

我が国における科学技術の状況と今後の発展の方向性

—基本計画レビュー調査及び俯瞰的予測調査による分野・領域の総合的動向分析—

(NISTEP REPORT—No.89, 90, 93～99)

平成17年5月13日
文部科学省
科学技術政策研究所

1. 目的

我が国の科学技術政策は、5年毎に策定される科学技術基本計画(以後、基本計画と記述)に基づき推進されている。第1期基本計画は1996～2000年を計画期間とし、この間、17兆円あまりが科学技術関係経費として投資された。2001年より第2期基本計画が進行中であり、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料の4分野を中心に重点的な投資がなされている。このようなこれまでの科学技術政策がもたらしたものを体系的に分析・評価することは、次期基本計画の策定の前提として必要である。さらに、こうした分析・評価は、科学技術分野への公的投資に関する国民への説明責任の観点からも重要である。

このような問題意識から、科学技術政策研究所では第1期及び第2期基本計画を対象とする「基本計画の達成効果の評価のための調査」を実施した。本報告書で扱う「我が国の研究活動のベンチマーキング」、「科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析」、及び「国公立大学及び公的研究機関の科学技術の代表的な研究開発成果調査」は基本計画レビューの一環として行われたものである。

一方、次期基本計画における重点化を考える場合、科学技術の各分野、領域、さらにはより具体的な技術がどのように進展し、どのようなインパクトをもたらすと考えられるのか、社会は科学技術に何を期待するのか、さらに、技術発展の基盤を提供する基礎研究の最新の動向はどうなっているのかなどを俯瞰性をもって展望することが必要となる。

このような問題意識から、科学技術政策研究所では「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」を実施した。本報告書で扱う「デルファイ調査」、「社会・経済ニーズ調査」、「急速に発展しつつある研究領域調査」、「注目科学技術領域の発展シナリオ調査」はそれぞれ予測調査の一環として行われたものである。

なお、レビュー調査及び予測調査は、科学技術振興調整費の配分を受けて2003年度及び2004年度の2ヵ年にわたり実施した。

2. 調査計画の全体概要

本報告書は、7つの調査の結果を第3期基本計画における重点化戦略の策定に資する観点から総合的にとりまとめたものである(図表1)。総合化に当たり、本報告書においては、以下の3点の分析を基軸とした。

① 研究活動の総合的ベンチマーキング

基礎科学を中心に、我が国の研究活動の水準について、量及び質の両面から海外主要国と比較し、強みと弱み、分野ポートフォリオの特徴などを明らかにした。同時に、これらが時間軸でどのように推移してきたかを明らかにした。

[関連する調査] 我が国の研究活動のベンチマーキング
急速に発展しつつある研究領域調査

② ケーススタディーによる科学技術のインパクト分析

科学技術がこれまで具体的にどのようなインパクトを経済・社会・国民生活に対して与えてきたかをケーススタディーにより明らかにした。同時に、これらのインパクトが実現する過程において、公的研究開発・支援がどのような役割を果たしてきているのかを分析した。

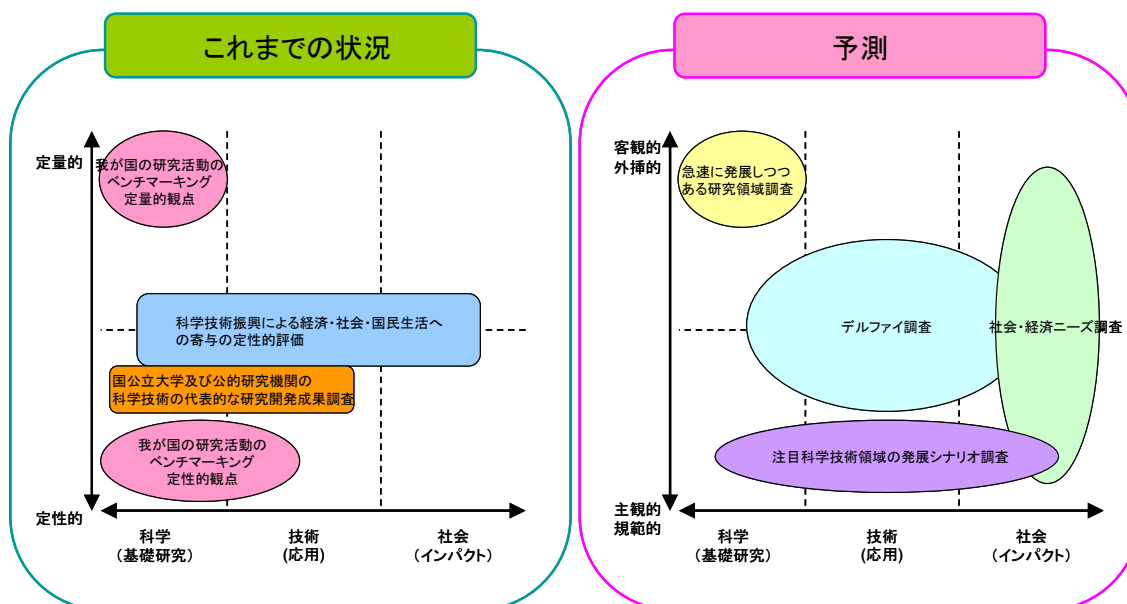
[関連する調査] 科学技術振興による経済・社会・国民生活への寄与の定性的評価・分析
国公立大学及び公的研究機関の科学技術の代表的な研究開発成果調査

③ 科学技術の展望と分析

科学技術の各分野やこれを構成する領域、さらにより具体的な個々の技術が今後 30 年の時間軸で技術的にどのように展開し、社会に適用されていくのか、どのようなインパクトが期待されるのか、その際政府に求められる役割は何かについて、専門家集団のコンセンサスの状況を明らかにした。また、このようなコンセンサスに加えて、各分野の卓越した専門家が今後の科学技術発展がどうあるべきかを記述するシナリオ分析を実施した。さらに、将来の社会に向けて科学技術に何が期待されるかを整理した。

[関連する調査] デルファイ調査
社会・経済ニーズ調査
注目科学技術領域の発展シナリオ調査

図表 1 本報告書にて扱う7つの調査の設計



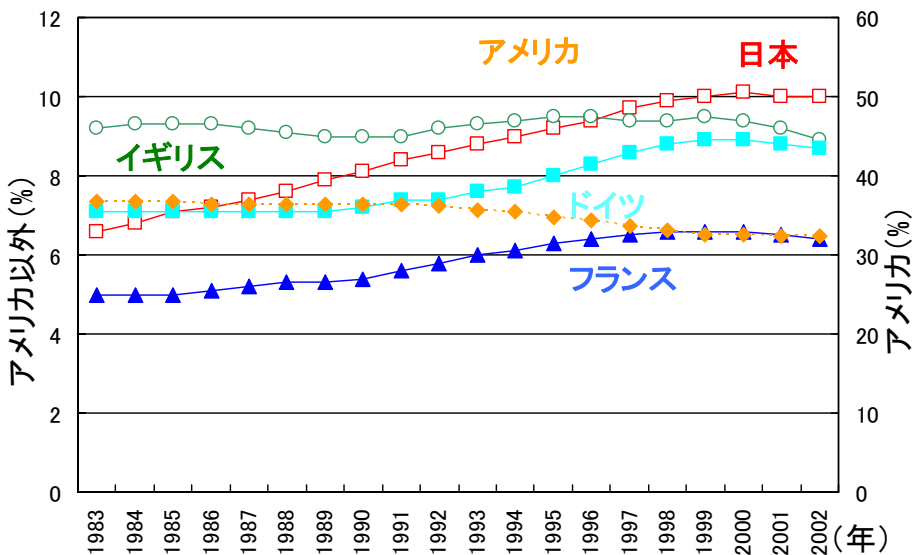
3. ハイライト

本調査にかかる調査成果のハイライトは以下の通り。詳細は、NISTEP REPORT No.99 「我が国における科学技術の状況と今後の発展の方向性 - 基本計画レビュー調査及び俯瞰的予測調査による分野・領域の総合的動向分析 -」、個別テーマについては、各サブテーマの報告書である NISTEP REPORT No.89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98 を参照されたい (別紙参照)。

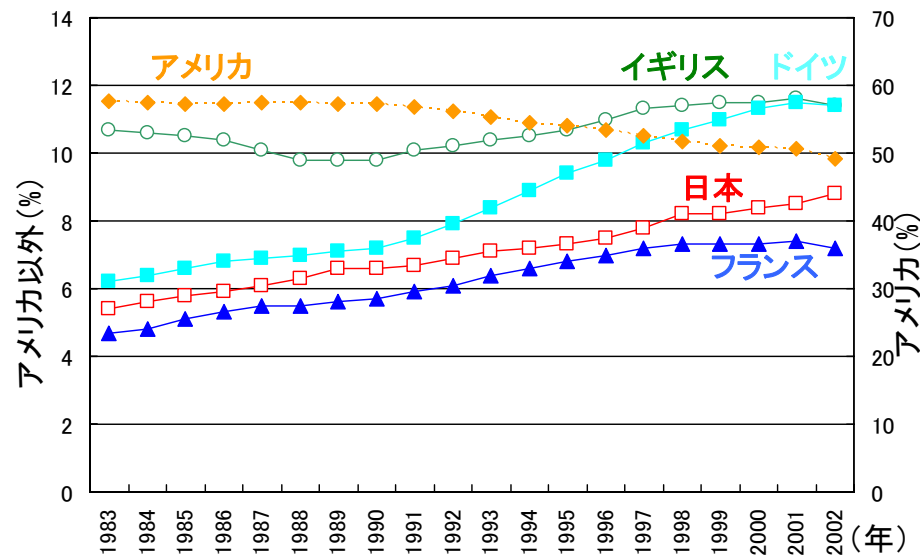
全論文シェアとTOP10%論文シェアの推移

- 日本は全論文シェアを着実に伸ばし、世界第二位である。
- 日本はTOP10%論文シェアを着実に伸ばしているものの、イギリスおよびドイツに水をあけられている。

論文シェアの推移
全分野:全論文数(3年移動平均)



TOP10%論文シェアの推移
全分野:全論文数(3年移動平均)

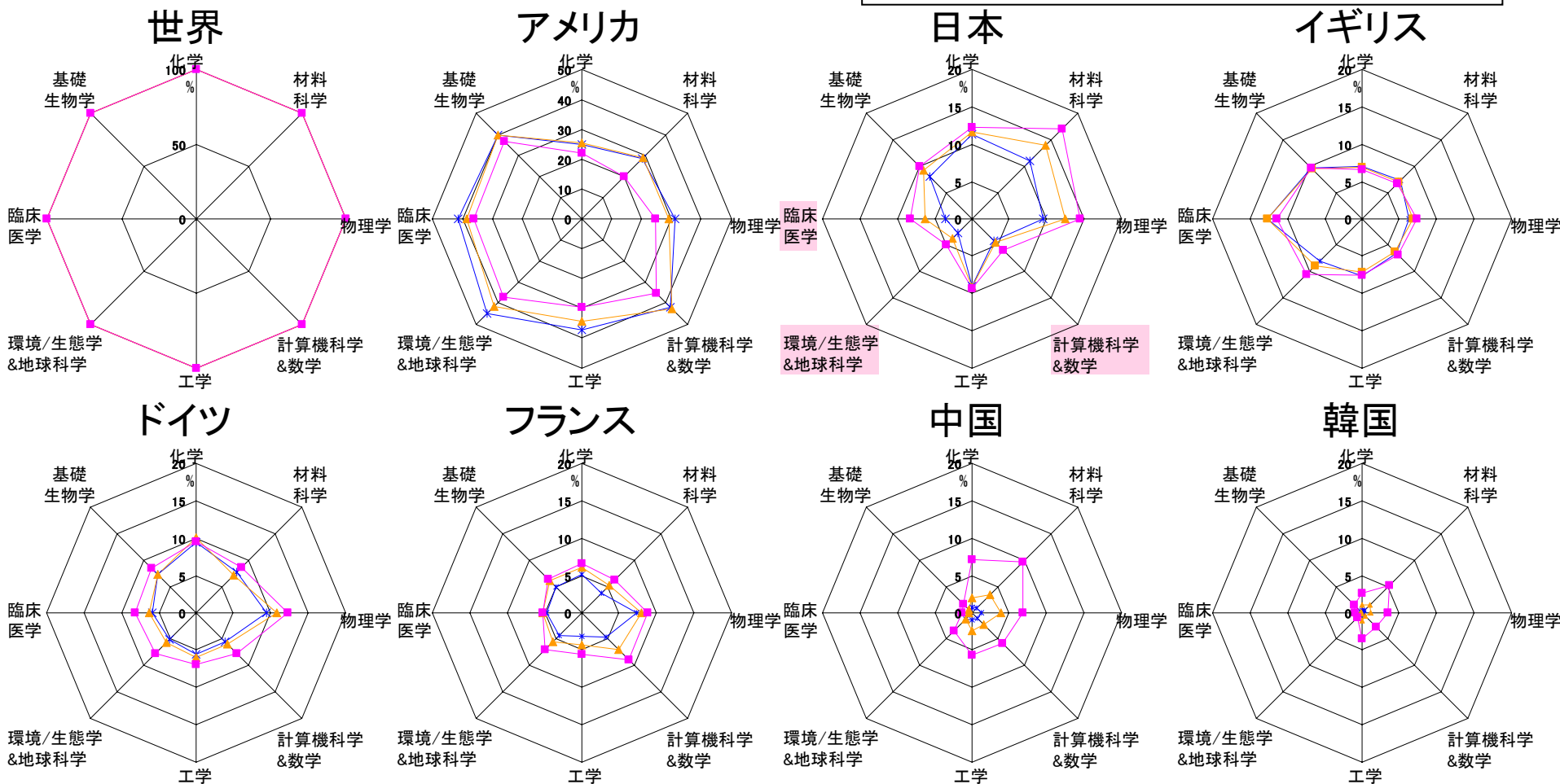


(注) TOP10%論文とは、論文の被引用回数が各分野で上位10%に入る論文を指す。

各国の論文産出における論文シェアのバランス

●日本は、計算機科学&数学、環境/生態学&地球科学、臨床医学は論文シェアが低い。

✧ 1983-1987年 ▲ 1991-1995年 ■ 1999-2003年

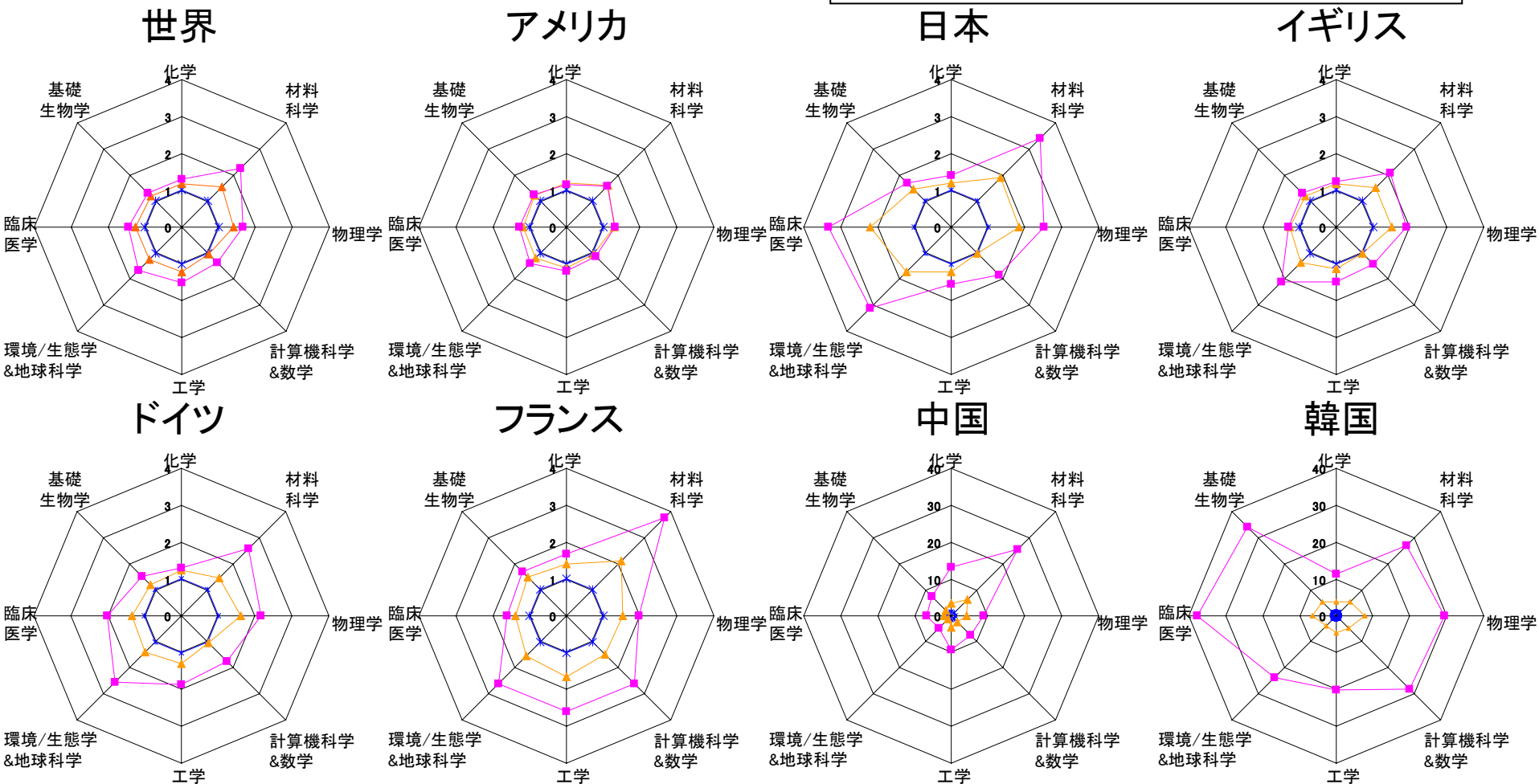


(注)このグラフでは、17分野を8つに集約している。基礎生物学は、農学、生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物科学の分野を含む。

各国の分野別論文産出量の変化

- 各国ともに材料科学の伸びが大きい。
- 日本の臨床医学および環境/生態学は、ポートフォリオでは1に満たないが増加率は大きい。

✧ 1983-1987年 ▲ 1991-1995年 ■ 1999-2003年



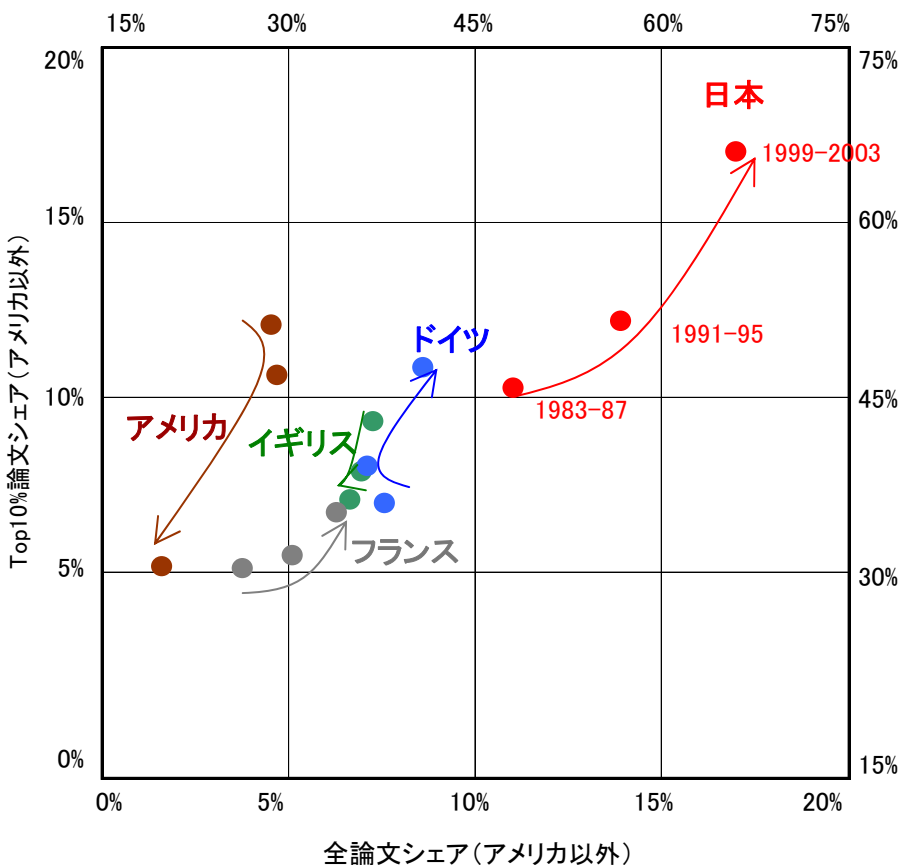
(注)このグラフは、1980年代の各国の各分野の論文生産量を1としたときに、1990年代、2000年代にどのように変化したかを表わしたものである。基礎生物学は、農学、生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物科学の分野を含む。

領域別日本のシェア-全論文・TOP10%論文

- 材料科学および物理学は、全論文シェアおよびTOP10%論文シェアともに順調に伸びている。
- 材料科学での日本の全論文シェアはアメリカに追いつきつつある。

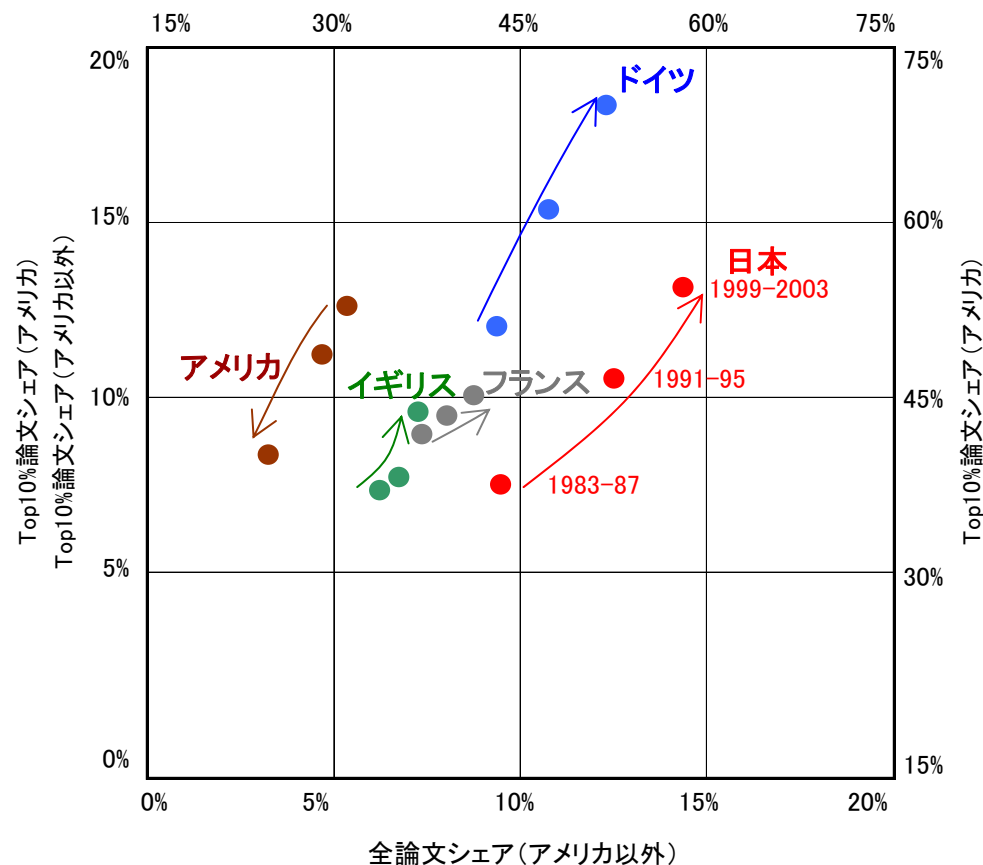
<材料科学>

全論文シェア(アメリカ)



<物理学>

全論文シェア(アメリカ)

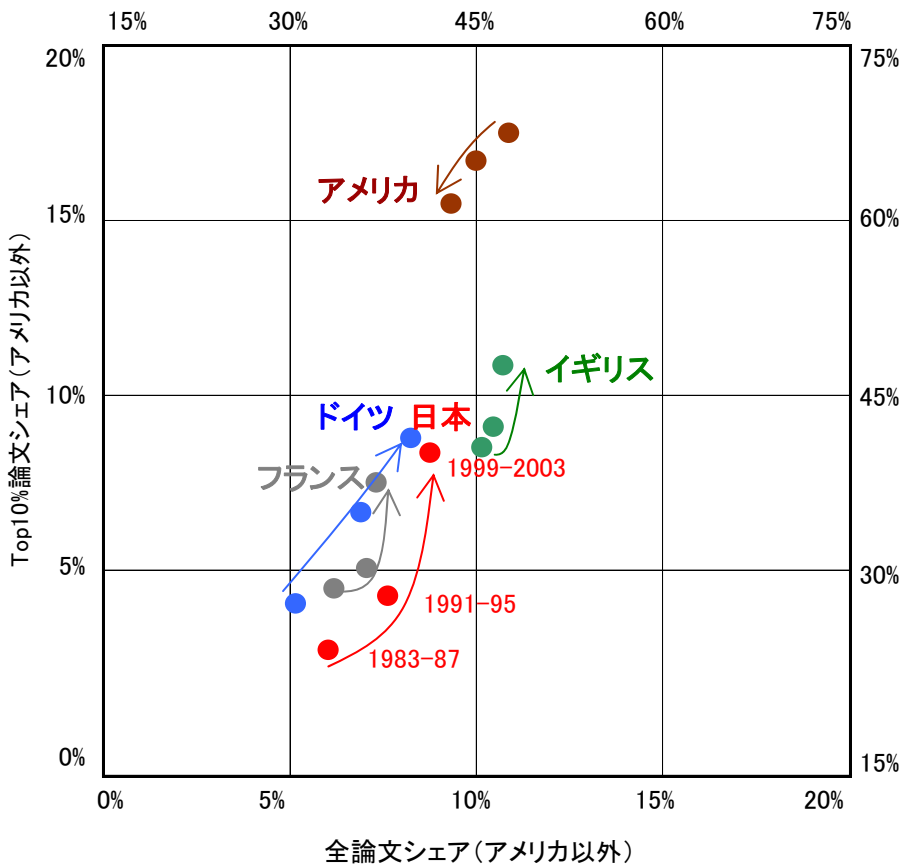


領域別日本のシェア2-全論文・TOP10%論文

- 免疫学は90年以降、TOP10%論文シェアの伸びが著しい。
- 臨床医学は90年以降、全論文シェアおよびTOP10%論文シェアが伸び悩んでいる。

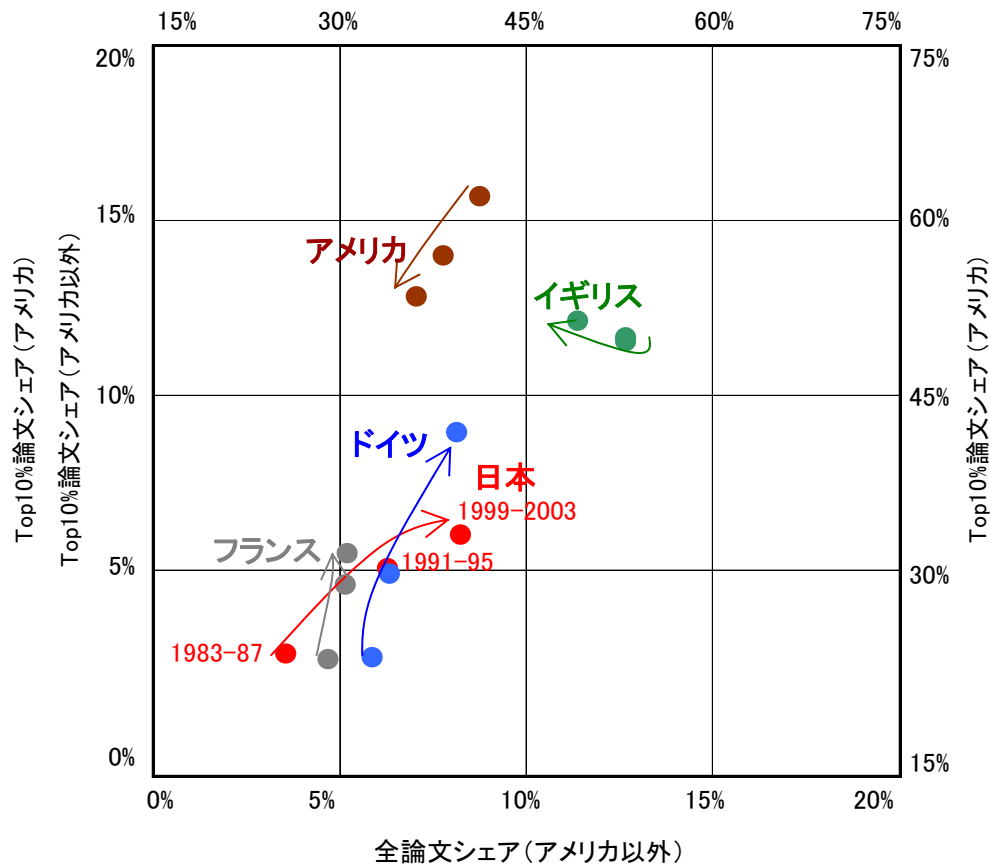
<免疫学>

全論文シェア(アメリカ)



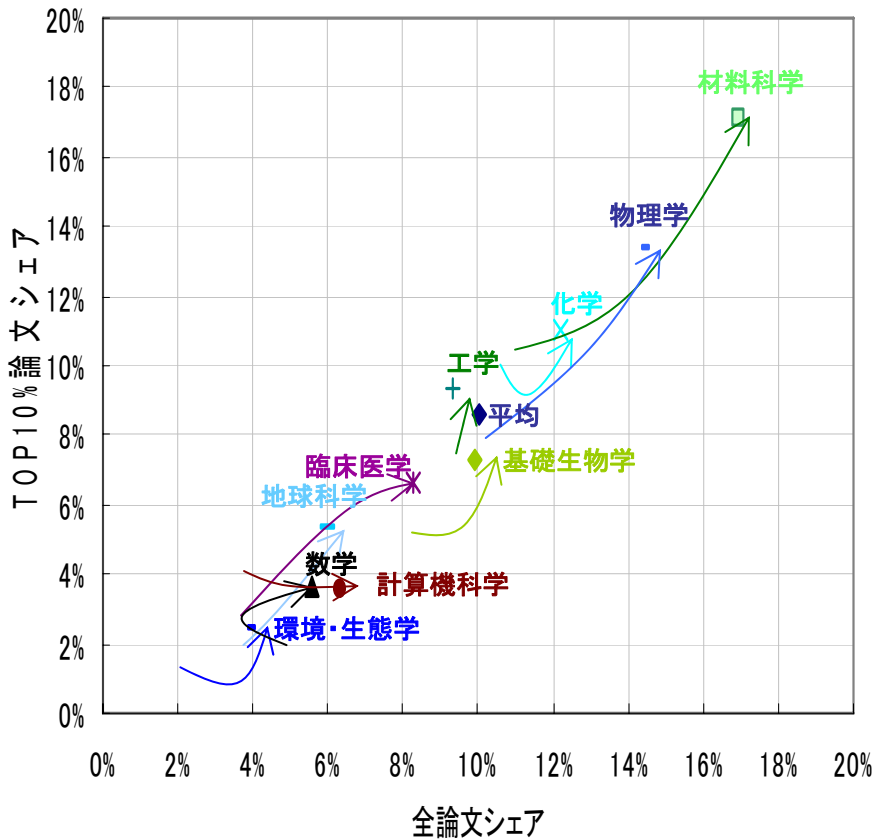
<臨床医学>

全論文シェア(アメリカ)

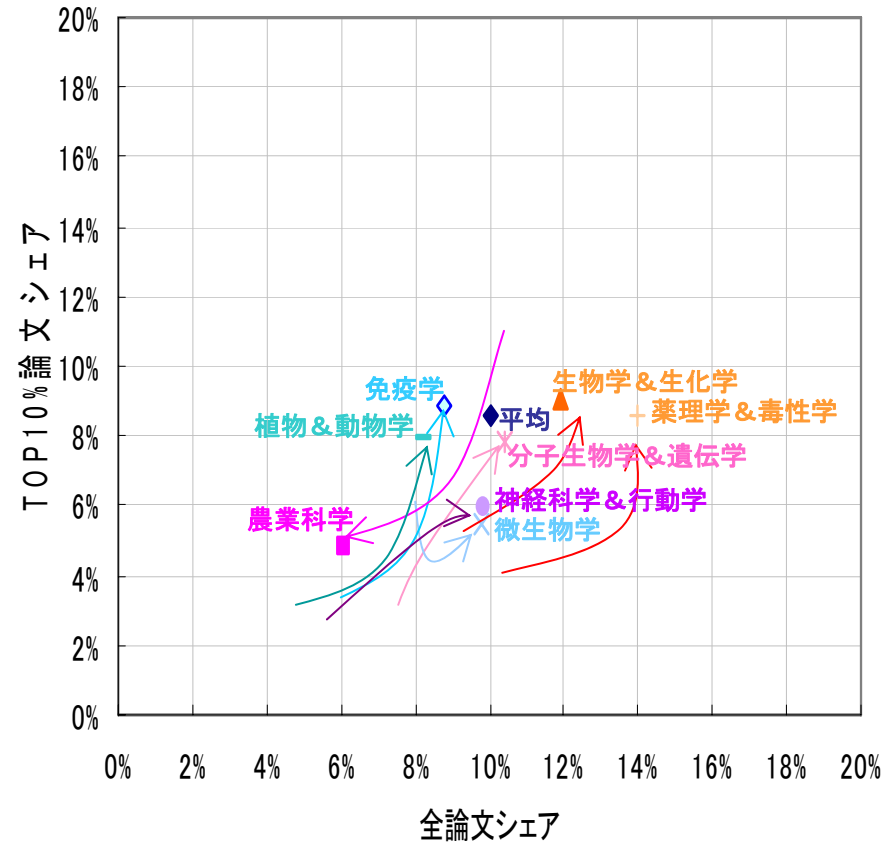


日本における各分野の20年間の論文シェア及びTOP10%論文シェアの変化

80年代(1983-1987), 90年代(1991-1995), 最近(1999-2003)の変化[5年移動平均]



左図のうちの基礎生物学の内訳

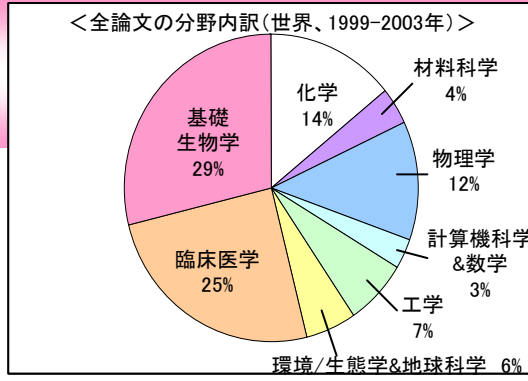


(注1)この左グラフでは、基礎生物学に、農学、生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物科学の分野が含まれている。

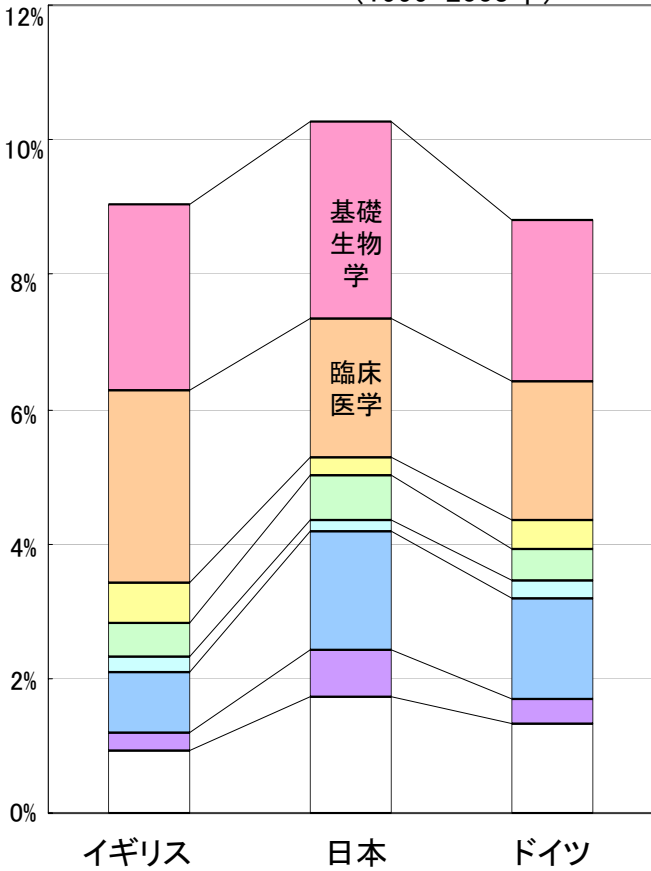
(注2)矢印の根元は1983-1987年の5年移動平均シェア、矢印の先は1999-2003年の5年移動平均シェアを示している。

国としてのTOP10%論文シェアの分野別構造

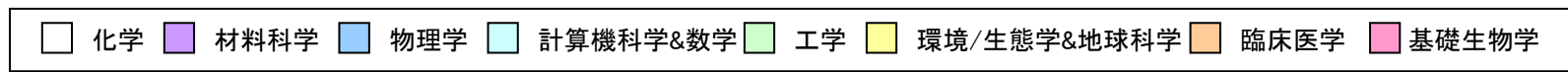
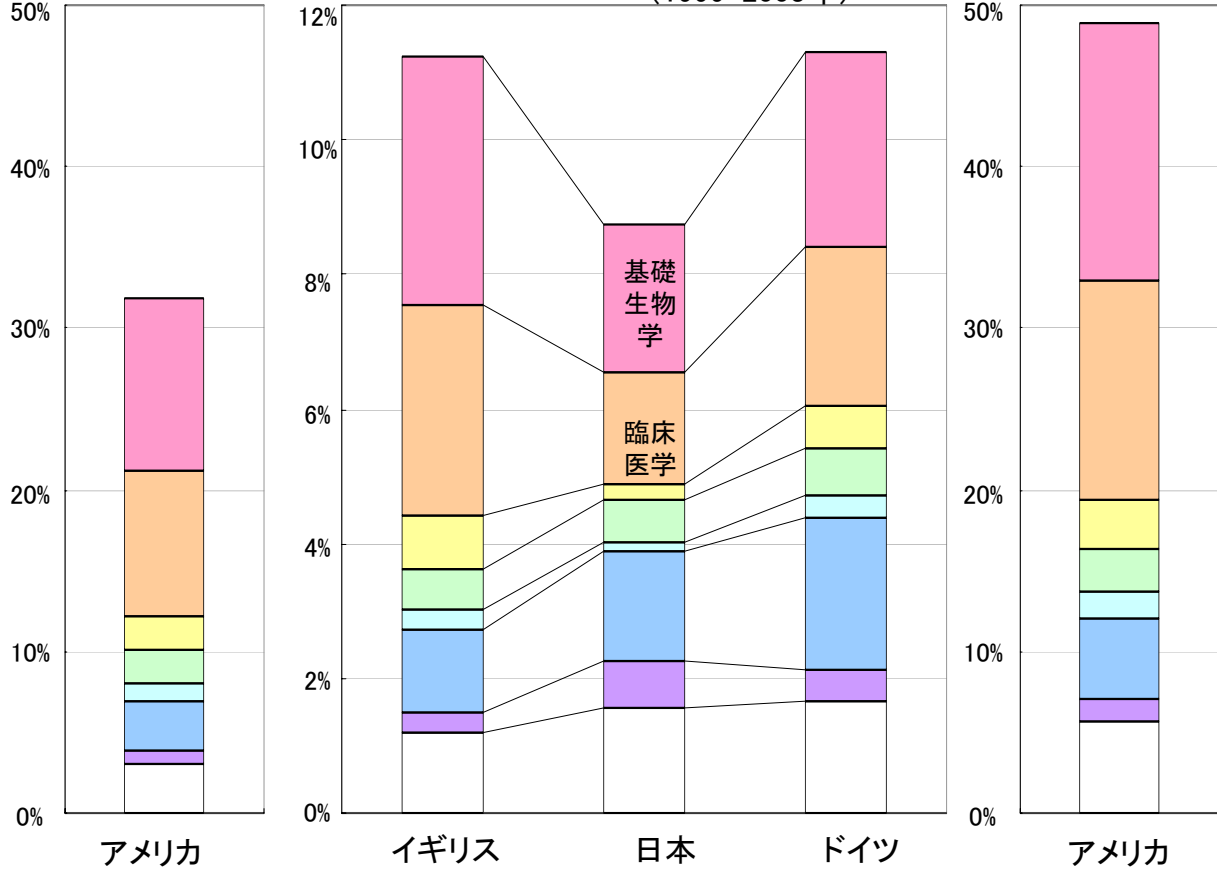
●全論文の質を表す一つの指標であるTOP10%論文シェアを上げるためには、基礎生物学および臨床医学のシェアを伸ばす必要がある。



<全論文シェアの分野内訳>
(1999-2003年)



<TOP10%論文シェアの分野内訳>
(1999-2003年)



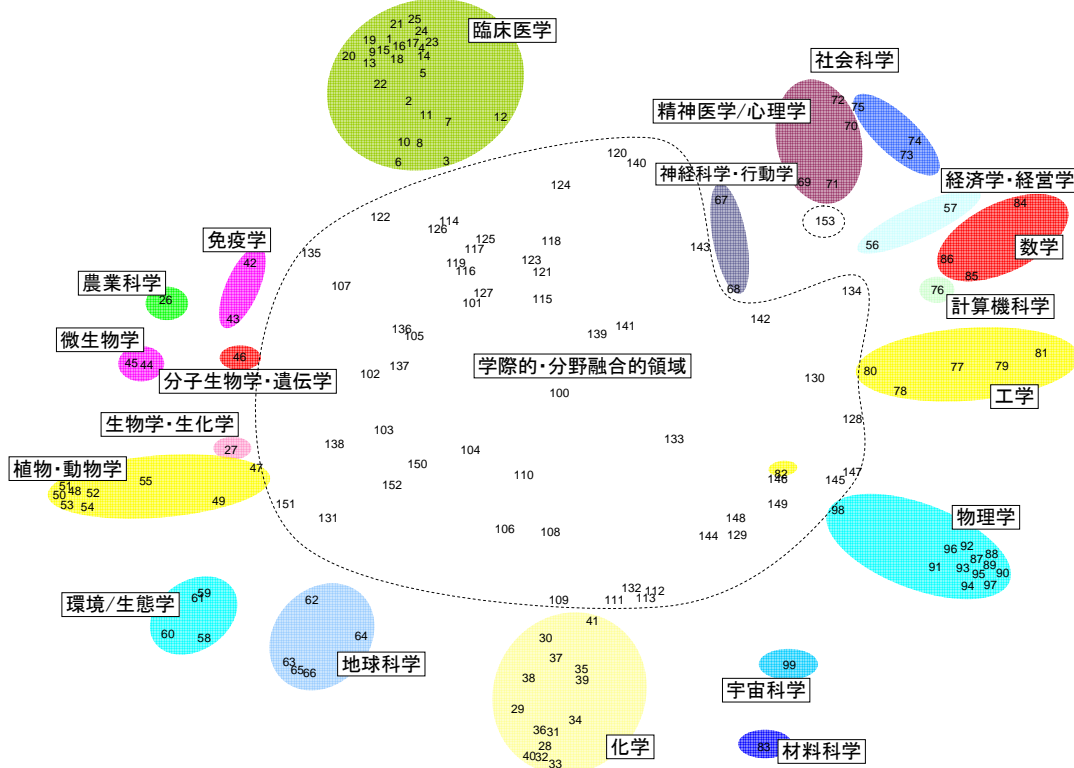
(注)基礎生物学は、農学、生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物科学の分野を含む。

科学における急速に発展しつつある領域

- 各分野の被引用上位1%論文(コアペーパー)を抽出し、それらの共引用の度合いを指標にグループ化して、研究領域を抽出した。
- 物理学、植物・動物学、化学の研究領域において、日本のコアペーパーの比率が高い。
- 全体の約1/3が境界的・分野融合的領域(特定分野のコアペーパーが60%を超えない。)であり、そこで日本は健闘している。

分野	ID	研究領域名
臨床医学	1	急性冠症候群に関する研究
	2	シクロオキシゲナーゼ-2阻害剤の研究
	3	疾患治療を目的とした免疫研究
	4	高血圧症治療に関する研究
	5	がんの分子標的薬研究
	6	バイオテクノロジーに関連した天然産物・炭素源に関する研究
	7	致死性不整脈とそれによる突然死予防に関する研究
	8	ウイルス性肝炎
	9	大腸がんの補助化学療法の効果評価
	10	フェルモンを主成分とした昆虫性誘引剤の治癒法の研究
	11	抗体を用いたリンパ腫の治療法
	12	慢性心臓病に対する初期治療
	13	機能性胃腸症および胃食道逆流症の治療研究
	14	ホルモン療法
	15	癌標的疾患の画像診断法の進歩と臨床への展開
	16	前立腺がんの非外科的治療法
	17	2型糖尿病(インスリン非依存型糖尿病)
	18	腎機能障害と疾患の関連
	19	アゲン酸シールドナフィに関する研究
	20	多発性骨髄腫に対する骨髄移植に関する研究
	21	心不全治療研究
	22	白血病に対する新規治療法の臨床研究
	23	がんの臨床試験に活用されるバイオテクノロジーの進展評価
	24	外科手術における抗血栓薬治療
	25	癌がんの化学療法

分野	ID	研究領域名
農業科学	26	ポリフェノールの生理作用
生物学・生化学	27	タンパク質フォールディングの研究
化学	28	自己組織化
	29	酵素・触媒触媒
	30	有機/無機ハイブリッド材料
	31	イオン性液体
	32	リビングラジカル重合
	33	高効率な炭素結合形成反応と有機合成反応
	34	結晶成長・相変遷過程を中心とした計算化学手法によるアプローチ
	35	バイオ分析用デバイス
	36	デンチャー
	37	ナノ結晶粒子のバイオ分野への応用技術
38	マイクロ波を利用した有機合成	
39	分子デバイス/分子機械	
40	高効率な有機化合物のメタリ化反応	
41	有機フォトリソグラフィ材料およびその光応答機能利用	
42	CD4およびCD8メロリ-1細胞に関する免疫研究	
43	がん生物に対する前癌誘発機の研究(Tad-like receptor研究)	
44	バイオフィルム研究	
45	大腸菌の遺伝子発現プロファイル	
46	DNAメチル化	
47	生物時計に関する研究	
48	細胞機械的応答の調整	
49	気候・酸化炭素増加による陸上植物の成長促進	
50	植物ホルモン・アブジシン機能の機能解析	
51	シロイナズナを用いた分子植物科学研究	
52	植物ホルモン・オーキシンの機能解析	
53	植物ガム研究	
54	アラブノイド研究	
55	濃縮による二酸化炭素吸収メカニズム・濃縮メカニズム	



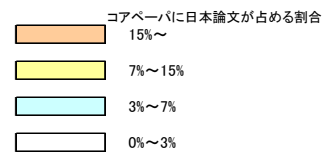
分野	ID	研究領域名
境界的・分野融合的領域	100	神経伝達物質放出を制御する神経終末タンパク質の働き
	101	細胞の生存シグナルの分子生物学的研究
	102	G-タンパク質共役受容体の構造と機能に関する研究
	103	細胞膜チャンネル
	104	メタボリズム
	105	老化および老化初期による遺伝子発現プロファイルへの影響
	106	緑色蛍光色素を用いた分子イメージング
	107	活性酸素による心血管系への酸化ストレス
	108	プロテオミクス
	109	粘土鉱物系ナノ複合材料
	110	インフルエンザに関する研究
	111	リチウムイオン二次電池の正極材料
	112	近接場分光イメージング
	113	リチウムイオン二次電池の負極材料
	114	ペルオキシソーム増殖剤に感受性受容体に関する研究
	115	①グルタミンセプター ②がんの成長阻害
	116	アラトランスの分子機構
117	脂肪細胞分泌ホルモン	

分野	ID	研究領域名
境界的・分野融合的領域	118	幹細胞の心臓の再生に関する研究
	119	DNAマイクロアレイによる遺伝子発現解析
	120	自閉症に関するスクリーニングの必要性
	121	大気中位状物質の健康影響
	122	エストロゲンレセプターの機能の解明
	123	分子イメージング研究
	124	うつ病に対する実践的治療計画
	125	メロスタグランジンの分子機能の解明
	126	MVC遺伝子機能の研究
	127	プロテオーム研究
	128	経済物理学/金融市場データ解析と数理モデル
	129	地殻・マントルの物質の研究/自伝子元素の定量
	130	計算論的学習理論サポートベクターマシンベーススタディ
	131	小進化現象
	132	メノパausal材料とナノワイヤー
133	有限要素法、メッシュレス法を用いた数値解析	
134	モンテカルロ法の新しい応用	
135	薬剤性心不全と神経性障害に関する臨床的および基礎的研究	

分野	ID	研究領域名
境界的・分野融合的領域	136	病原微生物のゲノム解析
	137	ヒストン脱アセチル化の役割
	138	RNAi (RNA interference)
	139	神経変性疾患についての研究
	140	多変性硬化症の診断・治療法開発
	141	非免疫受容体による免疫刺激と多様な生理学的応答
	142	脳内のニコチン性アセチルコリン受容体
	143	トランスクリプトーム/ゲノム/メタボローム/タンパク質組換えによるがん研究の応用
	144	カーボナナチューブ
	145	山梨糖化合物の半導体デバイス化研究
	146	高誘電率ゲート絶縁膜
	147	核融合
	148	高分子発光素子の研究
	149	有機レトロケミクス
	150	マツリ原虫のインプラノイド生成経路に関する研究
151	流域生態学	
152	森林を中心とする陸上生態系の炭素固定	
153	①発症性胃腸癌(膵臓がん)の原因分析と治療法 ②発症性胃腸癌(膵臓がん)の原因分析と治療法	

分野	ID	研究領域名
経済学・経営学	56	労働力多様化時代における公正の問題
環境/生態学	57	知識と情報技術をベースとした組織・経営論研究
	58	有機化学物質による環境汚染と健康リスク
	59	新規化学物質による環境汚染と生物影響
地球科学	60	捕食回遊の生態学
	61	植物種多様性の機構と機能
	62	植物における炭素固定の生理学的調節と気候変動との関係
	63	地球規模の気候変動研究
神経科学・行動学	64	気候変動および大気に関するエアロゾル
	65	土壌における地球規模の気候変動
	66	地球型惑星の構造解明
精神医学/心理学	67	アルツハイマー病の認知改善薬開発
	68	大脳新皮質の発達と神経変性に関与する分子
精神医学/心理学	69	神経症障害、ストレス関連障害および身体表現障害
	70	統合失調症の薬物治療とその影響
精神医学/心理学	71	統合失調症
	72	精神疾患(うつ病)に対する非薬物的治療法
社会科学・一般	73	法社会学および経済学における行動主義的分析
	74	地域経済発展とネットワーク
	75	臨床看護サービス

分野	ID	研究領域名
計算機科学	76	無線通信技術
	77	生体試料や環境試料の微量元素分析
工学	78	低エネルギー環境下における材料科学の解析と新規物質創製
	79	流流の知的制御
	80	画像符号化圧縮技術
	81	軟骨組織の研究
材料科学	82	質量分析法と創薬、テラメド治療
	83	生体構造再生材料
数学	84	スベクトル解析
	85	形態形成と微分方程式
物理学	86	高次元のシフトレジスタ/量子ドット/量子ドットによる光の制御
	87	ニュートリノ研究
	88	重イオン衝突による高温・高密度物質の探求
	89	弦理論に基づく素粒子論的宇宙論
	90	酸化物質高温超伝導物質
	91	ペロブスカイト型マンガン酸化物の物性研究
	92	非可換時空/構成論的弦理論
	93	量子コンピュータ
	94	全金属系超伝導物質と重い電子系超伝導物質
	95	非線形現象の研究
96	光の非線形現象の研究	
宇宙科学	97	非可換場の理論/背景場中のブレイン
	98	分子ローター
99	宇宙の構造と進化	



RANDおよびPRESTのレポートを総合的にまとめた結果

分野名	良い点	問題点
ライフサイエンス系 (生物学・生化学、免疫学、微生物学、分子生物学・遺伝学、神経科学・行動学、薬理学・毒性学、植物・動物科学、農学、臨床医学)	【米国】 ・概して日本は、同分野における研究の重要な担い手であると認識されている。 ・多くの研究分野において意義深い貢献がなされていると回答された。 ・日本の研究は揺るぎないものであると認められている。 【欧州】 ・研究助成の増額から今後の発展が期待される。	【米国】 ・画期的な発見を生み出してきたとは考えられていない。 ・並外れたものではないと考えられている。 【欧州】 ・望ましい成果を生み出せるだけの研究量に達していない。 ・国際的刊行物で日本の記事が十分に見られない。
情報通信系 (計算機科学、電気・電子工学、機械工学、数学)	【米国】 ・安定的で高品質な研究を遂行し、幅広い分野に対して多大な貢献を果たしていると言われている。 【欧州】 ・応用研究において有意義な成果を残しているとともに、きわめて重要な貢献を果たしている。	【米国】 ・全体としては画期的な研究成果を挙げているとは位置づけられていない。日本の研究が国際的にあまり高い評価を得ていない1つの理由として、多くの飛躍的な発明が国際的な学界に広く伝えられていないという点を挙げている。 【欧州】 ・国際的露出度が低い。
環境系 (環境学/生態学、エネルギー工学、地球科学)	【米国】 ・研究活動は一貫して素晴らしいという評価を受けた。 ・研究開発能力は、ここ数年で著しい進歩を遂げた。 ・概して、日本が応用研究においてすぐれた功績を残しているとともに、きわめて重要な貢献を果たしていると評価されている。 【欧州】 コメントなし	【米国】 ・より活発な国際的交流を通じ、同分野における日本の地位をさらに向上させることができるであろうと指摘があった。 【欧州】 ・研究の量的面および質的面ともに弱い。 ・国際会議の出席や論文発表がないので日本の研究活動を認識できない。
ナノテクノロジー・材料系 (化学-基礎、化学-応用、材料工学-金属、材料工学-高分子、材料工学-無機材料、材料工学-半導体、物理学-基礎、物理学-応用)	【米国】 ・日本の研究活動は一貫した質の高さが特筆されている。 ・世界最高水準に匹敵すると評価された。 【欧州】 ・応用研究においてすぐれた功績を残しているとともに、きわめて重要な貢献を果たしている。	【米国】 ・研究の深さが不足している。 【欧州】 ・日本との国際共同プロジェクトには概して困難が伴う。

(注1)米国での具体的な調査はRANDコーポレーションが担当した。欧州での具体的な調査は英国マンチェスター大学のPRESTが担当した。

海外トップクラスの科学者・研究者が各専門領域で高く評価した日本の代表的成果リスト

分野名	地域	①研究成果	②世界的研究施設 ③国際共同研究
ライフサイエンス系	米国	<p>注)略字はそれぞれ以下の分野を示す。農学:農業科学、微生物:微生物学、神経:神経科学&行動学、臨床:臨床医学、分子:分子生物学&遺伝学、植動:植物&動物学、免疫:免疫学、薬学:薬理学&毒理学、生物:生物学&生化学、計算:計算機科学、電電:電気・電子工学、機械:機械工学、環境:環境学&生態学、地球:地球科学、エネ:エネルギー工学、材料:材料科学、物理:物理学。</p> <p>【生物1】<u>糖鎖研究、グリカン構造の解明</u>【生物2】アルツハイマー病関連のペプチド分解の酵素の機能の発見【免疫1】AIDタンパク質の発見、抑制性T細胞研究、インターフェロンやサイトカインの制御。【微生物1】<u>抗生物質の開発</u>【微生物2】嫌気性菌を利用した環境浄化、<u>分子生物学レベルでの環境問題への微生物応用</u>【臨床1】<u>薬剤の安全性研究</u>、ワクチン開発研究、肝炎(B型、C型)、癌、血液学、泌尿器科学、HIVなどの分野【神経2】<u>脳の特定神経細胞の選択的除去と当該細胞の機能解析</u>、抗癌薬として使われる結果になったタンパク群のクローニング【神経3】霊長類の神経生理と認知の脳機構に関する研究【薬学1】<u>毒性化学物質の細胞内の受容体であるアリルヒドロカーボン受容体の研究</u>、食品の焦げに存在する発がん物質研究、薬剤毒性における解毒酵素のグルタチオンS-トランスフェラーゼ(GSTP)の研究、【薬学2】ディーゼルの免疫毒性学(喘息との関連)【植物1】<u>遺伝子の機能解析、稲の分子遺伝学と稲作への応用</u>、<u>細胞生物学</u>、植物発生生物学【植物2】植物生理学、特に<u>光受容体</u>と情報伝達</p>	<p>【分子1】cDNAプロジェクト、ヒトゲノム解読での貢献【分子2】<u>cDNAプロジェクト、様々なゲノム解読での貢献</u>【農学1】<u>イネゲノムの解読</u>【農学2】<u>イネゲノムの解読</u>【植物1】植物ゲノム情報汎用のためのデータベース</p>
	欧州	<p>【免疫】<u>細胞周期、腫瘍学</u>、分子生物学の技法、遺伝子サイレンシング【微生物】シグナル伝達、染色体分配【薬学】チップテクノロジーを用いた化学物質の毒性ゲノミクス検査【分子】<u>がんの遺伝学、アポトーシス</u>【神経】<u>生物分子学、認知神経学</u>、細胞骨格、自律神経系の研究【植物】<u>温室効果ガス排出関連の取り組み、C4光合成</u></p>	
情報通信系	米国	<p>【数学2】ボルツマン方程式、波動方程式【数学3】量子理論の形成、微積分学、因子分解法【計算1】<u>グリッド・コンピューティング</u>、バイオインフォマティクス、分散コンピューティングのハード面、フォルト・トレラントシステム、ネットワーク技術【計算3】<u>音声処理</u>【計算4】<u>計算機科学(特にコンピュータネットワーク領域)</u>【電電1】<u>極小の半導体デバイス、シリコンをベースの単電子デバイス、メゾスコピック物理学</u>、スピントロニクス【電電2】<u>宇宙空間でのレーダー装置の開発</u>【機械1】<u>溶接技術、鉄鋼材料技術</u>、組み立てや建設プロセスの自動化【機械2】<u>合成物質の土木建築物への応用</u>、カーボンファイバー、ロケットやエンジンに用いられる合成物質の高温耐熱技術、合成物質</p>	
	欧州	<p>【数学】<u>代数幾何学、微分幾何学</u>【計算】<u>ロボット工学、ユビキタス・コンピューティング、神経回路網</u>、移動体通信【計算】<u>地球科学における高性能シミュレーション</u>、クラスターコンピューティング、生命情報科学【機械】<u>高性能コンピューター・シミュレーション</u>【電電】アクティブ・マトリクス液晶ディスプレイ</p>	【計算】地球シミュレータ
環境系	米国	<p>【環境1】温暖な地域の森林における暴風といった弊害の影響力などの研究【環境2】人類の起源や分子ベースの研究【地球1】<u>GPS受信機による気象学的変動及び気候変動の計測</u>【地球2】<u>GPS時刻信号の遅延量による大気中の水蒸気分布の測定</u>、局地的かつ精密な天気予報、数学的モデルによるシミュレーション【エネ1】<u>ハイブリッド車の開発(特に、制御系アルゴリズム開発)</u>、低燃費車【エネ2】<u>ハイブリッド車、ハイブリッドエンジン</u>、電気モーターなどの開発、商用化</p>	【地球1】 <u>地球シミュレータによる天候及び気候変動のシミュレーション</u>
	欧州	<p>【環境】<u>大気の相互作用</u>【地球】粘土鉱物学(特に、非晶質粘土)【エネ】ロボット制御システム</p>	
ナノテクノロジー・材料系	米国	<p>【化学1】ナノテクノロジー(特に、カーボンナノチューブ、先端材料)、ナノバイオテクノロジー、半導体技術【化学2】超高速分光へのレーザーの応用、複雑な分子力学を理解する為の手法の開発【化学3】原子核研究【材料金属1】<u>材料科学(特に導熱、導電性酸化)、分子線エピタキシー、高温超電導体格子、ファン・デア・ワールスエピタキシー、酸化チタン</u>【材料金属2】材料の合成(例えば、YBCuO超伝導体)【材料半導体2】カーボンナノチューブとその燃料電池への応用【物理基礎2】<u>カーボンのナノ構造</u>、カーボンへのホウ素ドーピング【物理基礎3】<u>高圧物理学</u>、地震地質学【物理応用1】<u>先端材料、ナノ科学、高温超伝導体、カーボンナノチューブ、ニュートリノ研究、半導体研究</u></p>	【物理基礎1】 <u>スーパーカミオカンデ、KamLANDでの実験</u> 【物理応用1】 <u>スーパーカミオカンデ、シンクロトロン放射装置での実験</u>
	欧州	<p>【化学基礎】<u>バッテリー燃料、有機合成</u>、構造生物学、超伝導、スピントロニクスオーバー、分子力学【化学応用】<u>燃焼に関する研究</u>【材料高分子】材料科学、高分子科学、実際の関心のある性質についての量子力学分析【材料半導体】<u>低次元半導体構造</u>、窒化物半導体【材料無機】バルクの超伝導体の作製【物理基礎】<u>ニュートリノ物理学、宇宙線物理学</u>【物理応用】<u>高エネルギー物理学、シンクロトロン放射物理学</u>、核粒子物理学、新しいマルチクォーク状態、</p>	【物理基礎】スーパーカミオカンデ

(注1)【 】内はコメントした海外トップクラスの科学者・研究者の専門領域を示す。数字は、回答者の番号である。

(注2)赤字下線部は海外トップクラスの科学者・研究者が特に高い評価を与えたものである。

日本の研究開発のシステムに関するコメント例

◆日本の研究の質の向上(材料科学-半導体、植物学・動物学など)

全体として、日本の研究の質は過去10年の間に改善されたように見られ、そして、変化は幾つかの分野で特に劇的であった。いくつかの特定の領域では、極めて創造的で革新的である。例えば、日本の高度材料やナノ科学分野では、より多くの研究者や科学者が従事するにつれて、研究の分散と深さが増大するのがわかる。しかも彼らの多くは東京のトップ機関ではない。指摘されたもう一つの指標は、「SCIENCE」や「NATURE」といった科学ジャーナルを読む時に日本人の寄稿論文の数が増えていることであった。

◆日本の研究の革新性を評価(材料科学-高分子、計算機科学、臨床医学など)

日本人の「科学的発見と技術的革新を実行に移すこと」が賞賛されている。それぞれの分野あるいは専門領域での日本の研究を「最先端」、「世界クラス」、米国そして世界のベストと「同等」と説明した。仕事は最高品質でなくとも、「手堅い」「信頼性がある」とも説明された。しかしながら、これらの彼らの評価は、特定の個人や機関に結びついているのであり、分野あるいは専門領域全体の日本の評価を反映している訳ではないということが強調された。

◆日本の研究の深さの欠如(生物学・生化学、数学、環境学・生態学など)

日本の研究の全般的な質を評価する際には、深さ、斬新性と創造性の欠如が一樣に指摘された。生物学・生化学での例では、シグナル伝達の経路上のいくつかのたんぱく質の存在を証明して、よいスタートをきるが、そこで研究が止まってしまい、治療するべきターゲットの証明につながるような構造的な解釈をするなどして、研究を深めないと評価された。数学では、日本の主要な研究者は年をとり、それを継承する人材がいないと指摘された。

◆日本の若手人材への肯定的評価(分子生物学・遺伝学、材料科学-半導体など)

一般的には、若い日本人研究者の研究技量の改善、対話し自らの見方を主張しようとする意気込みが大きくなってきていること、そして、文化圏を超えた英語による意思伝達がおおいに優れてきたことを挙げて、それぞれの分野と専門領域の若い科学者を十分評価した。また、革新的な研究をやろうとしており、国際会議にも積極的に参加していると評価されていた。

◆日本の若手人材への懸念(化学、薬理学・毒性学、植物学・動物学、農業科学など)

大学や大学院で科学を専攻している日本の若者は、学問的研究ではなく、産業界での仕事に就くことが多い。薬理学・毒性学では、日本人研究者は海外の学会で発表するのは年齢の高い研究者に限られ、若手の存在を感じる機会がないと指摘。将来の世代として若い日本人科学者が、今後の日本の科学をリードするようになっていくのかどうか心配していた。

また、日本のそれぞれの分野あるいは専門領域に日本人の女性科学者がいないという点が挙げられた。

◆日本語による論文の存在の良い面と悪い面(分子生物学・遺伝学、植物学・動物学、計算機科学など)

日本の刊行物が存在することで、日本の中にダイナミックな研究土壤があることは良いことである。通常先ず日本語で発表され、それから日本の中で吟味、洗練された後に、英語で日本あるいは海外で発表される。しかし、このような過程を経ていると、海外での発表が遅くなり、革新的であるとの評価を受けない。

◆日本人の研究の国際化を進めるべきこと(化学、薬理学・毒性学、数学など)

日本の科学がさらに競争力を持つには、より国際的でなければならないと思われる。外国人科学者による長期休暇滞在のようなより長期にわたる研究訪問に対して、日本は自らをよりオープンにしなければならない。また、大学院生や博士研究員の海外派遣を派遣し、新たな突破口を学ばせることは重要である。中国、韓国、インドなどからの留学生は多いが、日本からは少数である。

◆施設の質の更なる向上の必要性(材料科学-高分子、物理学、エネルギー工学など)

研究者や科学者がいかに優れた実績を作るかは、彼らに利用できるインフラ、施設と機器次第となる。日本の大学は、過去10年あるいはそれ以上の間に全体として改善があったが、依然として追い上げを図る必要があるように思われる。

◆日本の科学社会構造の分散化を評価(微生物学、物理学)

日本中の多くの大学で新しい機会が生まれ、科学者たちはいろいろな経歴を選択できるようになった。このため日本の知的中心が東京から地方へと拡散することになった。小さな大学も重要な強みを持ち、活躍している。

◆研究所技術職員の不在(物理学、材料科学-セラミクス)

研究所の技術職員の存在と能力は、日本での研究者と科学者の任務遂行に重要である。研究所技術職員が不在のために、日本人の研究者・科学者は技術職員の仕事をせざるを得なくなっている。

◆日本の大学院学生の訓練の不足(微生物学)

日本の大学の研究者と科学者が大学院生を指導する場合、米国の同じケースの場合よりも、手を貸して指導する度合いが少ない。大部分の場合、日本の大学院生は、教授達が手に入れた研究助成金で支えられているのではなく、自ら授業料を支払っていることが原因となっている。

◆日本の研究コストは高い(生物学・生化学2)

日本では他国より研究にお金がかかるようである。アメリカでは研究材料の値段を競争的に保たれている。しかし、日本の場合は違う。アメリカでは20ドルほどの値段の原材料が、日本では400～500ドル相当になる。

まとめ1 ー研究活動のベンチマーキングー

1. 論文から見る基礎科学の状況

総論文のシェアでは英独を上回り、10%程度で安定化する兆し。質の面(TOP10%論文シェア)では英独に水をあげられている。これからの10年は質の向上がひとつの課題。この意味で、1990年代に急激に論文の質を向上させたドイツを分析する必要がある。

2. 分野間のバランスをどう考えるか

強い分野をさらに強化するか弱点を補強するか、要判断である。日本全体として質を上昇させようとするなら、まず臨床医学、ついで基礎生物学の向上が不可欠である。弱いとされる環境、数学、計算機科学等は基盤的性格も強い分野で他分野との関係も深いと考えられ、取り組みを強化すべきか検討する必要がある。

3. 多様な評価を行うことの重要性

論文分析では今ひとつでも、発展領域分析や海外の第一線の研究者へのヒアリング調査では高い分野(例えば神経科学)が存在する。脳科学のように集中推進策をとっている分野がこのようなパターンを示す可能性がある。研究活動を捉えるには、多元的に把握していく必要がある。また、日本の科学について、最初のアプローチは非常に優れているが、研究を発展させるフォローがなされないなど、分野によっては「研究の深さが足りない」との指摘に注目すべきである。

4. 学際的領域の状況

153の発展領域の中で、約3割の54領域が学際的・分野融合的領域であることから分かるように、学際的・分野融合的領域の重要が高い。また、日本の存在感を示している領域もいくつかあり、これらの研究領域は「日本の弱点」とは一概に言えない。日本の存在感が低い臨床医学などは学際的・分野融合的領域から強化していくことも考えられる。

5. 基礎科学の成果の有効な発信方法

海外のトップクラスの研究者が注目する日本の成果の形として、世界的研究施設(地球シミュレータ、スーパーカミオカンデなど)や国際プロジェクトへの貢献(ヒトゲノムなど)、特定領域で基礎から応用に至る成果を継続的に出し続けること(糖鎖研究など)があげられた。

事例分析の対象とした技術

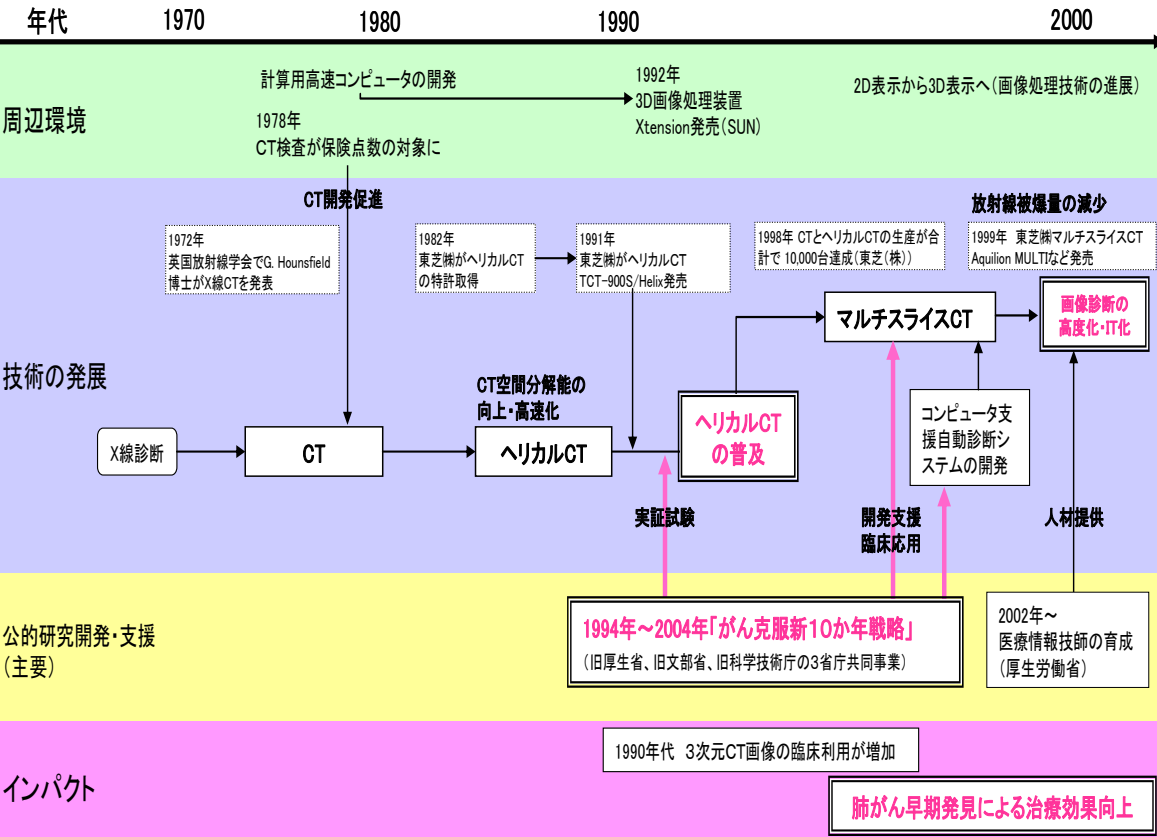
- 重点4分野とそれに準じる4分野について実現、未実現技術各2事例の計32事例を対象。
- インパクトの種類(社会、経済、国民生活)と公的投資の寄与の大きさ等の観点から事例を選定。

8分野	実現技術	未実現技術
ライフサイエンス	肺がんの早期発見に有効なヘリカルCT技術	幹細胞による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる技術
	個人の遺伝子多型等を検出する塩基配列決定技術とその応用(診断やテラメイド医療)	遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術
情報通信	高演算速度の並列コンピュータ	垂直磁気記録技術(ハードディスクドライブ用)
	ITS(カーナビゲーション、VICS、ETC、交通管理など)	ユビキタス・ネットワーク
環境	オゾン層を破壊せず地球温暖化への影響を考慮したフロン・ハロン代替品製造・利用技術	廃棄物処理用ガス化溶融炉及び灰溶融炉技術
	内分泌かく乱物質の人体、生体への影響解明技術	二酸化炭素の分離・回収・隔離技術
ナノテクノロジー・材料	リチウム電池の高密度化・高寿命化技術	カーボンナノチューブ・デバイス技術
	光触媒材料	高温超伝導材料
エネルギー	住宅用太陽光発電システム	水素吸蔵合金
	天然ガス等からの液体燃料製造・利用技術(GTL、DME)	燃料電池自動車
製造	廃自動車及び廃家電の適正処理技術	マイクロリアクタによる革新的化学品製造技術
	レーザを利用した加工技術	多目的看護や身障者への機能補助を行うロボット(福祉ロボット)
社会基盤	局地的な気象予測技術	地震検知全国ネットワークによる地震動到達前防災システム
	地震動による構造物等の挙動シミュレーション技術	難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理システム
フロンティア	人工衛星によるリモートセンシング技術(データの解析・利用技術)	海底からの石油の経済的採取技術
	高性能放射光発生技術	準天頂衛星システム

肺がんの早期発見に有効なヘリカルCT技術(ライフサイエンス、実現技術)

<事例分析のポイント>

- 肺がんの早期発見には、1970年代から開発が進むCTスキャンの高性能化の寄与が高く、CT開発では日本が世界をリードしている。1980年代から民間企業を中心に開発されていたヘリカルCTにより、早期段階の非常に小さな腫瘍を発見できるようになった。1990年代に入り、民間企業がヘリカルCTをさらに高性能化したマルチスライスCTを開発するなど技術は着実な進歩を見せている。
- 旧厚生省・旧文部省・旧科学技術庁の共同事業「がん克服新10ヵ年戦略」でヘリカルCTの実証試験がなされ、これによってヘリカルCTが普及した。
- 肺がんを早期に発見する検査技術として社会(検査の信頼性向上等)および国民生活(検査時間の短縮や早期発見による治療効果向上等)に幅広いインパクトを有する。



<経済的インパクト>

- 肺がん早期発見による医療費投入の適正化。
- 医療機器の市場拡大。
 2001年に496億円、シェアトップは東芝(47.3%)、ついでGE横河メディカルシステムズ(32.5%)、シーメンス旭メディテック(10.5%)
- 検査の迅速化、自動化によるコストダウン。

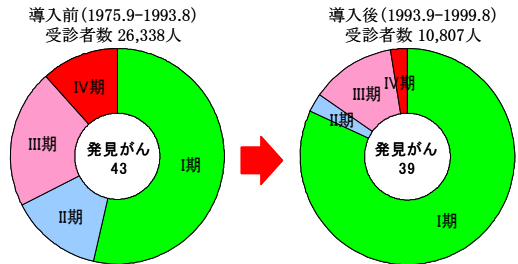
<社会的インパクト>

- 検査の信頼性の向上。

<国民生活へのインパクト>

- 検査時間の短縮。
- 肺がん早期発見による治療効果向上。
 ヘリカルCT導入前は人口10万人に対して163名の発見率であったが、導入後は人口10万人に対して361名と倍以上の発見率
- 手術後の「生活の質」の向上。

ヘリカルCT導入前後での発見肺がんの内訳



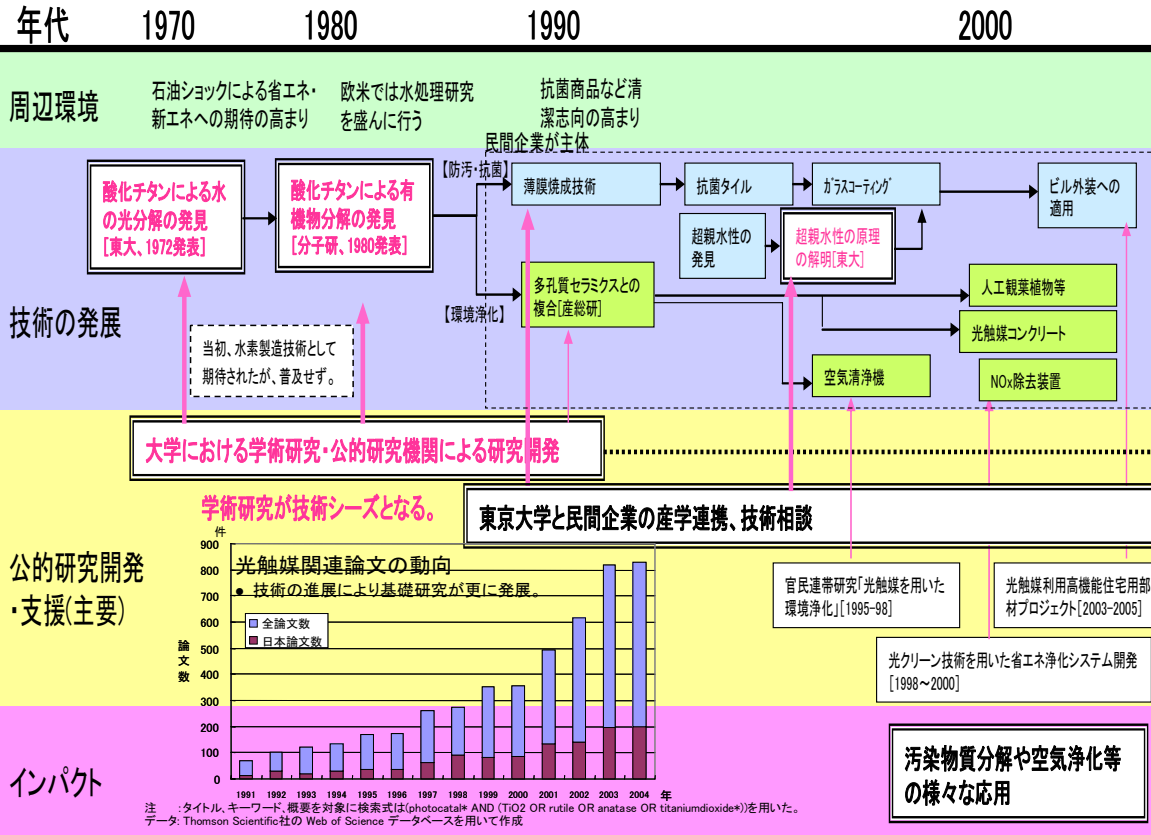
出所: 東京から肺がんをなくす会(ALCA)

- 上記のデータは、ALCAの会員(約9割が男性、平均年齢は約60歳)のうち、1999年8月までに約37,145人に検診(93年8月までは胸部X線写真と喀痰細胞診、93年9月以降は胸部X線写真、喀痰細胞診に加えてヘリカルCT)を実施した結果で、82人の肺がんを発見している。
- ヘリカルCT導入後に発見された肺がんは、早期(I期)のものが多くということが特徴になっている。
- I期(がんが原発巣にとどまっている段階)であれば手術によって治すことが十分可能で、肺胞の表面にだけがん細胞があるようなごく早期であれば、100%治癒できることがわかってきている。II～IVに進むほど進行し、IV期は原発巣の他に、肺の他の場所、他の臓器に転移がある段階。術後の5年生存率は、I期:80%、II期:60%、III期:40%、IV期:10%未満とされている。

光触媒材料(ナノテクノロジー・材料、実現技術)

<事例分析のポイント>

- 技術初期の発展過程では、東京大学や公的研究機関における学術研究が中心であり、1960年代末に水の光分解の発見、その後、有機物分解の発見がなされ、技術シーズとなった。
- 東京大学による基礎研究は、単に技術シーズとなっただけでなく、民間企業による酸化チタン薄膜開発への技術指導や超親水性の産学連携による原理解明等、技術の発展過程でも継続的に寄与してきた。この間、技術の発展により基礎研究が更なる発展をみせている(連鎖モデル)。
- 薄膜化技術の進展により、セルフクリーニングタイルや空気浄化等の様々な応用によりインパクトを実現した。



<経済的インパクト>

- 外壁材、空気清浄機、脱臭機など既存製品の付加価値化、代替により約400億円(推定)の市場が出現(業界団体である光触媒製品フォーラム加入企業だけで250億円)。

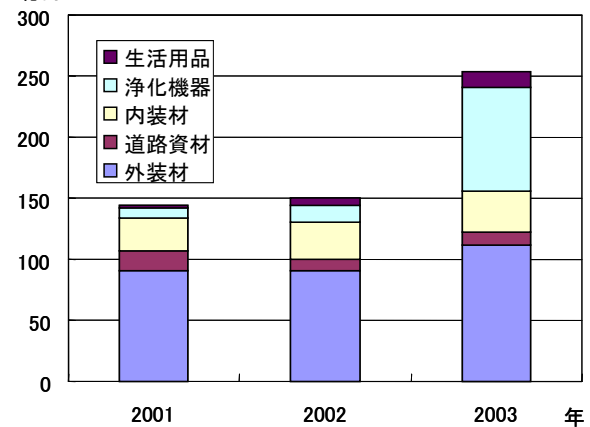
<社会的インパクト>

- 道路周辺(遮音壁、ガードレール等)やビルの清掃コストの削減。
- 農業(ハウス栽培)廃液の浄化。
- 道路周辺におけるNO_x除去の期待。
- 夏の冷房にかかるエネルギーの削減の期待。

<国民生活へのインパクト>

- 住宅の外装・内装の清掃にかかる手間の削減。
- 都市や道路における美観の向上。

光触媒応用製品の市場規模推移



注: 2003年から浄化機器の金額が急増しているのは、集計方式の変更による(従前はフィルタ部分のみ、事後は機器全体の金額として計算)
 出所: 光触媒製品フォーラム資料

公的研究開発・支援の位置づけ

- 技術の発展過程における公的研究開発・支援の寄与について、32の技術を対象に事例分析を行い、以下の4つの特徴を見いだした。
- 技術のインパクト実現までの過程においては、研究開発への投資のような直接的な寄与のみでなく、調達や研究基盤整備といった間接的な寄与も公的部門の役割として重要。

①基礎研究に対する公的研究開発・支援

- 大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積
- 大学や公的研究機関での現象・原理の発見
- 大学や公的研究機関での技術の発明

②技術の発展・流れに合わせた公的研究開発・支援

- 産学官連携によるナショナルプロジェクト
- 重点分野等への集中投資
- 実証試験への資金提供
- 民間で実施される応用研究や実用化研究への資金提供

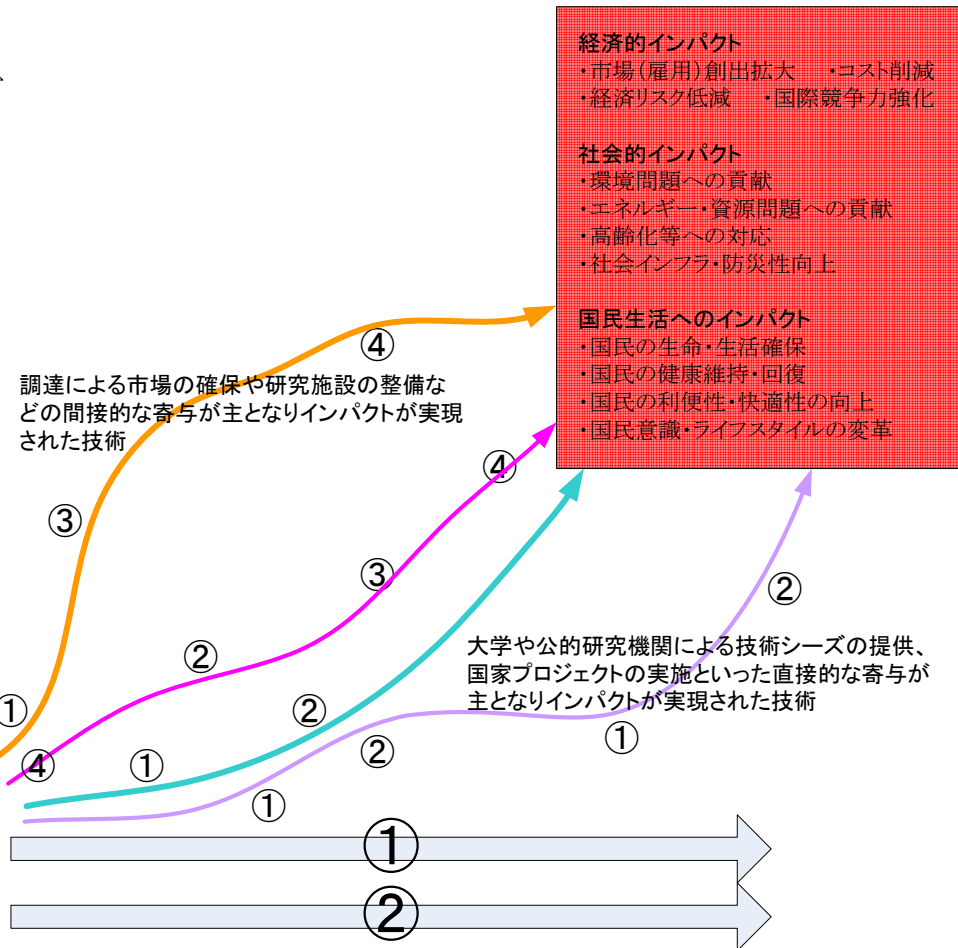
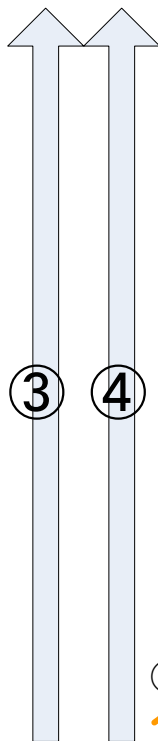
③基盤技術や技術インフラに関する公的研究開発・支援

- 研究施設の整備 ○ データ整備・データベース構築
- 標準化の支援、策定 ○ 基盤技術の開発
- 評価試験・安全性評価の実施 ○ 評価システムの構築

④政策連携によるインパクト実現の促進

- 規制の導入 ○ 規制緩和
- 調達による市場の確保
- 補助金による初期市場の形成
- 省庁連携

調達や研究環境整備による間接的な寄与



研究開発への投資などによる直接的な寄与

注: それぞれの曲線はインパクト実現過程のイメージを表す。

まとめ2 ー科学技術の進展とそのインパクトー

1. 技術もたらす多様なインパクト

技術に対する詳細な事例分析から、第2期科学技術基本計画で示された8分野に関連する技術は経済・社会・国民生活に対して、多種多様な形で、経済、社会、国民生活に対して大きなインパクトをもたらしている(あるいは期待される)ことが確認された。

2. 公的部門の重要性

技術の性格に応じて公的研究開発・支援の関与の仕方は異なるが、多くの場合、最終的なインパクト実現までの過程(科学技術の実現過程)で、公的部門は多様かつ重要な役割を果たしている。科学技術振興による経済・社会・国民生活へのインパクトをより一層拡大させるには、今後更なる公的研究開発・支援の充実を要する。また、国公立大学及び公的研究機関において達成された科学技術の成果は、新原理・新発見・大発明だけにとどまらず、国民生活・地域への貢献、国際社会への貢献、市場創出・新事業・起業など、幅広いかつ多様な意義をもたらしたことがわかった。

3. 基礎研究の重要性

技術がインパクトを実現する過程には多様な道筋があるが、その基盤として厚みのある基礎研究が不可欠である。具体的には基礎研究の多様性の確保及び継続的な実施が求められる。基礎研究は、発明・発見を通じた技術シーズの提供、原理の解明による民間における技術開発の進展、基礎研究を通じた人材の厚みの形成などを通じて、インパクトの実現に寄与する。

4. 「出口」までの「道筋」の考慮

「出口」(経済、社会、国民生活へのインパクト)までの「道筋」を想定し、研究開発と並行してインパクト実現に必要な環境を整備することが重要である。例えば、環境問題や少子高齢化への対応といった社会的な問題への対応など加速を要するテーマについては、インパクトを実現する上で律速要因が何であるかのシステム分析を随時行っていくことが必要である。また、技術の進展及び社会環境等の変化がともに激しいことを踏まえて、柔軟性のある公的研究開発・支援が求められる。

5. 調達や研究基盤整備などの重要性

技術のインパクト実現までの過程においては、研究開発への直接的な寄与のみでなく、調達や研究基盤整備といった間接的な寄与も公的部門の役割として重要である。特に、調達に関しては技術を政府が積極的に導入することで一定量の市場を確保し、民間における継続的な技術開発を可能とするという点で、技術のインパクト実現において大きな寄与がある。今後は、産業に軸足のある研究開発の推進の手段として、特に「調達」を明確に位置づける必要がある。

デルファイ調査の設計

◆ 13分野を設定し有識者パネル(技術系分科会)において検討

- 今後30年を見通し、各分野の科学技術の将来像を検討

◆ 各分野で領域を設定し、これを中心に予測課題を選定

- 13分野全体で130領域を設定
- 各領域を代表する予測課題を選定
→予測課題数 858

◆ 以下について各分野の専門家2239人(ラウンド1では2659人)が評価

(1) 領域についての設問

- 領域がもたらす効果
- 日本の研究開発水準

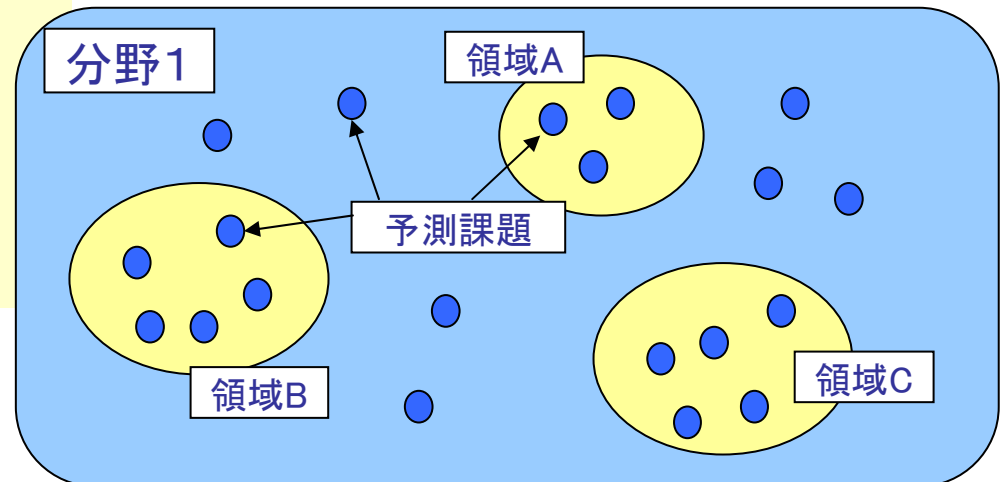
(2) 予測課題についての設問

- 技術的実現時期と社会的適用時期
- 政府による関与の必要性とその手段など

13分野(技術系分科会)

- 情報通信分野
- エレクトロニクス分野
- ライフサイエンス分野
- 保健・医療・福祉分野
- 農林水産・食品分野
- フロンティア分野(宇宙・地球・海洋)
- エネルギー・資源分野
- 環境分野
- ナノテクノロジー・材料分野
- 製造分野
- 産業基盤分野(経営管理・流通)
- 社会基盤分野(都市・交通・建設・土木・防災)
- 社会技術分野

分野と領域と予測課題



デルファイ調査の設計

目的: 多数の専門家の主観による評価を統計的に処理し、科学技術の中長期発展の見通しについて、専門家集団の合意を見出す。
 方法: 調査対象は、技術中心(科学及び社会インパクトを一部含む)。専門家アンケートを2回繰り返す(デルファイ法)。
 将来展望の期間は、2006年から2035年までの30年間。

予測調査委員会

全体計画・実施方針等の検討

技術系分科会(13分科会)

領域及び課題の設定、回答者の選出

ニーズ調査分科会

シナリオ調査分科会

13分野

情報・通信、エレクトロニクス、ライフサイエンス、保健・医療・福祉、農林水産・食品、フロンティア、エネルギー・資源、環境、ナノテクノロジー・材料、製造、産業基盤、社会基盤、社会技術

130領域

例)情報・通信分野: 超大規模情報処理、情報セキュリティ等
 例)ライフサイエンス分野: 創薬基礎研究、脳の病態の理解と治療等

858課題

○悪質なハッカーの攻撃から個人や集団のプライバシーや機密が保護されるような信頼度の高いネットワークシステム(情報通信分野・情報セキュリティ領域)
 ○アルツハイマー病の進行を阻止する技術(ライフサイエンス分野・脳の病態と治療領域)

<総括設問>

- 融合、連携を進めるべき分野
- 30年後の社会の予測

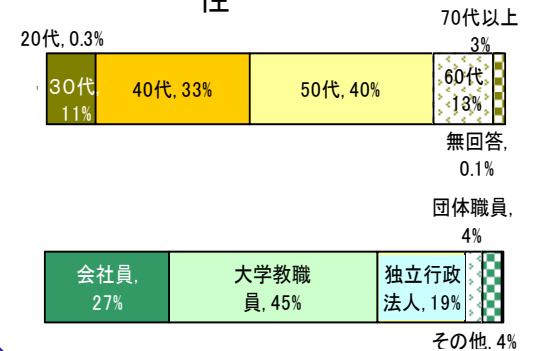
<領域に対する設問>

- 期待される効果(現時点、中期)
- 研究開発水準(現在、5年前)

<課題に対する設問>

- 重要度、○技術的実現・社会的適用時期、○第一線にある国等、○政府関与の必要性と手段(技術的実現・社会的適用に向けて)

第2回アンケート回答者の属性



アンケートの実施

[第1回] 発送: 2004年9月 発送数: 4219 回収数: 2659(回収率63%)

[第2回] 発送: 2004年12月 発送数: 2659 回収数: 2239(回収率84%)

技術系分科会及び予測調査委員会
 調査結果の分析・とりまとめ

重要度指数上位の予測課題の社会的適用時期

重要度指数上位15%以内の課題(その1)

情報通信 エレクトロニクス ナノテクノロジー・材料

2005



技術的実現時期を表示
(社会的適用時期について設問なし)

2010

インターネット
バックボーン
の不正侵入、
ウェアレス検出
の技術(2013)

不正侵入検出
のためのイン
ターネットの
発信元逆探
知、ヒューズ
バック(2013)

スバムコーリ
な電子マー
ルシステム
(2013)

2015

種数マテリアル
同時アキュセ
が実現し、最
適マテリアルを
自動選択し
て、家庭内
ホームゲート
ウェイを制
御、連携する
ウェアレス検
出、ウェアレ
ス格化する
(2015)

ハッカーから
ウェアレバン
等を守る高信
頼度ネットワーク
システム(2016)

カルテの電子
化と患者個人
の管理、全医
療機関での情
報共用、それ
らに基づく患者
と医療機関と
の間に健康管
理エージェント
業が成立する
(2016)

在宅での個人
のメカカル
データに基づ
くインターネット
医療(2015)

ナノメートル分
解能で定量組
成分析及び物
性値計測が可
能な走査ト
ポグラフィ法
(2019)

10Gbps光加入
者率システム
が家庭で一般
化(2017)

大部分のモバ
イル機器の電池
が超LiSi用絶
縁材料(2020)

2020

システムの中
核、コアパバ
ンシー保護強
度の設計理論
(2018)

地震検出シ
ステム、ホー
ムセキュリティ
システムの一
体化(2020)

食品の大半を
カバーする世
界的トレーサ
ビリティシ
ステム(2019)

少量多品種に
対応、設備投
資を現状より
2桁低減可能
な二半導体
工場(2019)

ナノメートル分
解能で定量組
成分析及び物
性値計測が可
能な走査ト
ポグラフィ法
(2019)

誘電率1.3以下
の超LiSi用絶
縁材料(2020)

自己組織化に
よる特定のナ
ノスケール構
造・特性を示
す材料の製造
(2021)

2025

システムの中
核、コアパバ
ンシー保護強
度の設計理論
(2018)

地震検出シ
ステム、ホー
ムセキュリティ
システムの一
体化(2020)

生態系や環境
の大規模な
システムのエ
ネルギーシ
ステム、シ
ミュレーシ
ョン技術で災害等
を予測(2023)

ゲート長3nm
のトランジスタ
を集積した
システムLSI(2023)

シリコンや
GaAsを用いた
太陽電池を凌
駕するエネル
ギー変換効率
の新材料
(2025)

ナノメートル分
解能で定量組
成分析及び物
性値計測が可
能な走査ト
ポグラフィ法
(2019)

1チップ当たり
256Gビット以
上の記憶容量
をもつ
LSI(2022)

チップ当り
256Gビット以
上の記憶容量
をもつ
LSI(2022)

長時間で論理
機能を変更す
る100Wゲー
ム規模の
システムLSI(2021)

地震発生数分
前の子知を可
能にする地殻
変動センサー
(2023)

2030

システムの中
核、コアパバ
ンシー保護強
度の設計理論
(2018)

地震検出シ
ステム、ホー
ムセキュリティ
システムの一
体化(2020)

生態系や環境
の大規模な
システムのエ
ネルギーシ
ステム、シ
ミュレーシ
ョン技術で災害等
を予測(2023)

ゲート長3nm
のトランジスタ
を集積した
システムLSI(2023)

シリコンや
GaAsを用いた
太陽電池を凌
駕するエネル
ギー変換効率
の新材料
(2025)

ナノメートル分
解能で定量組
成分析及び物
性値計測が可
能な走査ト
ポグラフィ法
(2019)

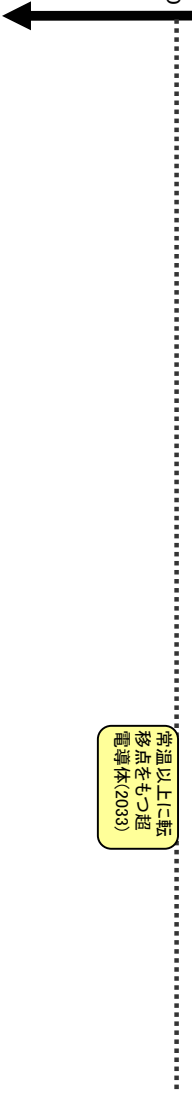
1チップ当たり
256Gビット以
上の記憶容量
をもつ
LSI(2022)

チップ当り
256Gビット以
上の記憶容量
をもつ
LSI(2022)

長時間で論理
機能を変更す
る100Wゲー
ム規模の
システムLSI(2021)

地震発生数分
前の子知を可
能にする地殻
変動センサー
(2023)

常温以上に転
移点をもつ超
電導体(2033)



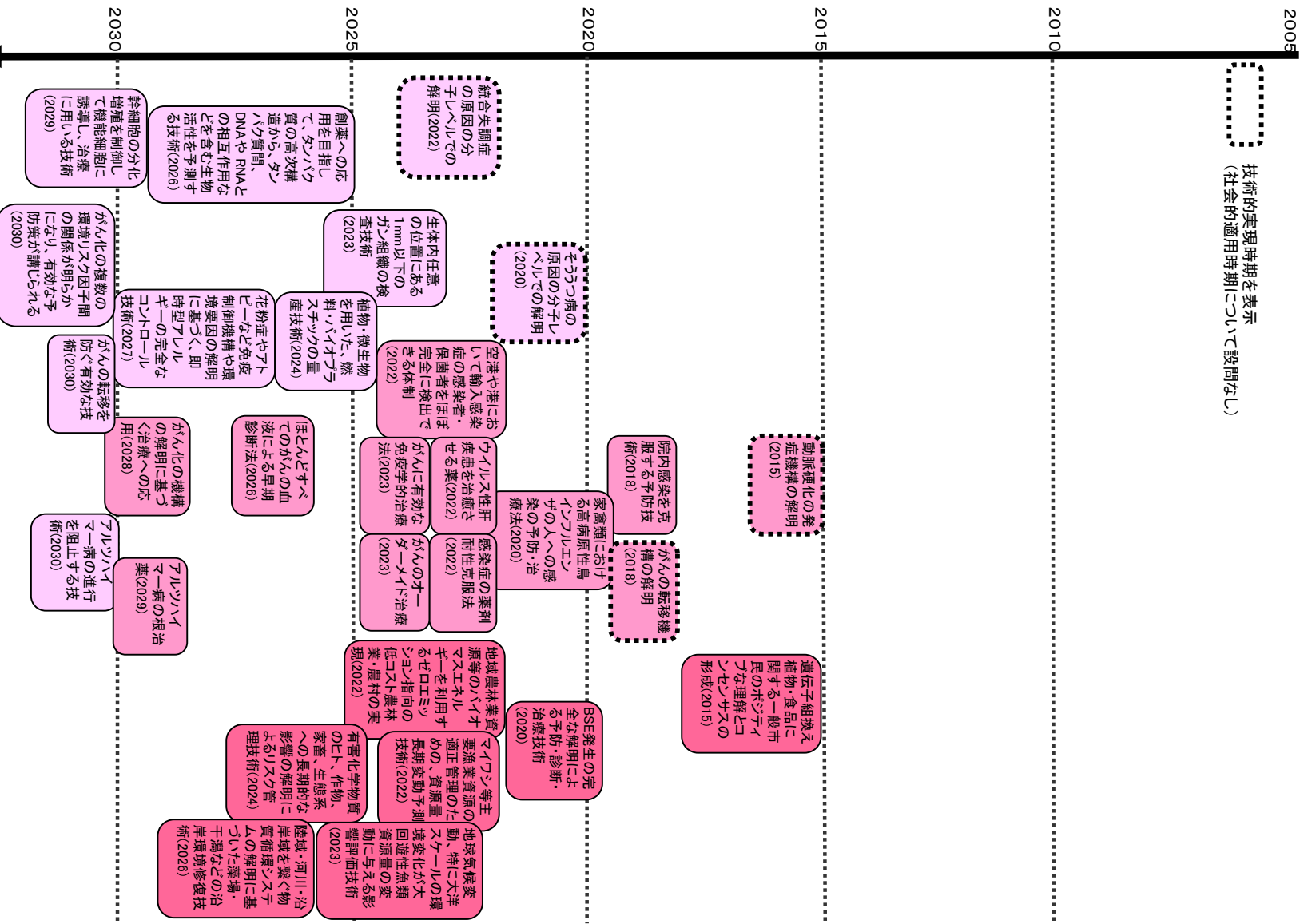
重要度指数上位の予測課題の社会的適用時期

重要度指数上位15%以内の課題(その2)

ライフサイエンス

保健・医療・福祉

農林水産・食品



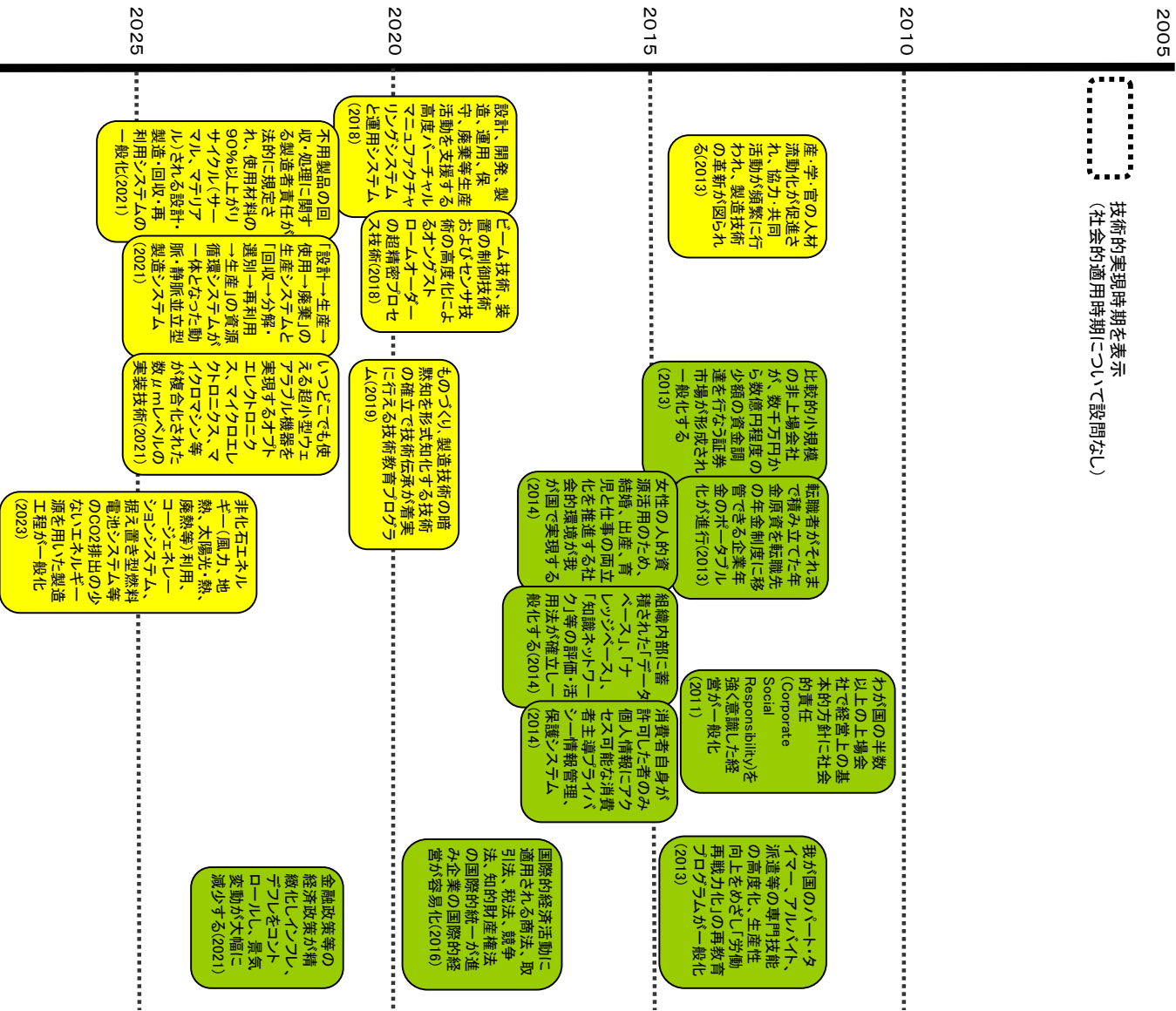
重要度指数上位の予測課題の社会的適用時期

重要度指数上位15%以内の課題(その4)

製造

産業基盤

技術的実現時期を表示
(社会的適用時期について設問なし)



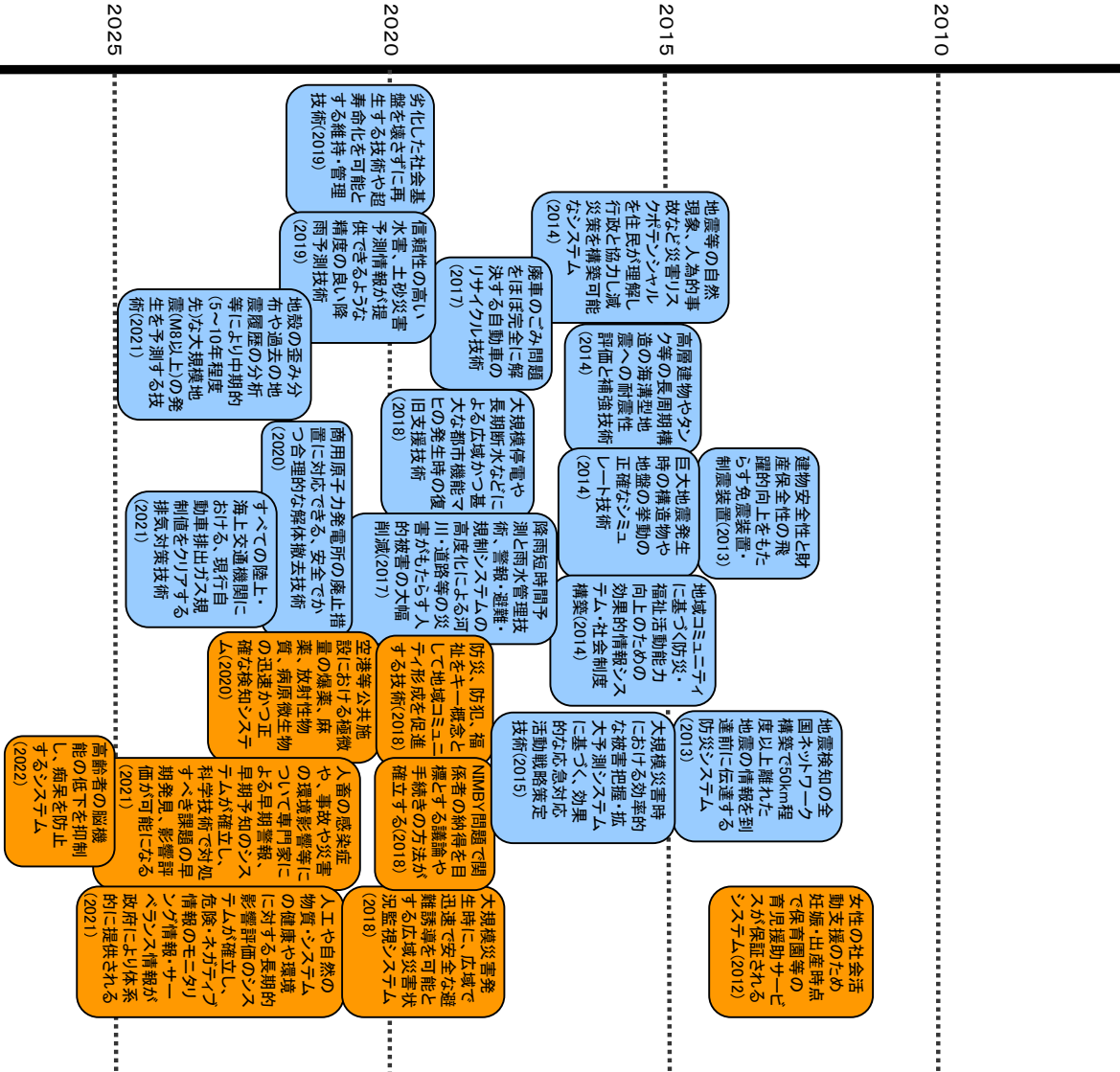
2030

重要度指数上位の予測課題の社会的適用時期 重要度指数上位15%以内の課題(その5)

社会基盤

社会技術

2005
技術的実現時期を表示
(社会的適用時期について設問なし)



重要度上位100課題の区分別内訳の推移

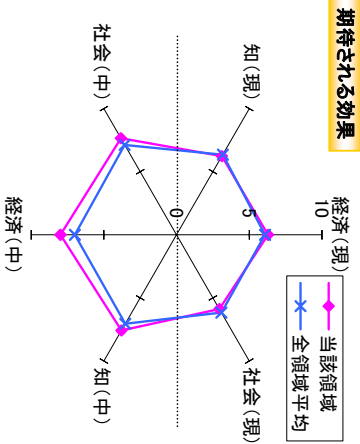
- 災害関連が大きく増加し、ライフサイエンス関連、情報関連が減少
- その他
 - 教育、人材流動、技能・ノウハウ伝達、女性の社会参加支援など、人材に関する予測課題(7課題)
 - ナノテクノロジー関連予測課題(4課題)

区分	今回	第7回 (2001年)	第6回 (1997年)	第5回 (1992年)
環境関連	17	26	25	28
情報関連	13	21	24	10
生命関連	19	26	17	37
災害関連	23	8	11	9
エネルギー関連	8	10	11	6
その他	21	9	12	10

* 生命と災害は1課題が重複している。

8 ユビキタスネットワークキング

この領域を代表する技術の進展を見ると、まず通信、ネットワークの利便性向上に関する技術について具体化が進み、次にセンサーやシステム制御といった要素技術が、さらに微小ロボット間の相互連携といった複雑なシステムが実現し、その先には生体と融合するシステムへと展開していく筋道が考えられる。期待される効果は、中期的時点(2015年以降)で、知的資産増大、経済的効果、社会的効果の3つの効果いずれについても期待が大きい。研究開発水準は、対米、対EUのいずれについてもこの5年間で改善し、ほぼ対等のレベルにある。



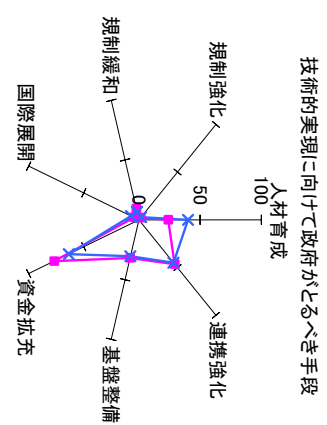
期待される効果

実現年表

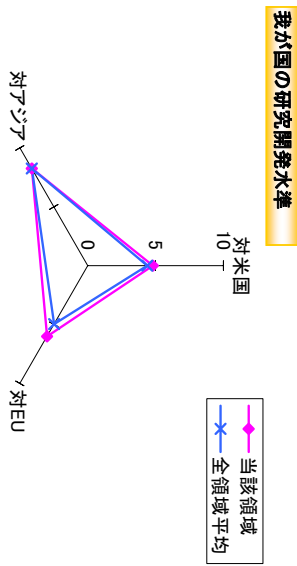
- 67 周辺の無線情報端末間でアドホックに通信するシステム(アプリケーションも含め)インターネットとシームレスに通信する機能を持つ)
- 61 1000人程度のユーザーをもつネットワークで、ターミナルの接続やネットワークの運用が自動的に行われ、ネットワーク管理者を必要としない管理システム
- 62 もの同士が相互に存在、性質、状況を感じ自動的・危険回避や協調作業を行う技術(例えば、自動車と自動車、スマートフォンが接近して危険な状態になったとき、物同士が通信して、自動的にプログラムを出したり、止まったり、火が積まわたりして危険を回避するようになること)
- 64 熱、光、電波、雑音からエネルギーをもらい半永久的に動作する微小通信チップあるいはセンサー

- 68 絶えず発生し、また、消滅していく超多数のものの識別子(ID)の管理を行い、それぞれのIDの意味づけや情報を整理し、陳腐化した情報を自動的に廃棄する技術
- 63 単機能(小規模機能)のたぐいさんの小さなロボットが集まって、互いに連携、機能分担することにより複雑な機能を実現する技術
- 65 人体に埋め込まれ、体温や血流などの生体エネルギーを利用して半永久的に動き続け、健康状態のモニタリングやペースメーカーのような生体機能補助を行うことができる医療チップ
- 66 外部から通信・制御可能で、体の中に埋め込まれたり血管の中を動き回ることができるチップやマイクロセンサーを用いた医療技術

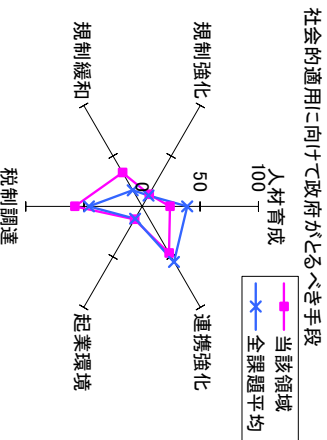
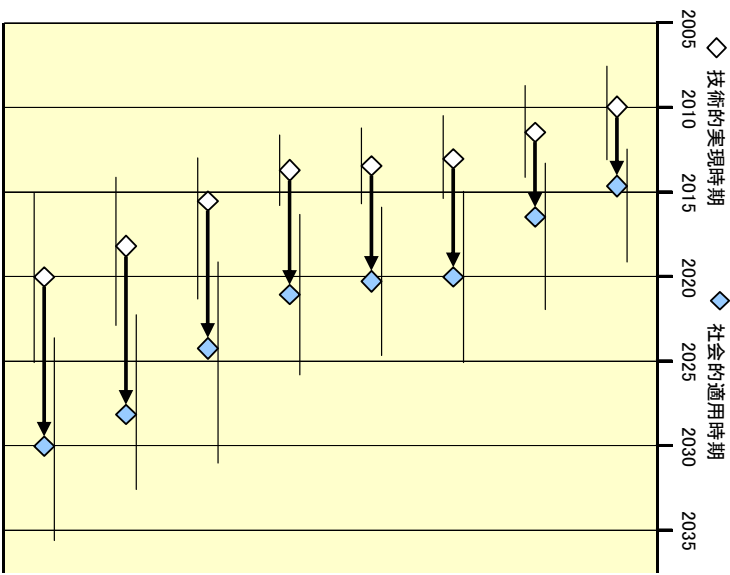
政府の関与(課題の平均値)



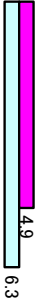
技術的実現に向けて政府関与の必要性



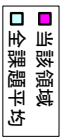
我が国の研究開発水準



社会的適用に向けて政府関与の必要性

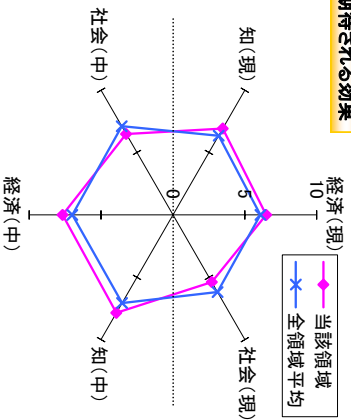


技術的実現には、人材育成、資金拡充が重視されている。社会的適用に関する特徴は、人材、税制調達、規制緩和など多角的な政策の展開が必要であることである。例えば、電波の利用などの規制緩和が含まれる



31 生体物質測定技術

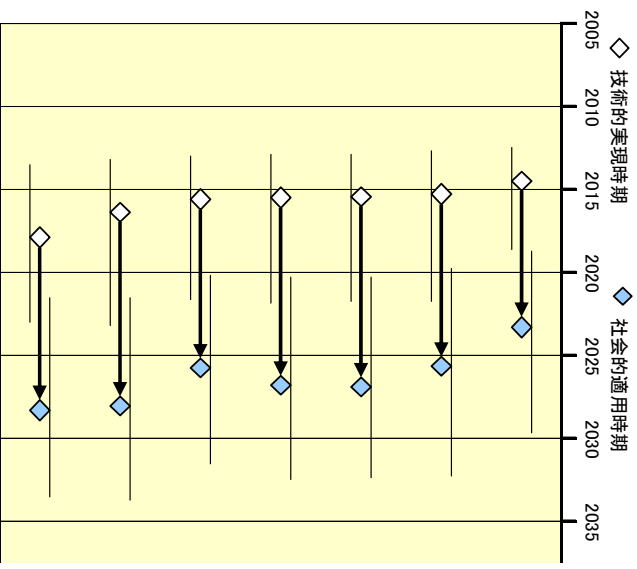
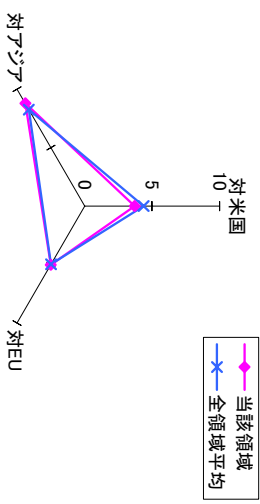
この領域はライフサイエンスの様々な分野の発展を支える基盤といえ、期待される効果は知的資産増大への寄与が現時点、中期で大きい。同時にライフサイエンスの研究成果の産業化とその成長への期待から、基盤であるこの領域の効果も見過ごされたい。研究開発水準はこの5年間で改善しており、対EUでは同等以上に上がっている。組織、ゲノム、糖鎖といった個別対象の計測に関する高感度化、時間・空間分解能の向上が2015年前後に技術的に実現すると予測されているが、多数の物質間相互作用を同時に計測するになると実現は少し遅れ、生体内自走式ではさらに遅くなる。社会的適用までには10年以上を見込む必要がある。



実現年表

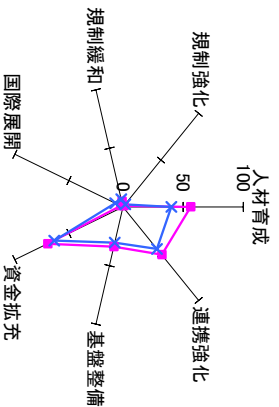
- 33 生体内の任意の位置にある1mm以下のガン組織の検査技術
- 34 1分子計測の精度で生体内を分子イメージングできる技術
- 36 ヒトゲノムの塩基配列解析を一日で完了することができる技術
- 37 1つの細胞を試料として、細胞内の全てのmRNAの種類とコピー数を計測できる装置
- 38 20個以上の糖単位が連なった糖鎖の配列を、分岐やリンケージを含めて自動解析する装置
- 35 細胞内外での多数の物質間相互作用を観察と同時に対象物を同定し、その物質の分布形状をモニターする技術
- 32 生体(管腔臓器)内を自走する診断・治療用マイクロマシン

我が国の研究開発水準



政府の関与(課題の平均値)

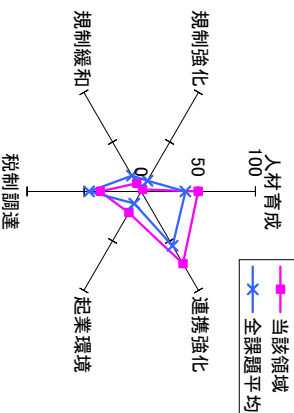
技術的実現に向けて政府がとるべき手段



技術的実現に向けて政府関与の必要性



社会的適用に向けて政府がとるべき手段



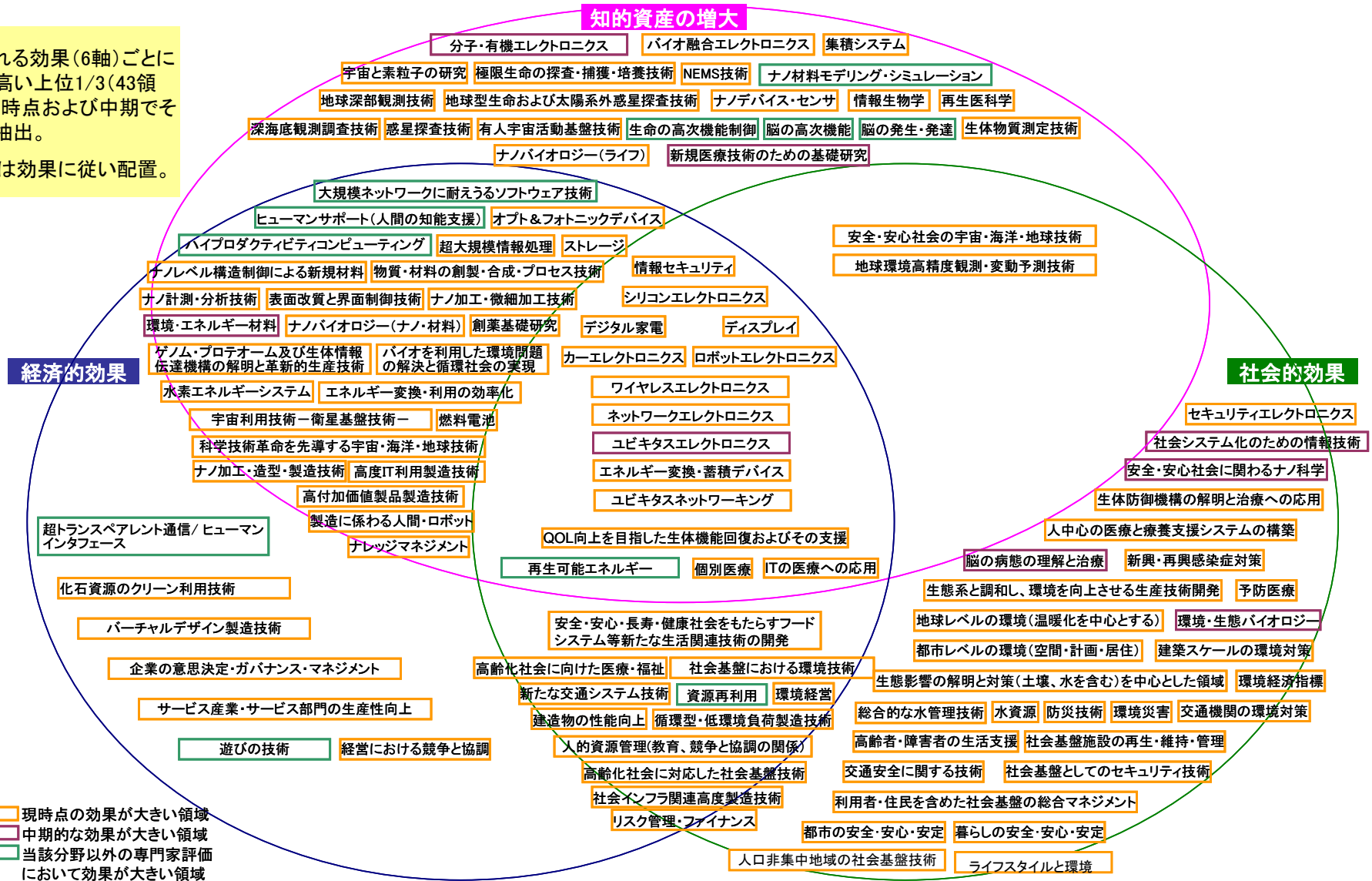
社会的適用に向けて政府関与の必要性



この領域は生命系、化学系、物理系など融合領域で、基礎的な研究と装置などへ応用の連携が必要である。こうしたことから、広汎な研究の育成、産学官・分野の連携強化といった取り組みが技術、社会的期待され、特に研究成果の産業化が重要な社会的学官・分野連携強化への期待が大きい。

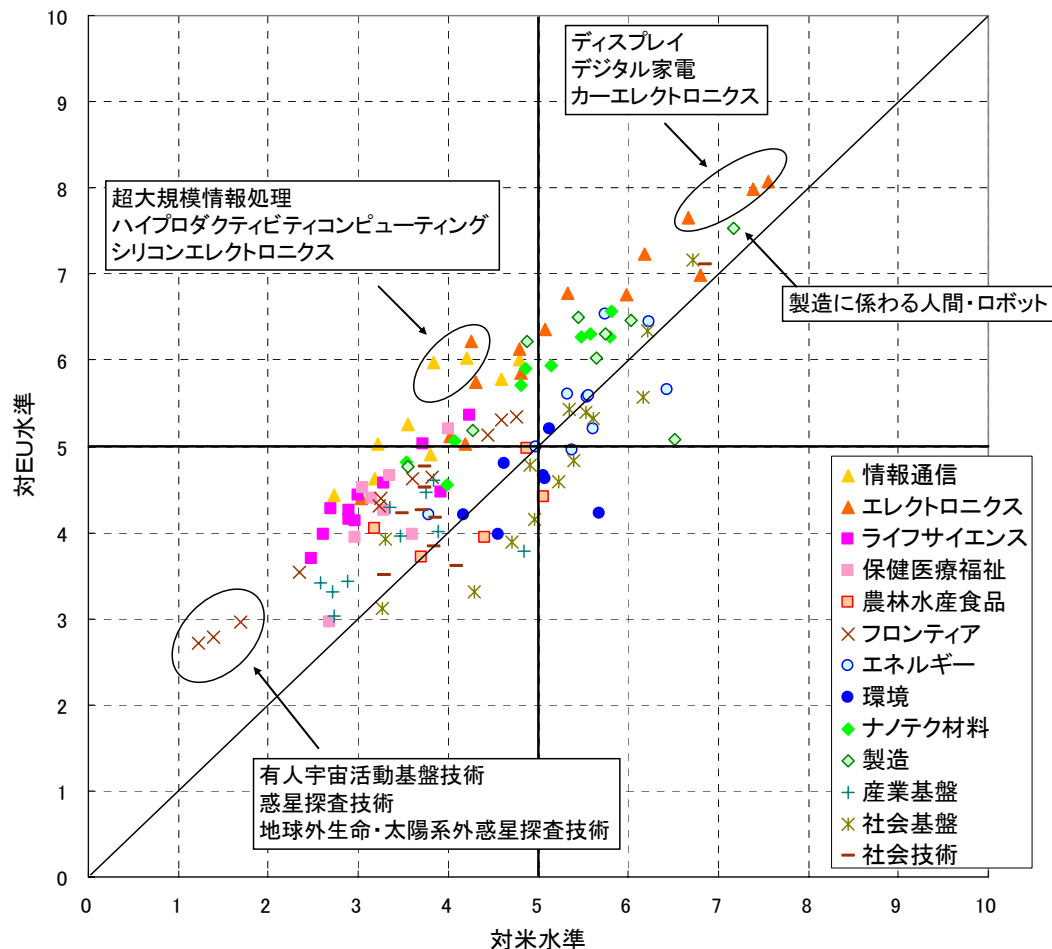
効果大きい領域

・期待される効果(6軸)ごとに効果の高い上位1/3(43領域)を現時点および中期でそれぞれ抽出。
 ・各領域は効果に従い配置。



現在の研究開発水準(対米国・対EU)

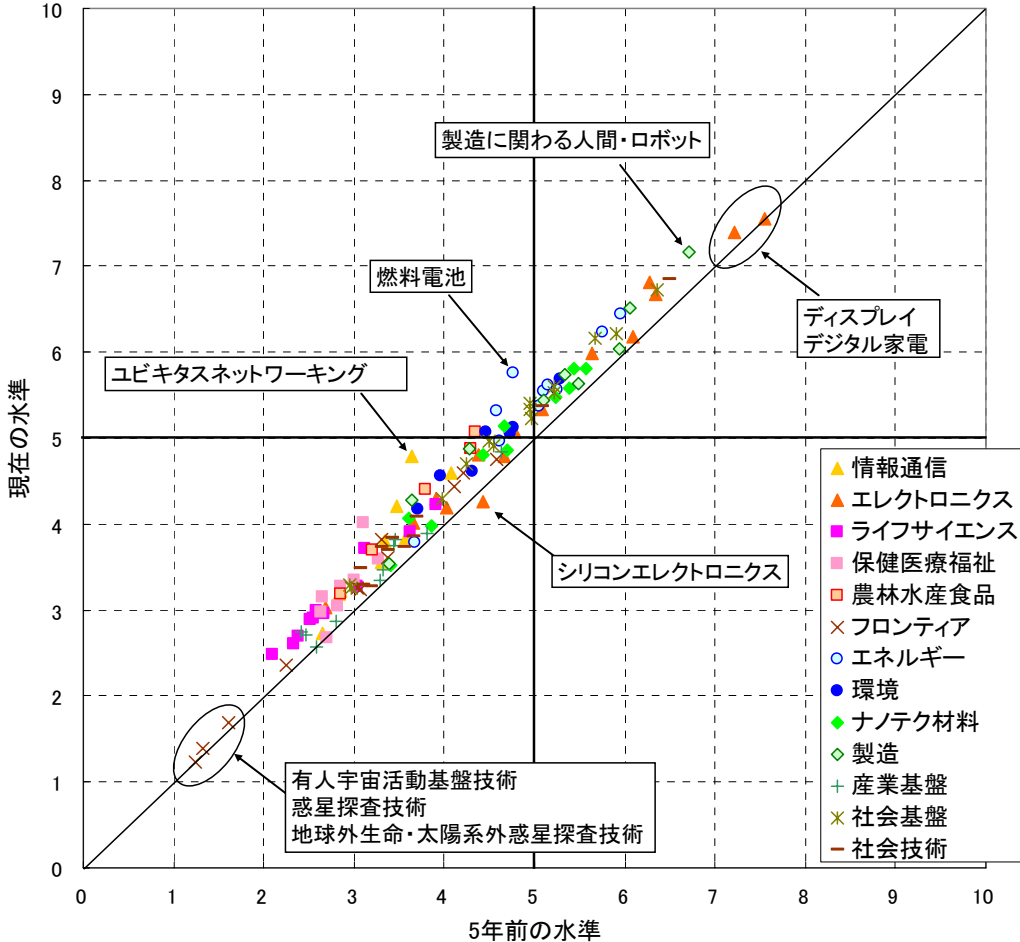
現在の対米・対EU 研究開発水準



- エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料分野については、対EUおよび対米国に対して高い水準であるとの評価が多い。
- ライフサイエンス、保健・医療・福祉、農林水産・食品分野は、EUに比べてやや低く、対米国では水をあげられている。

現在と5年前の対米国研究開発水準

対米水準の5年前vs現在

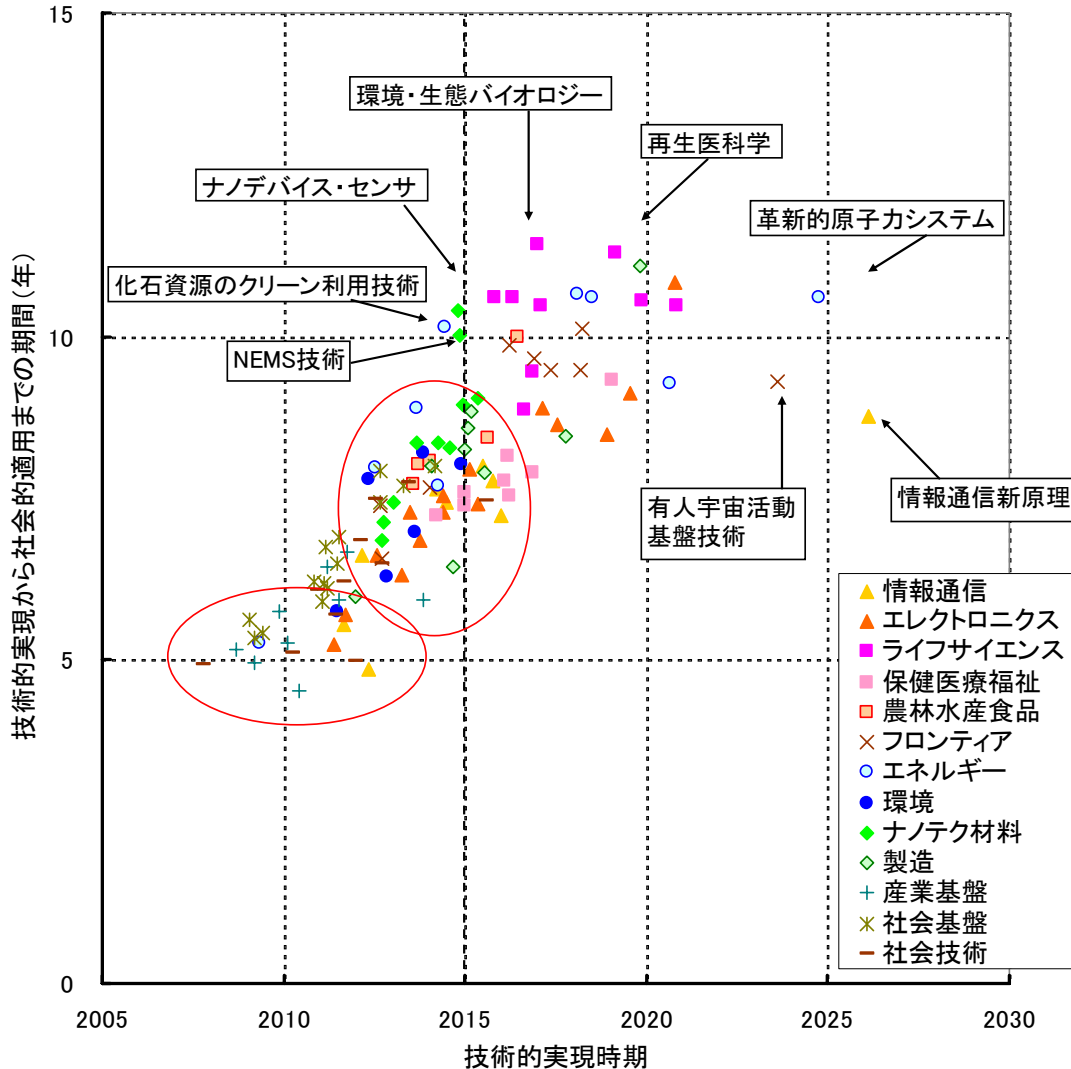


- 対米国、対EUの水準はほとんど全ての領域で上昇。
- 対アジア水準は、いずれも優位にあるものの、エレクトロニクス関連領域をはじめ、全般的に差が縮小傾向。

技術的実現時期から社会的適用時期までの期間

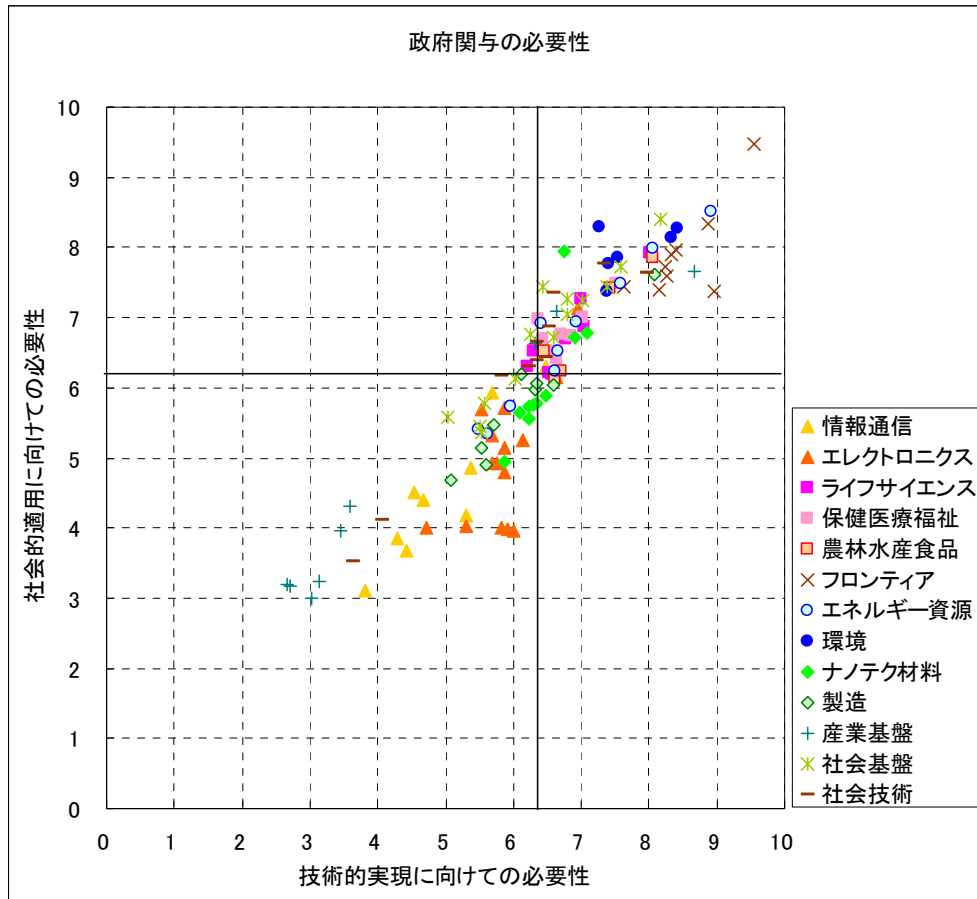
技術的実現時期と社会的適用時期のギャップ

* 核融合エネルギーを除く



- 全領域の7割が2015年までに実現するとの予測
- 2015年までにすべての領域の実現予測時期がおさまるのは、ナノテクノロジー・材料分野、社会基盤分野、社会技術分野
- 情報・通信分野、農林水産・食品分野、環境分野、製造分野、産業基盤分野もほとんどの領域が2015年までに実現
- 情報・通信分野では実現の早い領域と遅い領域が共存
- ライフサイエンス分野では、1領域を除いて2016年以降の実現との予測

技術的実現および社会的適用のための政府関与の必要性



分野	政府関与の必要性	
	技術的実現	社会的適用
情報・通信	4.9	4.5
エレクトロニクス	5.9	4.9
ライフサイエンス	6.8	6.6
保健・医療・福祉	6.7	6.7
農林水産・食品	7.0	6.7
フロンティア	8.4	8.0
エネルギー・資源	6.5	6.4
環境	7.6	7.7
ナノテク・材料	6.4	5.9
製造	6.3	5.9
産業基盤	3.9	4.1
社会基盤	6.5	6.7
社会技術	6.2	6.4
全課題平均	6.4	6.2

■ 技術的実現に政府関与が必要な領域は社会的適用にあたっては政府関与が必要となることが分かる。

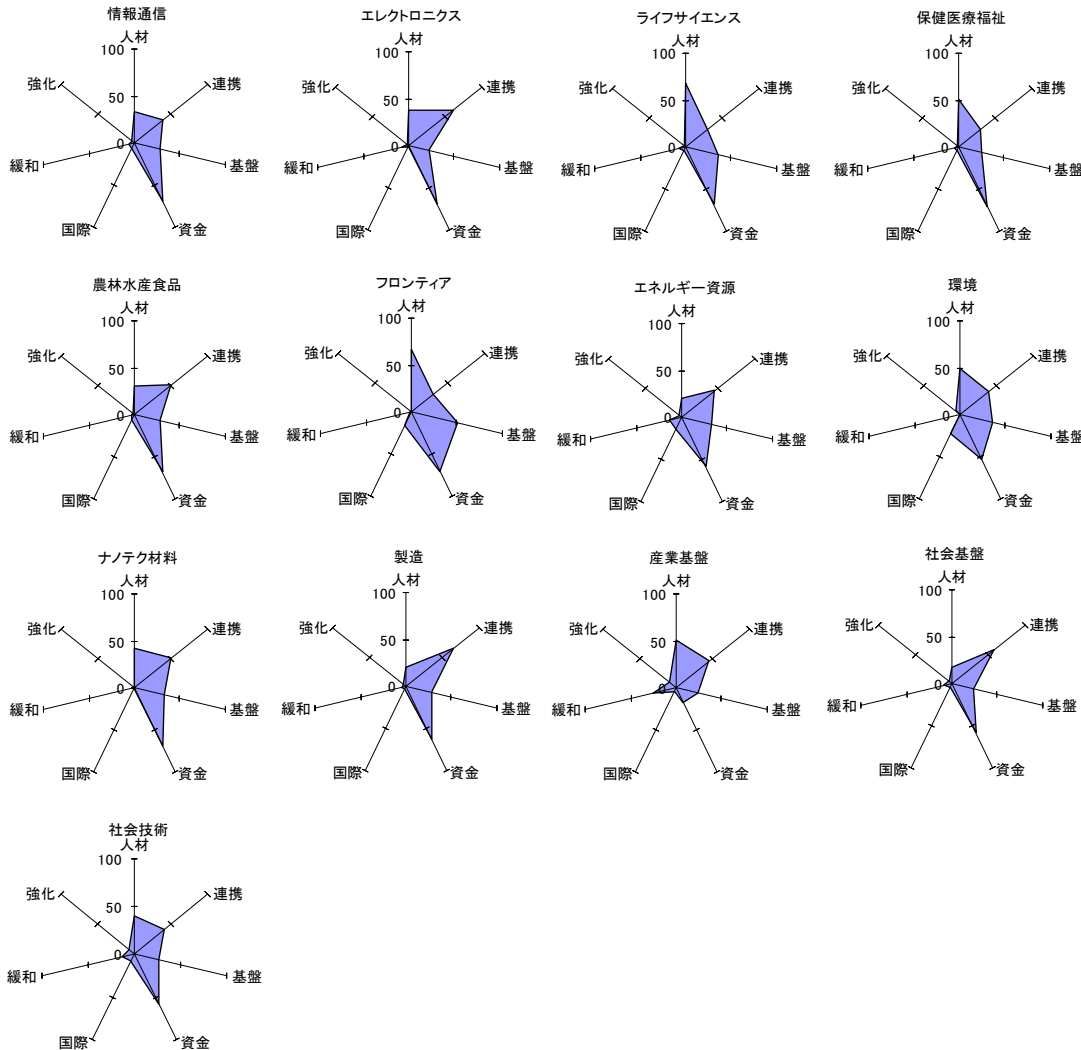
● 政府関与の必要性が高い領域

大規模な施設・設備を必要とするなど巨額の費用を要するものや環境問題や災害など不特定多数の人が選択の余地なく影響を受けるもの等が多い。フロンティア分野並びに環境分野の領域が多い。

● 政府関与の必要性が低い領域

民間企業が主体となっている情報通信関連や企業経営に関する領域である、産業基盤分野及び情報通信分野の領域が多い。

技術的実現に関して政府のとるべき有効な手段



- 「研究開発資金の拡充」が重視されている分野

ー産業基盤以外の12分野

- 「産学官・分野間の連携強化」が重視されている分野

ーエレクトロニクス、農林水産・食品、ナノテク材料、製造、社会基盤

- 「人材の育成と確保」が重視されている分野

ーライフサイエンス、保健・医療・福祉、フロンティア、環境、産業基盤

◆その他、フロンティア、エネルギー・資源、環境分野では基盤整備が重視されている。

社会的適用に関して政府のとるべき有効な手段

- 「産学官・分野間の連携強化」が重視されている分野

–エレクトロニクス、ライフサイエンス、農林水産・食品、フロンティア、環境、ナノテク材料、製造、社会基盤

- 「税制・補助金・調達による支援」が重視されている分野

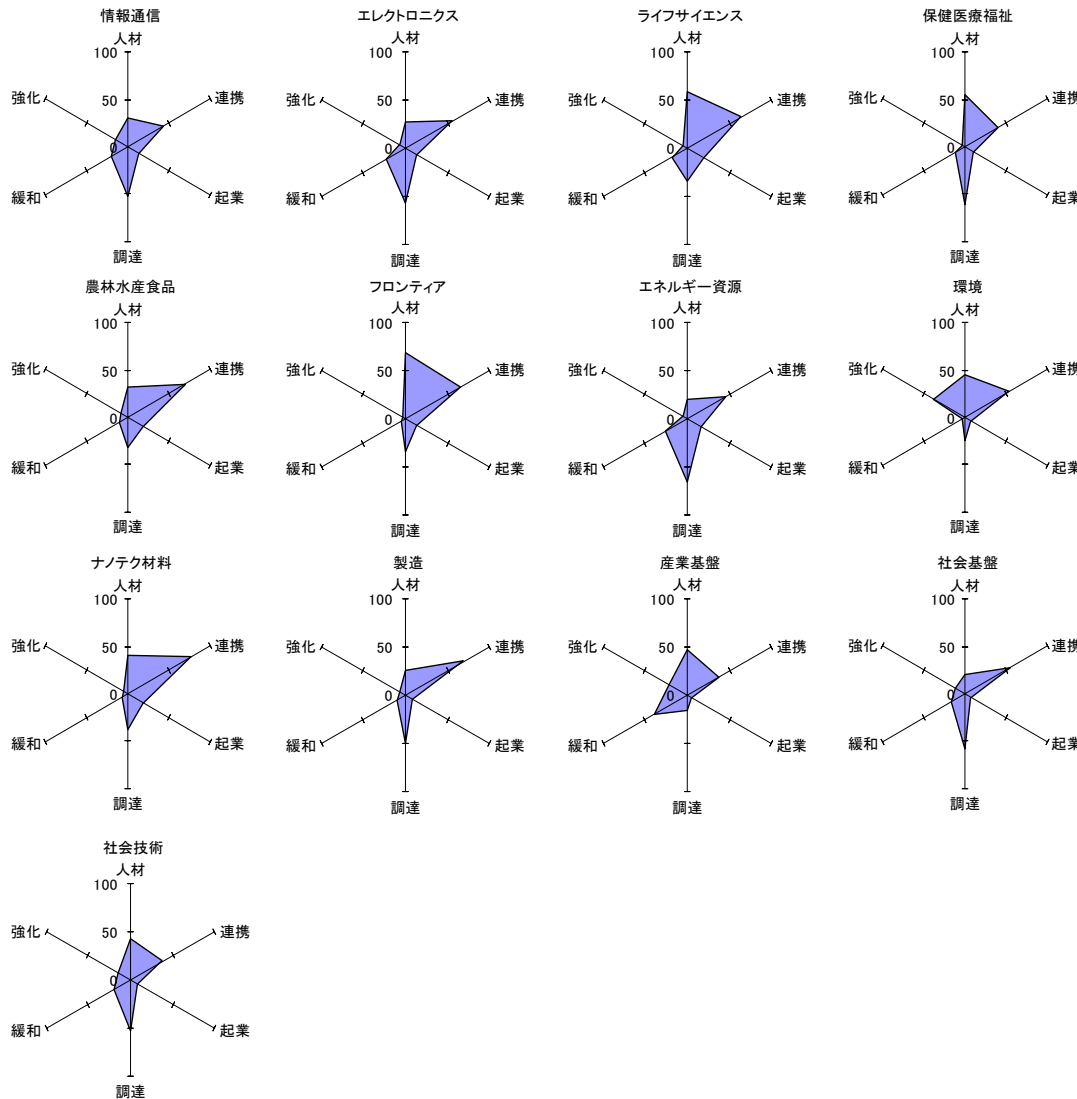
–情報通信、エレクトロニクス、保健・医療・福祉、エネルギー資源、製造、社会基盤、社会技術

- 「人材の育成と確保」が重視されている分野

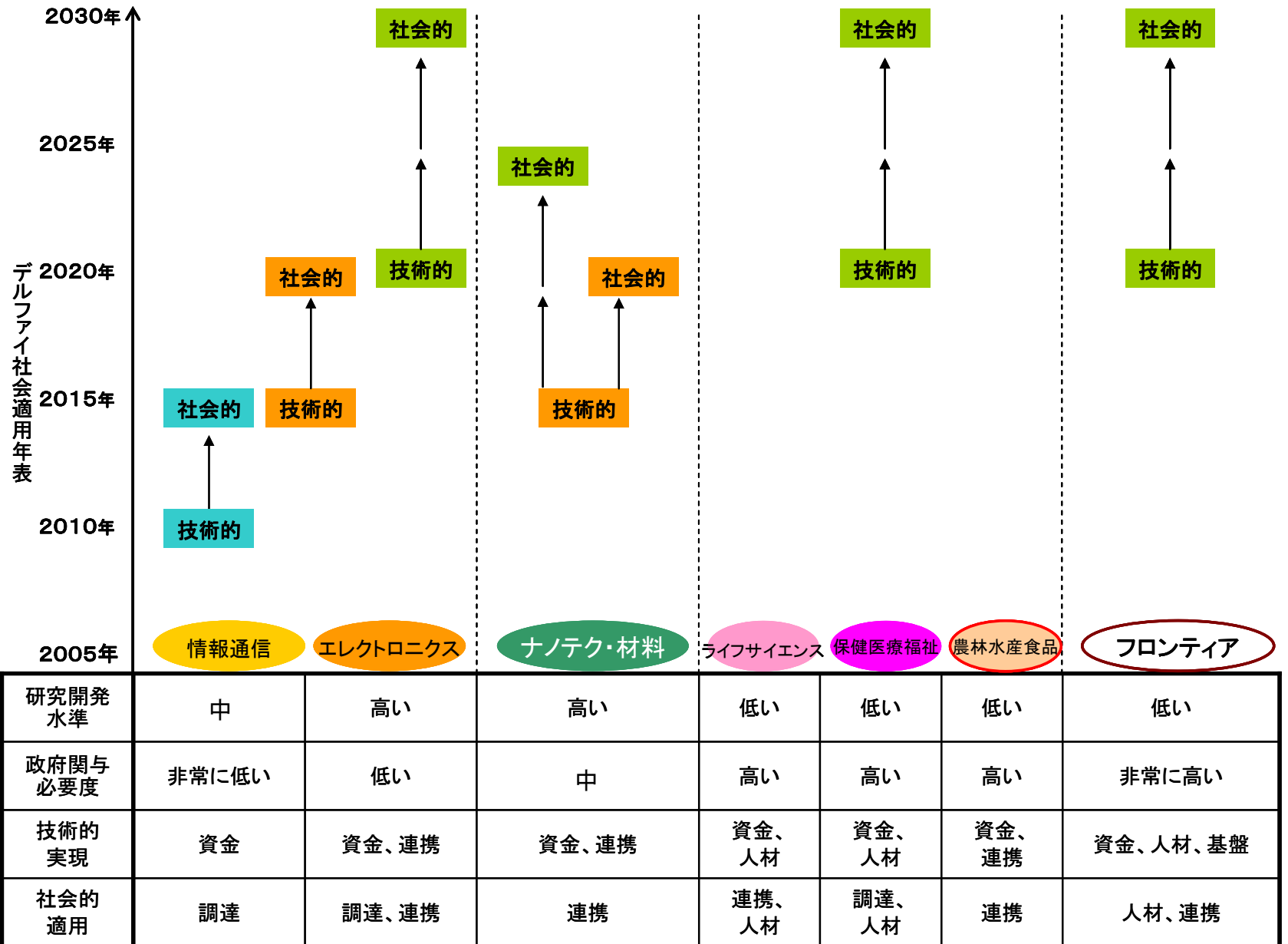
–ライフサイエンス、保健・医療・福祉、フロンティア

◆「税制・補助金・調達による支援」が強く求められている領域は、社会基盤分野では交通機関の環境対策や環境にやさしい効率的な物流システム技術、情報通信分野では情報セキュリティ、社会技術では脳研究の社会応用などがある。

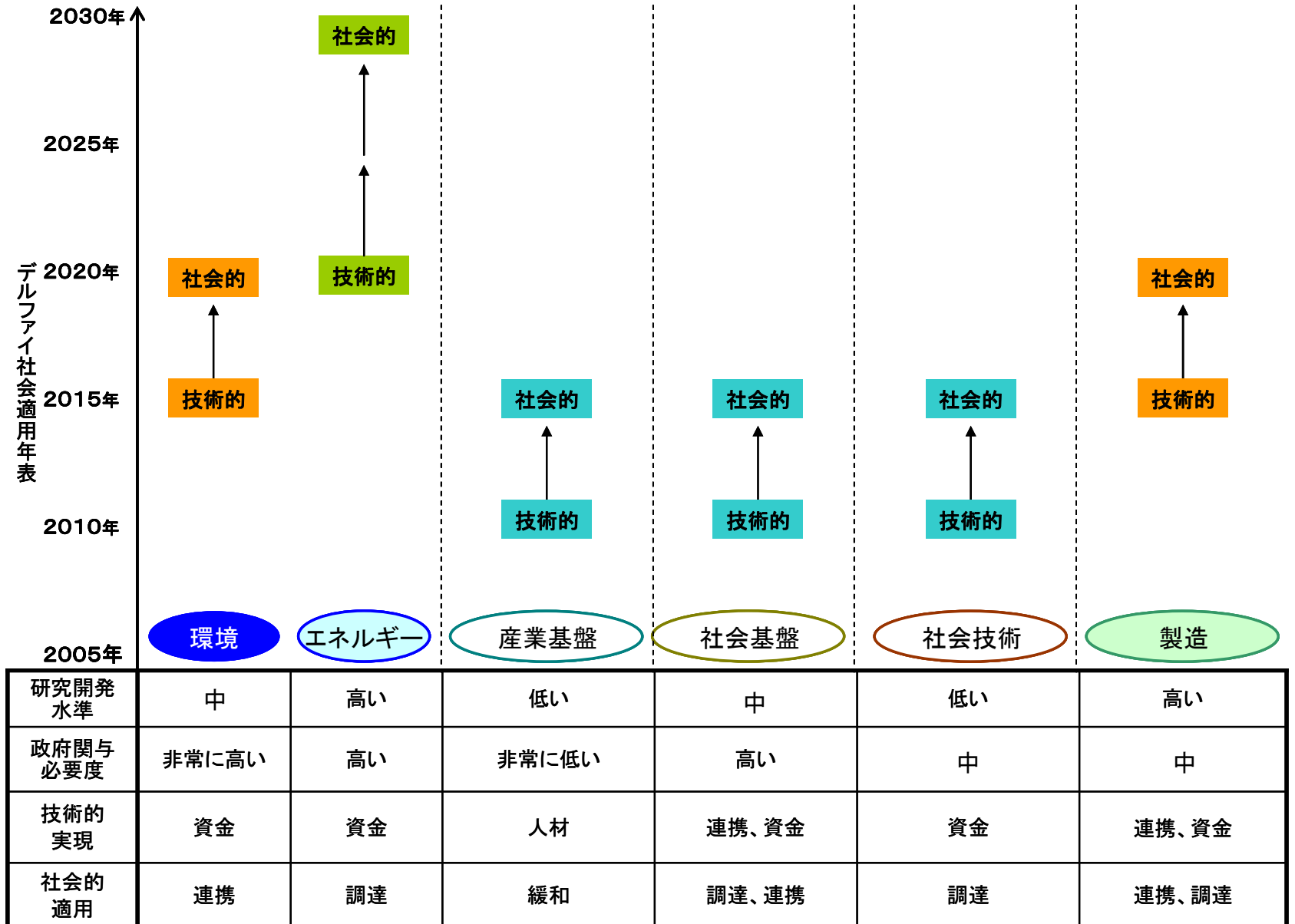
◆その他、環境分野では「関連する規制の強化・新設」、エネルギー・資源と産業基盤では「関連する規制の緩和・廃止」が重視されている。



13分野の特徴(1)

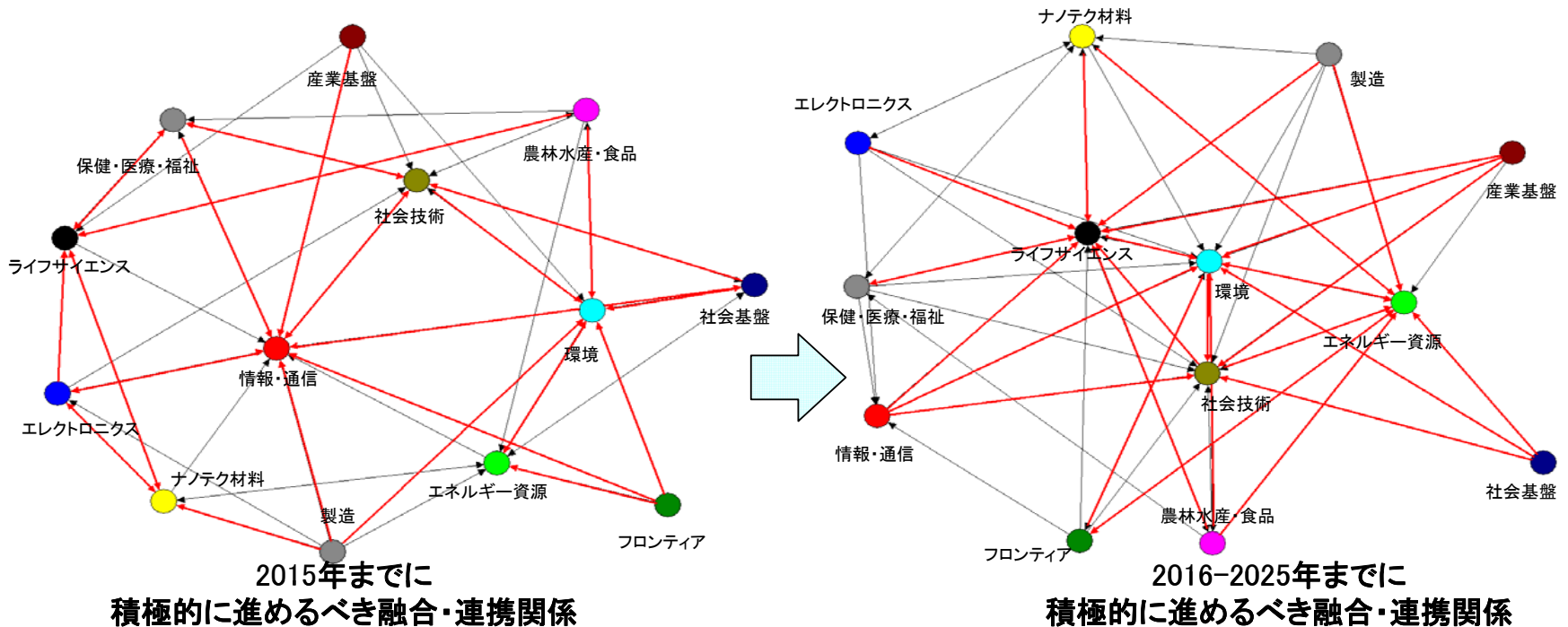


13分野の特徴(2)



分野の融合・連携

- 2015年までの10年間、融合・連携の中心と考えられているのは、情報通信、環境、社会技術。
- その後2016年から10年で融合・連携の中心になるのは、環境、ライフサイエンス、社会技術、エネルギー資源。
- まず情報通信と他分野との融合・連携を進めるための方策を、さらに2016年以降を見通しライフサイエンスおよびエネルギー資源との融合・連携の基盤を形成するための方策を検討する必要がある。



(注1) 各分野で融合・連携を進めるべき当該分野以外の分野を3つまで回答。

(注2) 各分野で融合・連携を進めるべきと3割以上が回答した分野に向けて→を表示し、双方が該当する場合は←→で表示。

(注3) 赤太線は5割以上が、融合・連携が必要であると回答した領域間である。

基本計画8分野に属する領域の効果の評価

①知的資産の増大

a: 当該領域自体の知的資産増大への寄与

b: 他分野の発展への寄与

②経済的效果

c: 我が国の既存産業の発展への寄与

d: 新産業・新事業の創出への寄与

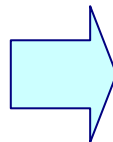
③社会的効果

e: 安全・安心の確保への寄与

f: 社会の活力や生活の質の向上への寄与

評価尺度→「大」、「やや大」、「中」、「あまりなし」、
「なし」の5段階

これを10点満点に指数化



各観点内の2つの軸は、補完的な関係にある異なる側面からの評価と考えられるため、分析ではどちらか大きい方の値を採用。

各領域について、

知的資産の増大 → $\text{Max}(a, b)$

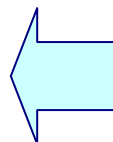
経済的效果 → $\text{Max}(c, d)$

社会的効果 → $\text{Max}(e, f)$

社会・経済効果 → $\{\text{Max}(c, d) + \text{Max}(e, f)\} / 2$

総合効果指数

→ $\{\text{Max}(a, b)^2 + \text{Max}(c, d)^2 + \text{Max}(e, f)^2\}^{1/2}$
と定義。



総合効果を中心にしつつ、3軸
それぞれの効果についても考慮

シナリオテーマ4 「数学の研究発展と数学教育」

算数オリンピック財団評議員 ピーター・フランク氏

1. 現状分析

昔は数学の研究者と物理学の研究者がほぼ一致していた。今でも物理学者には数学を学んでいた人が多く、2004年度のノーベル物理学賞受賞者の一人は数学博士号を取得している。21世紀に入ると化学も非常に数学を駆使する学問になり、最近では生物学でもこの傾向が強くなっている。ヒトゲノム計画を通して医学の分野まで数学は深く入り込むようになった。この20年間に作られたCTスキャンやMRTなどの医療機器は、どちらも非常に高いレベルの数学、フーリエ解析を利用している。また、経済学でも数学の比重が増えてきた。さらに、コンピュータも、数学者たちが開発したものである。以上のように、数学は、他の様々な科学分野と密接な関係性を持ち、その発展に大きく貢献している学問である。その傾向が今後ますます強まると考えられる。

2. 発展シナリオ

「離散数学、確率理論、リーマン予想の完全証明」

魅力的な良問の存在によってある分野に研究者が集まるが、解決されることによってその分野を研究する人が少なくなる。こういうことが数学史上繰り返されてきた。現在の最大の良質問題は「 $P \neq NP$ 」であろう。これはコンピュータの発展によって出てきた離散数学の難問である。簡単に言うと、いくつかの問題に関してコンピュータで解決するとき効率の良い手法が存在しないことを証明しようというものだ。これから30年間は、この問題とその周辺である理論的コンピュータサイエンスが目覚ましい成長を見せるだろう。同様に大きく発展するのは、確率理論とその周辺である。また、リーマン予想の完全証明とそれに関連する研究は大きく発展していくだろう。

3. 日本のとるべきアクション

- (1) 外からの客観的な評価がなければ実情を把握するのは難しい。日本を代表する幾つかの大学もしくは数学界全体に関する外部(海外)からの評価が必要。
- (2) 外国人研究者を積極的に呼ぶべきである。
- (3) サバティカル制度を強制として、数年経ったらどこか外国の研究機関で研究させる。
- (4) 優秀な留学生在が日本に留まって研究を続けるような環境作りを考えなければならない。
- (5) 若い数学者のために、縦社会をやめて大学内の民主化に努める。
- (6) 研究に没頭できる環境の国立高等数学研究所を作る。年毎にテーマを決め、関連する分野に造詣が深い人材を一年限定で世界中から呼び寄せ、教員や学生と交流しながら研究を行なう。
- (7) 数学の才能のある若者に研究の道に進んでもらうような方策。①高等学校などでもっとコンピュータを使わせる、②運動部と同等な数学部の発足の奨励、③選ばれた学生を一箇所に集めて、問題を作ったり解いたりするコンテストを行ないながら交流を深め、第一線で活躍する研究者の講演も聞けるようなサマースクール(合宿)を実現する、④国際数学オリンピック(IMO)その国内版(JMO)で優秀な成績を上げた学生を、大学へ無条件で入学させる。

シナリオテーマ20 「生活支援ロボティクス」

(株)国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所 萩田紀博氏

1. 現状分析

生活支援ロボティクスの研究開発には、人の機械的代行としての「メカロボット」と、コミュニケーション機能に重点をおいた「コミュロボット」の2つの流れがある。生活支援ロボティクスには、特に後者の「人とのコミュニケーション手段」という要素が不可欠であり、以下の要素あるいは考え方が注目される。

* スキンシップ: 他のコミュニケーションメディアではできないロボット独自のコミュニケーション形態に「スキンシップ」があり、フレンドリーなコミュニケーション行動に繋がる。

* ネットワークロボット: ロボット単体での機能追求よりも、ネットワーク化することによってサービスを生み出すという「ネットワークロボット」の考え方は、日本のフラグシップテクノロジーである。

* 存在感メディア: 呼びかけに対する反応や応答により、ひとつの「存在感メディア」であることが、高齢化社会における話し相手の候補になりうる要素である。

2. 発展シナリオ

生活支援ロボティクスの開発は、現在～2015年頃までの第1期には、「メカロボット」と「コミュロボット」において、別々に技術進展が進み、2016年以降の第2期に融合技術に進展していくと考えられる。

また、第1期中の進展は以下のように進むと考えられる。

単機能の家庭ロボット



ネットワークを介し機能拡充



ネットワークロボットの連携サービス

3. 日本のとるべきアクション

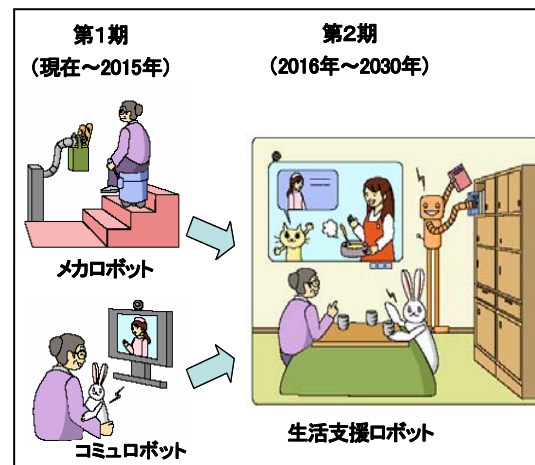
戦略1: 様々なロボットをネットワーク情報通信基盤につなげることが先決である。

戦略2: パワーアシストできる技術を優先的に高度化すべきである。

戦略3: 単体の知能だけでなく、社会的知能(対人コミュニケーション)

技術でイニシアティブをとる。

特に、ロボットと人間の互いの関係に関する研究分野(ロボットを用いた社会的知能の研究)は、社会科学、認知科学、脳科学研究などとの連携を積極的に進め、日本のイニシアティブを確保すべきである。



まとめ

	情報通信関連領域	生命関連領域	環境関連領域
技術	<ul style="list-style-type: none"> ● 短期的・中期的・長期的技術の3つのパターンがある。技術的実現と社会的適用までのタイムラグは他分野に比べて短い。 ● 他領域・分野からの融合を強く期待されている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 長期的技術である。 ● 長期的に分野間融合の中心的存在となると考えられている。 	<ul style="list-style-type: none"> ● デルファイ調査で設定された環境分野は、環境の観測、メカニズムの解明、社会システム等に関わるものが多く、中期的技術である。 ● 直接的なニーズに対応した技術はむしろ、エネルギー・資源、製造、社会基盤等の分野に含まれており、特にエネルギー分野は長期的技術である。 ● 環境対策技術の中心となるエネルギー・資源、製造、社会基盤等の分野は、日本の水準が高く、“出口”を明確に設定した推進策によりその強みを活かしていくことが重要。
推進手段	<ul style="list-style-type: none"> ●「研究開発資金の拡充」 ●「産学官・分野間の連携強化」 ●「税制・補助金・調達による支援」 	<ul style="list-style-type: none"> ●「研究開発資金の拡充」 ●「人材の育成と確保」 ●「産学官・分野間の連携強化」 ●「税制・補助金・調達による支援」 	<ul style="list-style-type: none"> ●環境分野 「産学官・分野間の連携強化」「研究開発資金の拡充」 ●エネルギー分野 「税制・補助金・調達による支援」「研究開発資金の拡充」 ●製造分野 「産学官・分野間の連携強化」「研究開発資金の拡充」 「税制・補助金・調達による支援」 ●社会基盤 「産学官・分野間の連携強化」「研究開発資金の拡充」 「税制・補助金・調達による支援」
基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> ● この領域の基礎である数学や計算機科学は、日本が弱い部分であり、この強化が課題である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● この領域の論文は、量的にもまだ十分でなく、質においては米・英・独に水をあけられている。 ● 基礎研究の量及び質の拡大が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境科学については、論文分析でシェアが他分野に比べて低い水準にある一方で、応用技術や対策技術については海外の専門家からも高い評価を受けている。 ● 「地球規模の問題の解決に積極的に貢献する」などのためには要素技術や個別対策技術に加えて、システムとしての環境の理解を深めていくことが不可欠であり、その基礎としての環境科学を長期的な視点から充実させていくことが必要。

まとめ

	ナノ関連領域	その他
技術	<ul style="list-style-type: none"> ● ナノテク材料関連分野は、技術実現時期は比較的早いですが、その後の社会的適用までが短いものと長いものがある。 ● デルファイ調査では、インパクトとして経済効果の側面がかなり強く出ており、国内専門家の目的意識が応用を強く志向していることが伺える。これを具体的な成果につなげていく仕組みの強化が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 安心や安全に関わる技術の重要度が上昇していることが注目される。 ● 複数分野に関係する領域が多く、分野融合が重要である。 ● フロンティア分野は、重要度の評価が高かった分野の一つである。しかし、研究開発水準において欧米と差があり、政府主導の推進が求められている。
推進手段	<ul style="list-style-type: none"> ● 「産学官・分野間の連携強化」 ● 「研究開発資金の拡充」 ● 産学官連携とともに、分野融合を推進していくことが重要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● エネルギー分野は、長期的技術。長期的に分野間融合の中心的存在の一つとなると考えられている。政府関与の必要性が高く、有効な推進手段としては「研究開発資金の拡充」、「税制・補助金・調達による支援」。
基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本が強みを持つ物理学、材料科学、化学を基盤としており、長期的視点からナノサイエンスを充実させこれを基盤として新たなナノテクノロジーの開拓を目指すべきである。 ● 材料科学を中心に、近年の中国や韓国の台頭は目を見張るものがあり、日本は、これまでの知識のストックを活かしつつ、境界的・学際的領域に軸足を置いた新しい領域を生み出しやすい動的な研究環境を整備すべきである。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 産業基盤に含まれるマネジメントやシステムの技術は文理融合の性格が強く、また水準が低い。日本の強みを持っている要素技術を社会システムとして上手く機能させていくためには、このようなシステムの側面の研究を充実させていく必要がある。