



# 日米のナノテクノロジー分野に関する競争力の検討

(米国ナノテクノロジー分野研究開発の推進戦略に関する調査より)

2001年 4月19日

株式会社三菱総合研究所

先端科学研究所

亀井 信一

# 調査研究の実施項目

- 
- NNIの政策形成プロセスから学ぶことは何か？
  - **NNIのR&D施策はどう動き出したか？**
  - ナノテクノロジー分野における日米の競争力をいかに評価するか？
  - 我が国は本当に「科学的」「技術的」競争力に優れているのか？
  - 競争力の視点から見た課題点は何か？
  - 米国は何をみたか？日米の競争力の実感は？
  - ナノテクノロジーのR&Dの競争力指標は何か？

# 米国のR & Dプロジェクト動向（1）



## ■ NIST/DOC

- 長さ、質量、化学組成、およびその他の特性を計測するための原子レベルの新しい計測方法の研究開発
- 原子・分子レベルの新しいデバイス組立て技術に関して、産業界で用いられる新しいナノスケールの製造技術の研究開発
- NISTのナノテクノロジーへ移転したり、産業界へ移転したり、あるいはナノベースの新しい商品の品質を保証するための新しい標準化手法、データおよび材料の研究開発



ナノレベルの計測手法、標準化手法、データの構築に注力  
(NISTの基本的なタスクを粛々と実施)

# 米国のR & Dプロジェクト動向（2）

## ■ DOD

- ・DOD／Navalの基礎研究資金：\$4M(2001会計年度)
- ・プロポーザルの受付範囲：\$50,000～\$1,000,000(一般機器は不可)
- ・以下の15テーマ：
  - ①ナノスケールの機械およびモーター
  - ②ナノエレクトロニクスおよびナノマグネティック構造形成のバイオ分子制御
  - ③ナノシステムエネジックス
  - ④ナノスケールのエレメント、デバイス、システムの評価
  - ⑤カーボンナノチューブの合成、精製、機能付加
  - ⑥ナノスケールの電子デバイスおよびアーキテクチャ
  - ⑦ナノポーラス半導体マトリクス、基板、テンプレート
  - ⑧ナノ構造および表面材料のゆがみ、疲労、揺らぎ
  - ⑨触媒のナノ構造
  - ⑩高速および宇宙システムのための高分子ナノコンポジット
  - ⑪有機ナノフォトニクスおよびナノエレクトロニクス
  - ⑫量子コンピュータおよび量子デバイス
  - ⑬バイオ分子系の分子認識と信号変換
  - ⑭ナノ構造表面の合成と修飾
  - ⑮バイオテクノロジー応用のための磁気ナノ粒子

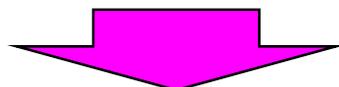
ほとんど何でもありの課題設定

# 米国のR & Dプロジェクト動向 ( 3 )



## ■ DOE

- ・DOEではOffice of Basic Energy Sciences(BES)がナノテクノロジーのR&Dプロポーザルの募集を実施
- ・BESの目標は、以下の4点である。
  - ①ナノスケールの現象および特異的な協調現象の基礎科学的な理解
  - ②原子レベルでの物質のデザインと合成
  - ③生物が生み出す材料プロセスの理解
  - ④実験技術および理論／モデリング／シミュレーション技術の開発



基礎現象の理解にウエイトが置かれている

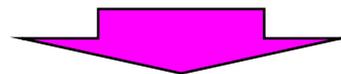
# 米国のR & Dプロジェクト動向 ( 4 )



## ■ NASA

### NASA Ames Research Center における研究課題

<p><b>1 . ナノチューブ</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Controlled, patterned growth of CNT</li><li>- Large scale production of CNT</li><li>- CNT-based biosensor for cancer diagnostics</li><li>- Fictionalization of nanotubes</li><li>- AFM study of Mars dust</li><li>- AFM study of Mars meteorite</li><li>- CNT-based sensors for astrobiology</li><li>- Hydrogen storage in nanotubes</li><li>- Protein nanotubes: growth and applications</li><li>- Reactor/Process Modeling of CNT growth</li><li>- Computational investigation of electronic, mechanical and other properties of CNT</li><li>- Transport in CNT, Nanoelectronics</li><li>- BN nanotubes, structure and properties</li><li>- Design of CNT-based mechanical components</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Chemical Storage of Data</li><li>- Atomic Chain Electronics</li><li>- Bacteriorhodopsin based holographic data storage</li></ul> <p><b>2 . コンピューターエレクトロニクス コンピューターオプトエレクトロニクス</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Development of multidimensional quantum simulators to design ultrasmall semiconductor devices</li><li>- Development of semiclassical methods with quantum correction terms</li><li>- Investigation of device technologies suitable for petaflop computers</li><li>- Modeling of optoelectronics devices, VCSEL, THz modulation</li><li>- Optical interconnect modeling</li></ul>
--	--



極めて特化したテーマ設定

# 米国のR & Dプロジェクト動向 ( 5 )



## ■ NIH

①Bioengineering Research Grant (PAR-99-009)

②Bioengineering Research Partnership (PA-01-024)

③SBIR Bioengineering Nanotechnology Initiative (PA-00-018)

・\$400,000以下(2年間)フェーズ1, \$1,200,000以下(3年間) フェーズ2

・テーマ: ○バルブ、マクロ流路、モーターなどのナノ配管(ナノポンプに用いる要素技術)

○量子ドットに基づく論理回路(電流なしに特定の計算を行う機能を有する)

○ナノメートルスケールではよく理解できない生物学的な特性や現象の探求やナノスケールの材料の特性を明らかにするための新しい原理の基づく技術の開発と改良

○健康ないし病気の細胞の内部および表面における生化学プロセスのモニタリングのためのナノメートルスケールのけい光プレーブの開発

○「スマート」なナノ構造を有する生体適合材料の創製。自己組織化および材料表面形態の修飾やパターンニングなどを含む。

○注入材料の拒絶を防ぐナノ構造バリアの開発

○ターゲット細胞中への治療薬、抗体、遺伝子、ワクチンの投入制御を可能とするナノ粒子およびナノ・スフェアの開発

○血液、唾液、その他の生体流体中の試料の生物学的に適切な分子のおよび物理的目標の検出や分析を行ったり、あるいは検体や生体中ないしラボ(純粋試料)において用いるためのセンサ技術の開発

④Innovative Approaches To Developing New Technologies (PAR-98-047)

⑤Small Business Innovation Research Advanced Technology: NIAID (SBIR-AT-NIAID) (PAR-98-073)

⑥Innovative Technologies for the Molecular Analysis of Cancer: Phased Innovation Award(PAR-99-100)

⑦Innovative Technologies for the Molecular Analysis of Cancer: SBIR/STTR Initiative (PAR-99-101)

⑧Novel Technologies for Noninvasive Detection, Diagnosis, and Treatment of Cancer (BAA N-1-CO-07013-32)

# 米国のR & Dプロジェクト動向 ( 6 )



## ■ NSF

### (1) NIRT

組織の制限: 米国の学術研究機関

採択数: 35~45

資金: \$74M(NIRT, NSEC, NER)/2001年

年間グラント: 年間\$250,000~\$500,000(4年間)

### (2) NSEC

組織の制限: 1研究機関ないしリード研究機関と  
そのパートナー

採択数: 6-10

年間グラント: 年間\$1M~\$4M(5年間)

### (3) NER

組織の制限: 米国の学術研究機関

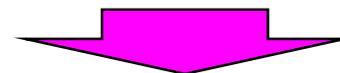
採択数: 50~60

資金: \$74M(NIRT, NSEC, NER)/2001年

年間グラント: 年間\$100,000(1年間)

### [ナノテクノロジーの研究分野]

- ・生物学(Biological Sciences)
- ・コンピュータおよび情報科学、技術
- ・教育および人間科学
- ・工学
- ・地球科学
- ・数学および物理学
- ・社会、人文、経済学
- ・国際プログラム



**3種類のグラントを用意**

# 応用分野ごとに整理したナノテクノロジーの研究領域と 主要省庁のR&D資金の対象



分野	ナノテクノロジー	DOC	DOD	DOE	NSA	NIH	NSF
材料・素材	CNT						
	フラーレン						
	フォトニック材料						
	バイオ材料						
	ナノワイヤ						
	ナノクラスター						
	ホスト-ゲスト材料						
	プロトン材料						
	ナノエマルジョン						
	ナノスフェア						
化学	テーラーメイド化学						
	環境触媒						
	光触媒						
エレクトロニクス	量子ドット						
	量子細線						
	量子デバイス						
	量子コンピュータ						
	超微細加工技術						
	分子デバイス						
	バイオコンピュータ						
	光デバイス						
	ナノ磁性材料						
	ロボット	マイクロマシン					
MEMS							
自動車	水素吸蔵タンク						
	排ガス触媒						
医療・製薬	ドラッグデザイン						
	バイオチップ						
	タンパク質工学						
基盤技術	自己組織化						
	単原子・単分子操作						
	走査プローブ顕微鏡						
	超微細加工技術						
(備考) 予算: M \$ / 200 1 年		18	4	18	20	0.4.1.2 / 件	74

- ・各省庁が特色ある独自のグラントを開始した
- ・分野の重なりが見られる  
→NNIの調整(?)
- ・拠点センターの選定と横断的な仕組み作りは、まだの模様

(注) : 所管研究機関にて実施、 : 研究資金の提供

# 調査研究の実施項目

- 
- NNIの政策形成プロセスから学ぶことは何か？
  - NNIのR&D施策はどう動き出したか？
  - ナノテクノロジー分野における日米の競争力をいかに評価するか？
  - 我が国は本当に「科学的」「技術的」競争力に優れているのか？
  - 競争力の視点から見た課題点は何か？
  - 米国は何をみたか？ 日米の競争力の実感は？
  - ナノテクノロジーのR&Dの競争力指標は何か？

# 「科学的」「技術的」「産業的」競争力の国際比較の課題

現状では、ナノテクノロジー分野の「科学的」「技術的」「産業的」競争力の日米比較は極めて困難である。

- ・ナノテクノロジーのコンセプト自体が曖昧である。  
特に、基礎研究から応用まで包括的に議論しようとするとその範囲に関する統一的な定義がない。
- ・ナノテクノロジーは研究分野として極めて基礎的な側面を持っているために、「技術」や「産業」との関連性の特定やそのインパクトに関する個別の評価は本質的に不可能である。
- ・日米で、共通のデータを用いて比較しなければならない。  
これに足るナノテクノロジーデータベースは存在しない。

# 「科学的競争力」「技術的競争力」「産業競争力」の比較手法

以下の前提と手法に基づいて評価検討を試みた。

- ・科学的な競争力の指標としては、「論文数」を採用
  - 広範な研究領域をカバーする学術論文データベースを使用。
  - 英語のキーワード検索によるヒット件数を比較指標
  - (留意点)・個々の論文の重みは等しい→「マスの評価」
    - ・日本語で書いた論文は全く評価されない→「国際評価」
- ・技術的な競争力の指標としては、「特許」に着目
  - 日米では特許情報の公開制度が異なることや言語の違いにも配慮
  - 前項と同様に、個々の特許の評価は行わない。
- ・ナノテクノロジーの特定分野の市場規模を算出することは極めて困難
  - 日米の共通の産業競争力指標として、関連する産業分野全体の「生産高」
  - および「技術貿易」を採った。

# 科学的、技術的競争力の評価方法

## 1. 科学的競争力の評価方法

- 評価指標として「学術論文数」を採用
- データベース：Current Contents [各ナノテクノロジー]×[著者所属機関国名]×[発行年]
- 著者キーワードとidentifierによる検索
- 論文誌の特定は行っていない。
- 調査期間：1991年～2000年の10年間

Current Contents：ISI社の学術論文データベース。網羅する分野は「臨床医学」、「生命科学」、「工学、科学技術、および応用科学」、「農業、生物学、および環境科学」、「自然科学、化学、および地球科学」、「社会科学および行動科学」そして「芸術および人文科学」

## 2. 技術的競争力の評価方法

### [我が国]

- 評価指標として「特許登録数」および「特許出願数」を採用
- データベース：JAPIO（日本国特許） [各ナノテクノロジー]×[国名]×[発行年 or 出願年]
- 言語の違いおよび論文検索との統一性を保つためにキーワードは英語を用いた
- 特許国に関する情報がデータベースにないため、優先出願国を用いて日米を抽出した。
- 調査期間：1991年～2000年の10年間、ただし出願情報は、公開されるのが出願後1年半のため、得られる情報は1991年～1998年に提出されたもの

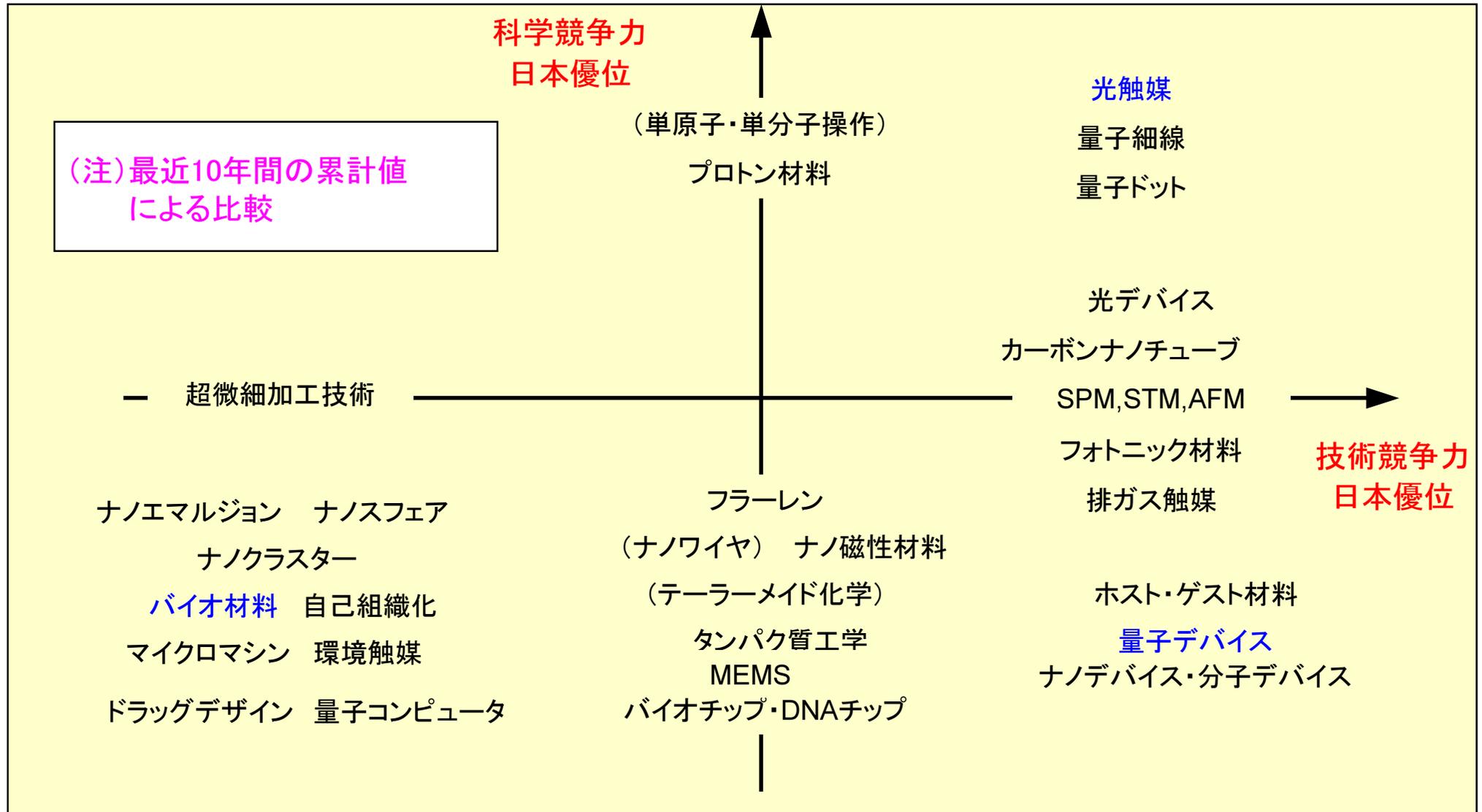
### [米国]

- 評価指標として「特許登録数」および「特許出願数」を採用
- データベース：CLAIM(米国特許) [各ナノテクノロジー]×[国名]×[発行年 or 出願年]
- 出願に関する情報は、登録された特許のみから得られ、定量的な出願情報は得られない
- 米国特許では、特許権者が米国籍の場合、国籍情報がデータベースに登録されない。そのため、米国特許の抽出には発明者国籍を採用
- 調査期間：1991年～2000年の10年間、ただし出願情報は1991年～1998年まで。

# 調査研究の実施項目

- 
- NNIの政策形成プロセスから学ぶことは何か？
  - NNIのR&D施策はどう動き出したか？
  - ナノテクノロジー分野における日米の競争力をいかに評価するか？
  - 我が国は本当に「科学的」「技術的」競争力に優れているのか？
  - 競争力の視点から見た課題点は何か？
  - 米国は何をみたか？日米の競争力の実感は？
  - ナノテクノロジーのR&Dの競争力指標は何か？

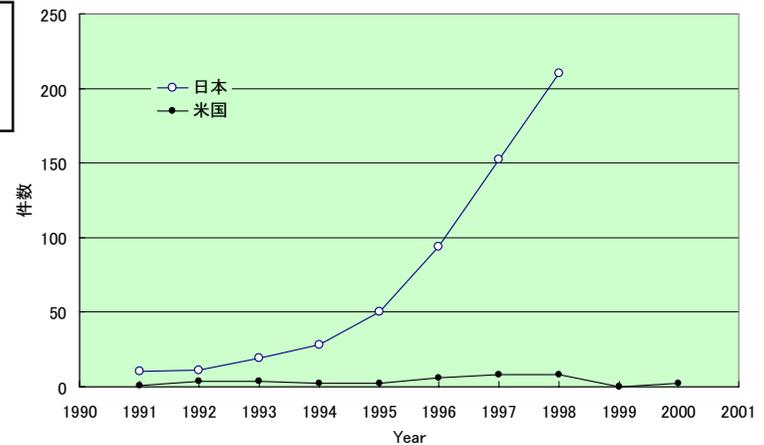
# ナノテクノロジーに関する日米の科学・技術競争力マップ



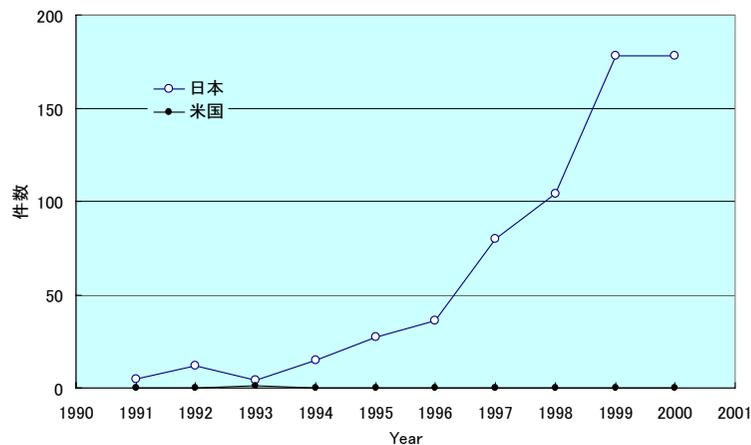
# 光触媒における科学・技術競争力の日米比較



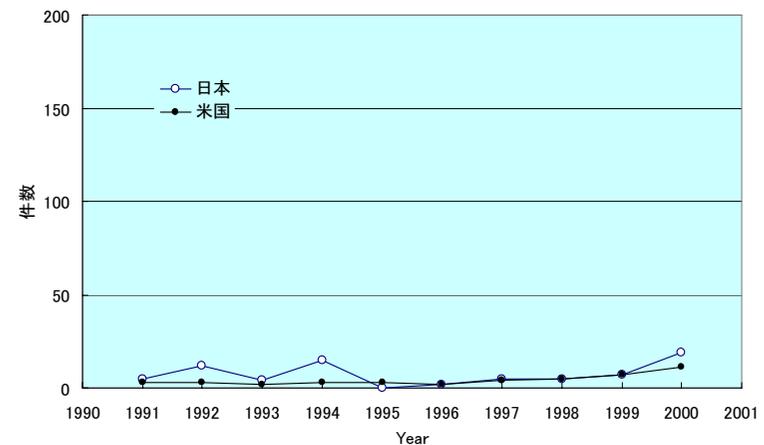
(1) 論文数



(2) 自国への特許出願

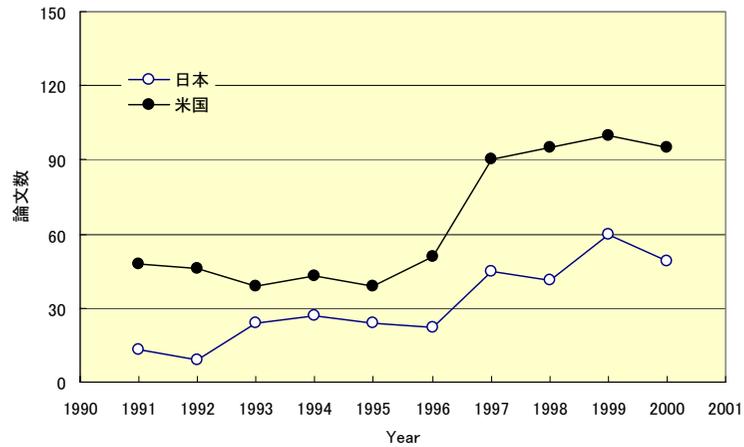


(3) 日本における特許登録

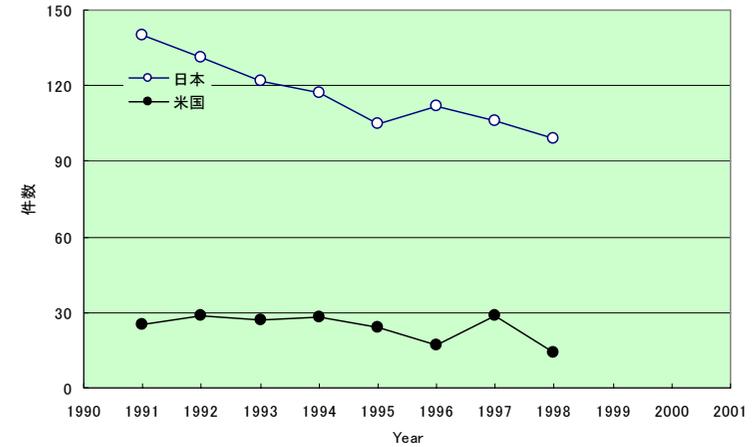


(4) 米国における特許登録

# 量子デバイスにおける科学・技術競争力の日米比較

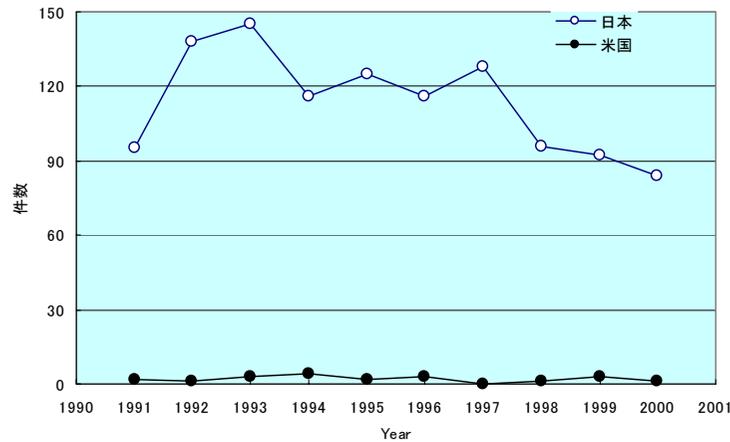


○:我が国  
■:米 国

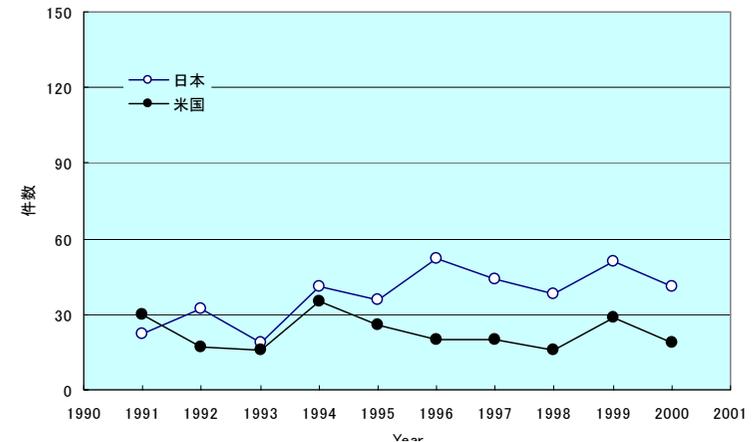


(1) 論文数

(2) 自国への特許出願

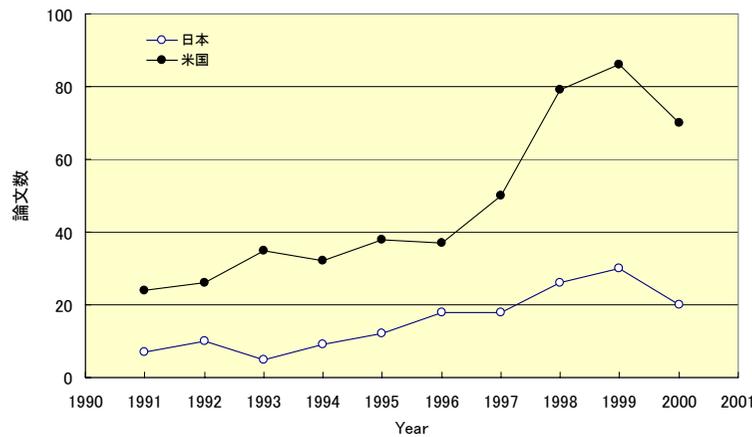


(3) 日本における特許登録

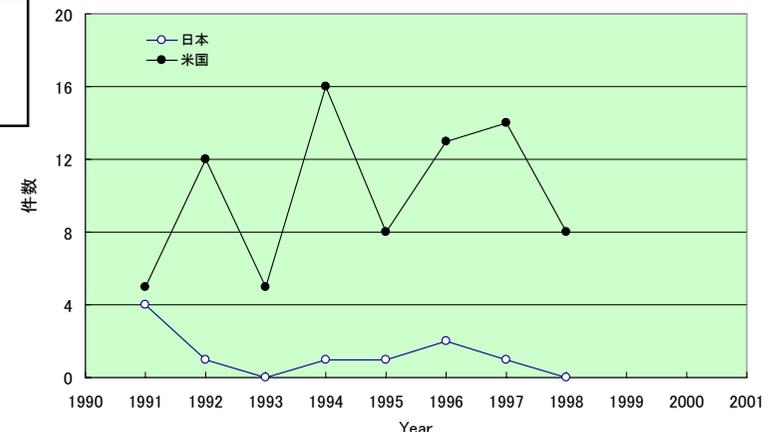


(4) 米国における特許登録

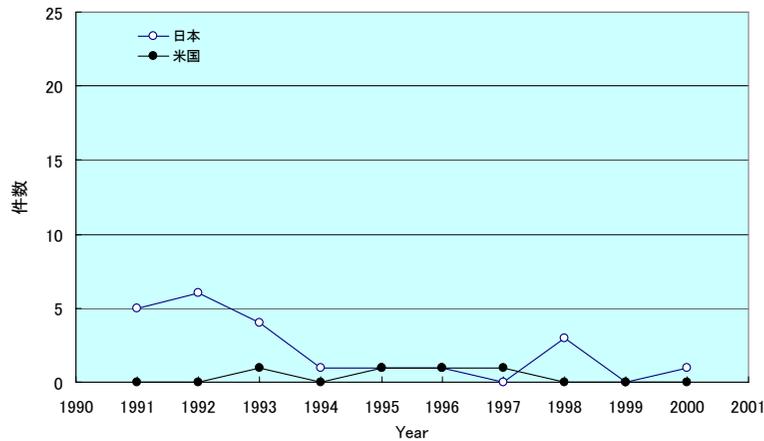
# バイオ材料における科学・技術競争力の日米比較



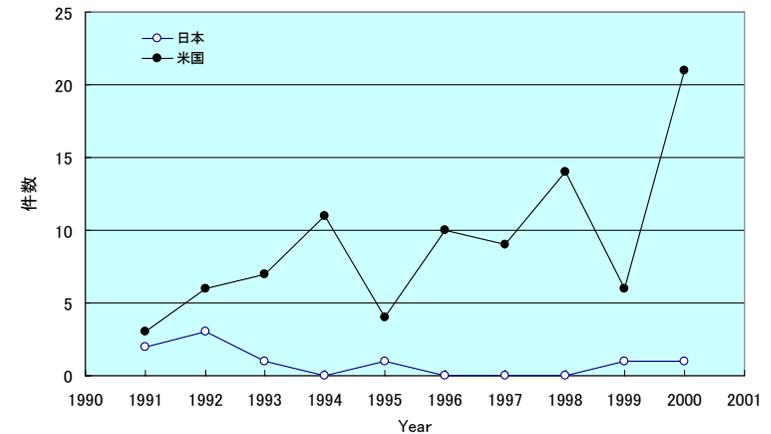
(1) 論文数



(2) 自国への特許出願

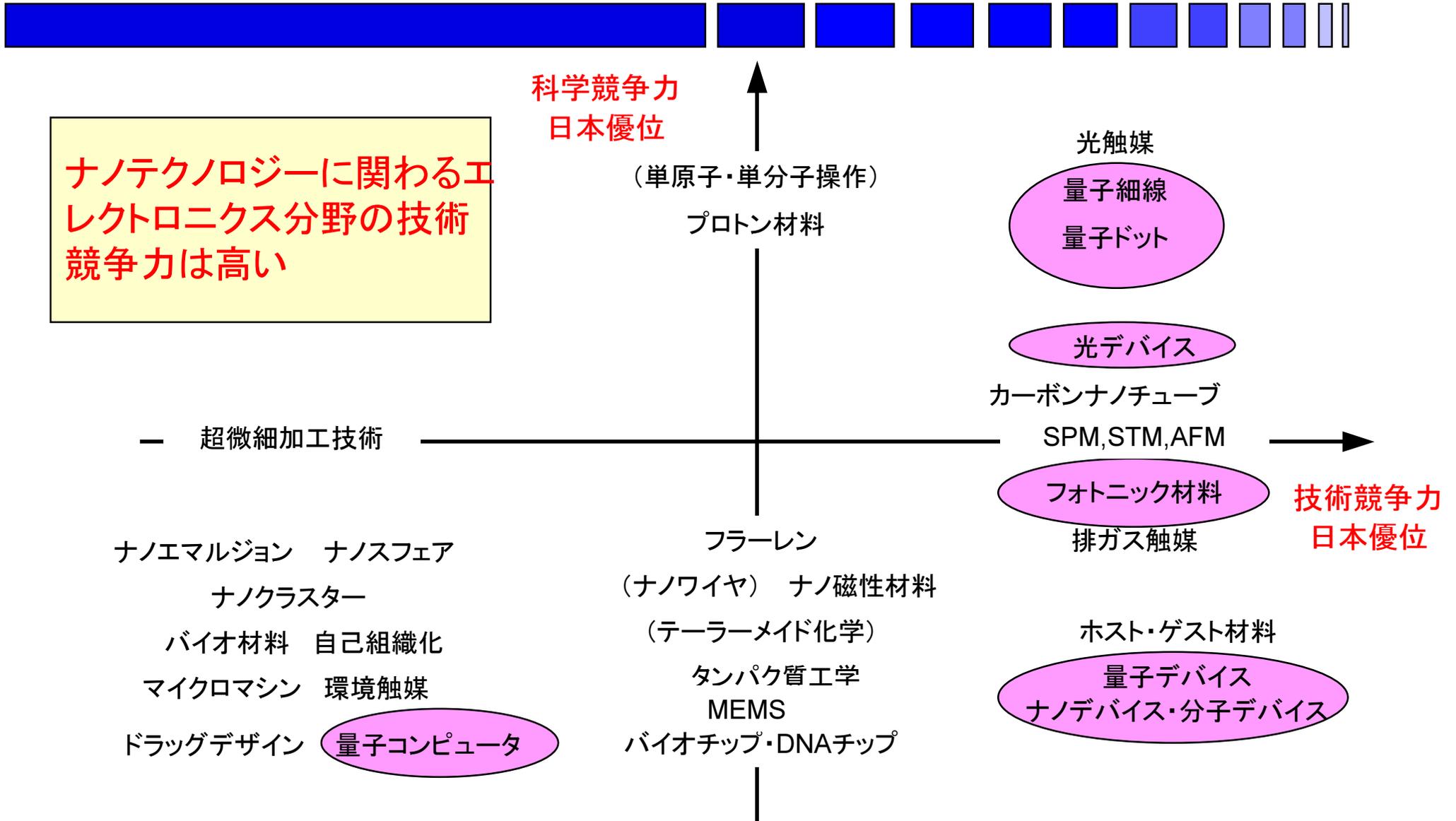


(3) 日本における特許登録

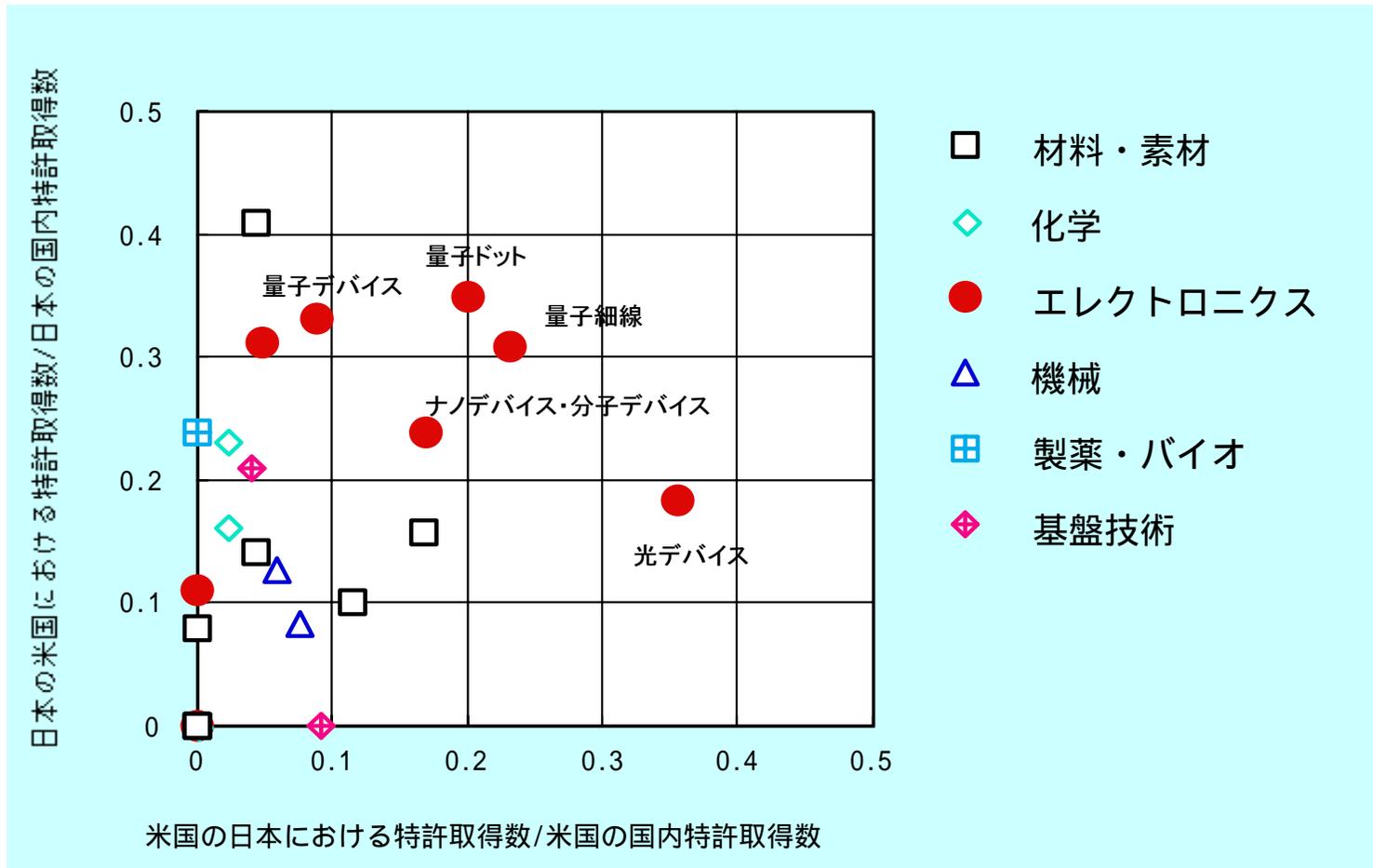


(4) 米国における特許登録

# ナノテクノロジーに関する日米の科学・技術競争力マップ

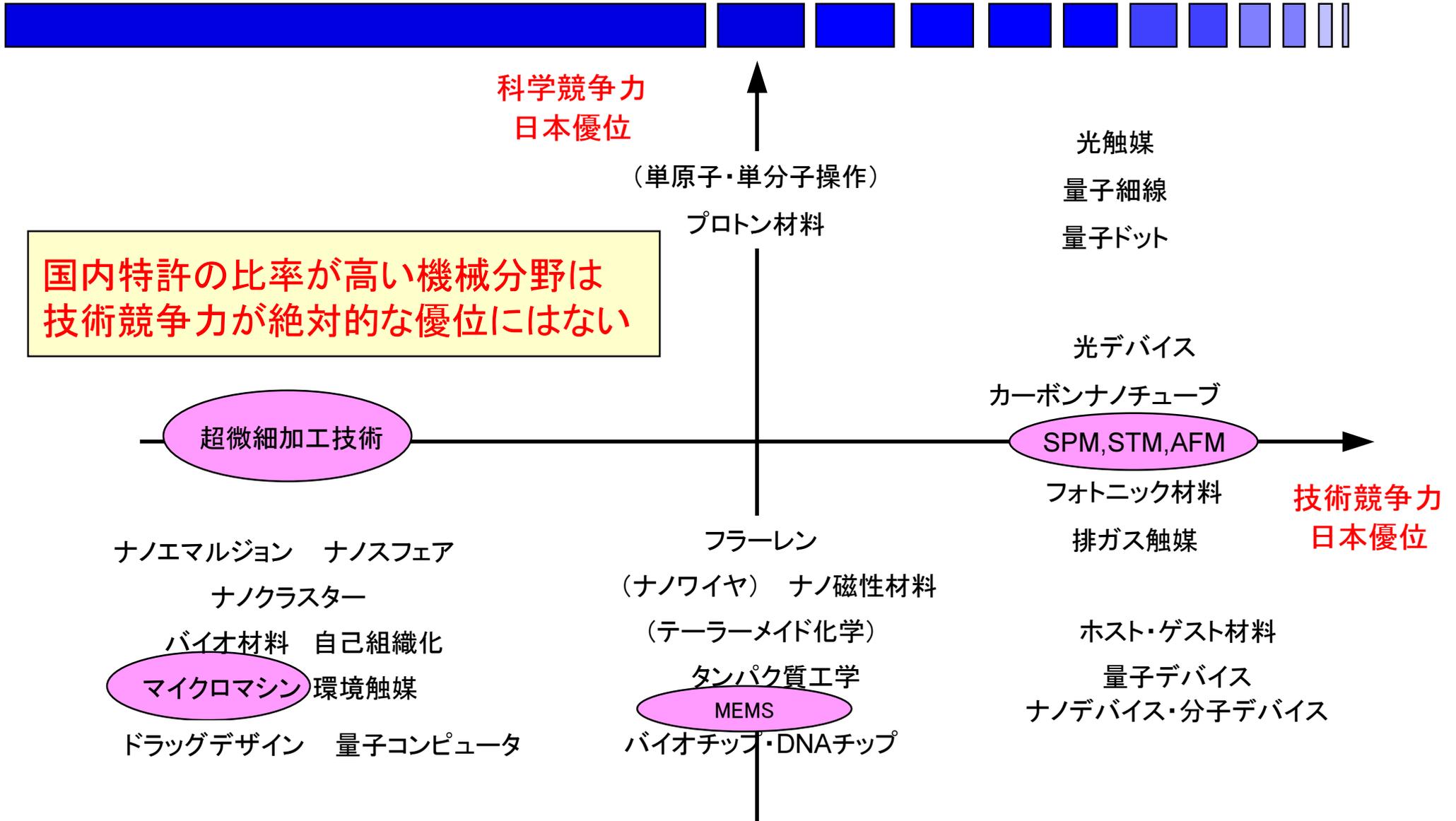


# ナノテクノロジーに関する日米の特許攻勢マップ

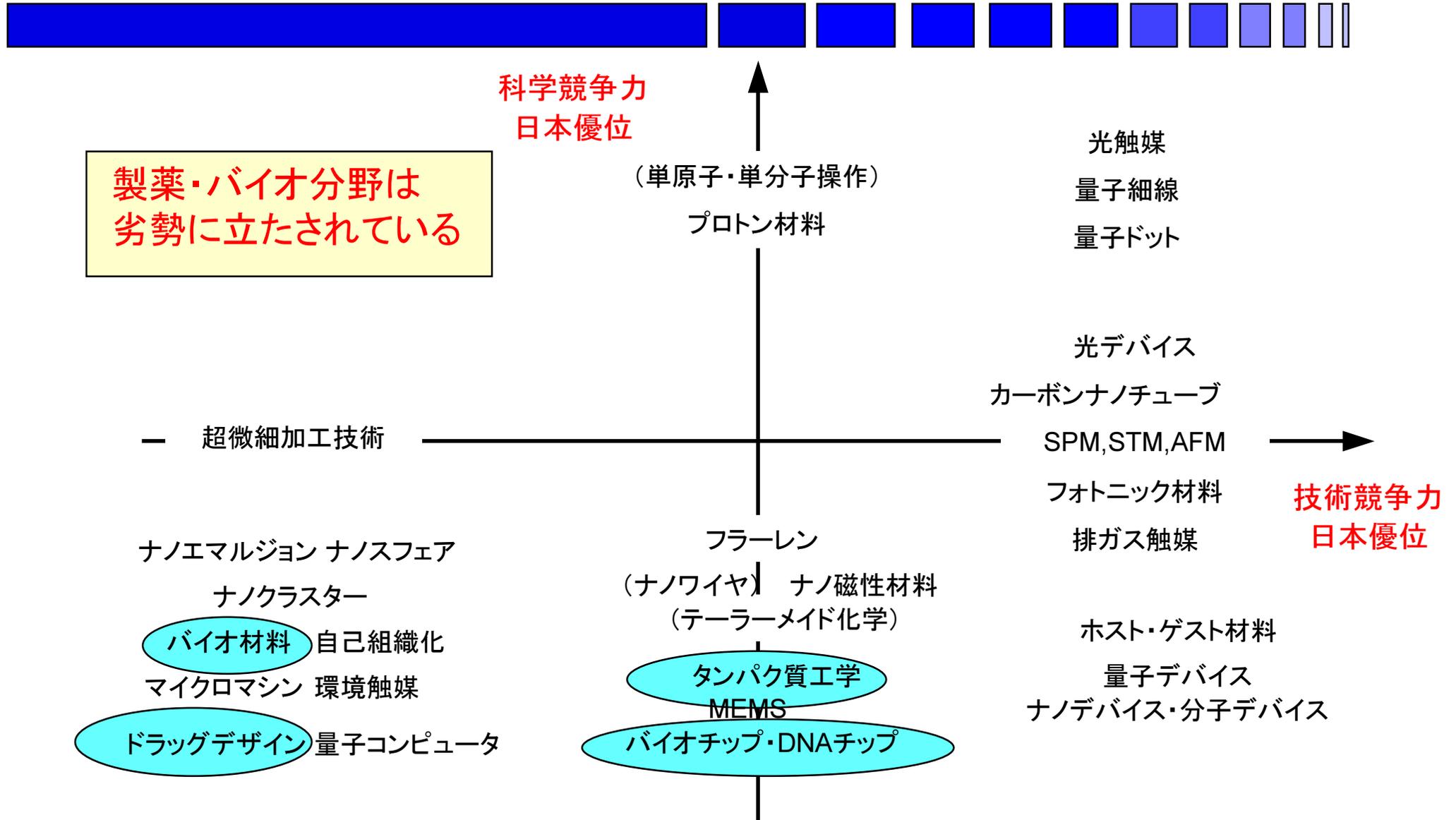


エレクトロニクス分野(オプトエレクトロニクスを含む)は  
ナノテクノロジー分野でも国際的な特許競争にさらされている。

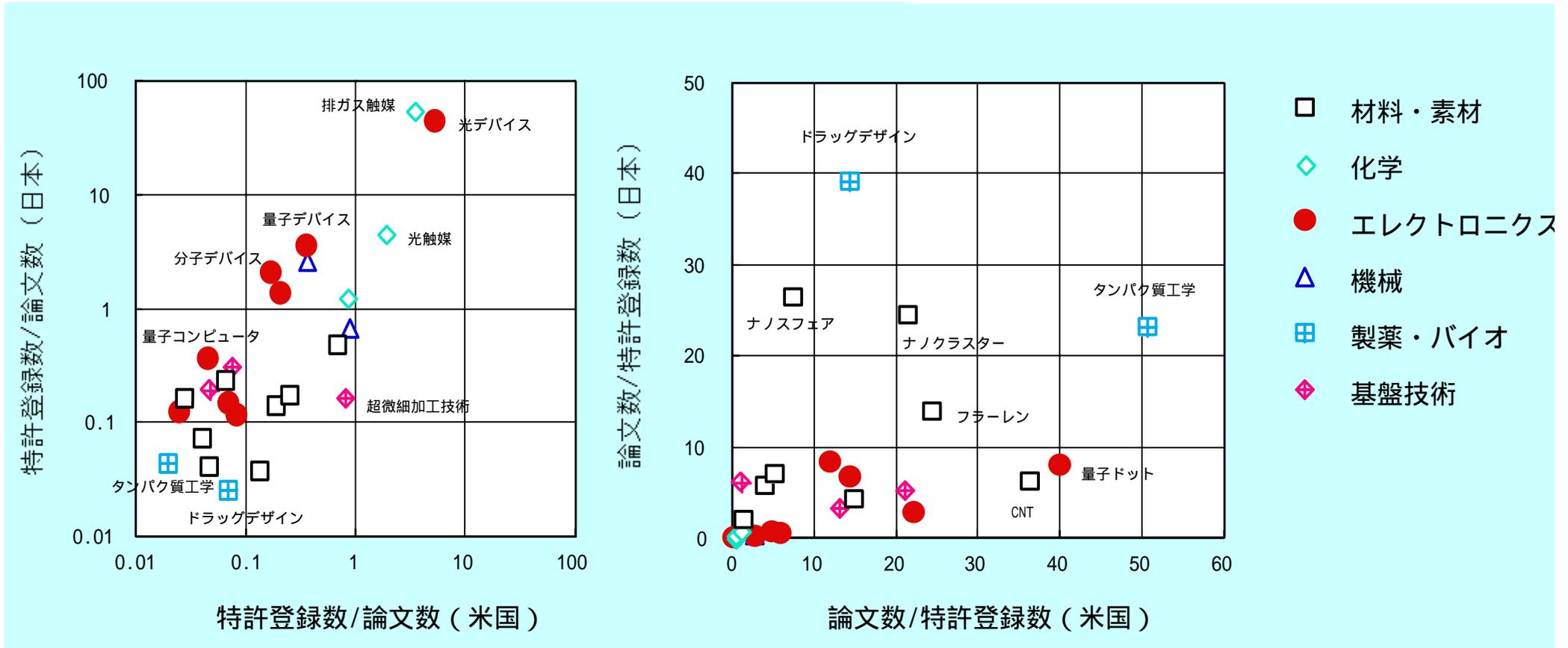
# ナノテクノロジーに関する日米の科学・技術競争力マップ



# ナノテクノロジーに関する日米の科学・技術競争力マップ



# ナノテクノロジーに関する R & D の特性 (基礎研究の位置づけ)



**「製薬・バイオ」および「材料・素材」分野は、多くの基礎研究の蓄積が求められる。**

# ナノテクノロジーに関する日米の科学・技術競争力マップ



科学競争力  
日本優位

化学・材料分野は幅が広い。  
基礎研究のウエイトが高い  
分野は技術的に劣勢である。

(単原子・単分子操作)  
プロトン材料

光触媒  
量子細線  
量子ドット

超微細加工技術

光デバイス  
カーボンナノチューブ

SPM,STM,AFM

技術競争力  
日本優位

フォトニック材料  
排ガス触媒

ナノエマルジョン ナノスフェア  
ナノクラスター  
バイオ材料 自己組織化  
マイクロマシン 環境触媒  
ドラッグデザイン 量子コンピュータ

フラーレン  
(ナノワイヤ) ナノ磁性材料  
(テーラーメイド化学)  
タンパク質工学  
MEMS  
バイオチップ・DNAチップ

ホスト・ゲスト材料  
量子デバイス  
ナノデバイス・分子デバイス

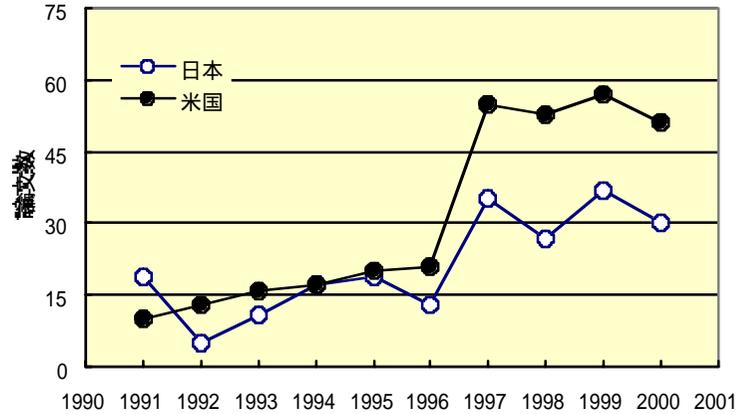
# 調査研究の実施項目

- 
- NNIの政策形成プロセスから学ぶことは何か？
  - NNIのR&D施策はどう動き出したか？
  - ナノテクノロジー分野における日米の競争力をいかに評価するか？
  - 我が国は本当に「科学的」「技術的」競争力に優れているのか？
  - **競争力の視点から見た課題点は何か？**
  - 米国は何を見たか？日米の競争力の実感は？
  - ナノテクノロジーのR&Dの競争力指標は何か？

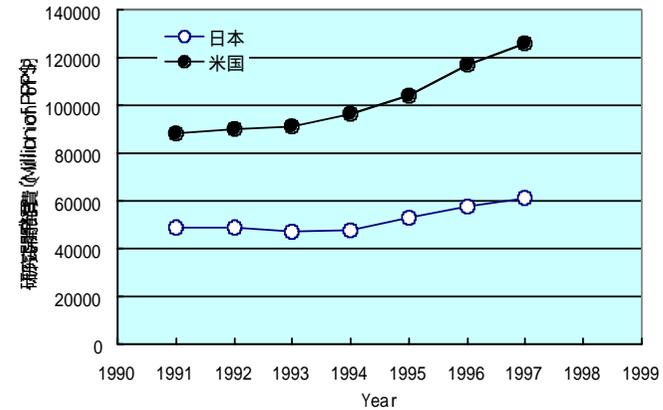
# ナノテクノロジーのエレクトロニクス分野は安泰か？



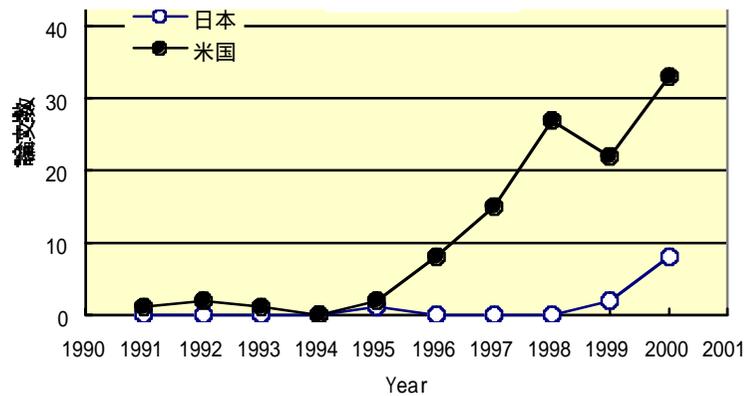
量子デバイスの論文数



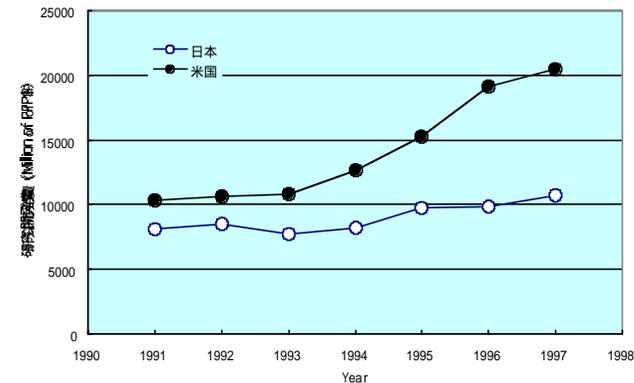
産業界全体の民間研究開発投資



量子コンピュータの論文数



通信・電子・電気計測器具分野の民間R&D投資

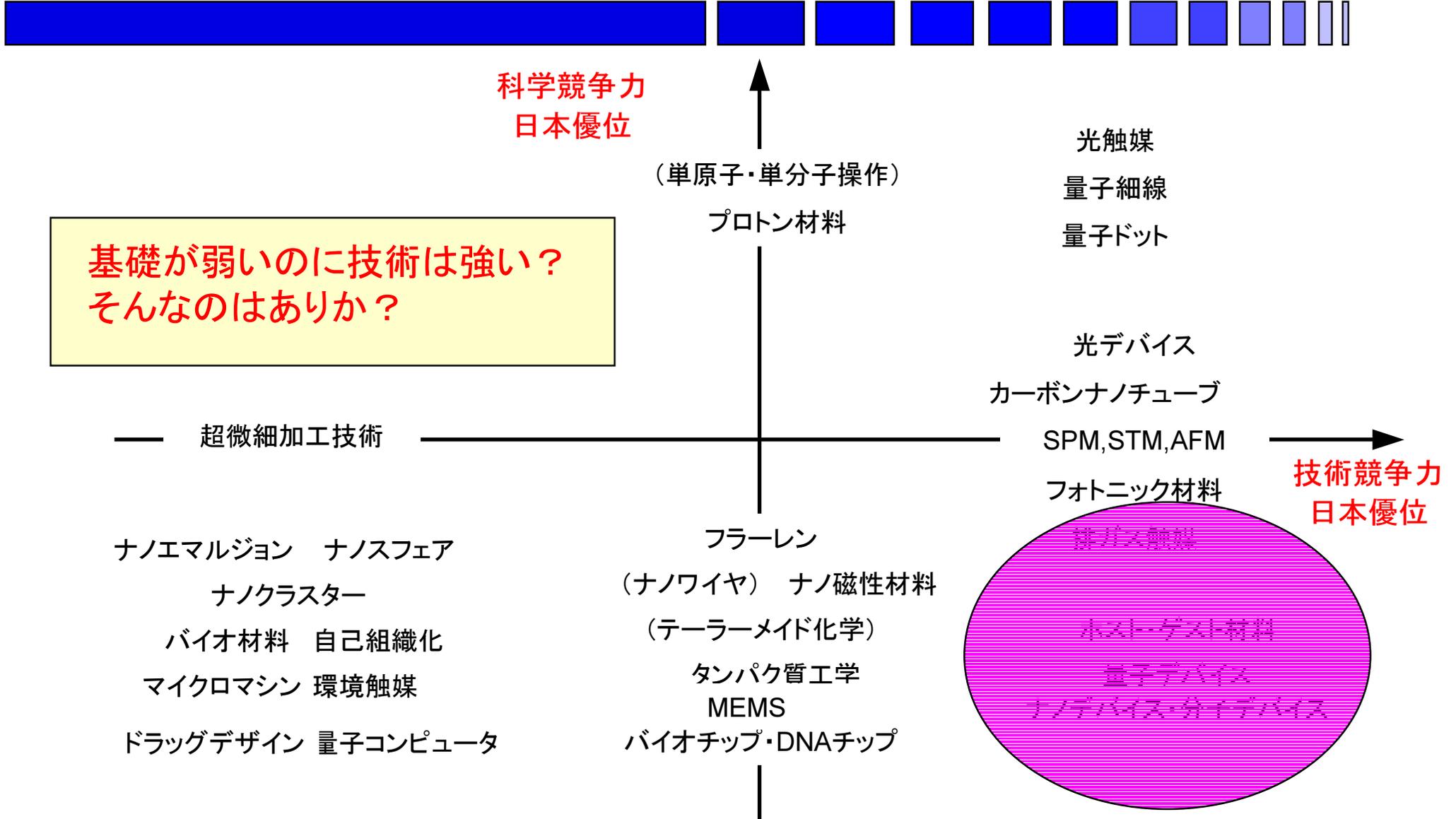


(a) 研究開発費の推移 (通信・電子・電気計測器具)

デバイス・システムの論文数の差が広がっている

この分野のR&D投資の差も広がっている

# 「ナノテクノロジー科学・技術競争力マップ」の第4象限の意味は？



# 「ナノテクノロジー科学・技術競争力マップ」の第4象限の意味は？



## 量子デバイス:[科学的競争力]

- ・米国の論文は51件、39件(76%)が大学の研究者、2件が国立研究所の研究者残り10件(20%)が民間の研究者の論文
- ・民間は、ルーセントのベル研(5件)とモトローラなどの従来から先導的な研究を実施
- ・基礎・応用という視点では、大学と民間との間に差異はない。(むしろ民間の研究機関の研究の方がより基礎的)
- ・我が国の論文報告数は、30件(米国の6割に相当、この比はここ数年変化なし)
- ・20件(67%)が大学の研究機関、2件が国立研究所、8件(20%)が民間研究機関
- ・産業界の比率は米国と変わらないものの、米国のような集中(偏在)はない
- ・米国では、モデリングやシミュレーションによる研究が相対的に多い。
- ・我が国では実験的なアプローチを採る研究が多い。

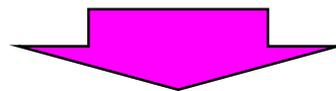
## [技術的競争力]

- ・我が国では、2000年に12件の国内特許登録(米国の日本への特許登録は0件)
- ・米国に対しても10件の登録(米国の自国への特許登録は5件)
- ・この関係はここ10年間変化していない。
- ・我が国の国内特許登録は、全てが民間企業からの登録
- ・SQUID、量子ドットデバイス、量子井戸構造を利用した光デバイス、メモリデバイスなど

・「モデリング」や「理論的な研究」では米国が優位

・「実際にナノサイズのものを作る」という技術分野に関しては我が国が優位

基礎が弱いのになぜ技術が優位であるのか？ → 研究の目標設定やアプローチ手法の違い



新たなブレークスルーはいずれのアプローチからもたらされるのであろうか？

# ナノテクノロジーの基盤となる産業の競争力日米比較



技術貿易収支からみた技術競争力の日米比較

日本優位	米国が接近	同等	日本が接近	米国優位
<ul style="list-style-type: none"> <li>・医薬品</li> <li>・鉄鋼・非鉄金属</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラスチック製品・ゴム製品</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・窯業</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>医薬品以外の化学工業</b></li> <li>・電気機械器具</li> <li>・通信・電子・電気計測器工業</li> <li>・<b>精密機械工業</b></li> </ul>

R&D費用の日米比較

日本優位	同等	米国優位
<ul style="list-style-type: none"> <li>・窯業</li> <li>・鉄鋼、非鉄金属</li> <li>・電気機械器具</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プラスチック、ゴム製品</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>医薬品以外の化学工業</b></li> <li>・医薬品工業</li> <li>・通信・電子・電気計測器</li> <li>・<b>精密機械</b></li> </ul>

生産額からみた技術競争力の日米比較

日本優位	同等	米国優位
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気機械器具工業</li> <li>・通信・電子・電気計測器工業</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>化学工業（含医薬品）</b></li> <li>・窯業</li> <li>・鉄鋼、非鉄金属工業</li> <li>・<b>精密機械工業</b></li> </ul>

R&D費用の対GDP比の日米比較

日本優位	同等	米国優位
<ul style="list-style-type: none"> <li>・医薬品以外の化学工業</li> <li>・プラスチック、ゴム製品</li> <li>・窯業</li> <li>・鉄鋼、非鉄金属</li> <li>・電気機械器具</li> <li>・通信・電子・電気計測機器</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・医薬品工業</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>精密機械</b></li> </ul>

生産額の対GDP比からみた技術競争力の日米比較

日本優位	同等	米国優位
<ul style="list-style-type: none"> <li>・窯業</li> <li>・鉄鋼、非鉄金属工業</li> <li>・電気機械器具工業</li> <li>・通信・電子・電気計測器工業</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>化学工業（医薬品を含む）</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<b>精密機械工業</b></li> </ul>

ナノテクノロジーの基盤をなす「化学」および「精密機械」の産業競争力指標はいずれも低い。

# 結 語



一般に、ナノテクノロジー分野に関する研究開発は我が国が先行しており、アドバンテージがあると言われてきた。本調査では、応用的な側面からナノテクノロジーを定義し、科学的な競争力指標として「論文数」を採り、また技術的な指標として「特許」を評価した。その結果、必ずしも我が国が絶対的に優位にある訳ではないことを示した。

一般に、我が国が優勢なナノテクノロジー分野は国際競争にさらされている分野であり、逆に国内に留まった特許戦略を行っている分野や基礎研究のウエイトが高い分野は劣勢に立たされている。

また、優位にあるエレクトロニクス分野においても米国が急迫している。さらに、ナノテクノロジーの基盤技術として化学および精密機械が重要なことは指摘するまでもないが、産業的に弱い部分を抱えていることが危惧される。