ○日本の製造業の復権を賭けて集中的に資源を投入すべきである。○保守・廃棄の分野を除いて一部実用化されている。○今後必要かつ重要な技術。○自動車などでは、かなり近いところに来ている。一貫した設計思想にもれが出て会社としての力は弱まる懸念あり。○プロセスを理解しない技術者の増加による技術レベルの停滞。○固有技術の伝達や熟練の継続が途絶える。○バーチャルを現実と誤解することによる、過剰な依存は、非常に危険であり、あくまで支援の一つであって、最終的判断は人間しかできないことの認識を十分持たせる教育が必須。
	08 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄の各プロセスにおいて技術者の創造性や発想を支援するシステムが実用化される。 ○日本の製造業の復権を賭けて集中的に資源を投入すべきである。○システムを越す創造性を維持する教育環境を持たないと、無気力人間を作り出す。○開発側は“実用的”というが、利用者側には常に不満が残る。○技術の平均レベルの向上に役立つ。ただし、線型が通用する範囲。○完全な発想支援を求めるよりも、不完全な形で商品にして市場に出すことで、技術開発が加速される。○暗黙知を系統的にDB化することが必要。○オープン化進展により国際標準化の意識が重要になる。○教育体制の整備も必要。○海外システムでなく、日本の独自システムの出現を期待。○固有技術の伝達や熟練の継続が途絶える。○各プロセス毎の評価ではなく、製品開発の全てのプロセスを勘案するシステムが必要。
	09 人間の判断過程や、技能・ノウハウ・熟練度を明示化して、他の者による再利用や学習を可能とするブレインサポートシステムが開発される。 ○知識表現の構造化が課題。解決が要点。○サポートシステムより、そのコンテンツとなる技能熟練者の育成が重要。○ただし、かなり限定された応用についてのみ。○日本の製造の活力を失わないためにも、実現してほしい技術である。○本技術が普及することにより、技術者の創造性が退化することが考えられる。○熟練者不足を解消するために必要。○固有技術の伝達や熟練の継続が途絶える。○極限的ノウハウを機械が認識することは、永久に不可能であり、あくまでも普及レベルのサポートであることを認識する必要がある。
	10 製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)が確立し、人間-機械-情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え、意図も含めて正確に伝わるインタフェース技術が開発される。 ○日本の製造業の復権を賭けて集中的に資源を投入すべきである。○可視化技術によってインターフェース技術を確立・支援することは可能ではないか。○非英語圏の諸国が不利にならないよう日本の活躍が期待される。○言語の違いは、文化・環境等、様々な点で影響が大きく、その溝が30年で埋まるとは思えない。欧米の範囲なら可能か? ○新たな共通言語の提案は予想されるが、英語の共通言語化が結果的に進む。○明示されない意図を含めるのは無理。○共通語は英語が主流は変わらないだろう。但し翻訳や通訳はかなり高度に進む。○言語や文化の違いを超えることは難しい。緒につくまでに何十年もかかる。
11 ミクロ技術をベースにした新しい法則・効果・現象が人工物設計論や製造工程設計論に大きな変革をもたらす。 ○マイクロベースのアプローチが生態への影響評価に役立つことを期待する。○ナノテクノロジー技術が代表的なものである。現在着手したばかりだが期待は大きい。○大きな変革をもたらすとは思えない。	
12 各種マシン・装置がネットワーク化された巨大システムにおいて、その構造がシステム内部状態や環境状態で変化することにより、柔軟性、安全性、保守性に優れた自律適応システムが普及する。 ○適応すべきものと適応すべきでないものを区別することが大切。○このようなシステムが故障した場合のマイナスの影響は大きい。○巨大システムも基本仕様の点で寿命がある。自律適応システムは価格性能比の点から、実現は難しいと思われる。○自律適応システムの開発途上であり開発できれば普及は早い。○世界規模で進展せざるを得ない。○あり得べきシステムであるが、経済効果があるか(システム費用が増大する)。	
13 人間の感覚(五感、ストレス、快適性など)を計測する技術が確立され、これに基づいて設計・製造される商品が普及する。 ○倫理が裏にないと人間の自分勝手な論理となりかねない。○今でも、ある意味では人間の五感を計測し、それに基づき設計・製造している。○各種測定はできるようになるが、何が快適かがわからない。音の測定が十分できても何が良い音かはわからない。○カナダでの試験が2003年に始まるようである。	

情 報	14 オプトエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、マイクロマシン等が複合化された、超小型のウェアラブル機器を実現する数 $\mu\text{m}$ レベルの実装技術が実用化される。 ○ユニバーサル社会の実現に役立つことを期待する。○ウェアラブル機器の普及には不可欠の技術であり、これが実用化されれば、大きなマーケットが実現すると予想される。○共同研究の場が作られ始めているが、活動は基礎的要素技術開発に限られている。それらの統合化・システム化実現には、インフラ拡充が必須。○医療(手術)の世界で大きく進展するのではないかと。○ますます進展するはず。○広範囲の応用が期待できインパクト大。
	15 3次元のデジタルモデルでイメージプロトタイプを作製し、製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システムが普及する。 ○省工程とともに、ベテラン技術者の目が行き届かなくなる可能性あり。○製造現場自体が現状では無理なので、工場自体を最初から考える必要あり。○データ品質とデータ交換の問題解決により、比較的早期の普及が予想される。○簡単な加工(切断鍛造 etc)の世界から進展していく。○自動車各社においては普及の域にある。○雇用問題が生じる。
	16 製造された工業製品のひとつひとつにその履歴(製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者など)を識別できるICチップを埋め込む、工業製品の生涯追跡システムが実用化される。 ○ロング・ライフが有利であるような仕組み(税制など)が必要。○技術的課題というよりは、コストを考慮した社会的な負担が普及を左右。○リサイクル法関連。○多くの情報がICチップ内に入るとすると、情報の内容によってはプライバシーの侵害の問題が発生する。○もれなくすべての国の合意が必要となるため法的整備が難。
	17 1 オングストロームの分解能で周波数帯域 100kHz 以上の変位測定ができる技術が製造プロセスにおいて実用化される。 ○素子、アンプの開発が急務。○一部、実用化は早い。
	18 LSI 製造のような、高度に複雑・精密な製造プロセスにおいて、化学反応の in-situ モニタリングと、制御系へのフィードバックにより、所定の特性を制御し、後の検査が不要となる製造技術が普及する。 ○例示してあるようなマクロの計測で LSI 製造が可能になるとは思えない。○LSI は基本的に歩留り産業から脱しない方が安くできる。○実際の問題環境を共有した学際的な研究・開発が重要。○結構難しい。しっかりした開発体制を整えて取り組むべき。○完成検査は簡便化が可能であったとしても、不要にはならないのではないかと。
	19 0.01 ミクロンルール LSI 製造のための分解能 1 ナノメートルの半導体微細加工・計測技術が開発される。 ○従来の LSI 製造は別の発想が必要な時期(物質限界に近い)。○既に要素技術としては確立されている。○是非とも必要。○開発はされるが、実用化までは時間がかかる。○さらに大規模集積回路技術のために進展する。
	20 高度で複雑な機能をもつ機器・設備を工場外から保守・点検する技術が普及する。 ○技能者の判断能力の継承が課題。保全の工学化、産業化が必要。○保全の工学化、産業化が必要。○ごく限られた分野のみしか可能性が少ない。○高度な技術を持つ専門メーカーがユーザーに対し、保守・管理サービスを集中支援するニーズは高く、この分野において早期に普及する。○技術的には、可能であり、あとはコストとエンジニアリング。
	21 デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす。 ○現在もすでに変革している。○人間とロボットとの共存問題(安全のルール)。○人間は知的仕事は別に発生する。○技術の高度化に追従できない人が雇用機会を失う弱者とならないような、教育体制・法整備が必要。○若年人口の減少が我が国での変革を加速する。
	22 最適「もの造り」のために各国の製造技術関連情報がインターネット上で利用可能な総合データベースが開発される。 ○知的財産権の保護、セキュリティの確保、が重要。○重要なデータは公開しないと考える。○このような情報は製造技術の中核であるので、他人の使用を前提にしたデータベースにはならないだろう。○データベースは公開されないであろう。○LCA、環境設計等が製造要件に組み込まれる時代となり、そのような情報技術がインターネット上に多数公開される時代になる。○多種製品を製造するシステムにおいて、製品ごとの生産量を迅速かつ柔軟に調整することのできるリコンフィギュラブルな製造システムが普及する。○パイプスプラントなど我が国独自の技術を大切にすべき。○フレキシブルでかつ正確さを両立させることは容易なことではない。○製品による。LSI などは早い。○一部、実用化されているが、かなり用途としては限定されている。
	エ ネ ル ギ ー
25 コージェネレーションシステム(燃料電池、マイクロガスタービン)が製造業に普及する。 ○エネルギーと物質の組み合わせを大切にすべき。○法的整備をすることによって、迅速に普及される。○試験プラントとしては普及期にあるが、経済性に見合って広く普及するのには時間を要す。○そうならざるを得ないであろう。○工場において先に普及し、家庭においても追って普及する。	
26 省エネルギー・省スペースを目的とした製造設備のダウンサイジング化(現在の1/2~1/4)が広く実現する。 ○ハーフサイズ、ハーフコストへの取り組みは重要な課題になっている。○加工、組立ての原理を考えると、大幅な小型化は極めて困難。○半導体産業でまず。○半導体分野においても、投資金額抑制目的からではあるが、リーン設備の発想が頭在化しつつある。○設備により容易なもの、そうでないものの GAP が大きい。	
27 常温、常圧に近い条件で利用可能な人工高性能触媒により、省エネ型製造プロセスが開発される。 ○いろんな分野が考えられ、一部ではもっと早く開発されるかも知れないが。○バイオプラントなどのイメージ? ○常温接合技術開発は日本が先導。○環境中に触媒が出た場合の影響を同時に明確にしておく必要がある。	
28 電力の大規模な貯蔵(超電導、フライホイール、コンデンサ)により、製造プロセスにおけるエネルギー使用を最適化する技術が実用化される。 ○貯蔵装置への投資が見合うようになるかがポイント。○エネルギー使用最適化技術は既にほぼできている。貯蔵装置への投資が見合うようになるかがポイント。○経済性から技術的に可能でも開発はなお時間がかかると見る。○常温超電導の経済性。○進展すると思う(重要である)。	
29 低負荷電源として利用するため、体を動かすことによって発生するエネルギー(100Wh 以下)を貯蔵・利用する技術が普及する。 ○手の動きのエネルギーを時計などに利用する技術は既にある。○経済性から技術的に可能でも開発はなお時間がかかると見る。○美容、健康器具として一石二鳥の効果を狙うと良いであろう。	

加工・組立	30 複雑形状のダイヤモンド薄膜形成技術による硬膜が、軸受け等のしゅう動面や特殊工具において普及する。 ○特殊工具の分野ではダイヤモンド以外の薄膜も含め、普及するのは確実であろう。○一部研究が進んでいるが、普及はまだ先か。○安価にダイヤモンド薄膜を形成する技術が必要。また、大型部品も。○同等の効果を発揮するものが既にあるのでは？
	31 摩擦発生メカニズムの解明により摩擦面の制御技術(電気、接触角、空気抵抗)が開発される。 ○摩擦の多様性への対応が要点。○永遠のテーマではないだろうか。○基礎技術として、多くの産業への寄与大。
	32 ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。 ○特殊分野(コストパフォーマンス・ロボット組み立て等)のみに限定される。○分解法が難しい。○分解も簡単にできる結合方式が生まれることを期待したい。○インバースマニファクチャリング、リユース、リサイクルのための解体容易化技術の一つとして重要。○リサイクルを考慮した設計技術が進歩し、新しい結合構造が生まれてくる。
	33 自己潤滑機能をもった機械要素が実用化され、加工機械への潤滑油の供給が不要となる。 ○我が国では産学共同が不可欠であるが、学はこの分野に関心を持つ人が少ない(あるいは今後少なくなる)。○実用化は限りなく進むが、供給が不要となると考えられない。(経済性から)○すでに自己潤滑要素が実用化されている。(送りねじ及びガイド。)問題は主軸の潤滑である。○基礎技術として主要な要素。○自己潤滑を伴わない形で結果的には幅広い材料に対して無潤滑で実用化される。○宇宙等の真空中での使用が可能となりインパクトは大きい。
	34 塑性加工や切削加工において、潤滑液を使用しないドライ加工技術が普及し、80%以上がドライ化される。 ○80%以上という値は無理かもしれない。○製造現場のニーズは高い。刃具の長寿命化との両立が要点。○我が国では産学共同が不可欠であるが、学はこの分野に関心を持つ人が少ない(あるいは今後少なくなる)。○機械加工においては普及が早期に実現できるものと思われる。○エア冷却で成功している例あり。○技術と経済性の混同が見られる。○超音速切削は今でもドライである。もっと超高速を考えるべし。
	35 機械加工(鋳造、焼結、塑性)において加工精度が1μm程度のネットシェイプ加工が普及する。 ○我が国では産学共同が不可欠であるが、学はこの分野に関心を持つ人が少ない(あるいは今後少なくなる)。○機械加工というよりは、素形材加工ではないか。加工法により実現性は大きく異なると考えられる。○通常の大さきさのものでは、実現が困難であるかもしれない。しかし、マイクロ部品(実際にはそんなに小さくはないが)の加工では現実味はある。○塑性加工は現在でも可能。温度変化を伴う鋳造、焼結は無理。○1μmの精度のものは実現する可能性もあるが、鋳造、焼結では厳しいのでは。○実現には相当高いハードルがある。
	36 自分で使用するもの(コンピュータ、小型自動車、自転車など)はキット化され、自分で組み立てるガレージマニファクチャリングが普及する。 ○趣味活動として普及するかもしれない。現在でもパソコン等を自分で組み立てる人はいる。○パソコンは実用化済み。自動車は型式認定などの法規制が普及のブレーキ役。○組み立てた製品の品質保証の方法が顧客間と納得のいく形で定着するには時間がかかる。○市場の課題であり、技術の課題ではない。○「どんなスピードでも自動車は危険だ」との言葉がある。安全を確保するため、品質保証、製造物責任等をどう負うかを定めるのが先決である。
37 工作機械の熱変形を任意に制御する技術が開発される。 ○圧延ではロールの熱膨張プロフィールをすでにコントロールしている。○すでに開発されていると思う。ニーズがどこまであるかという問題ではないか。○シミュレーションとの対比が必要。○制御しなくても対処できる技術が開発される(すべきである)。○冷却、恒温度を超える Active control 技術の開発が必要。	
38 作業者の安全を確保するために製造プロセスの危険作業や極限作業においてロボットの利用が普及する。 ○ロボットの制御技術と安全の科学的な研究アプローチが要点。○人間の高度機能代行には時間と金がかかる。○定常作業の普及は今後さらに進むが、非定常作業での普及は性能、機能、コストの面でここ15年は困難。○当面はマニュアル改ざん防止、マニュアル遵守等、法的規制強化が必要。○現在でも宇宙では極限作業ロボットが実用化されておりニーズとコストにより徐々に普及していくものと思う。○長期的な国の支援は要す。(開発コストと事業化とコストの関係)	
環境	39 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。 ○ライフサイクルエンジニアリングが重要。○ぜひ実現すべき課題であるが、規制の強化は必須と考える。○価格が支配的な現状では、将来展望が描けない。○影響が大きいところ、できるところから着手されており、今後拡大の方向。法律による特典の与え方が加速も可。○製造業の何%がエコファクトリーになるかの数値が重要となっていく。○社会、地方、国レベルの特に廃棄からリサイクルへの公的施設の低コスト活用がないと普及にブレーキがかかる。
	40 不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。 ○見かけ上のリサイクルの強化がエネルギー消費の増大につながる可能性。○リサイクルの重要性。資源の有限性についての社会的共有の推進が重要課題。○ぜひ実現すべき課題であるが、規制の強化は必須と考える。○一国だけが努力しても解決できない。○リサイクル製品を優遇する政策も必要。今後「廃棄」～「再生」のステップで新たな産業が形成されてくる。○リサイクルすることが本当に自然に優しいのかという視点に欠けている。リサイクルに要するエネルギー、排出物をトータルに考えるシステムでなければマイナス面の方が大きい。
	41 二酸化炭素の回収技術の開発等が進展し、ゼロエミッションファクトリーが普及する。 ○強力な公的指導が必要。○二酸化炭素を排出しないファクトリーの方が好ましい。○二酸化炭素回収、放棄の部分が経済的に成り立つものができるかがキー。○CO <sub>2</sub> のゼロエミッションは実現しないかもしれない。○法規制に依存。○ゼロエミッションはCO <sub>2</sub> のみの問題ではない。
	42 「設計→生産→使用→廃棄」の生産システムと「回収→分解・選別→再利用→生産」の資源循環システムが一体となった、ものづくりものこわし型製造システムが普及する。 ○資源循環のコントロールシステムが必須。○要素技術のみでなくシステム化には時間がかかりそう。○ものこわし型製造システムが、利益の面で困難と考える。わずかに特定分野のみの普及であろう。○廃棄製品に使用された部分の再利用率を法律で規制する必要がある。輸入品に対して。○再利用率の最低ラインが規制され、それによって再利用する方が、コスト的に有利になれば、普及は非常に早い。○業種によって異なるが、家電・自動車の分野では先行する。○廃棄からリサイクルへの公的施設の低コスト活用がないと普及にブレーキがかかる。

環境	<p>43 工業団地、各企業、各製造設備について、連鎖・複合的な事故まで想定し、周辺地域への影響を含め被害想定や潜在危険性評価を行う技術が普及する。 ○評価の客観性をどう確保するかが要点。○危険は「あってはならない」ではなく共生する風土が必要。○この技術の発展と普及が社会全体のコスト低減と安全化のキーとなる。○開発はできるが、どのように普及させるか？○その方向の検討は進む。○PRTRとも関連し、それらの技術・情報は公開される時代となる。</p>
バイオ	<p>44 小型軽量なロボットに利用可能な、人間の筋肉と同等の機能をもつアクチュエータが開発される。 ○福祉ロボット向き。○ブレークスルーがあれば、予想以上に早まると期待をこめて感じています。○コスト、使い勝手、性能などからみて、現在考えられている案では実用化が難しいかもしれない。○位相的に類似のものはいまもある。「筋肉を」どうとらえるか？○国レベルの英知が必要。</p>
	<p>45 生物の機能をベースにした、新しい法則・効果・現象が人工物設計論、製造工程設計論に大きな変革をもたらす。 ○21世紀バイオ技術応用産業の本命的命題。○生物に学ぶ芽は出ているが、まだ一部分であり、教育体系も含めて考えていかなければならない(実現のためには)。○医療、計測の世界で進展が見られると考えられる。○その通りと思うが、具体的成果は必ずしも多くない。生体の形態が人工物にとってベストとは限らない。</p>
	<p>46 太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。 ○生活ゴミのリサイクル(水素発生手段としては補助的)。水素生産は天然ガス利用が主体になる。○できれば、もつと早く実現することを期待します。○メタン、メタノールで十分。○技術的に可能でも、経済性で本格実用化は遅れると見る。○この種の技術はLCA評価を行って有用性を検証する必要がある。○水素、需要の拡大(燃料電池)に伴い化石燃料からのH<sub>2</sub>製造を上回る生産コストの削減が必要。社会的意義は大きい。○有機物から脱酸素する技術のほうが大量生産系には乗りやすいと考える。</p>
	<p>47 特殊環境(超高压、高pHなど)微生物の機能を利用した製造プロセスが実用化される。 ○薬品など。○技術的に可能でも、経済性で本格実用化は遅れると見る。○未知微生物の安全性が不明。○限定的応用では可だろう。</p>
福祉	<p>48 高齢者や障害者などにも働きやすい製造システムが普及する。 ○製造システムより社会システムが優先する。○高齢者雇用率の遵守などが必要。○企業の短期的効率追及の価値基準では若年労働者が有利。国として、高齢者 etc を活用することで、福祉受益者に自律生活力をもたせる。○多種のシステムが想定され、早期に実現すると考えられるものもある。(例:事務室にも置けるようなプレス機、ラピッドプロトタイプングシステムなど)○時期的には早まる可能性があると思います。社会的要求も高まると考えます。○製造者に義務付けるなどの規制が必要。○そうあって欲しいと思う。コストアップ分については法律などにより特典が与えられるべき。</p>
	<p>49 製造現場における人間のリアルタイム動作解析に基づいて、ヒューマンエラーの可能性を警告するシステムが実用化される。 ○社会システムを優先すべき。○ヒヤリハットなどの情報の共有化をどうするかで課題。○プライバシーに関係する。「ヒューマンエラーの可能性」を分析するより、自動化の方が有効と考えます。○ソフト技術の発達により、開発・実用化が進むこと。○リアルタイム動作解析でのヒューマンエラー低減は困難では？○テーマとしては面白いが、極めて難しい。○この技術は、次世代製造技術のキーテクノロジーとなる。○実用化方向で進むであろう。○自動車の運転操作におけるケアレスミスを抑制する手段としても応用される。</p>
社会・制度等の周辺課題	<p>50 理工系分野におけるインターンシップの拡充、産学の人材の流動化、研究・教育への企業の協力拡大など大学と企業の関係が密接化し、製造技術のイノベーションにおいて日本の大学がより大きな役割を果たすようになる。 ○産学の相互乗り入れの環境整備が要点。○理工系人材の社会的評価の向上と人材の確保のための施設が必要である。○独創的なアイデアを大学に期待する。○学に産を経験した人がほとんどいないのは致命的な問題点。○大学の危機感と改革意欲次第で実現する。○そうなるであろう。努力中であるが相互のメリットが見えるように国と産学のあらゆる旧制度の見直しが必要。○文部科学省の行政の大変革がなければ実現不可能。</p>
	<p>51 設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する「バーチャルエンタープライズ」が主流となる。 ○一部始まっており、この流れを変えることはできない。○限定された分野においてはVIRTUALENTERPRISEが主流になっても、製造業全体を考えると、主流にはならないだろう。○付加価値の高い製品、そのための技術を持つとすれば、アウトソーシングは減る。一部に限られる。○アウトソーシングはある程度までは普及するが、これが主流となったら、企業固有技術の蓄積の伝承が大変困難となる。○産業効率の問題で技術の問題ではない。</p>
	<p>52 製造分野において女性研究者・技術者の割合が50%になる。 ○女性50%という数値に特別な意味がない。50%になることが良いのか？期待なのか？製造分野で働きたい女性に機会を与える仕組みが必要。○男女の意識改革と義務(法制)化が、実現させるため必要。○日本の大学で工学部の学生で女性の割合は10%を切るような状態です。日本が現在の不況を乗り切るためには大きな発想の転換が必要です。そのためには優れた女性が、もっともっと多く生産や開発の部門で活躍する場を与えることと、その環境を整えるべきです。以上のように、優れた女性を生産の場で働ける環境を与える努力をしなければ「技術立国日本」の終焉は近い将来必ず訪れるでしょう。○日本での専門技術を有する女性が少なすぎます。日本が発展するためには、優れた女性に専門性を有する、働く場所を与えることと、その環境を整えるべきです。そのような努力や考え方が拡大しなければ日本技術の後退は目に見えるようです。○特に女性ソフトウェアの研究者、技術者の増加に期待する。</p>

12.14. 未来技術年表

実現予測時期(年)	課題
2009	15 3次元のデジタルモデルでイメージプロトタイプを作製し、製造現場にデジタルデータを送信する省試作工程・現地(遠隔地)製造システムが普及する。
2010	05 オングストロームのオーダまでの長さ、変位、表面粗さの測定やフェムト秒オーダまでの計測が可能になる。 22 最適「もの造り」のために各国の製造技術関連情報がインターネット上で利用可能な総合データベースが開発される。
2011	07 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄などの生産活動を支援(最適化・効率化・許認可申請など)するバーチャルマニュファクチャリングシステムが普及する。 16 製造された工業製品のひとつひとつにその履歴(製造者、材料、部品、性能・特性変化、使用者など)を識別できるICチップを埋め込む、工業製品の生涯追跡システムが実用化される。
2012	06 ビーム技術(イオン、電子、レーザなど)、装置の制御技術の高度化およびセンサの高度化によりオングストロームオーダの超精密プロセス技術(加工・分析・試験・in-situ モニタリング)が実用化される。 08 設計、開発、製造、運用、保守、廃棄の各プロセスにおいて技術者の創造性や発想を支援するシステムが実用化される。 20 高度で複雑な機能をもつ機器・設備を工場外から保守・点検する技術が普及する。 21 デジタル化の進展と産業用ロボットの高度化が、製造業に従事する労働者の雇用機会や雇用形態に大きな変革をもたらす。 23 多種製品を製造するシステムにおいて、製品ごとの生産量を迅速かつ柔軟に調整することのできるリコンフィギュラブルな製造システムが普及する。 50 理工系分野におけるインターンシップの拡充、産学の人材の流動化、研究・教育への企業の協力拡大など大学と企業の関係が密接化し、製造技術のイノベーションにおいて日本の大学がより大きな役割を果たすようになる。
2013	09 人間の判断過程や、技能・ノウハウ・熟練度を明示化して、他の者による再利用や学習を可能とするブレインサポートシステムが開発される。 17 1 オングストロームの分解能で周波数帯域 100kHz 以上の変位測定ができる技術が製造プロセスにおいて実用化される。 19 0.01 ミクロンルール LSI 製造のための分解能1ナノメートルの半導体微細加工・計測技術が開発される。 25 コージェネレーションシステム(燃料電池、マイクロガスタービン)が製造業に普及する。 26 省エネルギー・省スペースを目的とした製造設備のダウンサイジング化(現在の1/2~1/4)が実現する。 30 複雑形状のダイヤモンド薄膜形成技術による硬膜が、軸受け等のしゅう動面や特殊工具において普及する。 37 工作機械の熱変形を制御する技術が開発される。 38 作業者の安全を確保するために製造プロセスの危険作業や極限作業においてロボットの利用が普及する。
2014	04 金属材料の表面特性の向上(摩耗量1/100、錆量1/100)により、設備の長寿命化(現在の2~3倍)技術が開発される。 14 オプトエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス、マイクロマシン等が複合化された、超小型のウェアラブル機器を実現する数 μ mレベルの実装技術が実用化される。 18 LSI 製造のような、高度に複雑・精密な製造プロセスにおいて、化学反応の in-situ モニタリングと、制御系へのフィードバックにより、所定の特性を制御し、後の検査が不要となる製造技術が普及する。 36 自分で使用するもの(コンピュータ、小型自動車、自転車など)はキット化され、自分で組み立てるガレージマニュファクチャリングが普及する。 48 高齢者や障害者などにも働きやすい製造システムが普及する。 51 設計、試作、生産、管理などに特化し、高い競争力を持つ、アウトソーシングサービス企業群が発展し、製造業においては、これらを有効に活用する“バーチャルエンタープライズ”が主流となる。
2015	01 鋳型を用いずに、金属溶湯を任意の形に固めることができる技術が開発される。 40 不用製品の回収・処理に関する製造者責任が法的に規定され、使用材料の90%以上がリサイクルされる設計・製造・回収・再利用システムが普及する。 49 製造現場における人間のリアルタイム動作解析に基づいて、ヒューマンエラーの可能性を警告するシステムが実用化される。
2016	31 摩擦発生メカニズムの解明により摩擦面の制御技術(電気、接触角、空気抵抗)が開発される。 32 ボルト・ナット結合方式に代わる高速組立・分解法が普及する。 33 自己潤滑機能をもった機械要素が実用化され、加工機械への潤滑油の供給が不要となる。 34 塑性加工や切削加工において、潤滑液を使用しないドライ加工技術が普及し、80%以上がドライ化される。 35 機械加工(鋳造、焼結、塑性)において加工精度が1 μ m程度のネットシェイプ加工が普及する。

実現予測時期(年)	課題
2017	<p>43 工業団地、各企業、各製造設備について、連鎖・複合的な事故まで想定し、周辺地域への影響を含め被害想定や潜在危険性評価を行う技術が普及する。</p> <p>02 分子・原子レベルでの物質製造制御技術により、材料をカスタマイズできるプロセスが実用化される。</p> <p>10 製造に関わる情報・知識を表わす世界共通言語(ソフトウェアを含む)が確立し、人間－機械－情報系におけるコミュニケーションが言語や文化の違いを越え、意図も含めて正確に伝わるインタフェース技術が開発される。</p> <p>11 ミクロ技術をベースにした新しい法則・効果・現象が人工物設計論や製造工程設計論に大きな変革をもたらす。</p> <p>13 人間の感覚(五感、ストレス、快適性など)を計測する技術が確立され、これに基づいて設計・製造される商品が普及する。</p> <p>39 製品の誕生から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系への影響を考慮した低エントロピー化エコファクトリーが普及する。</p> <p>42 「設計→生産→使用→廃棄」の生産システムと「回収→分解・選別→再利用→生産」の資源循環システムが一体となった、ものづくりものこわし型製造システムが普及する。</p>
2018	<p>12 各種マシン・装置がネットワーク化された巨大システムにおいて、その構造がシステム内部状態や環境状態で変化することにより、柔軟性、安全性、保守性に優れた自律適応システムが普及する。</p> <p>24 非化石エネルギー(風力、地熱、太陽光・熱、廃熱)の利用が製造部門のあらゆる方面に普及する。</p> <p>44 小型軽量なロボットに利用可能な、人間の筋肉のようなアクチュエータが開発される。</p>
2019	<p>52 製造分野において女性研究者・技術者の割合が50%になる。</p> <p>27 常温、常圧に近い条件で利用可能な人工高性能触媒により、省エネ型製造プロセスが開発される。</p> <p>28 電力の大規模な貯蔵(超電導、フライホイール、コンデンサ)により、製造プロセスにおけるエネルギー使用を最適化する技術が実用化される。</p>
2020	<p>29 低負荷電源として利用するため、体を動かすことによって発生するエネルギー(100Wh 以下)を貯蔵・利用する技術が普及する。</p>
2021	<p>太陽エネルギーと生体システムを利用し、有機物を分解して水素を大量生産する技術が実用化される。</p> <p>03 特性が外部環境に対して適応する知能材料により、機械の性能が自立的に向上する技術が開発される。</p> <p>41 二酸化炭素の回収技術の開発等が進展し、ゼロエミッションファクトリーが普及する。</p> <p>45 生物の機能をベースにした、新しい法則・効果・現象が人工物設計論、製造工程設計論に大きな変革をもたらす。</p>
2022	<p>47 特殊環境(超高压、高 pH など)微生物の機能を利用した製造プロセスが実用化される。</p>