

内閣府経済社会総合研究所 編

イノベーション事例集 2007

スタチン系薬剤
量子暗号
太陽電池
光触媒
地球シミュレータ
宇宙開発
eコミュニティ

CONTENTS

ご挨拶1	
黒田 昌裕 内閣府経済社会総合研究所所長	3
ご挨拶2	
黒川 清 内閣特別顧問・イノベーション25戦略会議座長	4
イノベーション事例調査の概念モデル	5
イノベーション事例	6
1 スタチン系薬剤 ライフサイエンス	6
2 量子暗号 情報通信	10
3 太陽電池 環境	14
4 光触媒 ナノテクノロジー・材料	18
5 地球シミュレータ 政府調達	22
6 宇宙開発 国家基幹技術	26
7 eコミュニティ 社会関係力	30
今後の課題と挑戦	34
参考情報	37
関係協力機関一覧	38



内閣府経済社会総合研究所
所長

黒田 昌裕

経済社会総合研究所 (Economic and Social Research Institute : 以下 ESRI という) は、中央省庁再編の一環として従来の経済企画庁経済研究所の機能、規模を拡充して2001年1月に発足した内閣府の機関です。内閣府は重要課題を担当する「知恵の場」ですが、ESRIは内閣府のシンクタンクとして理論と政策の橋渡しを担う、いわば「知恵の場」の中の「知恵の場」といえます。

ESRIでは、2005年7月に新しく「科学技術と経済社会」研究チームを発足させました。内閣府が担当する政策分野が大きく広がり、政府全体の観点からの総合的な取り組みや、科学的知見に基づく深みのある政策対応が従来以上に必要になってきたためです。

同チームでは、様々な研究活動を行っていますが、特に、イノベーションに注目して研究を進めています。今回は、その研究成果の一環としてパンフレットを作成しました。

今回、作成にあたってはESRIの持つ政策研究のネットワークをフル活用しました。特に、「基本計画の達成効果の評価のための調査」を作成した文部科学省科学技術政策研究所、事例分析のフレームの大きなヒントとなるステップ&ループモデルを提唱した独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センターとは、非常に密なネットワークを組んで研究を進めました。限られた資源で最大の効果を挙げるためには、政策においても、科学的根拠に基づく立案が求められています。このような研究を通じて得られたネットワークが、政策研究の更なる発展に通じるよう、ESRIはその研究のハブとしての機能を強化していきたいと思います。

最後に、黒川内閣特別顧問をはじめとする編集委員の皆様、イノベーションの仕組みを解き明かすため、様々な取材に応じてくださいました研究者、研究機関の皆様、本当にありがとうございました。本パンフレットが皆様のご期待にこたえる仕上がりになっていましたら幸いです。

では、日本の輝かしいイノベーションとすばらしい研究者の数々をお楽しみください。



内閣特別顧問
イノベーション25戦略会議座長

黒川 清

イノベーションは「異能」の人が行う。ESRI の事例調査でも、「異能」の人が多数登場する。ただ、「異能」がいるだけではない。それらの人々が、ぶつかりあい、触発され、協調し、無意識であっても「よりよい」社会、価値、生活へと困難を承知で突き進むことになる機会の「場」も同時に重要である。

この事例集では、題材を特にイノベーション政策と密接に関係する事例から選び、「人」、「場」をアピールするよう編集している。いわゆる重点4分野（科学技術基本計画で定められた国の優先的に投資する研究開発分野、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）からの事例では、「人」と「場」の重要性が見いだされるだろう。

ライフサイエンスの事例に登場する遠藤先生は、これから社会の大きな問題になるであろうコレステロールから人類を解放しよう、という高い志に基づいて研究を始められた。

情報通信の事例に登場する今井先生は、量子暗号システムの実現のためには、理論からシステム化まで、一貫したプロジェクトで実現しなくてはならないという信念の下、まったく新しいプロジェクトチームを立ち上げて、世界で最も実用化に近い量子暗号通信システムを構築された。プロジェクトでは理論物理の研究者からメーカーの技術者まで一堂に会して、お互いの専門分野の溝を埋めることからスタートしたという。

光触媒の橋本先生も、21世紀にふさわしい「環境技術」を具現化するために、様々な研究分野の方が集まり、いわゆる「ダーウィンの海」を超えて、イノベーションを実現する「場」である、研究者コミュニティを非常に大切にされた。

こうした研究者サイドからのイノベーション事例の他にも、政策主導型のイノベーション、地域住民のコミュニケーションがもたらした社会イノベーションの事例をわかりやすく取り上げている。

この事例集が、イノベーションをよく理解するために、様々な人に読まれることを期待する。

イノベーション事例調査の概念モデル

SLモデル

イノベーションのプロセスを説明したものに、生駒俊明氏（科学技術振興機構研究開発戦略センター長）が提唱したステップ & ループモデル（SLモデル）があります。SLモデルでは、新しい原理や知識の発見から社会的価値の実現に至るまでをフェーズとして区分し、それぞれのフェーズの間を発展的に、あるいは循環的に関係づけることで、研究開発が実用化に結びつく際の障壁、いわゆる「ダーウィンの海」をいかに乗り越えていくかを示したものとなっています。

SLモデルの各フェーズは次のような区分となっています。

1 | 科学的知識

イノベーションのアイデアの宝庫としての科学的知識の創出と蓄積

2 | 新概念の証明

科学的知識を実用可能なアイデア（技術・プロセス）に落とし込む作業（発明の知財化）、アイデアを売れる商品に転換する着想（商品企画）

3 | プロトタイプの試作(Early Stage Technology Development:ESTD)

商品のプロトタイプを実現させるための一連の作業（開発設計製造）

4 | 製品の開発と市場への投入

プロトタイプを市場に投入するための一連の活動（マーケティング）、市場を立ち上げる一連の活動（販促・広告）

5 | 経済的成功と社会への還元

企業の利益獲得と成長、それによってもたらされる社会への還元

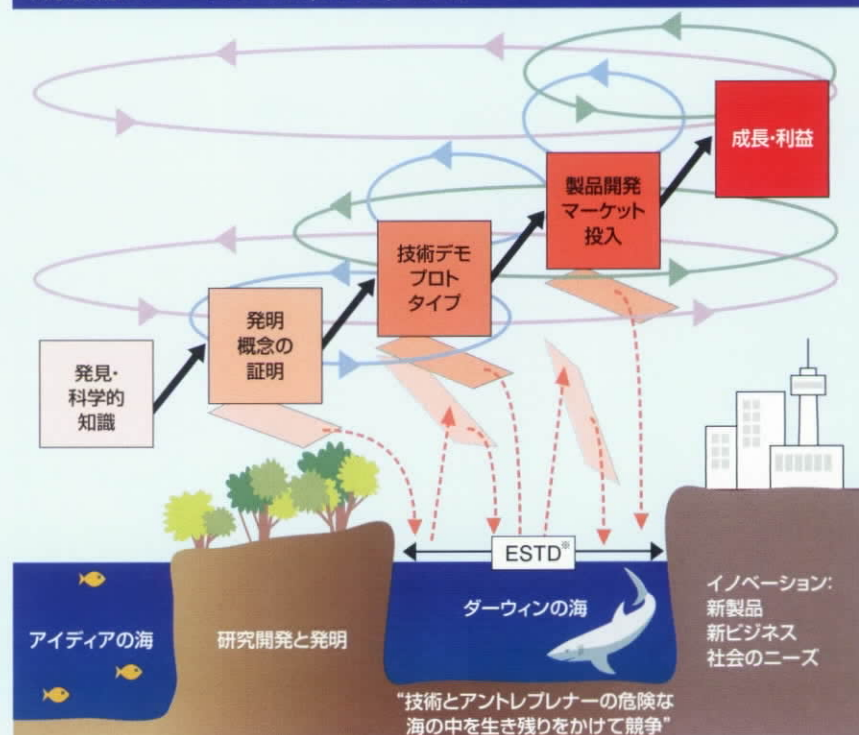
SLモデルではこのようにある発見が最終的に社会経済的な価値を産み出すまでのプロセスを描いています。

イノベーションとは社会にとって「まったく新しい仕組み」を提供することです。それらは製品であったり、手段であったり、社会的な制度であったりする場合もあります。SLモデルを使うことで様々な事例に、イノベーションとしての視座を与えることができます。

本事例集の構成

本事例集では、特に、科学技術を基にしたイノベーションを取り上げるため、SLモデルを参考にしつつ、「研究者」の顔が見えること、「経済的效果」が見えることに留意して構成されています。

科学技術イノベーション Step&Loop モデル



※「ESTD」は「Early Stage Technology Development」の略
出所：Branscomb 氏による図を基に科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）で作成。

「1.はじめに」では、当該事例の主役を紹介しています。イノベーションの当該事例としてふさわしい主役を紹介しているため、必ずしも、科学的な発見をした研究者に限ってはいません。アイデアの提唱者であったり、研究者ではなく企業や組織というかたちで紹介している事例もあります。

「2.発見」では、当該イノベーションの基となった科学的発見、研究開発の必要性を考えるきっかけを解説しています。

「3.概念の証明」では、科学的発見から新しい価値を産み出すきっかけとなった、いわゆる概念の証明（proof of concept）を説明しています。事例によっては、イノベーションを促進した画期的な政策や概念の提唱をとりあげているものもあります。

「4.技術のプロトタイプ・製品開発」では、当該イノベーションのプロトタイプや第一号製品を取り上げています。

「5.製品・技術がもたらす現代社会への影響」においては、できるだけ身近な製品等を挙げて、研究開発の成果が社会にどのように役立っているかを説明しています。

「6.未来に向けて」では、将来どうなるのか、どのような社会経済効果を産むと想定されるのかについて説明しています。イノベーションの効果をわかりやすく示すことに留意しました。

7つの事例

本事例集では、国の推進する科学技術政策のうち、重点4分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）とイノベーション政策課題（政府調達、国家基幹技術、社会関係力）に応じて7つの事例を取り上げました。

ライフサイエンスでは第2のペニシリンと呼ばれるスタチンの発見から市場化までを取り上げます。情報通信では絶対破ることのできない暗号技術、量子暗号を紹介します。環境では我が国が世界に先駆けて市場を創設した太陽電池を取り上げました。ナノテクノロジー・材料では我が国発の技術、光触媒を紹介します。

また、技術と政策が組み合わされてこれまでにないシステムが産まれた事例として、3つの政策課題の領域を挙げています。

イノベーション政策として注目されている政府調達については、地球シミュレータを紹介します。国家の総合的な安全保障の観点も含めて定められる国家基幹技術については、宇宙輸送システム技術（H-IIA）を紹介します。最後に地域の社会関係力を強化することに貢献したeコミュニティを紹介します。

1 スタチン系薬剤

ライフサイエンス

1 はじめに

心筋梗塞や脳梗塞などの動脈硬化を背景とする血管障害性疾患は、先進諸国をはじめとする多くの国々で最も頻度の高い疾患であり、動脈硬化を促進する重要な要因のひとつが高脂血症です。

ヒドロキシメチルグルタリル-CoA還元酵素阻害薬、いわゆる「スタチン」は、高脂血症に対する画期的な薬(コレステロール低下剤)として世界的に認められており、「第2のペニシリン」と呼ばれています。

スタチンが世界で初めて発見されたのは1973年、当時三共株式会社(現第一三共株式会社)発酵研究所副主任研究員の遠藤章博士(現バイオファーム研究所所長)によってでした。

遠藤博士は、1957年に三共に入

社し、1966～68年の2年間 Albert Einstein 医科大学(米)に留学し、帰国後、スタチンの研究に携わり、血中コレステロール値を効果的に下げる薬「コンパクチン」を発見・開発し、スタチン系新薬がヒトに対して極めて有効なことを証明する上で、大変重要な役割を果たしました。1978年末に退職後、東京農工大学を経て、1997年より現職に携わっています。

遠藤博士はスタチンの開発にあたり、後のノーベル賞受賞者である Joseph Goldstein 博士と Michael Brown 博士とも交流してきました。2000年には「コレステロール代謝の研究とコレステロール低下剤『スタチン』開発の基礎研究」により、Brown、Goldstein 両博士と「ア



遠藤 章博士

ルバート賞^{※1}」を共同受賞しています。

また、2006年には「スタチンの発見と開発^{※2}」により、「日本国際賞」を受賞しています。

※1 | アルバート賞は、がん、心臓病、AIDS など重要な疾患の予防と治療に貢献した業績を検証する目的で、1987年に設立された医学賞です。

※2 | 日本国際賞は、科学技術において、独創的・飛躍的な成果を挙げ、科学技術の進歩に大きく寄与し、人類の平和と繁栄に著しく貢献したと認められた人に与えられるもので、1985年に設立されました。

2 発見

青カビからコンパクチンの発見

コレステロールは肝臓で主に生成されること、コレステロールの生成に関わる約30種類の酵素の中で、ある酵素がコレステロールの生成を調節するバルブの役目をしていることが証明されたのは1960年代半ばのことです。

遠藤博士が Albert Einstein 医科大学に留学していた当時、アメリカではコレステロールが大きな社会的問題(年間60～80万人が冠動脈疾患で死亡)となっていました。我が国においても高度経済成長時代を通じ、食生活が欧米型に近づいていたため、博士は近い将来コレステロールが必ず大きな問題となると直観しました。

1968年に帰国後、遠藤博士はコレステロールを生成する酵素を阻害する

薬の探索研究を2年間だけ実施することを決意しました。研究者生活において、2年という年月は貴重な時間です。博士は2年間やって駄目だったら諦めるつもりでいました。

2年間で約6,000株のカビ・キノコを調べ、ついに1973年8月に青カビからコンパクチン(ML-236B)を発見し、

翌1974年6月に特許を出願しました。

この大発見には、より合理的な探索技術のヒントを三共の食品工場の生産ラインから学んでいたこと、探索の対象を自らが幼少期に慣れ親しんだ自然界の菌類に求めたことが良かったと、後に遠藤博士ご自身が述懐されています。

コレステロール低下のメカニズム



出所：日本薬学会

3 概念の証明

新薬開発の長い道のり

有用物質の発見から新薬の開発までには長い時間をかけて有効性や安全性を確認するための様々な試験を行います。

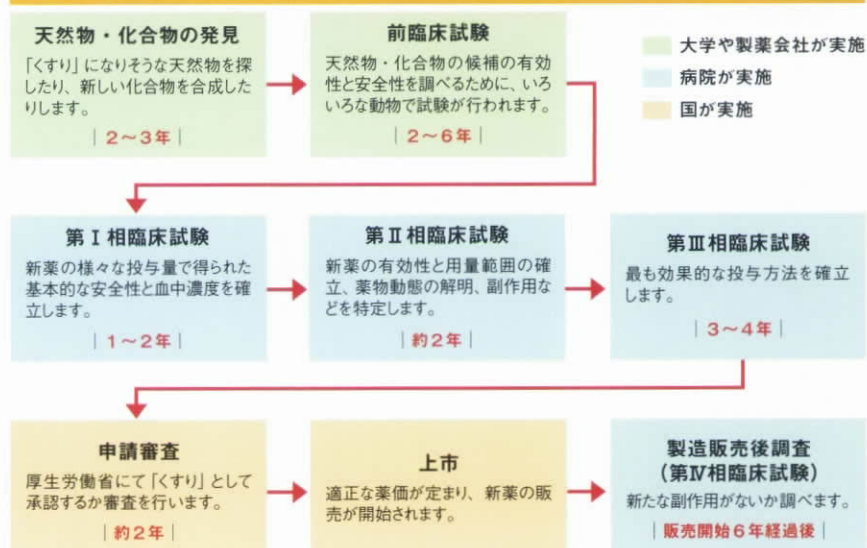
コンパクチン (ML-236B) がコレステロールを生成する酵素の発生を阻害するということが分かったものの、ラットに投与してもコレステロール低下作用がまったく認められませんでした。しかし、その薬理作用の仕組みを調べ、試行錯誤を繰り返しながら、1976年にはメンドリ、ビーグル犬でのコレステロール低下作用が確認され、1977年には臨床試験に進むことができました。

その後、コンパクチンの同族体 (スタチン) が多く発見され、その中のひとつであるロバスタチンが臨床試験を経て米国 FDA で承認されたのは1987年であり、遠藤博士のコンパクチン発見から実に14年後のことでした。

薬の効果や安全性を確認するためには、何度も臨床試験を繰り返さなければなりません。臨床試験は新薬の開発者の手を離れ、大学病院等の医師によって行われます。この治験のプロセス

を粘り強く進めるための信念とデータ固めのための細心の注意があって、はじめて新しい薬が販売され、患者の治療に用いられるのです。

新薬開発の流れと開発期間



出所：政策科学研究所作成資料

4 技術のプロトタイプ・製品開発

製品に結びついたスタチン

遠藤博士は1978年暮れに三共を退職し、1979年から東京農工大学の助教授に就任しました。同年に遠藤博士は紅麹菌というカビからロバスタチン (= モナコリン K) を発見し、世界各国に特許出願し、米国やカナダ以外の多くの国で成立しています (特許は三共に譲渡)。

これと前後し、メルク製薬は紅麹菌とは違うカビ (*Aspergillus terreus*) からロバスタチン (= メビノリン) を発見し、1980年4月より臨床試験を開始しました。1986年11月 FDA に新薬承認申請書を提出し、1987年9月に承認されました。しかし、特許の関係からメルク製薬はメビノリンの構造を少し変えた新化合物 (シンバスタチン) を開発し、日本では萬有製薬が販売しています。

三共は、ML-236B を投与した犬の

尿中から、さらに強力に肝および小腸の臓器特異性の少ない水溶性の物質 プラバスタチン (メバロチン) を発見し、開発に入りました。2種の微生物を用いて行う2段階発酵による生産法も確立し、1989年に発売されました。

その後、抗酸化作用による抗動脈硬化作用が注目されるフルバスタチン (ロ

ーコール) や世界的な商品であるアトルバスタチン (リビートル)、強力なコレステロール低下作用を有するピタバスタチン (リバロ)、ロスバスタチン (クレストール) が発売されています。

現在、これらのスタチン系薬剤は世界の医薬品市場において売上のトップを占めています。

スタチン系薬品の発売年表

年	成分 (製品) 名	企業
1987年	ロバスタチン新薬承認 (米国)	メルク製薬
1989年	プラバスタチン (メバロチン) 発売	三共
1991年	シンバスタチン (リボバス) 発売	メルク製薬 → 萬有製薬
1995年	バイコール発売	バイエル薬品
→2001年撤退	セリバスタチン (セルタ) 発売	武田薬品
1998年	フルバスタチン (ローコール) 発売	ノバルティス / 田辺製薬
2001年	アトルバスタチン (リビートル) 発売	ファイザー → アステラス製薬
2003年	ピタバスタチン (リバロ) 発売	興和・日産化学 / 三共
2005年	ロスバスタチン (クレストール) 発売	塩野義製薬 → アストラゼネカ

出所：三菱総合研究所 (MRI) 作成資料

5 製品・技術がもたらす現代社会への影響

スタチンの薬理効果と市場

三共が開発したプラバスタチン（メバロチン）は、1995年の心筋梗塞の既往のない中年男性高脂血症患者659例を対象としたWOSスタディで、プラセボ（対照薬）に比べて非致死性心筋梗塞＋冠動脈疾患による死亡を31%、非致死性心筋梗塞を31%、心血管系疾患死を32%、冠動脈再建術を37%減少させるなど、総死亡を22%有意に減少させることが示されています。

メバロチンはその薬理効果を評価され、1991年に日本経済新聞社優秀製品賞最優秀賞を受賞し、1992年には大河内記念生産特賞を受賞しています。

Decision Resource 社の推計によれば、米、独、日、仏、英、伊、西の7ヶ国で異常脂質血症の患者数は305

百万人と言われており、そのうち15%は日本人と言われています。厚生労働省によれば、高脂血症の患者数は3,000万人とも言われています。スタチンが「第2のペニシリン」と呼ばれる理由がここにあります。

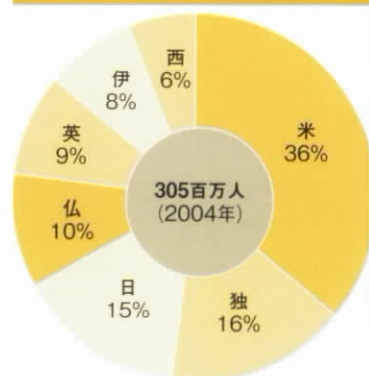
デンドライトジャパン社によれば、2005年の世界売上上位20の医薬品のうち、アトルバスタチン（リピトール）、シンバスタチン（リピトール）、プラバスタチン（メバロチン）の3つが入っており、スタチン系製剤（ジェネリックを除く）の売上は242億ドルと過去最高に達しています。

2002年10月にメバロチンの基本特

許が切れており、2003年7月の後発品（ジェネリック）薬価収載時には23社が一斉に参入しています。後発品の薬価は2～3割程度安くなっています。

※3 | 厚生労働省 HP「生活習慣病対策の総合的な推進について」より

異常脂質血症患者数



出所：Decision Resource 社

大型医薬品の世界売上とスタチン薬の位置づけ

順位	一般名	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年
1	アトルバスタチン	5,031	6,449	8,507	9,956	11,692	12,963
2	クロビドグレル	—	—	2,925	4,131	5,638	6,223
3	エボエチンα	4,669	5,580	6,675	6,885	6,701	6,145
4	アムロジピン	3,362	3,582	4,174	4,768	5,019	5,245
5	サルメテロール＋フルチカゾン	—	—	2,617	3,938	4,741	5,168
6	エソメプラゾール	—	—	—	3,302	3,883	4,633
7	ランソプラゾール	2,956	3,212	4,695	5,142	4,740	4,394
8	シンバスタチン	5,280	6,670	5,580	5,011	5,197	4,382
9	オランザピン	2,350	3,087	3,689	4,277	4,420	4,202
10	リツキシマブ	—	—	—	2,235	3,601	3,867
11	バルサルタン	—	—	—	2,467	3,148	3,777
12	リスベリドン	1,603	—	2,146	2,512	3,050	3,725
13	バントプラゾール	—	—	2,262	3,133	3,545	3,699
14	エタネルセプト	—	—	—	—	2,580	3,657
15	インフリキシマブ	—	—	—	2,298	2,964	3,585
16	プラバスタチン	3,348	3,509	3,755	4,746	4,252	3,471
17	ベンラファキシン	—	—	2,072	2,712	3,347	3,459
18	アレンドロン酸	—	—	—	—	—	3,292
19	ダルベボエチンα	—	—	—	—	2,473	3,273
20	セルトラリン	2,140	2,366	2,742	3,118	3,361	3,256

出所：デンドライトジャパン社プレスリリースより三菱総合研究所(MRI)作成

(単位:百万ドル)

6 未来に向けて

スタチンがもたらす経済社会効果

日本では、3,000万人の高脂血症のうち、治療中の患者は約1/4であり、今後も予防も含めた医療効果の拡大が期待されています。

厚生労働省によれば、高血圧症は有病者3,100万人（予備軍2,000万人）、糖尿病は有病者740万人（予備軍880万人）と推計されており、生活習慣病対策が国民の中長期的な健康寿命の延伸、医療費の適正化への大きなカギとされています。

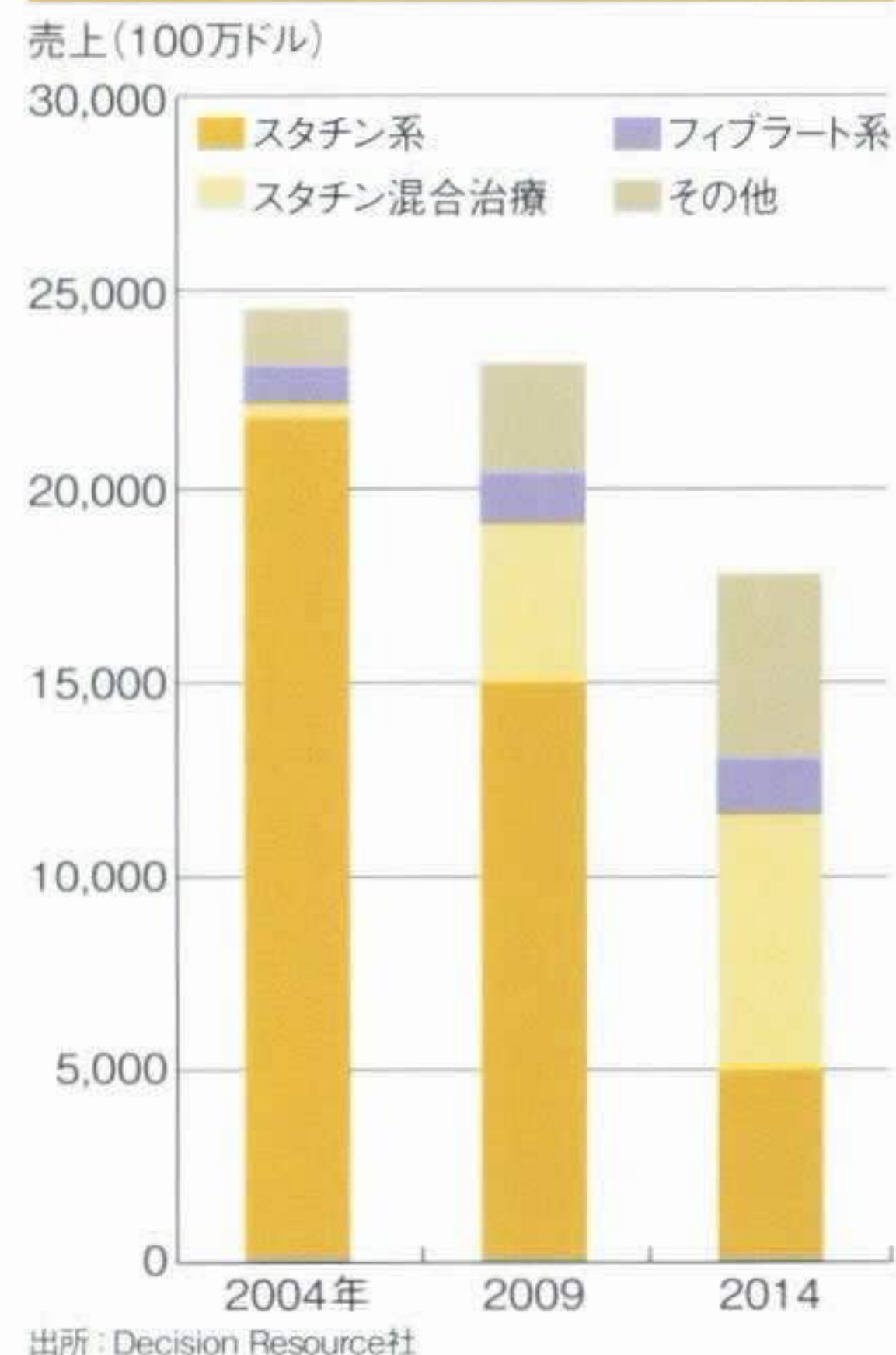
さらに、スタチンは、高脂血症だけでなく、大規模臨床試験の実績などから、アルツハイマー病、骨粗しょう症、多発硬化症、炎症、一部のがんなどを予防することが示唆されており、細胞及び動

物レベルの基礎研究もなされています。

また、プラバスタチン（メバロチン）は、日本では2002年10月に、米国では2006年6月に国特許が失効しており、欧州でも2007年12月までに失効します。シンバスタチンも、日米では既に特許が失効しており、欧州でも2009年5月までに特許が失効します。現在売上トップのアトルバスタチンも2011年までに特許が失効することから、近い将来、多くのスタチン系薬剤の特許切れにより、ジェネリック医薬品がより低価格で多くの患者に提供されることが予想されます。

今後、高脂血症の予防や他の疾患への応用により、さらにクオリティ・オブ・ライフの向上に役立つことが期待されています。

主要7カ国における異常脂質血症売上予測



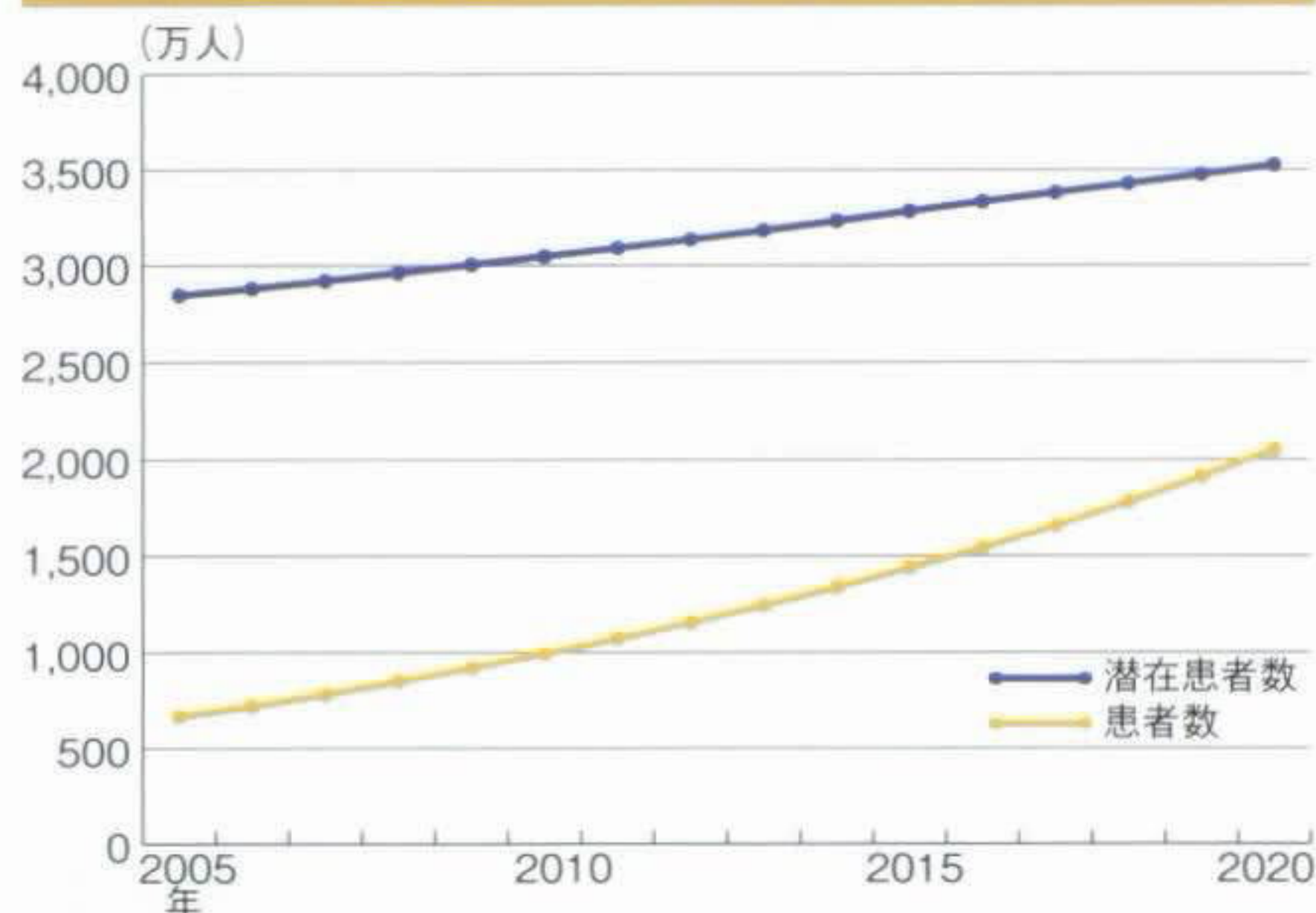
スタチン薬の対象患者数推移

	1996年	1999年	2002年	2005年
高脂血症	964	1,140	1,391	—
高血圧性疾患	7,492	7,186	6,985	7,809
糖尿病	2,175	2,115	2,284	2,469
脳血管疾患(脳卒中)	1,729	1,474	1,374	1,365
動脈硬化症	114	92	78	—
心不全	207	189	225	—
血管性及び詳細不明の痴呆(認知症)	91	121	138	145
アルツハイマー病	20	29	89	176
骨粗しょう症	489	397	447	—
多発硬化症	4	6	8	—

出所：厚生労働省「患者調査報告」より三菱総合研究所(MRI)作成

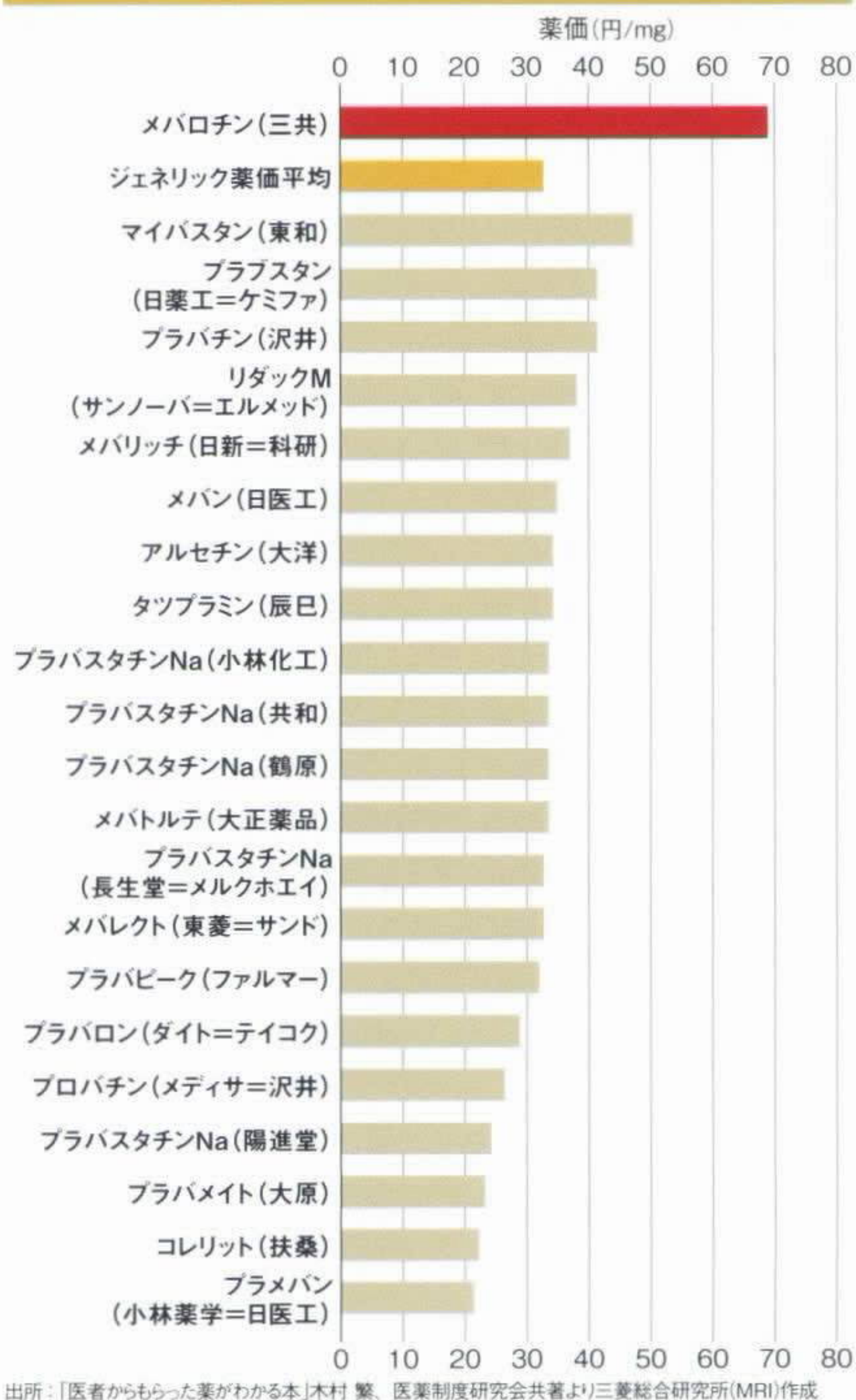
(単位：千人)

スタチン薬の対象患者数の将来予測



出所：厚生労働省「患者調査報告」、「国民健康・栄養調査」、「第5次循環器疾患基礎調査」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成18年12月推計)」より三菱総合研究所(MRI)作成

ジェネリック医薬品の薬価



2 量子暗号

情報通信

1 はじめに

量子暗号鍵配布システム

現在、インターネット上で使われている「RSA 暗号」^{※1}は、桁数の大きい数字の素因数分解が現実的な時間で解くことができない性質を利用した鍵暗号配布システムです。しかし、これは将来、強力なコンピュータが登場すれば解読されてしまう可能性があり、また通信途上で盗聴されてもデータ本体からそれを検知することはできません。

これに対し、量子暗号鍵配布システムは安全性が究極の意味で保証される暗号技術です。

量子力学の世界では、素粒子の量子状態にまったく変化を与えずに「観測」することが不可能です。この性質を暗号技術に応用すると、第三者が通信を盗聴

しようとする、内容が無意味な情報に変化するだけでなく、しかも盗聴されたこと自体が送受信者に分かってしまう「究極」の暗号を開発することができます。

世界のトップランナー

2000年10月、東京大学の今井浩教授を中心として科学技術振興事業団（現：科学技術振興機構）による「ERATO 量子計算機構プロジェクト」がスタートしました。量子情報技術の基となる概念の構築、手法・要素技術の開発に重点をおき、情報科学・計算科学・物理学といった異なるアプローチから、理論研究を行いつつ、量子通信や量子暗号関連の実験も併せて行いました。

ERATO での研究活動の成果は、2006年10月、「ERATO 発展研究 量子

情報システムアーキテクチャ」として発展的に引き継がれ、量子鍵配送システムの長距離化・高速化研究と耐エラー性を高める符号の設計など、理論からシステムを通じたデバイスの開発までを行い、量子鍵配送システムの実装を完成させ、将来につながる量子情報システムの実現を目指しています。

今井教授のグループはこの分野で世界トップの研究開発を進めています。

※1 | 1977年に発明された公開鍵暗号の方式。発明者3人の頭文字をとって名付けられている。



今井浩教授



林正人准教授

2 発見

量子力学とは

量子力学とは1930年代に完成した現在の科学の基礎となる理論です。量子力学は、ミクロの世界で原子や電子にどのような相互作用が働くのか、それらが多数集まってできる物質の構造はどうなっているのかを説明する理論体系です。

量子力学がなければ現在の科学技術は成立していません。例えば、1940年代のトランジスタなどの半導体の技術開発は量子力学の知見抜きには成し得なかったことです。電子工学には量子エレクトロニクスという分野が確立していますし、化学の分野においては物質の反応機構の解明に量子力学が重要な役割を果たしており、触媒や医薬品の開発等にも貢献しています。

量子力学と量子暗号

現在の情報通信技術が電気や光などの「波」の性質を利用して情報を伝達する技術であるのに対して、電子や光などの「粒子」の性質を利用して情報を処理・伝送しようという技術が量子情報通信技術です。量子情報通信の原理は主に、量子力学における「量子重ね合わせ」^{※2}「観測による射影」^{※3}「量子もつれ合い」^{※4}という三つの基本的性質を用いることによって実現されます。量子暗号はこのうち、「観測による射影」の性質を用います。

1960年代後半に S.Wiesner が量子暗号の基礎的理論を確立し、1984年には IBM とモントリオール大学の研究者が今日 BB84 プロトコルと呼ばれる世

界最初の量子暗号鍵配布のアイデアを発表しました。BB84 プロトコルでは第三者に盗聴されないように送受信者間で鍵を共有し、単一の光子の量子状態を利用して暗号通信を行います。

問題は、単一の光子を生成することが技術的に大変難しいことです。

※2 | 現在の情報の基本単位である「ビット」が0か1のどちらか一方の値を必ずとるのに対し、量子情報通信における情報の基本単位である「キュービット」が同時に0と1の両方の値をとることができるという性質。現在のコンピュータと比べて指数倍の計算能力を持つコンピュータを開発できる。（量子コンピュータ）

※3 | 量子重ね合わせの状態にあるキュービットを1回でも観測すると、同時に0と1の両方の値をとっていた状態が、0か1のどちらかに決定してしまうという性質。（量子暗号）

※4 | 2つ以上のキュービットがある場合に互いに相関を持つことができる性質。相関のあるキュービットの集合を送信者と受信者が共有することにより、瞬時に大量の情報を遠隔地に伝達できる。（量子テレポーテーション）

3 概念の証明

単一光子は生成できるか？

究極の暗号情報通信を実現するためには、盗聴されてもすぐわかるよう半導体レーザーが出す光子1個に1ビットの情報(1量子ビット)を乗せることですが、それには単一の光子を出す半導体レーザーの開発や、いくらでも長いブロック単位で信号処理ができる計算機の実現といった条件整備が必要になります。

ところが現在の半導体レーザーでは、放出される光子は平均1個、つまり1個か2個、あるいは放出されない0個の状態しか実現できません。もし光子が2個の場合には、送信、受信側とも1個の光子に情報を乗せたつもりでも、2個のうちどちらかの情報が盗まれても、もう1個は受け側に届くので、盗聴されたかどうか分からないという問題が生じます。

そのため、理想的な条件が整わない状況で通信しても盗聴されない安全性を保証する暗号鍵システムをつくることが要求されていました。

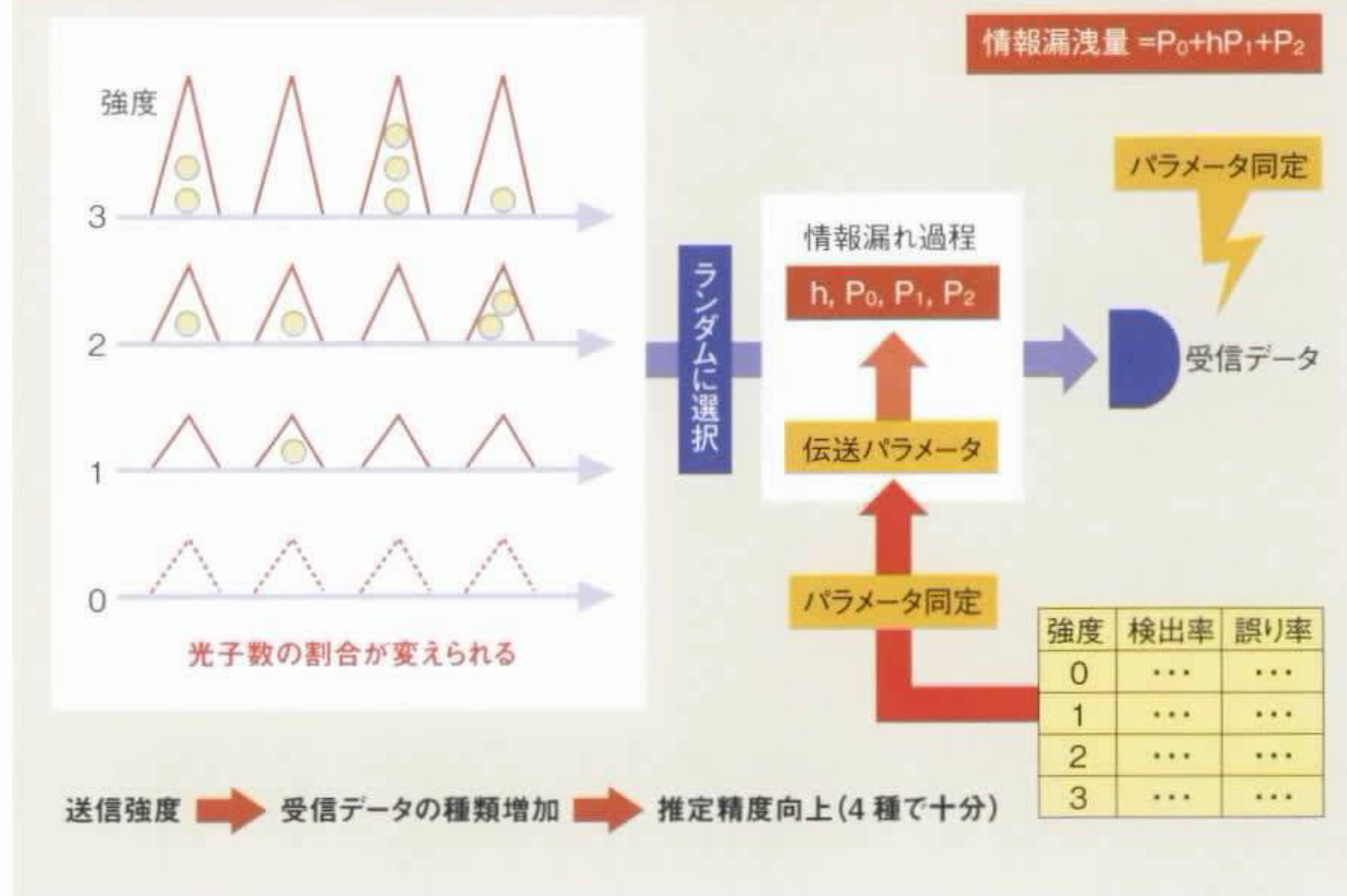
実用化にもっとも近い技術

そこで、今井教授のプロジェクトチームでは単一光子を生成することにこだわらず、光子の発生過程を、送信強度を操作することで制御し、さらに「おとり情報」と呼ばれる暗号鍵の受け渡し理論を考

案して、全体の情報漏洩量を確率論的に検証する仕組みを考案しました。これには量子統計学の理論家である林准教授の基礎理論が大きく寄与しています。

この結果、世界に先駆けて実用化可能な量子暗号鍵配布システムが実現したのです。

情報漏れ過程の精度保証付き同定手法の確立



出所：今井浩 教授提供資料

4 技術のプロトタイプ・製品開発

世界初の実用的量子暗号鍵配布システム

2007年1月、今井教授と NEC の研究グループは通常のオフィス環境下で理想的な条件が整わなくてもあらゆる盗聴から情報を守る暗号技術、「量子暗号鍵配布システム」の実証機を世界で初めて開発しました。

量子暗号鍵配布システムの送受信には既存の光ファイバーを利用します。一般的な光通信の1,550nmの長波長帯を用いることで20kmの伝送実験に成功しています(写真参照)。この20kmという伝送距離は霞ヶ関の官庁街を十分にカバーできる距離です。端末さえ

設置すればすぐに利用可能であるため、既存のインフラを利用でき、コストも安く済みます。

また、2007年3月には、100kmを超える長距離の量子暗号鍵配信実験に成功しています。100kmの伝送距離は NTT の基地局間の距離に相当するため、この実験によって、全国規模の量子暗号通信ネットワークの実現可能性も見えてきました。

現在、北海道大学・三菱電機の研究グループ、東芝・欧州研究所も異なるアプローチから量子暗号技術の研究開発を進めています。^{※5}



量子暗号システムによる量子暗号鍵配布実験

出所：科学技術振興機構(JST)提供資料

※5 | 2007年1月、三菱電機と北海道大学は、同時に2個以上の光子が発生する確率を1万分の1以下に抑えた「単一光子源」を組み込んだ高精度な「量子暗号通信装置」を開発。「単一光子源を実装した量子暗号システム」として世界最長の80kmの原理検証実験に成功した。また、2007年2月、東芝・欧州研究所は、「単一方向型」の量子暗号鍵配信方式にデコイ手法を導入し、より強い光パルスで無条件に安全、かつ高い配信速度の量子暗号鍵配信に成功した。

5 製品・技術がもたらす現代社会への影響

量子暗号が変える情報通信社会

究極の暗号技術「量子暗号」は、現在の情報通信技術における安全性、信頼性の問題を根本的に解決する可能性があります。

現在問題となっているインターネット上の情報セキュリティに関する被害は、当然のことながら過去のものとなるでしょう。

量子暗号鍵配布システムは膨大な個人情報や蓄積している官公庁、金融機関、病院等など、極めて高い秘匿性が要求される分野から徐々に導入されていく予定です。

さらに、インターネットを利用した電子商取引における個人認証、電子署名システムなどにも順次導入が進み、自宅のパソコンや携帯電話からインターネットを通じて買い物をカードで決済しても、

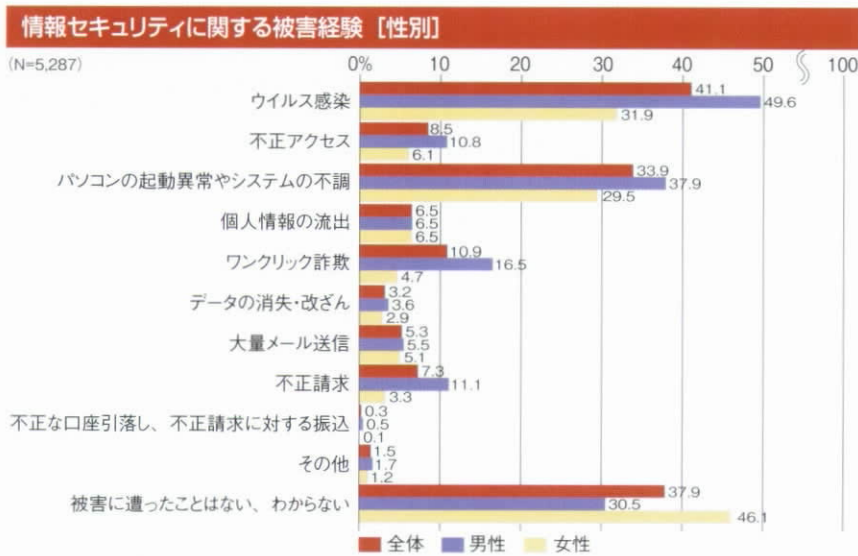
通信の途中でパスワードやクレジットカードの情報が盗まれるという心配がなくなり、安全・安心なネットワーク社会が実現されるものと期待されています。

また、現在問題となっているインターネット上のデジタルコンテンツの著作権についても、ユーザーの利便性を損なわないかたちで保護することが可能になります。

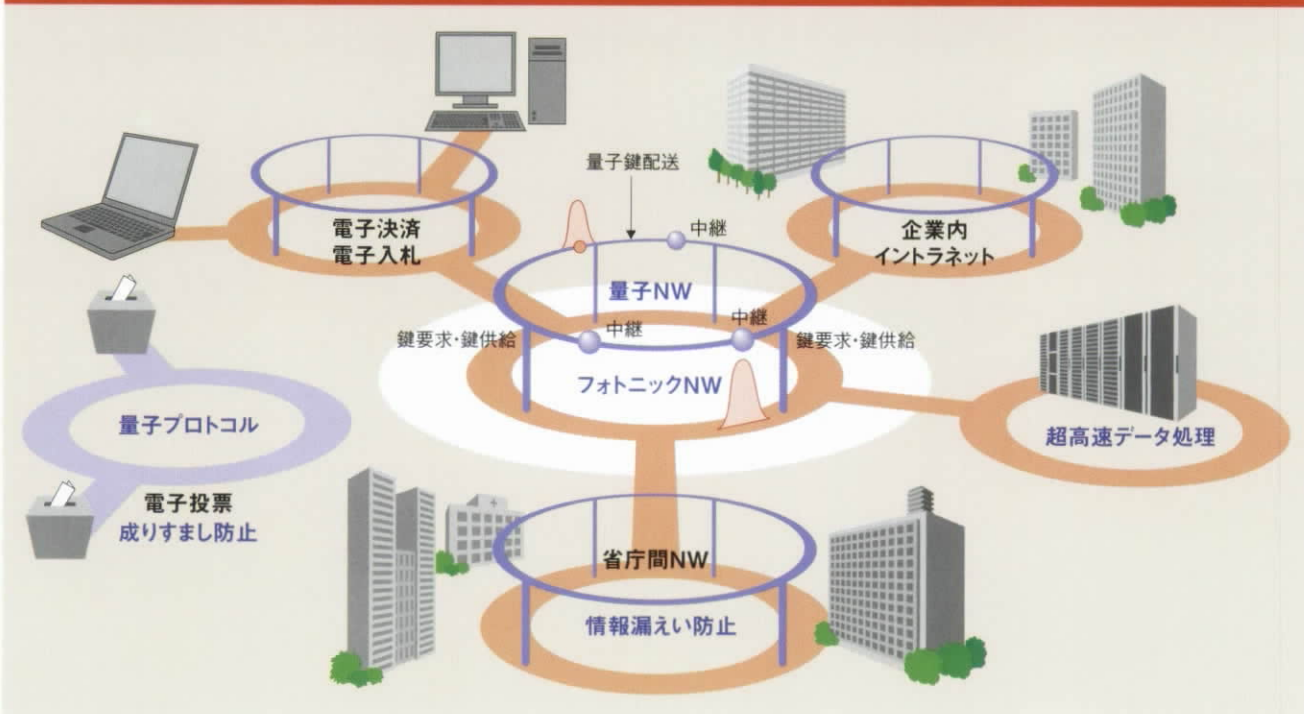
このように、あらゆる個人情報、秘匿情報、知的財産の保護に対して量子暗号技術は画期的な役割を果たすことになるでしょう。

また、第三者への匿名性が確保された上での個人認証が可能であるため、究極の電子投票システムの構築が可能となります。遠くない将来、自宅のPCや情報家電から選挙や株主総会などの投票が行えるようになったとしたら、一体どのような社会が形成されることになるのでしょうか。

量子暗号技術はこれまでの情報通信社会を大きく変えるだけでなく、組織や社会の意思決定プロセスまでも大きく変える可能性を持っているのです。



量子鍵インフラストラクチャー



6 未来に向けて

量子情報通信の技術開発ロードマップ

社会に対してこれだけの大きな可能性を持つ量子暗号鍵配布システムでも、量子情報通信技術の一分野にすぎません。量子情報通信技術の研究開発は、量子テレポーテーションを利用した超高速通信技術である量子通信、さらに量子コンピュータへと発展していくことになります。

我が国では、総務省が量子情報通信の技術開発ロードマップを作成しています。量子暗号鍵配布システムは其中でももっとも早く実用化が期待されています。

量子通信が実現するには、まずは古典的情報が量子状態を用いて伝送される2者間の通信システムの実現が最初に達成され、最終的には量子情報をそのまま伝送する複数通信者間の通信(量子テレポーテーション)へと発展していくことが予想されています。その実現ま

では、かなり長い時間が必要になるものと考えられています。

量子テレポーテーションが実現すると、地上一衛星間や、衛星一衛星間の空間伝送も含めた量子通信ネットワークが実現して、どこにいても瞬時に大量のデータの送受信が可能になります。量子コンピュータは量子力学の「量子もつれ合い」効果を計算原理に使用します。古典的情報の基本単位であるビットが0か1かの値を取るのに対して、量子情報の基本単位である「キュービット(qbit)」は量子効果によって、0と1の両方の値を同時に取ることができます。この性質を利用すると、従来のビットに対して2のn乗倍の計算処理能力を持つコンピュータを作ることができます。これは、現在もっとも高速なスーパーコンピュータをわずか40キュービットの量子コンピュータが凌駕してしまう計算能力です。

本格的な量子コンピュータが実現すると既存の暗号技術が無意味になるた

め(1k キュービットであらゆる素因数分解が実行可能)、量子コンピュータは量子暗号技術の普及を前提とします。

また、量子情報通信において、伝送手段(キャリア)の量子状態を保つためには量子コンピュータが必要不可欠であり、これらの技術開発は総合的に推進されなければなりません。

実用的な量子コンピュータと量子通信ネットワークが実現したら、人類は未知の科学技術領域に踏み込むことになります。

自然現象を忠実にシミュレートすることであらゆる自然科学の発見がもたらされ、ひょっとしたら、宇宙開闢の謎を解き明かすことができるかもしれません。

カナダ・ウォルター大学のアラム教授(専門：量子コンピュータ)は次のように述べています。

『19世紀は産業の時代、20世紀は情報の時代、そして21世紀は量子の時代になるだろう…』

量子情報通信の技術開発ロードマップ



3 太陽電池

環境

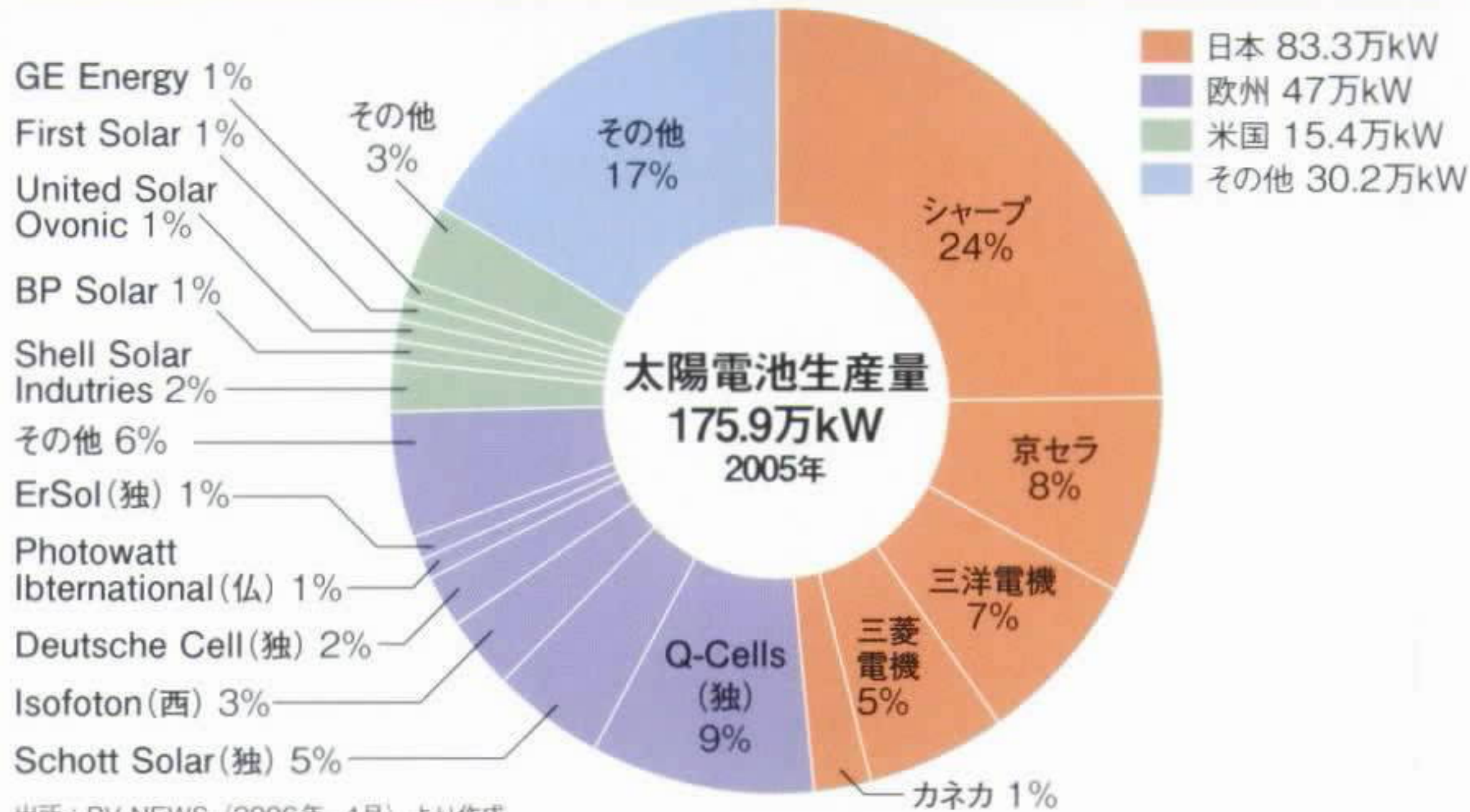
1 はじめに

太陽電池は、1954年に米国のベル研究所で発明され、日本では1974年の「サンシャイン計画」を機に研究が本格化しました。「サンシャイン計画」では、産学官によるプロジェクトチームにより、太陽電池材料、太陽光発電システム、系統連系システム等の研究がなされ、その後の我が国の太陽電池産業の発展の基礎となりました。

産学官連携により研究開発を推進

上記のプロジェクトには電子技術総合研究所（現 独立行政法人産業技術総合研究所）の研究者を中心として、シャープ、京セラ、三洋電機、三菱電機等のメーカー、電力中央研究所、大学など

2005 年の世界太陽電池生産量シェア



が多数参加し、研究開発を行いました。
現在日本メーカーはシャープを筆頭

に、世界の太陽電池生産量の4割程度を占めています。

2 発見

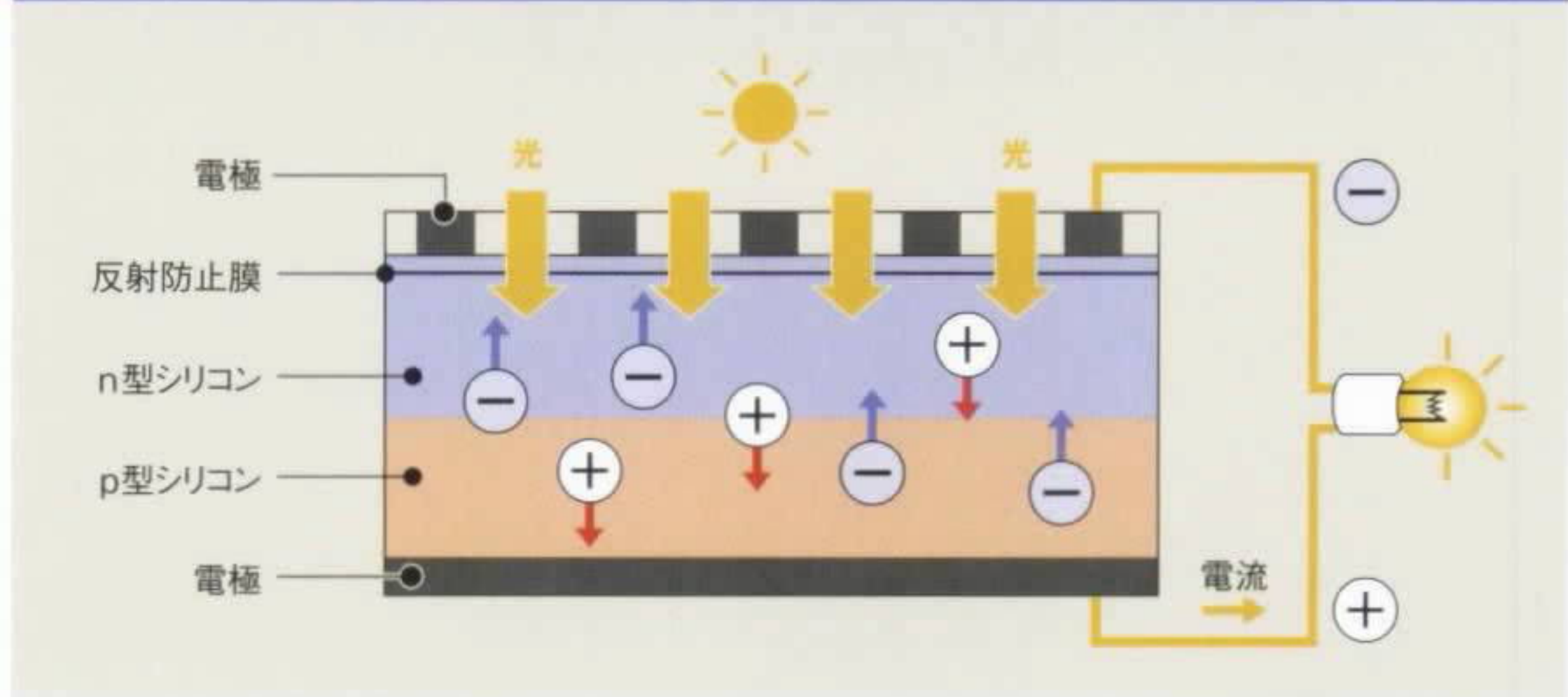
太陽電池の原理

太陽電池は、半導体の一種で光エネルギーを電気に変えることができます。世界初の太陽電池はアメリカのベル研究所が1954年に試作した単結晶シリコン型電池でした。

現在一般的なシリコン型太陽電池はp型半導体とn型半導体を重ね合わせて作られます。半導体に光を照射すると、pn接合領域において電子が励起（エネルギー状態が上がること）され、伝導電子（光電子）となり、その跡には正孔が残ります。発生した光電子はn型半導体に、正孔はp型半導体に移動し、これにより太陽電池内に電位差が生じ、起電力が発生します（光起電力）。

起電力が発生したということは、乾

太陽電池の原理



太陽電池に光があたると、プラスとマイナスを持った粒子（正孔と電子）が生まれ、マイナスの電気はn型シリコンの方へ、プラスの電気はp型シリコンの方へ集まります。その結果、電極に電球などをつなぐと電流が流れます。これが太陽電池の原理です。

出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）提供資料

電池と同じ状態となったということです。したがって、プラス（p型半導体）とマイナス（n型半導体）に負荷（電球などの電力を消費するもの）を接続すると電流が流れることとなります。

※2 | p型半導体とは、シリコン（4価）の結晶にホウ素などの3価の原子を混ぜることで作られます。電子が不足し原子が結合できない部分（正孔）が正の電荷のキャリアとなり、プラスの電荷を引き寄せます。

※3 | n型半導体とは、シリコンの結晶にヒ素などの5価の原子を混ぜることで作られます。原子の結合に用いられず余った自由電子が負の電荷のキャリアとなり、マイナスの電荷を引き寄せます。

3 概念の証明

政府の長期導入計画が産業発展の礎に太陽電池が発明されたアメリカにおいてではなく、日本で最初に商用化されたのはなぜでしょうか。

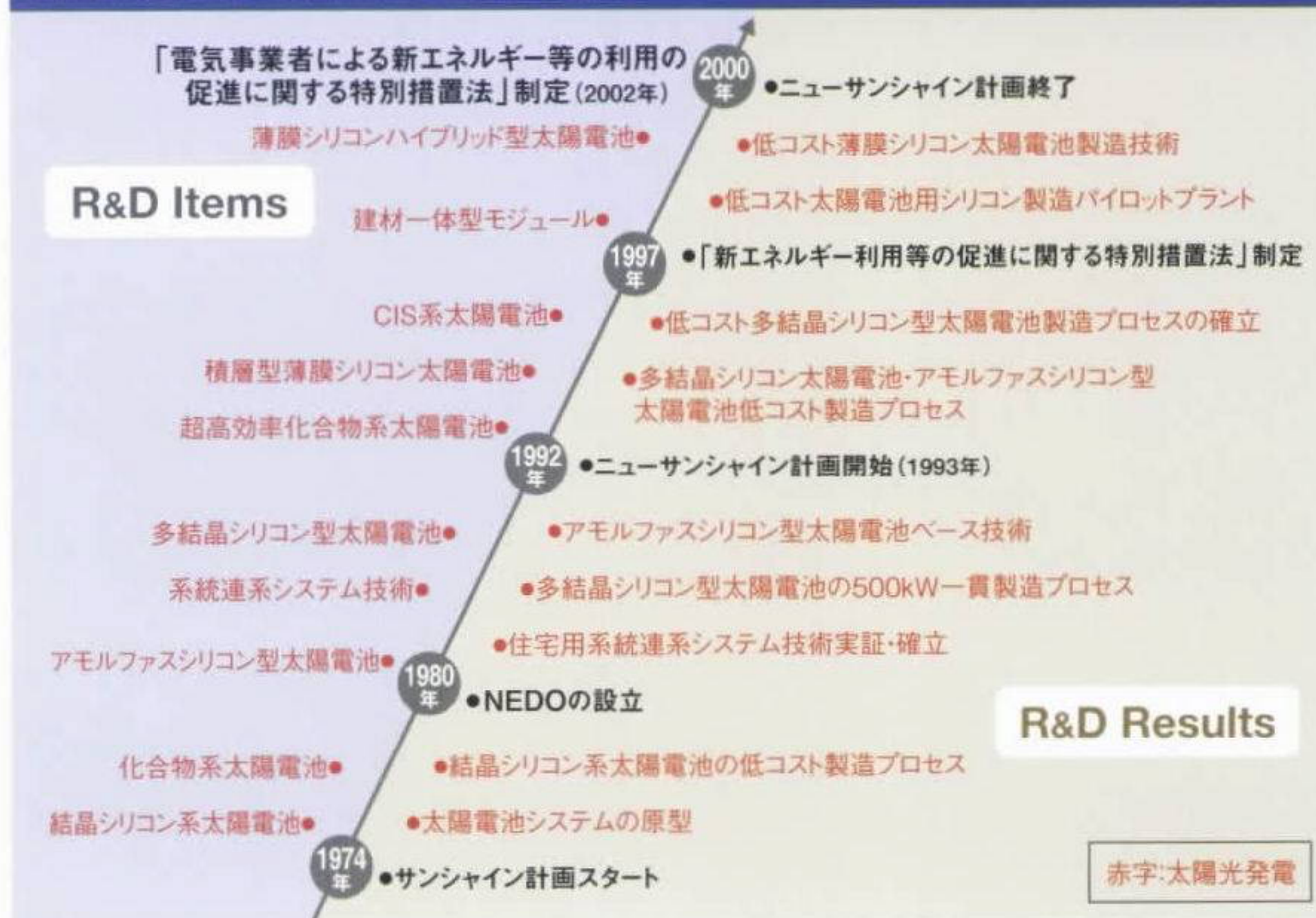
それには、我が国がオイルショック以降、省エネルギー政策の一環として太陽電池の長期導入目標を掲げていたため、民間企業において長期間にわたる研究開発への投資意欲が損なわれなかったことが大きく寄与しています。

また、公的研究開発事業の基本方針として、太陽電池の製造プロセスだけではなく、系統連系技術に対して研究開発を進めた結果、非常用電源ではなく、系統に接続した分散型電源として結実したために、その後の普及が進む素地を作ったと言えます。

民間企業による地道な研究開発

太陽電池の技術開発は、革新的なブレークスルーを経るのではなく、地道な研究開発努力によって発電効率の向上

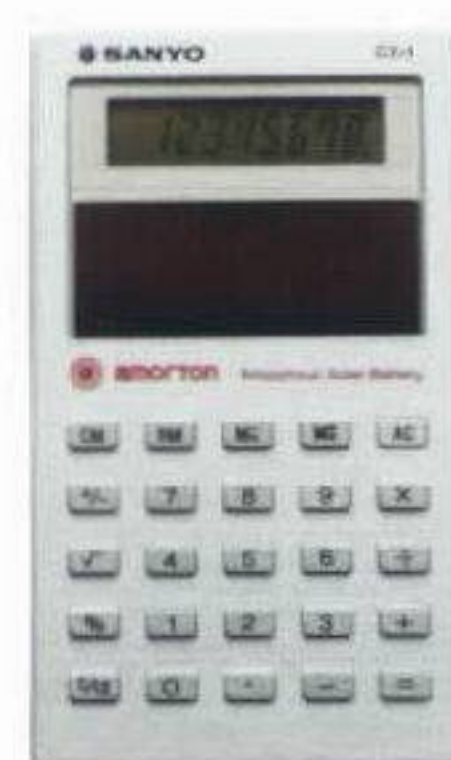
太陽電池に関する公的研究開発・支援



出所: 経済産業省資料より政策科学研究所作成

を達成したという特徴があります。

1980年代を通じてシリコン結晶型太陽電池の発電効率は大きく向上しました。なお、1976年にはアモルファス太陽電池が発明され、電卓等への応用に繋がっています。



世界初のアモルトン内蔵太陽電池式電卓

(三洋電機: 1980年)
出所: 三洋電機提供資料

4 技術のプロトタイプ・製品開発

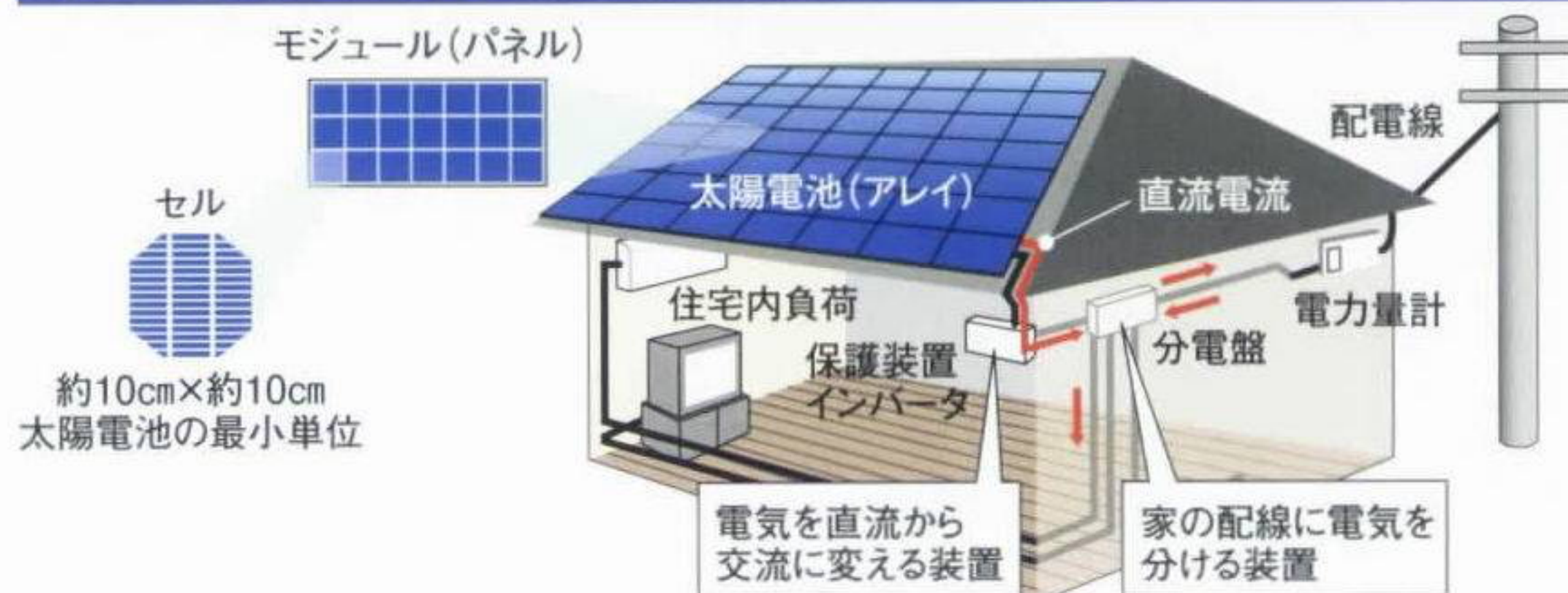
1970年代後半から、各社は太陽電池に関する製品開発を進め、当初は灯台や海洋ブイ非電源地帯の施設用電源、人工衛星などの産業用用途で利用が開始されました。当時の発電コストは現在の数百倍でした。

産業用途から民生用途への転換

民生用としては、シャープが1961年に初めての太陽電池付トランジスタラジオを開発しました。

1976年にはシャープが世界初の太陽電池式電卓を発売し、1980年には三洋電機と富士電機より世界初のアモルファスシリコン太陽電池内臓の電卓が発売されました。アモルファス太陽電池付電卓はヒットし、その後もラジオ、時計等様々な太陽電池を利用したエレ

住宅用太陽光発電システムの一般的な構成



出所: 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)提供資料

クトロニクス製品が発売されました。

太陽電池の開発は1973年のオイルショックがひとつの大きな契機となっています。この時代にはクリーンエネルギーの必要性が叫ばれ、様々な基礎技術や応用技術が育成されました。

そのような背景の下、関係者の努力により、太陽電池の変換効率向上や低

コスト化が実現され、パワーコンディショナー等の周辺機器開発も進むことにより、1992年から住宅用の太陽光発電システムの設置が始まりました。このシステムは既存の電源系統と連系しており、発電して余った電力については配電網に逆潮流させて売電できる仕組みを備えていました。

システムとしての技術と市場形成のための制度

太陽電池を有効に利用するためには、システムとしての技術(系統連系技術)と制度(余剰電力買取等)が不可欠です。

太陽電池を導入した場合、昼間は自宅で利用する以上の電力を発電することができるため、余剰の電力については電力会社に買い取ってもらうことになります。逆に、雨や曇りの日には不足電力分を電力会社から購入することになります。

現在、太陽電池は住宅の屋根、ビルや工場の屋上などに設置されているだけでなく、人工衛星、工業用、携帯電

話用電源、屋外街路灯など、様々な用途に用いられています。

太陽電池とイノベーション政策

我が国では、1990年代急速に家庭用太陽光発電システムが普及し、それに伴い太陽電池メーカーも発展しました。世界で最初に日本において太陽光発電市場が形成された最大の要因は、政府の導入に対する補助金と考えることができます。

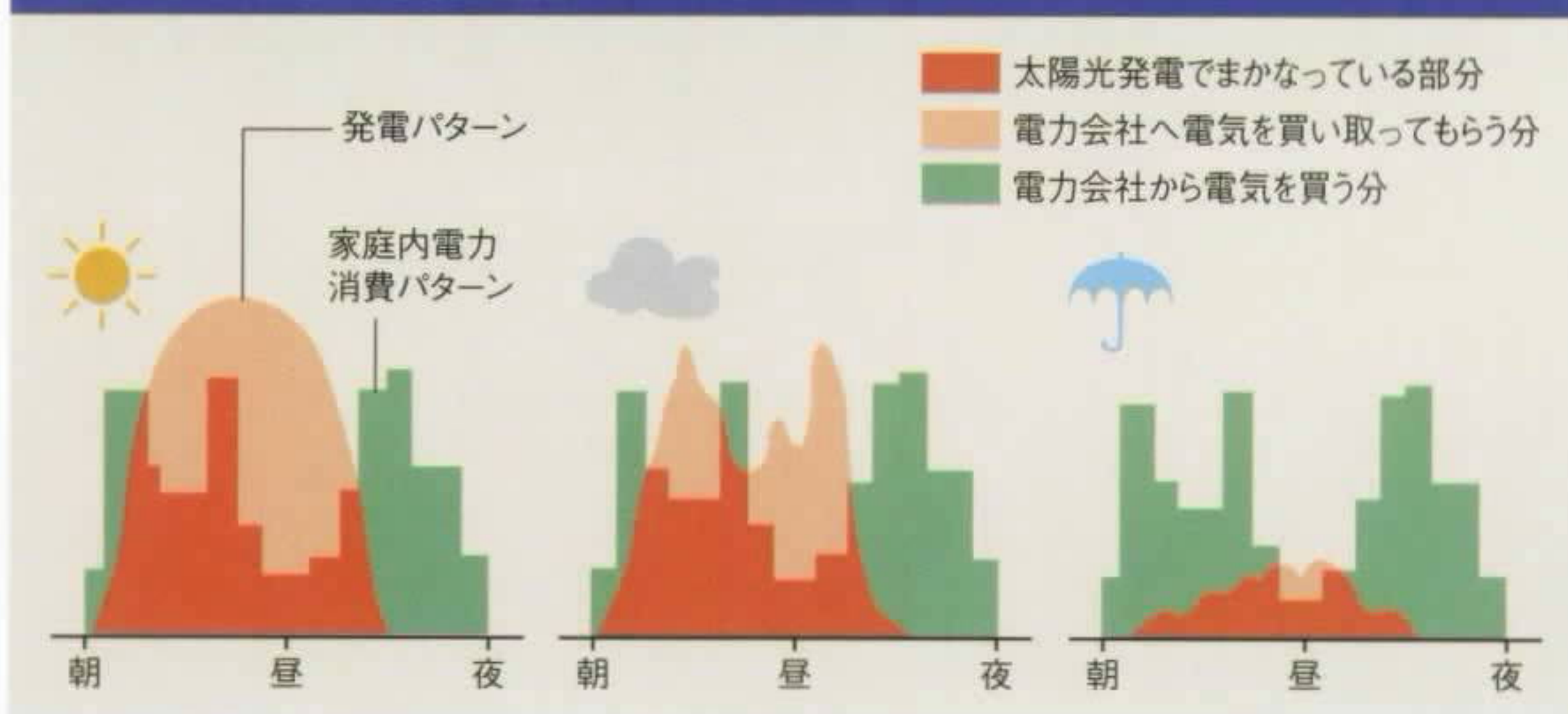
1994年から住宅用太陽電池システムの導入に対して国による資金補助制度が開始され、初期市場が形成されました。補助金の額は2001年をピーク

に減少し、現在は国による補助制度はありませんが、自治体による補助制度やコスト低下により、太陽電池の導入量は増加しています。

また、1992年に開始された電力会社による余剰電力買取および1993年の逆流有りの系統連系の許可、2002年のRPS法案(販売電力量に応じ一定割合以上の新エネルギー電気を利用することを義務付ける法律)の制定も導入量の促進に大きく寄与しています。

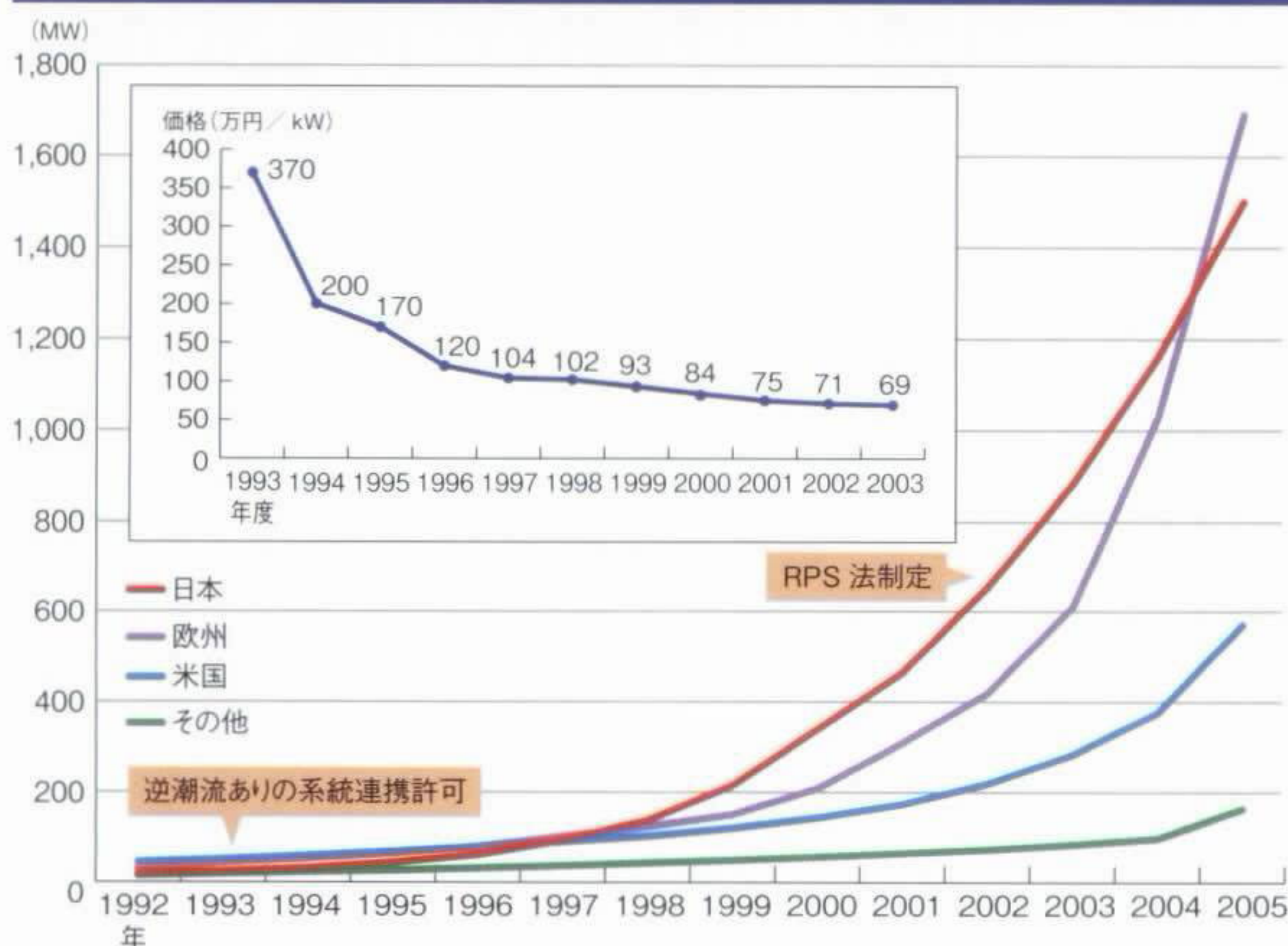
現在欧州ではドイツを中心に、我が国よりも積極的な太陽電池導入促進政策(太陽電池で発電した電力を高く買い取る仕組みの導入)が採られており、単年度の導入量では2004年から日本を抜き、2005年には累積導入量でも日本を追い抜いています。これにより、欧州のパネルメーカーは競争力を付けています。

天候による発電の傾向の変化



出所：太陽光発電協会

太陽光発電システムの累積導入量



出所：新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 提供資料



住宅用太陽電池

出所：京セラ提供資料



ベルンサッカー場の太陽電池(スイス)

出所：京セラ提供資料



ソーラーアーク(三洋滋賀工場)

出所：三洋電機提供資料

6 未来に向けて

太陽電池の導入目標と課題

日本は2030年に80GW～100GWの導入を目指しています。これは、太陽電池で家庭用電力の半分をまかなう計算です。一方米国は200GWの導入を目標としています。これらの目標の実現のためには、技術革新による発電コストの低減（汎用電力並みの7円/kWh程度）が必要です。コスト低減のためには、以下の3点が課題とされています。

- ・太陽電池の性能(発電効率)向上
- ・太陽電池製造プロセスの革新
- ・太陽電池システムの耐久性の向上

また、原料であるシリコンの確保も重要な問題となっています。

未来の太陽電池利用

太陽エネルギーの未来の利用形態としては、まず地域コミュニティでのネットワーク的利用が考えられます。10～20戸程度の家庭で蓄電池を共有し、各家庭で発電した電力を、蓄電池を通じて融通しあいながら利用するというシステムです。既存の電力システムへの負荷も低減されます。風力発電等の他の自然エネルギーとの融合も期待できます。高効率な太陽電池が開発され、7kWの

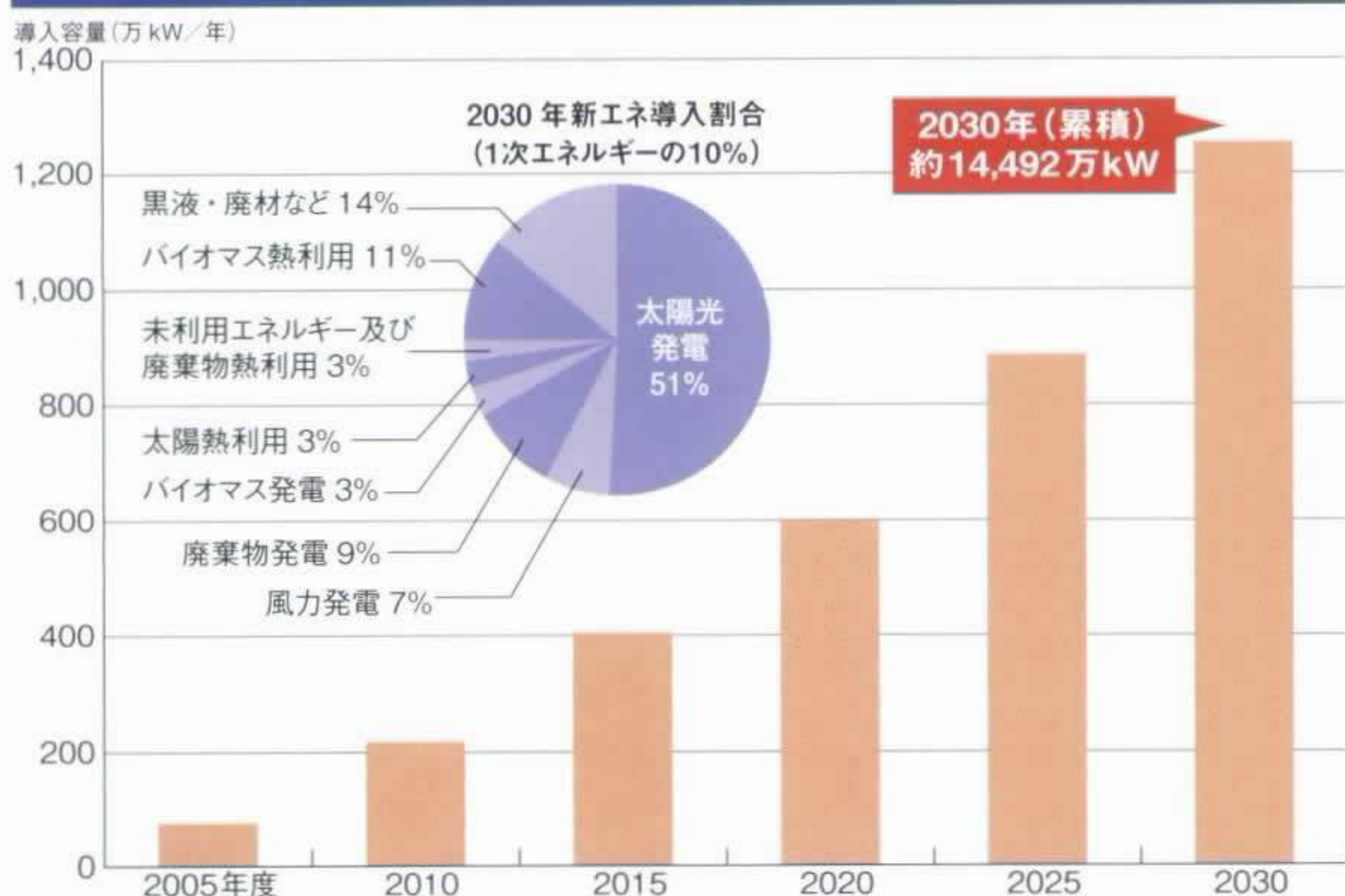
システムが屋根に設置できるようになれば、オール電化の住宅の電力供給を全て太陽電池でまかなうことができると考えられています。

その他では、世界中の太陽電池を超電導ケーブルで繋ぐことによって、昼夜を意識することなく太陽電池のエネルギーを利用できるようにするという計画や、砂漠地帯に大型の太陽光発電所を建設し、灌漑と組み合わせることにより農業振興およびエネルギー輸出を図るという計画、宇宙空間に太陽電池を設置して、発電したエネルギーをマイクロ波で地上に送るという計画も検討されています。

太陽電池産業においては現在、日本企業が非常に強い競争力を持っていますが、ドイツ等EU諸国の導入量が伸びており、EUのメーカーが台頭してきています。また、中国等での生産も始まると考えられます。日本企業の競争力の維持・向上のためには、日本市場の活性化や積極的な技術開発が必要です。

太陽エネルギーはクリーンで無尽蔵なエネルギーとして、各国で導入が進められており、更なる利用のための研究開発も積極的に進められています。今後は中国等においても、活用の急拡大が予想されており、日本に期待される役割は大きいものとなっています。

太陽電池導入容量の将来推計



出所：JPEA「太陽光発電自立に向けたビジョン」、新エネ部会報告資料（2001年6月）、「2030年のエネルギー需給展望」（総合資源エネルギー調査会エネルギー需給展望2004年6月）より三菱総合研究所（MRI）作成



太陽電池コミュニティイメージ（群馬県太田市 Pal Town 城西の杜）

出所：東京農工大学黒川浩助 教授提供資料



宇宙太陽光発電（SSPS）のイメージ

出所：宇宙航空研究開発機構（JAXA）提供資料

4 光触媒

ナノテクノロジー・材料

1 はじめに

建物・外壁の汚れ防止、抗菌、水や空気の浄化、ガラスや窓の曇り防止など様々な用途で広く応用されている光触媒は日本人研究者によりその機能が発見され、日本企業により実用化が進んでいる“日本発”の技術です。

日本発の技術

現在使われている光触媒の多くは酸化チタン(TiO_2)です。酸化チタンは白色顔料として古くから利用されてきましたが、その光触媒作用が注目されるようになったのは1967年に東京大学の本多健一教授の研究室の大学院生であった藤

嶋昭博士(現：神奈川科学技術アカデミー理事長)による水の光分解の発見からでした。これは本多・藤嶋効果と呼ばれ、広く知られています。

酸化チタン光触媒が強い酸化力によってほとんどすべての有機物を完全に分解できる作用については、1980年に分子科学研究所(現 大学共同利用機関法人自然科学研究機構)の坂田忠良教授と川合知二教授により発見されました。

その後、1990年頃から東京大学工学部(藤嶋博士、橋本講師(現教授))と東陶機器により酸化チタン光触媒の

実用化に向けた共同研究が開始され、抗菌性や、汚れを水に流し易くする超親水性などの発見を経て、様々な製品が実用化されました。共同研究にはその後、東陶機器のほか日本曹達や石原産業など数多くの企業が参画し、光触媒産業の創出・発展に寄与しました。



藤嶋昭博士



橋本和仁教授

2 発見

本多・藤嶋効果の発見

本多・藤嶋効果とは、光を用いた水の電気分解のことです。通常の電気分解では、電解質溶液に浸した2つの電極間に電圧をかけ、電流を流す必要がありますが、酸化チタンを一方の電極、白金をもう片方の電極として、酸化チタン電極に光を当てた場合、電極表面の電子が光励起し、酸化チタン内部に移動し、外部の導線を通じて白金極に流れるため、電圧をかけなくても水が水素と酸素に分解されます。これは光合成と同様に光エネルギーを化学エネルギーに変換する仕組みと考えることができます。

本多・藤嶋効果は1972年にNature誌に掲載され、1973年の石油ショックを機に光エネルギーだけで水素を製造できる技術として注目され、研究が進められました。しかし、酸化チタン電極では、太陽エネルギーの変換効率は低

く、水素製造としての実用化は困難なことがわかり、研究は一旦下火になりました。

光触媒の高酸化力の発見

その後、分子科学研究所の坂田教授と川合教授が、酸化チタン粉末による水の分解反応の際に有機物を入れるとそ

れが酸化し、水が還元されることにより、大変高い効率で勢いよく水素が発生することを発見し、Nature誌に掲載されました。

さらにこれによって酸化チタン光触媒が非常に高い分解力を持つこと(高酸化力)が示され、新たな研究開発の方向性を導くこととなりました。

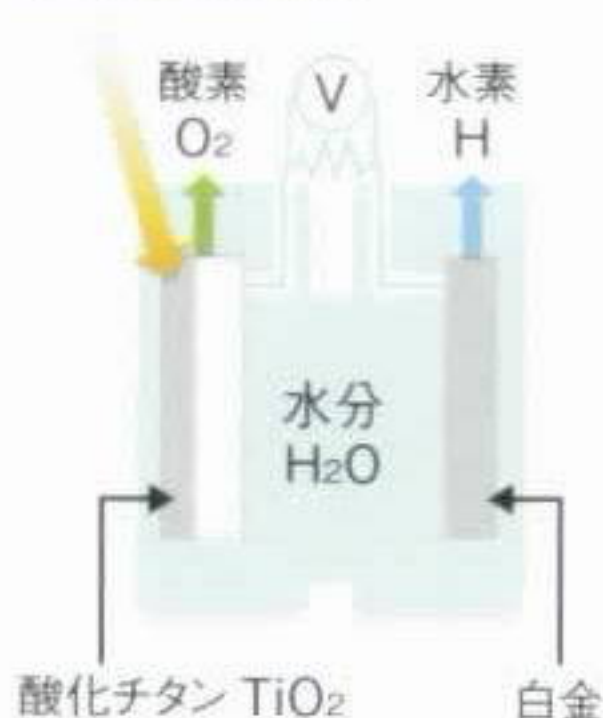
光触媒と光合成のメカニズム

光触媒は

酸化チタンと白金を触媒にして紫外線と水分で酸素と水素を発生させる

(藤嶋昭博士実験)

太陽光(紫外線)



出所：環境技術情報ネットワーク

植物の光合成は

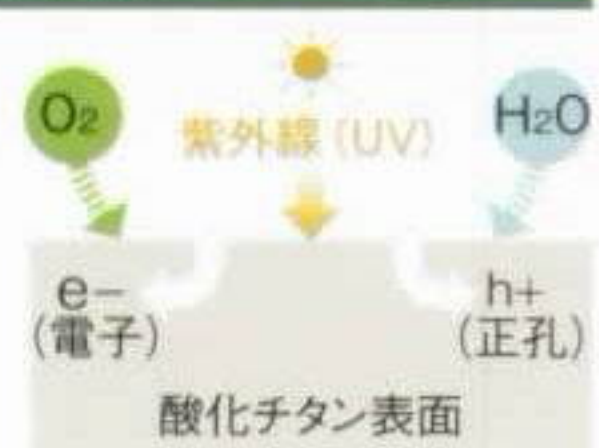
葉緑素を触媒にして太陽光・二酸化炭素・水分で酸素を発生させる

太陽光

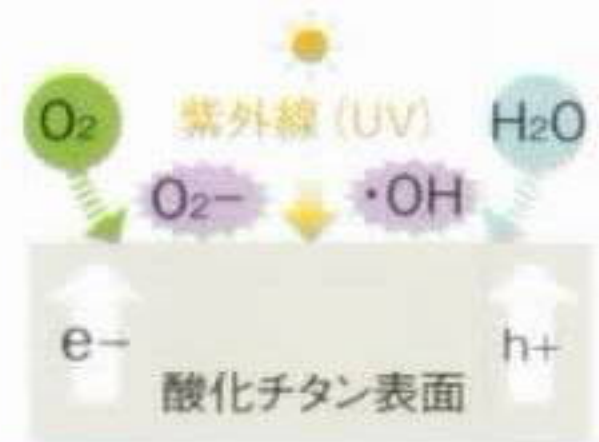


光触媒の有機物分解メカニズム

① 紫外線により O_2 (スーパーオキシドイオン)、 $\cdot\text{OH}$ (水酸ラジカル) という、活性酸素を発生させます。



② 活性酸素が表面に付着した有機物汚れやカビ、細菌を分解します。



分解作用

様々な有機物を分解。雑菌や細菌を無くしたり、汚れのこびり付きや臭いの発生を防ぎます。

出所：TOTO 提供資料

3 概念の証明

抗菌性の発見

光触媒の強い酸化作用は大量の汚染物質などを処理するには向いていません。そこで、様々な材料表面の少量の物質を連続的に処理するような用途への応用研究が東京大学藤嶋研究室の橋本和仁講師(現教授)等により進められました。

1990年に開始された東京大学と東陶機器による共同研究では、建材等に酸化チタン光触媒をコーティングする研究が開始され、「汚れを分解する」、「抗菌」等に効果的であることが発見されました。

酸化チタンを様々な素材に塗布し、そこに大腸菌などを置いたところ、1,000ルクスの弱い光でも菌が死滅することが確認されました。また、酸化チタンの薄膜をコーティングした建材は比較的弱い光でも汚れが分解されることも見

出され、外壁タイルや空気清浄機フィルタへの応用が急速に進むきっかけとなりました。

超親水性の発見

光触媒を利用した製品は1995年頃から販売されていましたが、同じころ酸化チタンに紫外線が当たると表面が大変水に濡れやすくなるということが偶然に東陶機器の研究者により見出され、東京大学との共同研究により酸化チタンの表面に、水とのなじみのよい-OH(親水基)ができるという全く新規な光誘起超親水性という現象の発見につながりました。

光による超親水性により、光触媒でコーティングされた建材は雨でも簡単に汚れが落ちるセルフクリーニング機能や、水滴がつかない防曇機能を持つことになり、応用範囲が大きく広がりました。

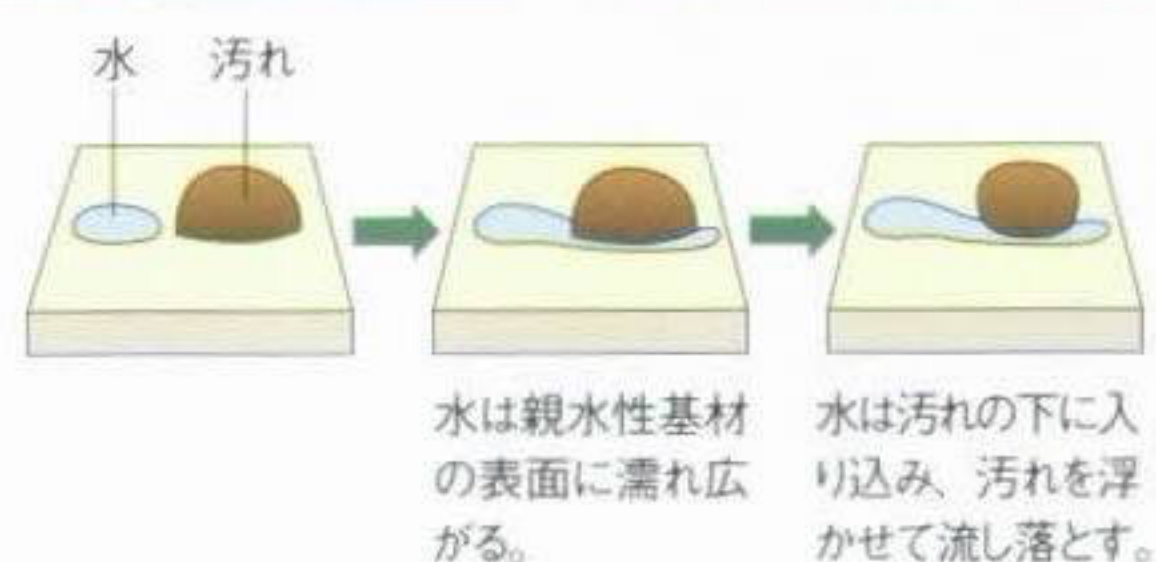


2時間接触後の生菌数

	光触媒塗料	非抗菌塗料
黄色ブドウ球菌 MRSA		
大腸菌 O-157		

注：試験方法は JIS Z 2801 に準ずる

防汚メカニズム



出所：TOTO 提供資料

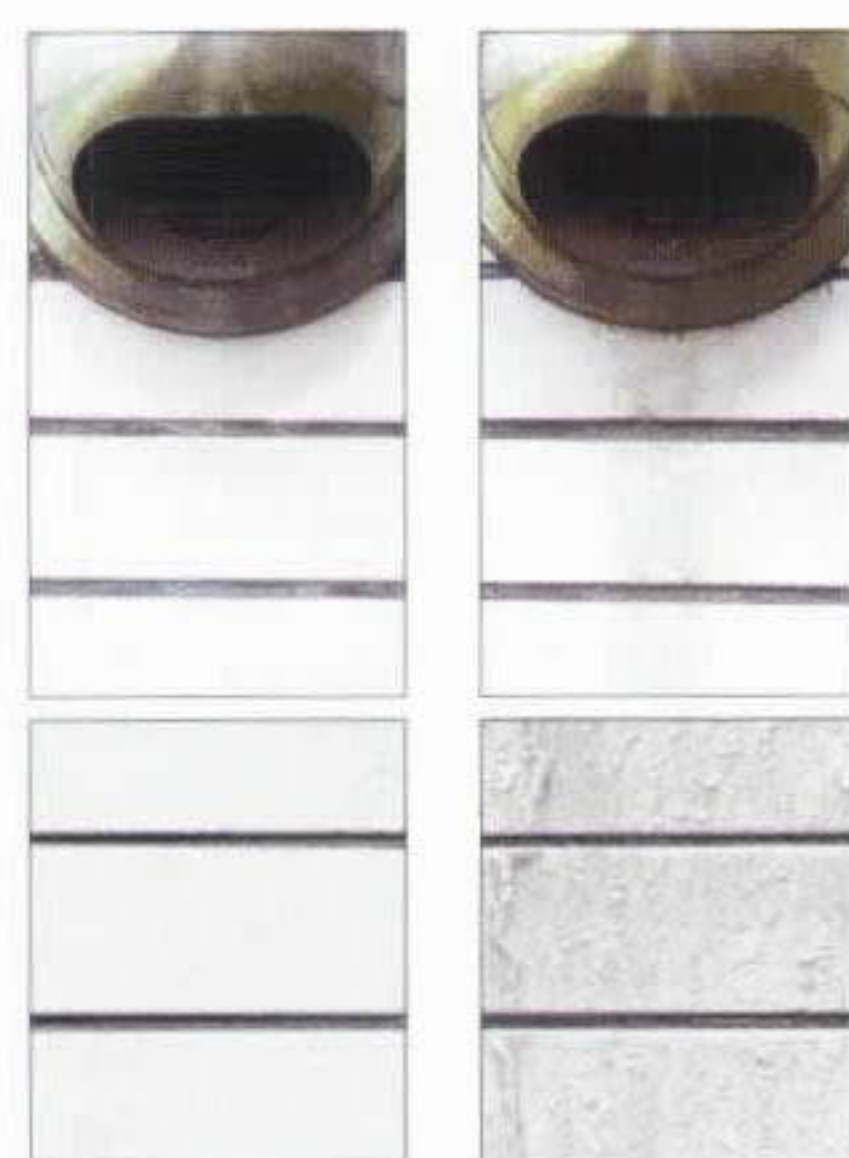
4 技術のプロトタイプ・製品開発

光触媒の応用製品

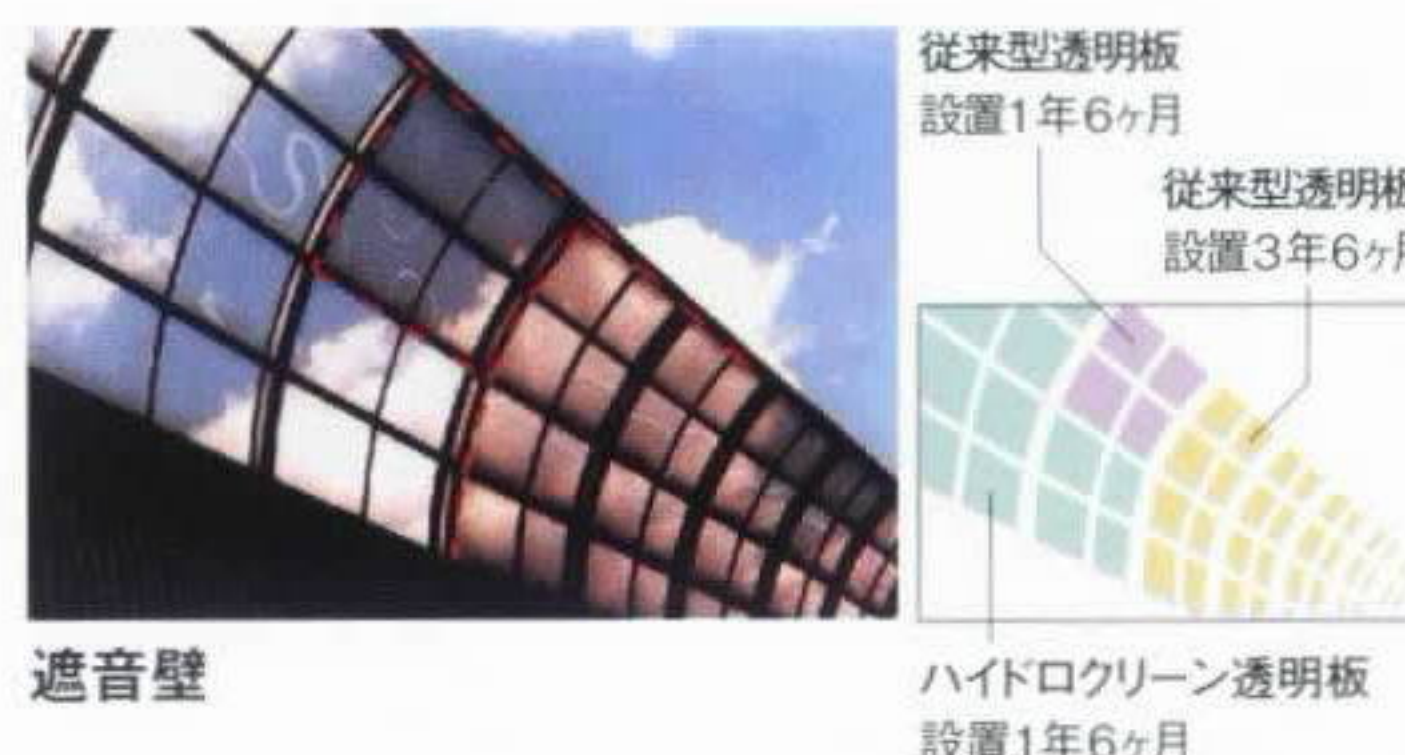
1995年に世界で最初の本格的な酸化チタン光触媒応用製品として、東陶機器から「光触媒超抗菌・防汚・防臭タイル」が発売されました。また、1997年の超親水性の解明に伴い、同社は光触媒親水性を利用したセルフクリーニングタイルを実用化しています。

それ以降、1996年には日本道路公団が東芝ライテックの開発した光触媒をコーティングしたガラスカバー付きのトンネル照明を採用し、ダイキンが光触媒を利用する家庭用空気浄化装置を実用化、三菱マテリアルがNOx浄化用ブロックを実用化、日本曹達が光触媒塗料を開発するなど、光触媒の製品開発は日本企業各社により進められました。

建材としては、ビルの外装用タイルや、コーティング材、コーティングガラ



ハイドロテクト
タイル(外装用) 通常タイル
出所：TOTO 提供資料



遮音壁
従来型透明板
設置1年6ヶ月
従来型透明板
設置3年6ヶ月
ハイドロクリーン透明板
設置1年6ヶ月
一般膜材 フッ素コート膜材 光触媒コート膜材
屋外実験5ヶ月後

ス、高速道路の遮音壁、テントなどに利用されています。これらについては、写真に見るように屋外で実証実験がされていて、目に見える効果があることがわかります。

また、超親水性を活かした防曇製品としては、鏡や道路鏡、自動車のサイ

ドミラーなどが挙げられます。サイドミラーや鏡を光触媒でコーティングした場合、水がミラーになじむので水滴にならず、非常に視界がクリアになります。

光触媒を利用した製品開発の多くは東陶機器から各社への特許のライセンスによって実施されてきました。

5 製品・技術がもたらす現代社会への影響

広がる製品開発

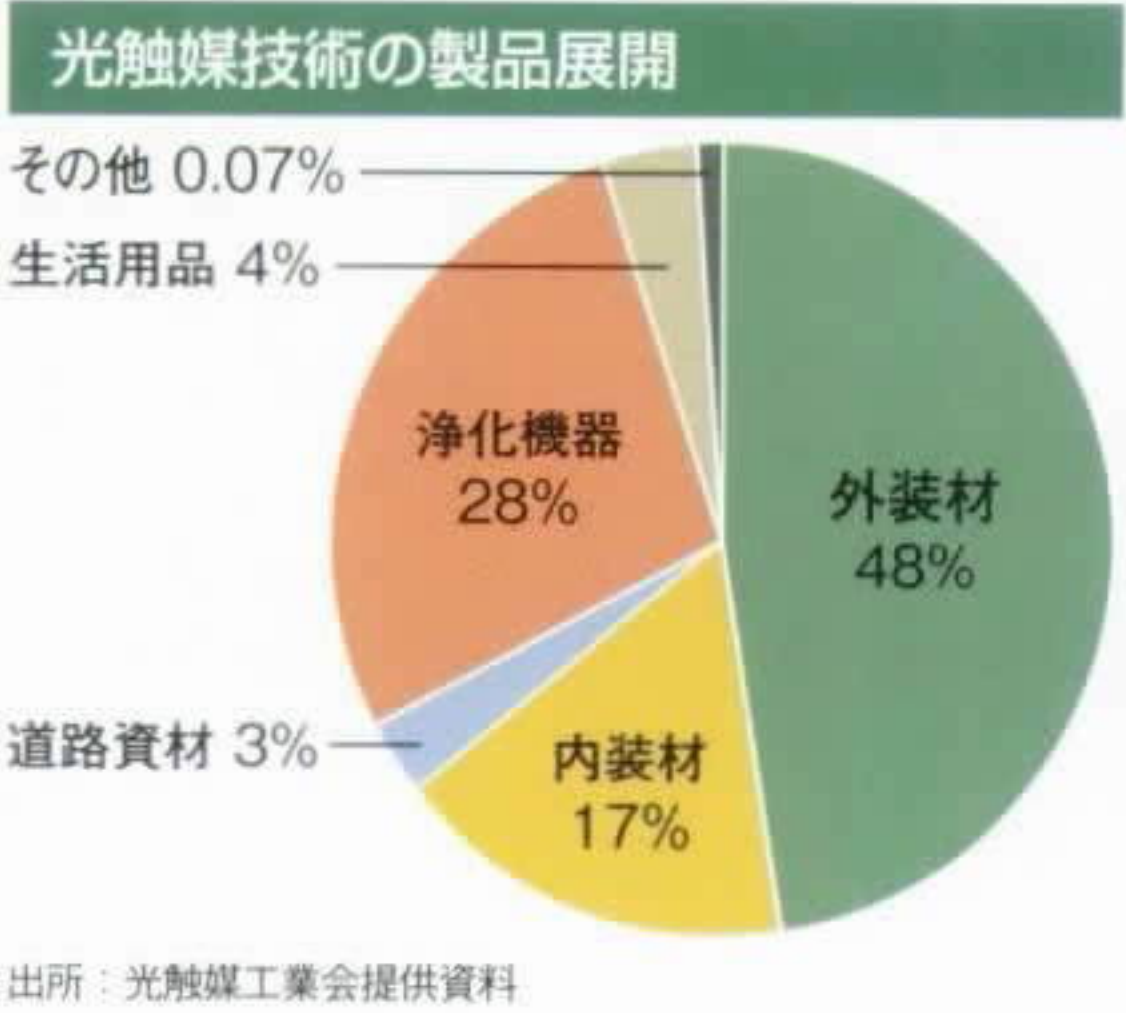
光触媒の応用範囲は多岐に渡りますが、現在普及が進んでいるのは、セルフクリーニング機能を利用したタイルやガラス等の建材や空気浄化・防臭効果を利用した生活家電、生活用品分

野です。外装材と内装材をあわせると、65%程度を建材用途が占めています(2004年)。市場規模は2004年で国内550億円、海外150億円程度です。
1991年からは毎年1回、光触媒シンポジウムが開催され、製品化が進むと共に光触媒フォーラム、光触媒製品

技術交流会などの業界団体も形成され(両団体は現在光触媒工業会として統合)、光触媒産業は活性化していきまし
た。これらのシンポジウムや工業会は現在も製品開発のアイデアを産む「場」として機能しています。

光触媒の海外動向

海外動向としては、欧州では、ドイツが光触媒の研究・導入に熱心です。薄膜関係について日本が発表した後、追
随してきたのは韓国、中国、ドイツのゾル・ゲル関連企業が中心でした。
米国ではピルキントン社、PPG社、ガーディアン社等によりガラス分野の研究・技術導入が進んでいます。



生活用品

出所：TOTO 提供資料

光触媒技術の応用分野と製品		
応用分野	機能	主な製品例
住宅設備・建材	防汚	タイル、アルミ建材、外壁、塗料、テント材、ブラインド、内装材、蛍光灯、カーテン、等
	防曇	鏡、ガラス、等
家電・電機関連	抗菌・殺菌	空気清浄機、エアコン、掃除機、等
	脱臭	冷蔵庫(エチレン分解)、掃除機、等
車両関連	防汚	サイドミラー、ボディーコーティング、等
	防曇	サイドミラー、窓ガラス、等
	脱臭	足マット、車内脱臭剤、車内用品、等
道路資材関連	防汚、空気浄化	トンネル照明、道路鏡、遮音壁、NOx除去、SOx除去、コンクリートセメント、等
	防曇	道路鏡、等
農業関連	水質浄化	残留農薬処理、水耕栽培室処理、等
	防汚・防曇	ビニールハウス、ガラス温室、等
	空気浄化・脱臭	養鶏場防臭、等
水処理	水質浄化	環境ホルモン物質分解、有機塩素化合物分解、等
土壌汚染関連	土壌浄化	
日用品・消費財	抗菌・殺菌・脱臭	繊維製品、人工観葉植物、脱臭剤、等
医療関連	抗菌・殺菌	カテーテル、手術室、等

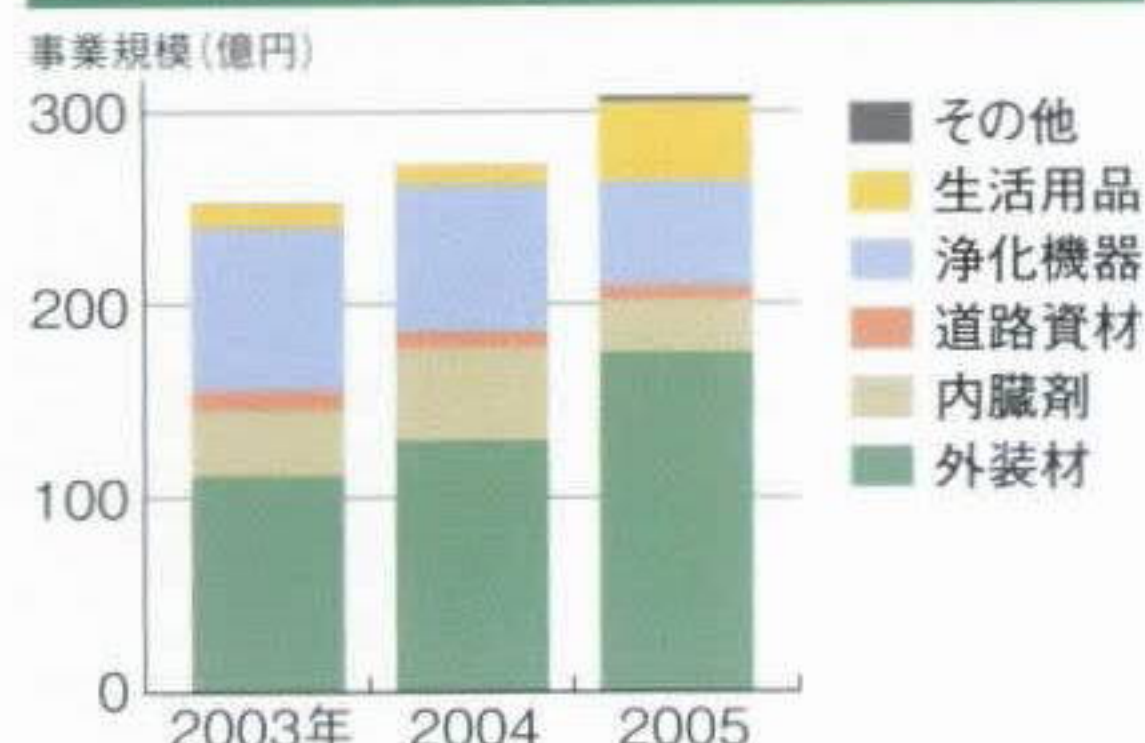
出所：三菱総合研究所(MRI)作成資料

6 未来に向けて

光触媒関連市場の成長性

近年、カビ・雑菌などによる住居環境の汚染とともに、環境ホルモンなどの様々な化学物質による大気や河川の汚染など、地球規模での環境汚染が進行し、環境問題は人類の生存を脅かす最重要課題となっています。そのため、今世紀は環境の世紀といわれ、環境産業がリーディング産業となると予想されており、環境産業による産業革命が起ると予言する人もいます。

光触媒産業の市場規模



出所：光触媒工業会「2005年版光触媒事業市場調査」
注：このデータは光触媒工業会（2004年以前は光触媒製品フォーラム）が会員企業を中心にアンケートをした結果を取りまとめた物であり、全ての市場を包含していないことに留意が必要である。2004年の同フォーラムの資産では、全世界の市場規模は本データのおおよそ倍と推計されている。

光触媒は有害な薬品などを使用せず、太陽光などの光エネルギーを利用するだけで、処理後に有害な物質を出さず、種々の化学物質を安全かつ容易に分解することができ、殺菌などにも利用できます。そのため、環境に優しい環境浄化材料として脚光を浴びており、今世紀の期待される技術になっています。

光触媒産業の育成のためには、既存産業の強化、技術課題への対応、新規分野への応用が考えられます。

既存産業の強化のためには、製造プロセスを革新し、コーティングの低コスト化が重要でしょう。また、技術課題としては室内灯の可視光に対する感度を上げることが最も重要で、かつ産業上も価値のある課題でしょう。さらにより効果的に空気浄化技術や水処理技術、土壌浄化技術へ適用するための材料開発も求められます。新規応用への展開としては、親水⇔撥水を自由に変換できる材料開発や電子材料としての応用、さらに色素増感太陽電池への応用も期待されています。

光触媒の市場規模は今後急速に拡大すると考えられています。以上のような応用用途が全て成功したとすると、2030年頃には2兆円強の市場を産み出すことも可能と予測する人もいます。そのためには、国内市場だけでなく、海外市場を創出することが必要です。

世界標準を目指して

海外市場で日本がイニシアティブをとるためには、日本の技術を公開し、一方で標準化を世界的に進めることが重要です。現在、日本から光触媒の国際標準規格 (ISO) の提案がなされています。これまで日本が主導して世界標準を制定したことはそれほど多くはありません。光触媒のような日本発の技術こそ、日本がイニシアティブをとり、国際貢献をすべきでしょう。

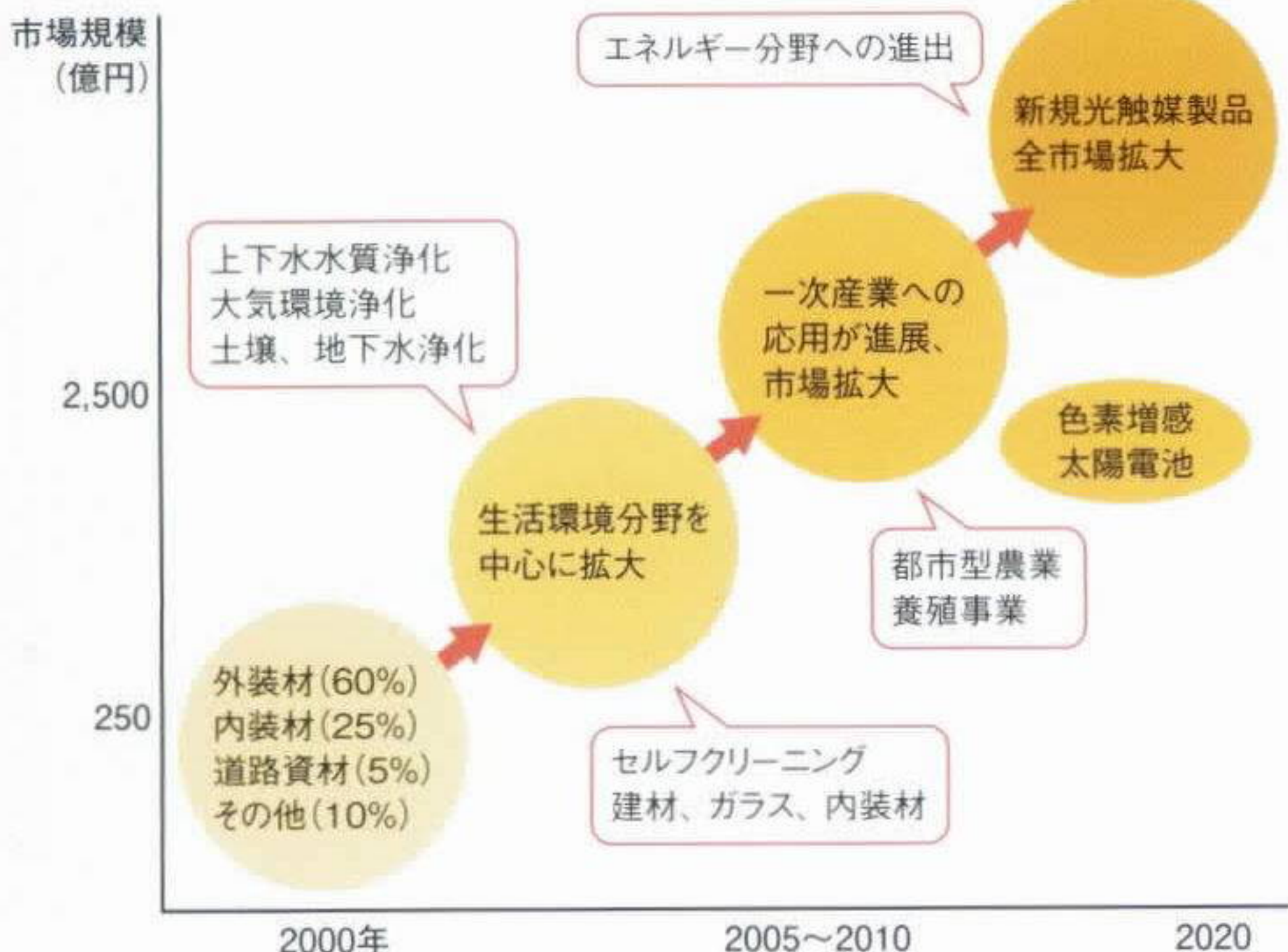
既に模倣品等の被害も出てきており、その対策は急務となっています。

我が国発の技術である光触媒の世界標準化は、今後の我が国の知財戦略の試金石になると考えられます。

光触媒関連産業の市場予測と技術課題

市場規模：2000年 250億円→2010年 2,500億円

- 1972年 本多・藤嶋効果
- 1986年 酸化チタン光触媒を用いた空気浄化（資環研）
- 1992年 セルフクリーニング機能（藤嶋）
- 1994年 光触媒タイルを上市（東陶）
- 1997年 超親水性、超撥水性効果の発見（東陶、橋本・藤嶋）



出所：三菱総合研究所 (MRI) 作成資料



5 地球シミュレータ

政府調達

1 はじめに

世界最速のスパコン地球シミュレータ

“Computenik !” 2002年4月に性能試験で35.86 Tflops を記録し、世界最速として認定された我が国のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を米国メディアが報じた際の言葉です。旧ソ連が米国に先んじて打上げた人工衛星「スプートニク」のショックに匹敵する事件として取り上げられました。当時世界最速だった米国のスーパーコンピュータ ASCI White に5倍以上の性能差を付けたからです。

その後、地球シミュレータは2002年～2004年までの2年半にわたって、世界最速のスーパーコンピュータでした。

地球シミュレータの開発プロジェクトが開始されたのは、1997年のことでした。高度科学演算へのニーズが高まってきたことと、バブル後遺症に悩む我が国において、高性能計算機の技術維持・発展を図る観点から、当時の科学技術庁の主導により5年計画で開発が進められました。およそ600億円の開発費が投入されています。

開発には NEC、宇宙開発事業団（現宇宙航空研究開発機構）、日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）、海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）が共同で参画しています。2002年3月、海洋研究開発機構地球シミュレータセンター（佐藤哲也センタ



故 三好 甫博士
地球シミュレータ
研究開発センター長

一長)により運用が開始されました。

開発プロジェクトを構想し、指導したのが地球シミュレータ研究開発センターの故・三好甫(はじめ)博士で、「世界一速いコンピュータを開発する」という目的を掲げ、研究開発のリーダーシップを発揮しました。

2 発見

我が国の優位技術ベクトル型プロセッサの採用

地球シミュレータは地球環境や災害対策に役立てるために、コンピュータ上で「仮想地球」をつくって気象変動・地殻変動のシミュレーションを行うためのスーパーコンピュータです。特徴的なのは、ベクトル型プロセッサを採用している点です。

ベクトル型プロセッサには大量のメインメモリが搭載されており、ハードディスクの RAID でいうストライピング^{※1}のような形でアクセスを行なうことにより、大規模なデータを流れ作業的に処理することができます。

地球シミュレータの開発当時、世界の潮流はスカラー型プロセッサを数千・数万個連結したグリッド・システムに傾いていました。スカラー型プロセッサと

は PC に使われている CPU と同じ性質のものです。

もともと我が国では、1970年代後半から80年代を通じて、汎用大型計算機（メインフレーム）の開発においてベクトル型プロセッサの技術が蓄積されていました。

ベクトル型プロセッサの強みは、大容量のデータを取り扱う気象解析や衝突解析など大規模科学技術計算で威力を発揮することです。最近でこそプロセッサ本体の性能差はベクトル型とスカラー型ではほとんどなくなりつつありますが、地球シミュレータの開発当時は4～5倍の性能差がありました。

それ以上にベクトル型が絶対的な優位性を持つ点は、プロセッサ・メモリ間のデータ転送バンドの幅が大きいということです。この点は大容量のデータ



地球シミュレータの
コア・プロセッサ
出所：地球シミュレー
タセンター提供資料

を扱う科学技術計算では不可欠な要素だったのです。

この特徴に着目し、三好博士は「地球シミュレータはベクトル型並列スーパーコンピュータでなければならない」との信念で開発を進めました。

この結果、開発から5年経った現在でも最新の大規模科学技術計算に使用可能なアーキテクチャが構築されたのです。

※1 | 複数のハードディスクに分散的にデータを保存・読み取りすることで処理の高速化を図る技術

3 概念の証明

政府調達によるイノベーションの誘導

近年、イノベーションを産むための方法として、政府調達が注目されています。政府調達とは、政府機関が購入又は借入によって行う物品及びサービスの調達のことです。

政府調達には、新製品・サービスのための新しい市場（初期市場）を形成する効果があると言われています。新しい製品・サービスについては、十分な情報が市場に伝わらず（情報の非対称性）、市場メカニズムがうまく働かない可能性があります。そこで、政府が調達によって、初期需要を創出することによって、その働きを作り出そうというのが、イノベーション政策における政府調達の働きと言われています。

我が国は、スーパーコンピュータの政府調達等に関して、自主的措置を講じており、外国企業に対して WTO 政府調達協定を上回る水準で調達市場を開放しています。^{※2} そのため、イノベーション創出に繋げることは制限が掛かる場合もあります。

しかし一方で、WTO 政府調達協定の第15条においては、「調査、実験、研究又は独自の開発に係る特定の契約の過程において、かつ、当該契約の対象として、機関の要請により開発された原型又は最初の産品若しくはサービスを当該機関が調達する場合」には、政府による限定入札を例外措置として認めています。

地球シミュレータは、その当初の目的が高性能の計算機を国産で開発する

ことにあり、調達によるイノベーション創出を狙ったものであるとは言えません。政府が研究開発費を出資し、海洋科学技術センター（現海洋研究開発機構）が成果物である地球シミュレータを調達するという政策でした。

※2 | 日本は1960年代の復興期に旧電電公社や国鉄が主導し、共同研究開発体制を展開して先端技術開発に大いに貢献しました。しかし、1980年代になり、日本の半導体、コンピュータ産業など、ハイテク関連の国家基幹産業の競争力が急激な成長を遂げるにつれて、政府調達が貿易摩擦の対象となりました。

1994年以降、日本は外国企業に対して WTO 政府調達協定を上回る水準で調達市場を開放するべく自主的措置を取ることを決定しました。自主的措置は自由貿易の原則である「公正かつ開放的な競争を推進する」という意味において WTO 政府調達協定の精神に即した措置ですが、10年以上を経た現在において、日本以外でそれを導入している国は存在しません。

自主的措置は貿易不均衡にかかる対外経済対策としての意義はありましたが、スーパーコンピュータ、電気通信機器、医療技術、非研究開発衛星等、我が国の将来の科学技術の発展とイノベーションにとって非常に重要な分野に適用されていることから、見直しの必要があると言われています。

4 技術のプロトタイプ・製品開発

地球シミュレータの性能

2002年4月の Linpack ベンチマークテストにより、地球シミュレータは 35.86 Tflops という世界最高の演算性能を達成しました。これは、それまでトップであった米国の ASCI White (7.226 Tflops) に対して5倍の性能値であり、桁違いの演算性能でした。

ソフトウェアについても最先端の解析が可能となりました。地球シミュレータセンターの大気大循環モデル「AFES」では、水平解像度（メッシュの大きさ）が赤道上で 10km²、鉛直方向は 96 層で地表付近は約 20m 間隔という細かさで大気の動きを計算することができます。AFES による超高解像度シミュレーションで、2002年にゴードン・ベル賞^{※3}を受賞しています。

また、2003年には地震波が世界各地に伝播する様子を詳細にシミュレーションすることにも成功し、引き続き同賞を受賞しました。地球磁場の起源を解

主要スーパーコンピュータの性能比較

コンピュータ名	ベンダ名	設置場所	導入年	性能 (Tflops)		実行性能率
				実効性能	ピーク性能	
地球シミュレータ	NEC	地球シミュレータセンター（日本）	2002	35.86	40.96	87.5%
ASCI White	IBM	ローレンス・リバモア国立研究所（米国）	2000	7.23	12.29	58.8%
AlphaServer	Hewlett-Packard	ピッツバーグ・スーパーコンピューティング・センター（米国）	2001	4.46	6.03	74.0%
AlphaServer	Hewlett-Packard	原子力エネルギー委員会（フランス）	2001	3.98	5.12	77.7%
SP Power 3	IBM	ローレンス・バークレイ国立研究所（米国）	2001	3.05	4.99	61.1%
AlphaServer	Hewlett-Packard	ロス・アラモス国立研究所（米国）	2002	2.92	4.10	71.2%

出所：日本総合研究所作成資料

明する地磁気ダイナモの高速シミュレーションの成功によって、地球シミュレータセンター固体地球シミュレーション研究グループが2004年も同賞を受賞しています。

他にも多数の功績を挙げ、米国 Time 誌では「2002年最も価値ある発明」の一つに選ばれています。

※3 | 並列処理計算機及びその上で動作するアプリケーションの推進のため、その年にハードウェアとソフトウェアの技術開発に貢献する分野で最高の成果をあげたプロジェクト及びそのメンバーに付与される賞のこと。米電気電子学会(IEEE)が運営。



地球シミュレータ

出所：地球シミュレータセンター提供資料

計算科学が社会にもたらしたもの

スーパーコンピュータは今や天気予報や車の設計など科学技術の道具として必要不可欠のものになっています。特に科学の分野では理論科学、実験科学に続く第三の科学、計算科学として確固たる地位を占めるまでになりました。

では計算科学で一体、何ができるのでしょうか？ 簡単に言えば、人間が見えないものを見えるようにすることができます。

例えば、物質の燃焼のプロセスは何百分の一秒、何千分の一秒という短い時間で複雑な反応が起きていますが、シミュレーションで数秒なり数分に引き延ばして複雑な反応をゆっくり分析することができます。

逆に地球温暖化の影響のように長期の自然現象をシミュレーションによって早めることで、その影響を予測することができます。

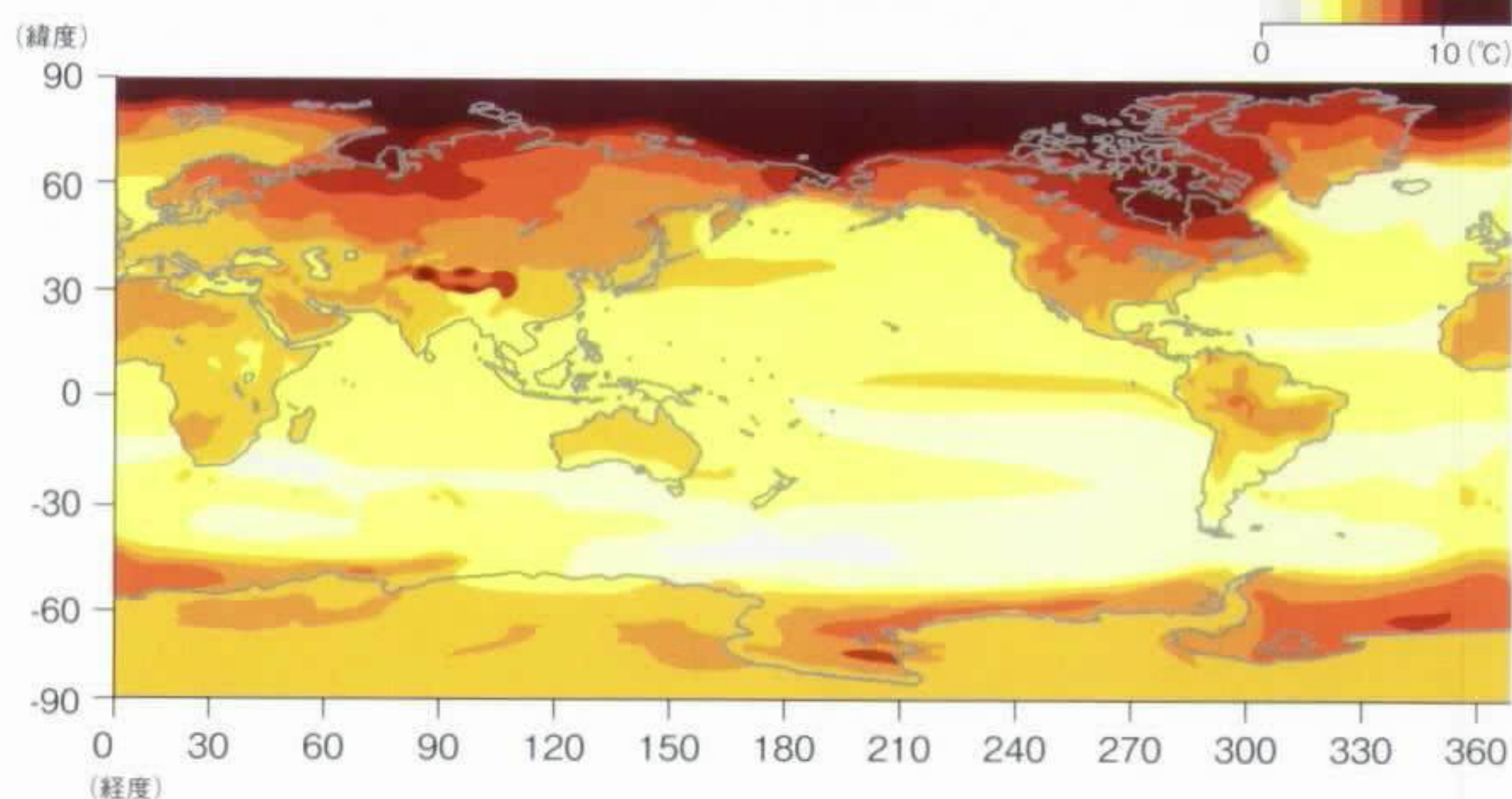
地球シミュレータは計算科学の有効性を実証するのに大きく貢献しました。

地球シミュレータ開発の意義は、観測が不可能な現象に対してシステム全体を丸ごとシミュレーションすることで、“見えるようにした”人類最初の道具であるということです。

地球シミュレータの解析事例

2003年12月、海洋科学技術センター固体地球統合フロンティア研究シス

温暖化予測シミュレーションの結果(図1)



出所：東京大学気候システムセンター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センター提供資料

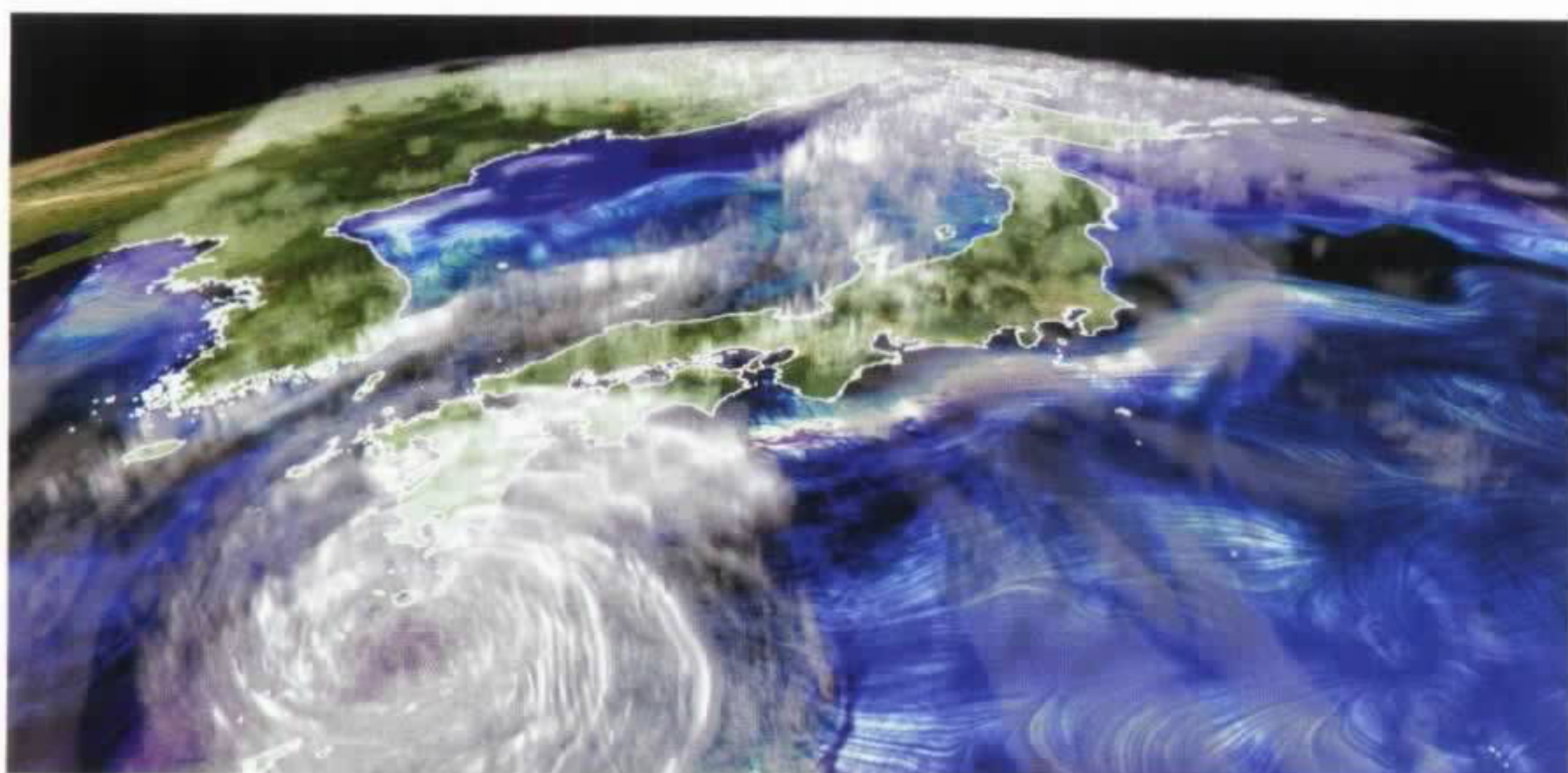
テム(IFREE)分析・解析センターの坪井誠司プログラムディレクターと米国カリフォルニア工科大学地震研究所の研究グループは、地球シミュレータを用いて、2002年11月3日に米国アラスカで発生した地震(Mw=7.9)を精密に再現させることに成功しました。これにより、計算科学の有効性を実証することにも大きく貢献しました。

2004年9月、国立大学法人東京大学気候システム研究センター(CCSR)、独立行政法人国立環境研究所(NIES)、独立行政法人海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター(FRCGC)の合同研究チームは、2100年までの地球温暖化の見通し計算を行いました。その結果は「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」においてシナリオ作成に大きく貢献しています(図1)。

また、2005年には地球シミュレータセンターの複雑性シミュレーション研究グループが台風上陸120時間前の進路予測シミュレーションを僅か1.5時間で計算することができる台風シミュレーションを開始し、情報提供を行っています(図2)。

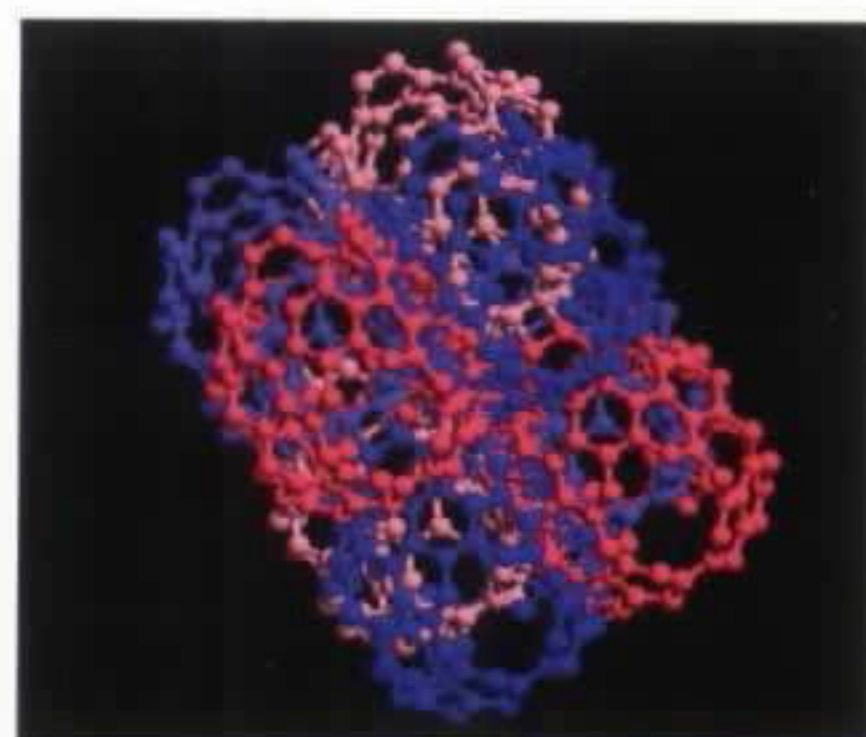
これらのシミュレーション結果は環境対策や防災に大きく貢献することが期待されており、社会的インパクトの大きい研究成果を産み出しています。

また、地球シミュレータの共同研究では、自動車の衝突シミュレーション、白金を使わない燃料電池開発、硬度の高いカーボンナノダイヤモンド開発(図3)、テラヘルツ発信装置開発、原発機の耐震性向上等に利用されるなど、企業の研究開発にも貢献しています。



台風の進路予測シミュレーションの結果(図2)

出所：地球シミュレータセンター提供資料



カーボンナノダイヤモンドの
スーパージャングルジム構造(図3)

出所：高度情報科学技術研究機構 朴魯政
(Park Noejung) 提供資料

6 未来に向けて

スーパーコンピュータが作る未来

スーパーコンピュータの演算性能が大幅に向上すると私たちの生活にはどのような影響があるのでしょうか。

例えば、現在、創薬の研究にはスカラ型プロセッサのスーパーコンピュータがシミュレーション結果から薬剤の候補を抽出するなどの利用がされています。一方で、専用計算機では薬剤の設計が、医療応用の現場ではベクトル型プロセッサのスーパーコンピュータが生体シミュレーションを実施し、薬の効き目などを調べています。

演算性能の向上と複合的プロセッサを持つシステムが開発されれば、遺伝子から生体レベルまで統合化されたシミュレーションが短時間で実行可能になり、患者一人一人にあった医療、「テーラーメイド医療」が実現することになります。

また、製造業等の開発現場では、これまで別々に行っていた製品設計、素

材探索、製品安全性評価などのシミュレーションを統合することにより、製品開発の時間を大幅に短縮することができ、競争力の強化に結びつきます。

しかしながら、スーパーコンピュータの国内市場規模は、大型汎用機がワークステーションに代替されてきたため、年々縮小しています(図参照)。世界最高性能のスーパーコンピュータを製造することは民間だけでは不可能と言えます。

政府調達へのイノベーションへの効果

欧州のイノベーション政策の最新レポートである AHO レポート^{※4}では、イノベーションフレンドリーなリード市場という概念が提言されています。また、米国のイノベーション創出の源泉として SBIR 制度^{※5}が注目されています。

これらの政策は政府調達によって初期需要を創出し、かつ、市場が形成されるまでの間、政府が補助的な役割を果たしていると考えられます。特に、米

国では軍需によるハイスペック部品の一定規模の購入が、その後の民生用部品開発への大きな役割を果たしていると言われています。

その他、高性能の機器の開発(例えば、電子顕微鏡)とその廉価版による新市場の形成など、いわば、フラッグシップモデルを政府が購入することによって市場化への橋渡しを行い、企業はその間、技術開発とコスト低下を進め、結果として、裾野の広い新市場を形成するという効果が政府調達には認められます。地球シミュレータの開発終了後、NEC は SX8 という汎用型高性能計算機で世界のスーパーコンピュータ市場を席巻しました。

科学技術振興機構研究開発戦略センター(CRDS)の戦略プロポーザル「科学技術イノベーションの実現に向けた提言」では、イノベーション指向型の政府調達システムについて次のように提案しています。

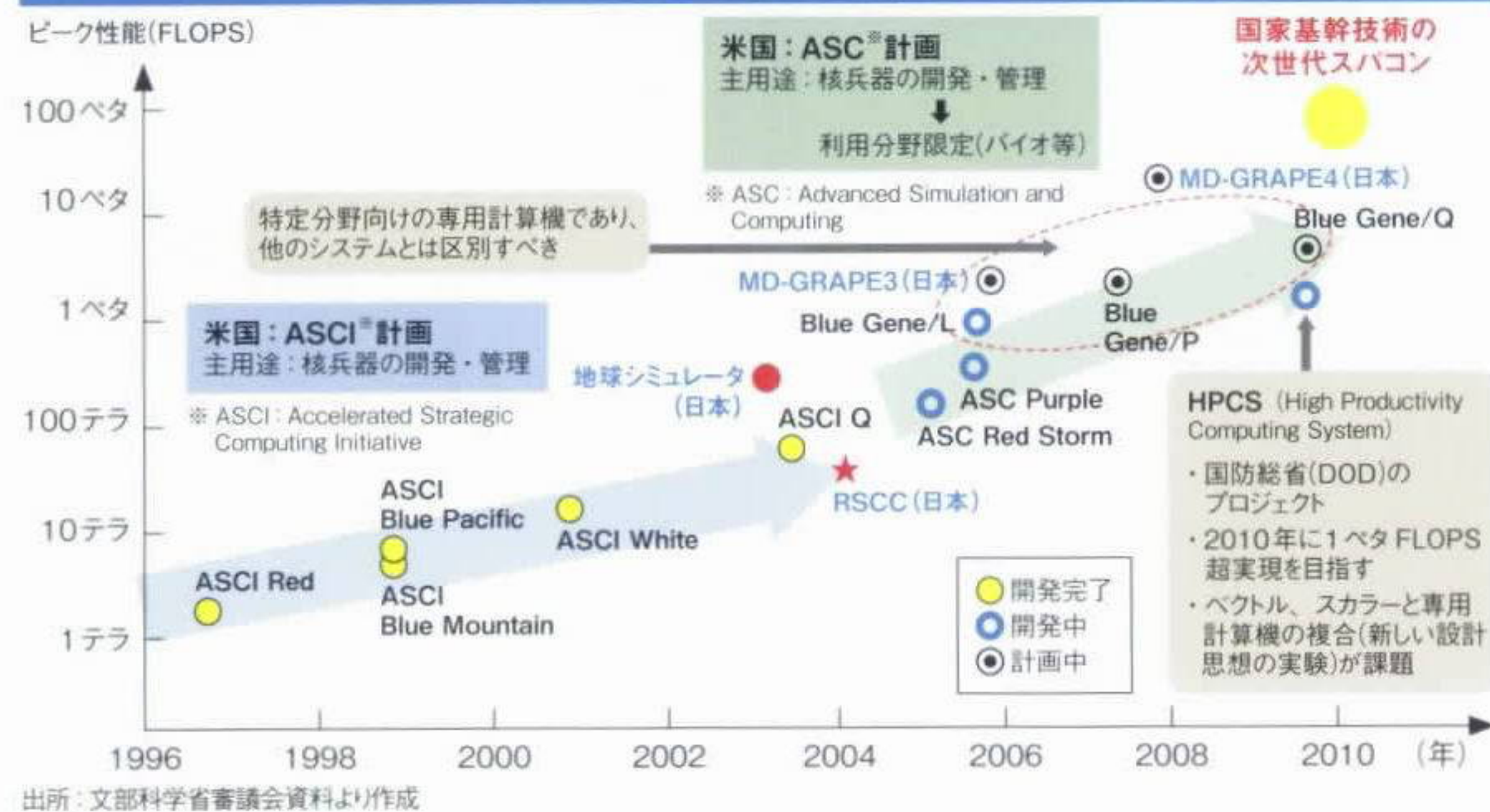
- ①調達にあたっての参加機会の拡大
入札資格の審査基準の改正を通じて、研究開発型ベンチャーなどの新たな技術を採用します。
- ②評価基準の見直し
ハイスペックなプロトタイプの調達を実現するために、「目標仕様」を導入します。
- ③省庁横断の仕組みづくり
社会的インパクトの大きい新技術については、知識・情報ネットワーク組織を設置し、調達専門機能の充実を図ります。

また、具体的な政策の提言としては、WTO の自主的措置を見直して、研究開発に対する政府調達の拡大を提案しています。

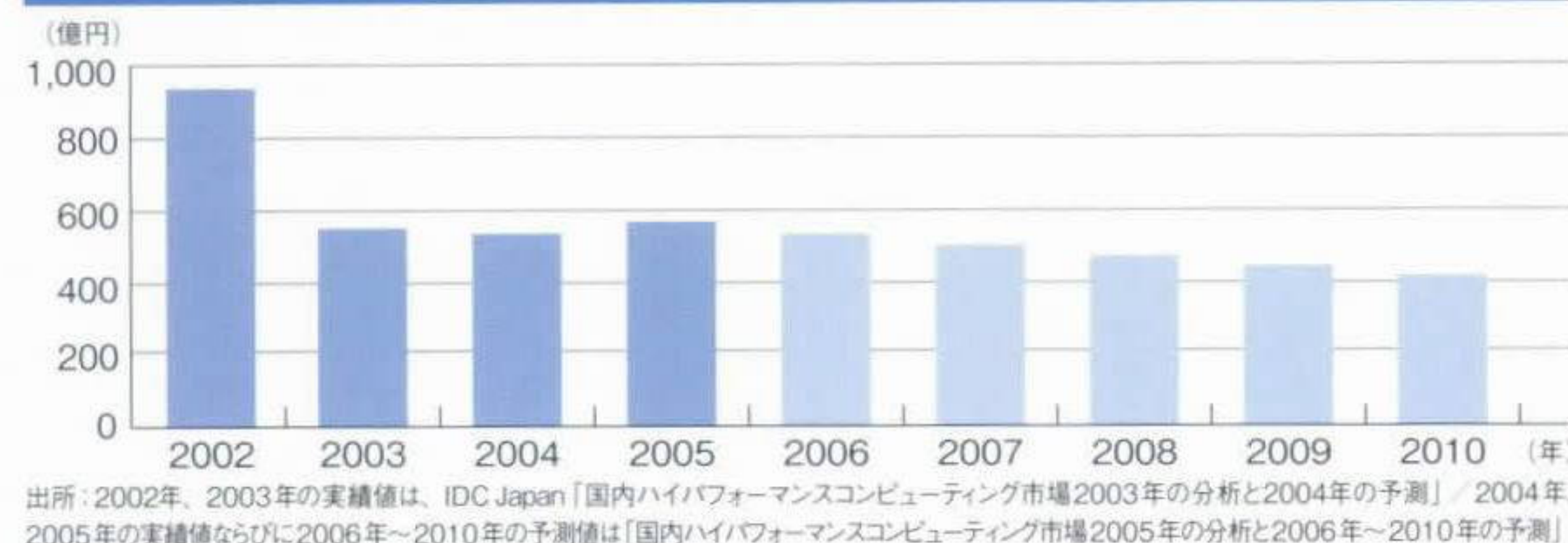
※4 | フィンランド元首相である AHO 氏が欧州委員会に提出した RTD とイノベーションに関するレポート。イノベーション政策としての政府調達の重要性を訴えている。

※5 | SBIR (Small Business Innovation Research) : 米国の中小企業の研究開発と事業化を促進する制度。

スーパーコンピュータの演算性能と開発計画



国内における高性能コンピュータ(HPC)サーバーの市場規模の推移



6 宇宙開発

国家基幹技術

1 はじめに

我が国の宇宙開発の経緯

1955年4月、東京国分寺である公開実験が行われました。糸川英夫博士(東京大学教授)によるペンシルロケットの水平試射実験です。

当時、打上げたロケットをレーダーによって観測する技術がなかったために、糸川博士は水平に発射することを思いつき、ロケットの速度・加速度、ロケットの重心や尾翼の形状による飛翔経路のずれなどの本格的な飛翔実験のためのデータを得ることに成功したのです。

我が国の宇宙開発はこのたった23cmの小さなペンシルロケットからスタートしました。

その後、1964年に東京大学宇宙航空研究所が発足し、1970年には我が国で初めて人工衛星「おおすみ」の打上げに成功しています(ソ連、米、仏に次いで世界で4番目の成功事例)。1984年に宇宙科学研究所(ISAS)に改組され、大学共同利用機関として宇宙航空研究の拠点となりました。

また、1969年には宇宙開発事業団(NASDA)が発足し、内閣総理大臣が定める宇宙開発基本計画に基づいて人工衛星の開発ならびに打上げ、追跡などを行ってきました。NASDAではより実用的な宇宙開発利用のために、米国から液体燃料ロケットの技術導入を受け、宇宙輸送システムの研究開発を実



糸川英夫博士と
ペンシルロケット
出所：宇宙航空研究開発機構
(JAXA) 提供資料

施してきました。

2003年10月にISASとNASDA、さらに、航空宇宙技術研究所(NAL)が統合し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が発足しました。現在我が国の宇宙開発はJAXAが一手に担っています。

2 発見

ロケットの原理

ロケットの推力の原理は、すべての作用と反作用はたがいに等しいというニュートンの第3法則(作用反作用の法則)にもとづいています。(図1)

また、ロケットの性能は、ツィオルコフスキーの公式で表すことができます。

ロケットの最終到達度＝

噴射ガスの速度×Log(推進剤込みの
ロケット質量/ロケット本体だけの質量)

この式からロケットを最終的に高速に加速するには、噴射ガスの速度が大きい、または、本体を軽くして中に推進剤を一杯積み込むという方法が望ましいことが分かります。

ロケットの推進方式

化学ロケットの推進剤は燃料と酸化剤からなります。燃料と酸化剤の両方が

固体の場合を固体燃料ロケット、液体の場合を液体燃料ロケットと呼びます。

固体燃料ロケットはロケット本体が燃焼室を兼ねていて部品数が少ないため、構造が簡単で安価に製造でき、長期保存も可能というメリットがある一方で、大型化するには本体に占める燃料比重が大きくなり、比推力が劣るという性質があります。

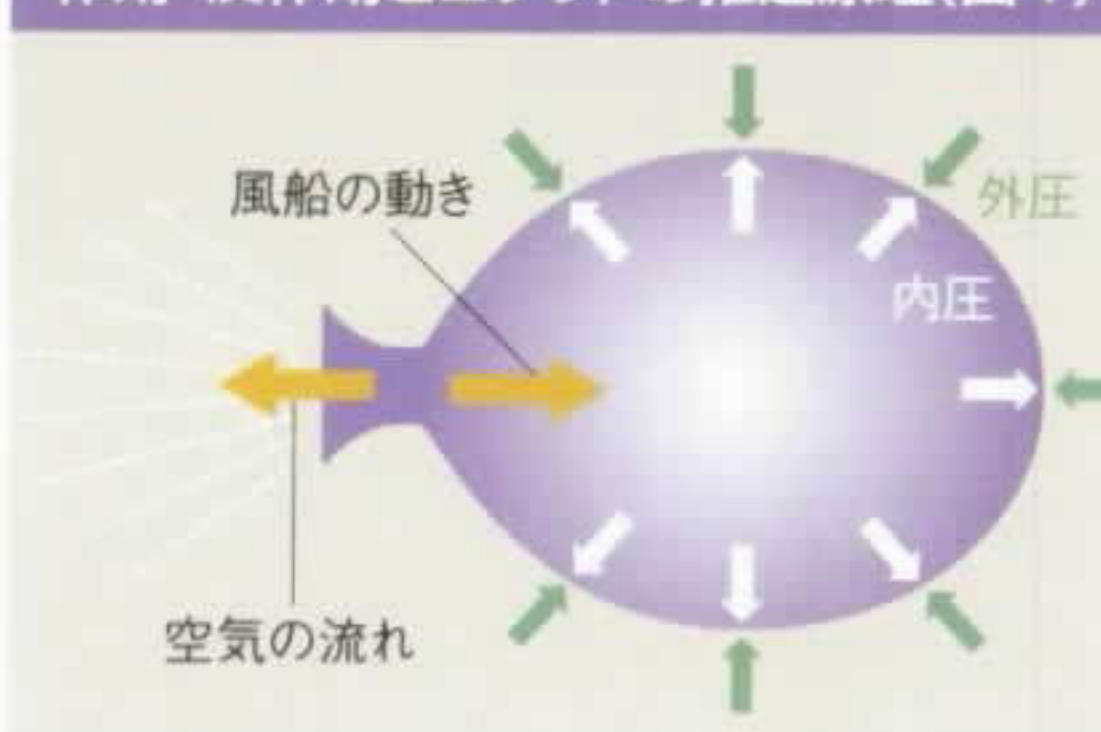
固体燃料ロケットは基本的にミサイルと同じ技術です。我が国はM-V(ミューファイブ)で世界有数の固体燃料ロケット技術を保有していますが、軍事利用につながるため、他国への技術供与は一切せず、科学衛星などの小型の衛星を打上げるロケットにこの方式が採用されています。

一方で、液体燃料ロケットは比較的重量の大きい衛星等の打上げに使用されています。我が国は米国から導入し

た技術を発展させ、液体水素(燃料)と液体酸素(酸化剤)の組み合わせの液体燃料ロケットの開発を推進してきました。この方式のロケットは高度な燃焼制御技術を必要とするため、米国のデルタ4、日本のH-IIA、欧州のアリアン5しかありません。

現在、我が国の主力大型ロケットであるH-IIAは打上げ重量に対するコストパフォーマンスがもっとも高いものとなっています。

作用・反作用とロケットの推進原理(図1)



出所：政策科学研究所作成資料

3 概念の証明

宇宙開発は国家基幹技術

国産ロケット H-IIA シリーズの打上げ成功により、宇宙開発は新しい段階に移行しました。

2001年に定められた「宇宙開発に関する基本計画」では、“宇宙開発は既に通信、放送、測位、地球環境観測、天気予報、災害の監視、資源探査、情報収集等の分野において、公共サービスの提供や商業利用を行う段階に入った”とあります。

つまり、宇宙開発が基礎研究や国際協力に重点が置かれていた段階から、産業基盤形成や安全保障のための国家基幹技術として位置づけられるようになったのです。

国家基幹技術とは、「国が主導する一貫した推進体制の下で実施され、世

界をリードする人材育成に資する長期的かつ大規模なプロジェクトにおいて、国家の総合的な安全保障の観点も含め経済社会上の効果を最大化するために基本計画期間中に集中的に投資すべき基幹技術」と第3期科学技術基本計画で定められています。

宇宙開発の場合、現在では人工衛星を打上げる技術は当たり前のものとして受け止められていますが、燃料方式や人工衛星(ペイロード)の異なる様々なタイプのロケットが利用目的に応じて「当たり前」のように選択、使用できる技術力を我が国が現時点で保有していること自体がイノベーションであると言えます。

今後は、宇宙産業化ならびに国家安全保障面での貢献を研究開発目的に据え、信頼性と経済性を確立することが

急務となっています。

宇宙産業時代の幕開け

JAXA が中心となり開発を続けてきた H-IIA ロケットは、2007年4月に打上げ事業主体が三菱重工へ移管され、民営となります。

現在世界では、民間の通信や放送事業者の衛星打上げ需要は年間20機程度あります。衛星打上げ費用は1機概ね80億円程度であり、年間1,600億円程度の市場規模となっています。ロケット製造などに関わる民間企業が赤字を出さずに、ロケット製造基盤を維持するには、年間3機程度の受注が必要です。これに向けて機体製造などのコストダウンや、公的機関の打上げによる受注への支援が予定されています。

4 技術のプロトタイプ・製品開発

H-IIA ロケットの性能

H-IIA ロケットは、H-II ロケットを開発したことで得られた技術を基に信頼性を確保しつつ、低コスト化と様々な打上げ要求に応えるため、シリーズ化を追求したロケットで、2001年から運用を開始しました。

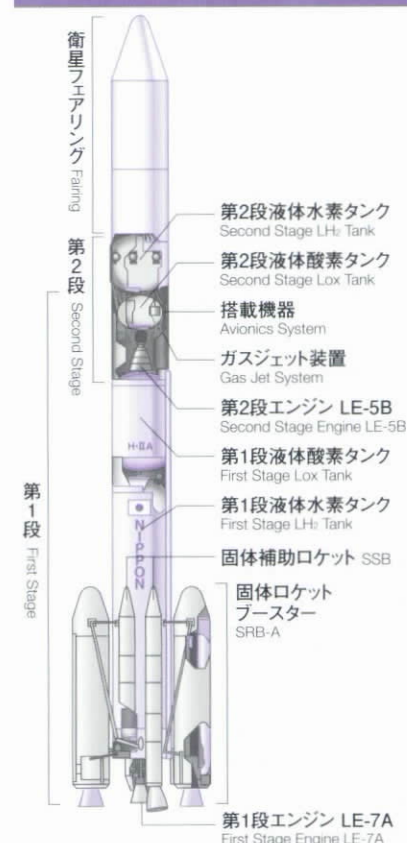
H-IIA ロケット本体は直径4m、高さ53mの円柱形で、標準機体ではその左右に高さ14.9mの改良型固体ロケットブースター(SRB-A)が取り付けられており、打上げ時からほぼ真空になる高度までの加速を補助します。

H-IIAの標準型は静止トランスファ軌道(赤道上約36,000km上空)に約4t

の衛星を打上げる能力があります。現在固体ロケットブースターを4本にすることで、打上げ能力を約6tにまで増やした H-IIA 204 型を開発しています。さらに、第1段の直径を5mにして、エンジンを2基装備した H-IIB (H-IIA 能力向上型から名称を変更)を計画しています。

本体はロケットの第1段、第2段と衛星フェアリングの3つの部分に分かれています。第1段ロケットには、H-IIの LE-7 エンジンを改良した LE-7A エンジンを使い、第2段には H-II の LE-5A エンジンを改良した LE-5B エンジンを使っています。

H-IIA 204の構造



出所：宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 提供資料

活躍する人工衛星

我が国はこれまで様々な人工衛星（約120機）を打上げ、そのうち地球観測衛星からは地形、海洋、大気の様子、生物の分布などを読み取り、地上のモニターに刻々と解析画像を映し出しています。

人工衛星からの画像データを元に、地球環境の把握や、気象メカニズムの解明、災害対策への貢献などがなされており、我々の生活において人工衛星はいまや欠かせない存在となっています。

2001年から運用されたH-IIAシリーズによって、これまで20機の人工衛星が打上げられました。近年は今後の宇宙産業化を見据えた重要な人工衛星がいくつも打上げられています。

2006年1月24日に打上げられた陸

域観測技術衛星「だいち」（ALOS）は世界最大の地球観測衛星です。地表の基準点などの情報に頼らずに2万5千分の1の地図作成ができる地形データ収集を行えるセンサを搭載しており、アジア太平洋地域の地図の作製・更新に役立つばかりか、災害時の地形情報等もすぐに調査することができます。

2006年2月18日に打上げられた「ひまわり7号」（MTSAT-2）は従来の気象衛星としての機能の他に、航空管制機能を持った運輸多目的衛星です。気象衛星としての機能向上もさることながら、次世代航空保安システムを装備し、測位衛星と通信衛星、最新の通信技術を利用して、過密状態にある北太平洋ルートの航空交通の安全性向上、交通容量の拡大、経済性改善などが計られています。

2006年12月18日にH-IIAロケットで打上げられた技術試験衛星VIII型「きく8号」（ETS-VIII）は、世界最大のパラボラアンテナを搭載し、本州全土をカバーした移動体通信が可能です。本格運用されれば、地上局を必要としない日本全国をカバーできる移動体通信網を実現できます。災害時にも携帯電話のバッテリーさえあれば通信が可能なシステムを構築できます。

また、2007年2月24日に打上げられた情報収集衛星（IGS）によって、光学衛星とレーダー衛星による監視が可能となり、我が国の安全保障上の情報収集体制が確立しました。1998年8月31日に北朝鮮から発射された飛行物体について米国の情報提供で判断せざるを得なかった状況から、自前で情報収集できる段階へと移行したのです。

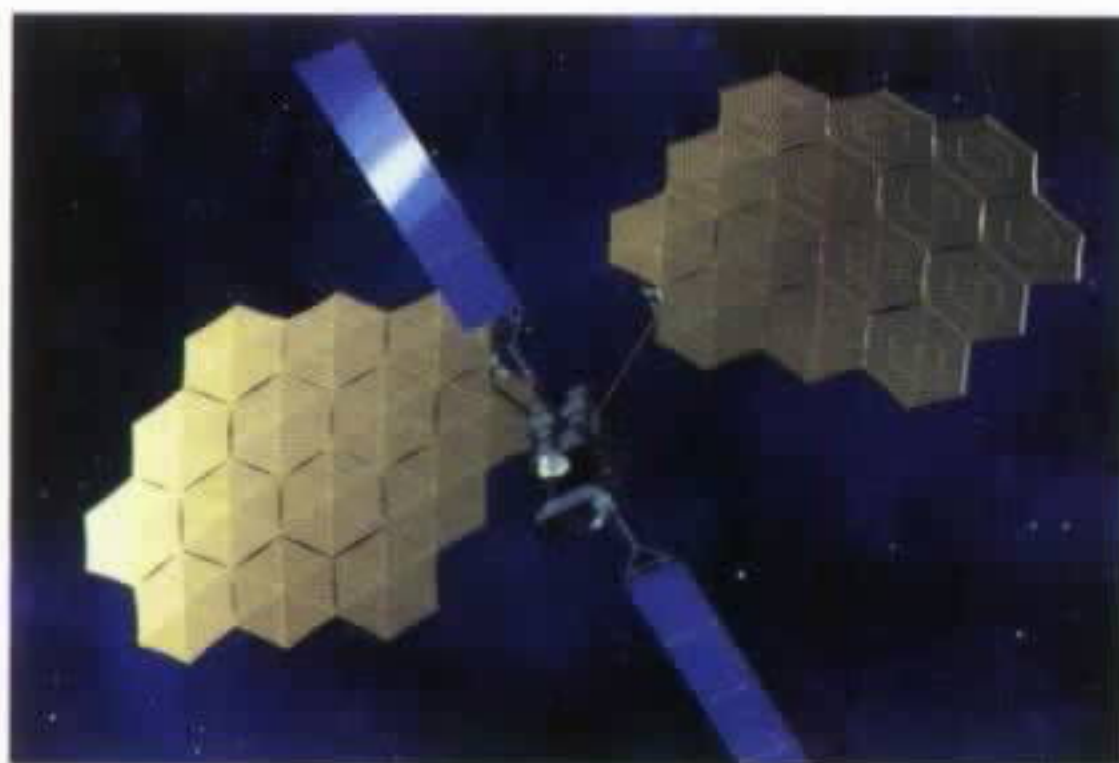
このように、人工衛星は私たちの生活に密接に結びついたインフラとして機能しており、様々なサービスを提供しています。

我が国ではスーパー301条問題^{※1}を契機に締結された1990年の日米衛星合意により、政府等の非研究開発衛星は国際競争入札で調達することになっています。今後は打上げ費用や人工衛星の開発費用を下げる努力と、公共サービスと商用サービスの共存を図るような用途の多目的化が必要とされています。

※1 | 米国の「包括通商・競争力強化法」（1988年施行）の対外制裁に関する条項の一つ。米国が不公正な貿易慣行や輸入障壁があると判断した場合に、相手国に対して改善を要求し、3年以内に改善されない場合は報復として、関税引き上げを実施するという条項。

H-IIAシリーズ打上げ実績			
号機	形式	打上げ日	ペイロード
12号機	H-IIA 2024	2007/2/24	情報収集衛星
11号機	H-IIA 204	2006/12/18	技術試験衛星VIII型「きく8号（ETS-VIII）」
10号機	H-IIA 202	2006/9/11	情報収集衛星
9号機	H-IIA 2024	2006/2/18	運輸多目的衛星新2号「ひまわり7号（MTSAT-2）」
8号機	H-IIA 2022	2006/1/24	陸域観測技術衛星「だいち（ALOS）」
7号機	H-IIA 2022	2005/2/26	運輸多目的衛星新1号「ひまわり6号（MTSAT-1R）」
6号機	H-IIA 2024	2003/11/29	情報収集衛星 ※SRB-Aの1本の分離ができず、高度および速度が不足することから指令破壊された。
5号機	H-IIA 2024	2003/3/28	情報収集衛星
4号機	H-IIA 202	2002/12/14	環境観測技術衛星「みどりII（ADEOS-II）」 小型実証衛星「マイクロラブサット1号機」 鯨生態観測衛星「WEOS」 豪州小型衛星「Fed Sat」
3号機	H-IIA 2024	2002/9/10	データ中継技術衛星「こだま（DRTS）」 次世代型無人宇宙実験システム「USERS」
試験器2号機	H-IIA 2024	2002/2/4	民生部品・コンポーネント実証ミッション「つばさ（MDS-1）」 H-IIAロケット性能確認用ペイロード3型「VEP-3」 DASH（高速再突入実験機）
試験器1号機	H-IIA 2024	2001/8/29	レーザ測距装置「LRE」 H-IIAロケット性能確認用ペイロード2型「VEP-2」

出所：宇宙航空研究開発機構（JAXA）提供資料



きく8号の軌道上想像図

出所：宇宙航空研究開発機構（JAXA）提供資料



ひまわり7号の軌道上想像図



だいちの軌道上想像図

6 未来に向けて

宇宙開発の経済社会的効果

現在、宇宙産業というべき産業群は明確に定義できませんが、宇宙開発の成果を利用した産業群は多岐にわたっています。経済産業省の審議会「航空宇宙産業分科会」の資料によれば、宇宙産業は次のような分類が可能です。

宇宙機器産業：ロケット等の飛翔体や地上施設等の製造を行い宇宙活動の基本的システムを提供する産業。

宇宙利用サービス産業：宇宙インフラを利用して通信・放送、測位サービス並びにリモセンデータ等を提供する産業。

宇宙関連民生機器産業：宇宙利用サービス産業が提供する各種サービスを利用するために必要となるハードウェアを製造する産業。

ユーザー産業群：宇宙利用サービス産業から提供される各種サービス等を利用することによって自らの事業の効率化及び差別化等を行っている事業者群。

2003年度の推計では、宇宙機器産業の市場規模が2,407億円、宇宙利用サービス産業が6,314億円、宇宙関連民生機器産業が7,046億円、ユーザー産業群が26,786億円となっており、合計で4兆円強の産業となっています。

2015年の将来予測では全体で9兆円弱の市場規模となり、裾野であるユーザー産業群と宇宙関連民生機器産業が大きく伸びると予想されています。

産業面ではなく、宇宙開発がもたらす国民の便益を推計した事例もあります。JAXAがアンケート調査により推計した国民の宇宙開発に対する支払意思額の結果では、産業への貢献よりも社会生活への貢献が高く評価されています。天気予報の精度向上など、宇宙開発の成果を身近に感じる機会が増えたことが理由として考えられます。

現実となった宇宙旅行

2004年、民間のパイロットが民間資金で製造された「宇宙船」スペースシップ

ワンに乗り込み、宇宙空間の入口とされる高度100kmに到達に成功して以来、商業有人宇宙輸送の計画が本格化してきました。英国のヴァージン・ギャラクティック社は乗客6名が搭乗できるスペースシップ2の開発を進めており、2008年には乗客を乗せての観光旅行を行う予定で、すでに多くの旅行希望者が予約をしています。

我が国においても旅行会社が宇宙体験弾道飛行から月旅行までの商品を発表するなど、宇宙旅行への高い関心が寄せられており、今後国内でも宇宙旅行が民間のビジネスとして急成長する可能性が見えてきました。



スペースシップ 2

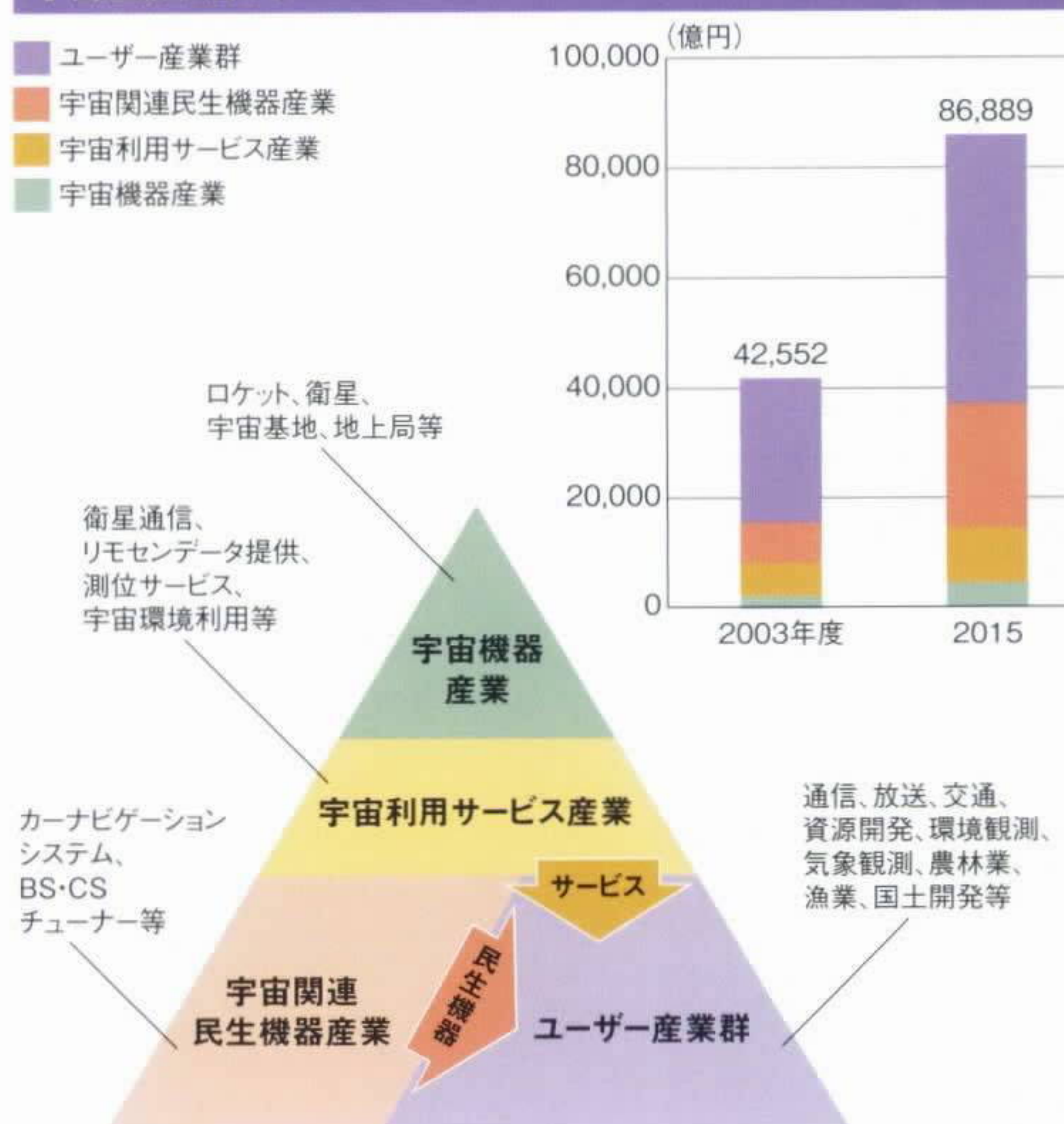
出所：ヴァージン・ギャランティック社Webサイト
http://www.virgingalactic.com/

宇宙開発の社会経済便益

	支払意思額 (年間:円/人)	総便益評価額 (年間:億円)
社会生活への貢献(1,181億円)		
天気予報の精度向上等	1,363	513
衛星テレビ・衛星中継等	919	346
災害・資源・地球管理等の把握・管理等	855	322
産業への貢献(773億円)		
先端技術の保有、科学技術レベルの向上	763	287
独自性および自在性の確保	682	257
先進的技術による産業活性化	609	229
国際社会への貢献(412億円)		
地球規模の環境問題の解決への貢献等	1,093	412
学問・教育への貢献(389億円)		
火星・月などの探査、天文観測等の先端学問等	547	206
理科教材への利用、宇宙への興味の喚起	486	183
個人の気持ちの充足への貢献(290億円)		
未知の現象の発見・自国技術への誇り等	409	154
日本人宇宙飛行士の活躍等による感動体験等	360	136

出所：宇宙航空研究開発機構(JAXA)資料「我が国の宇宙開発利用による社会・経済波及効果について」より

宇宙産業の広がり



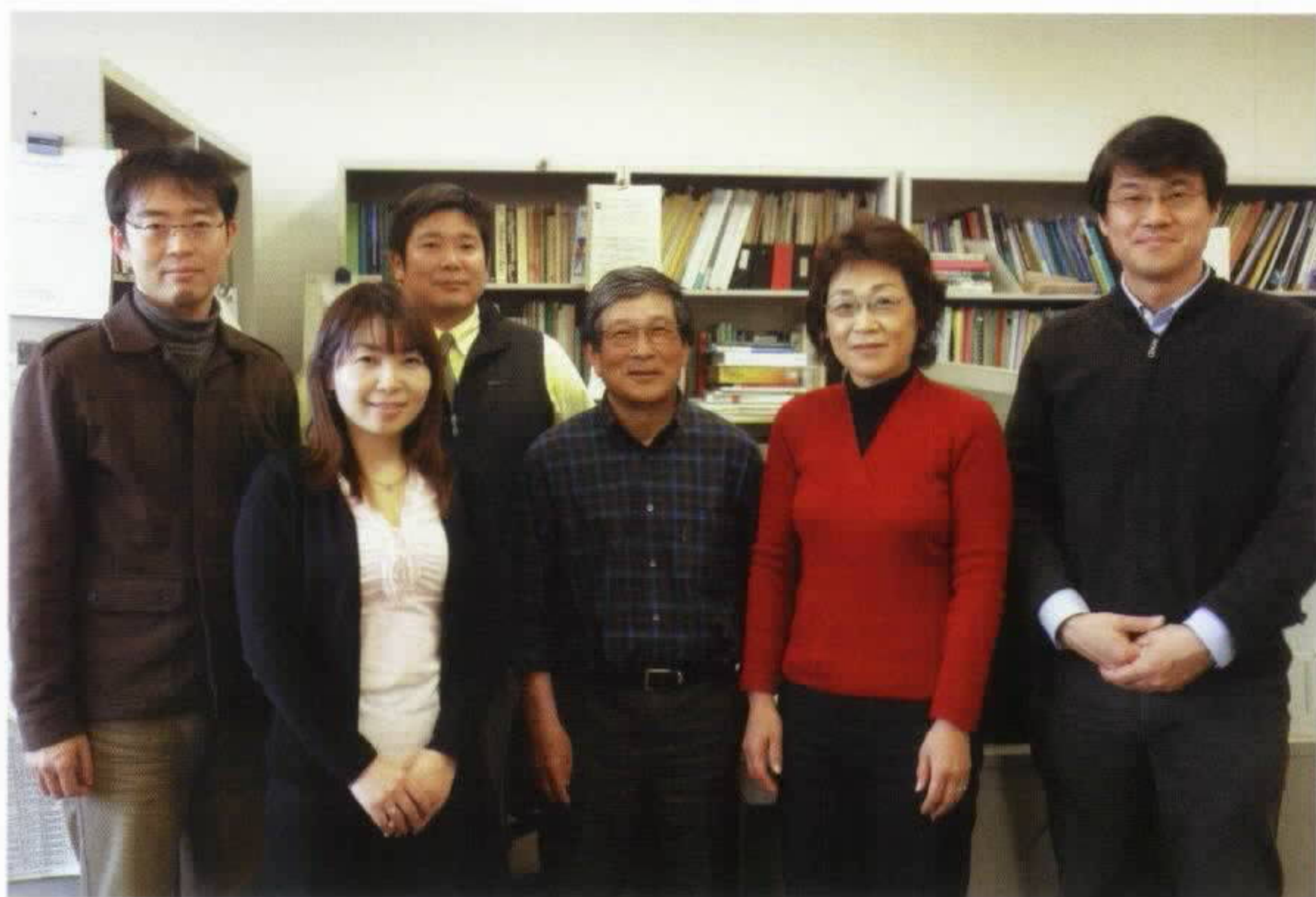
出所：経済産業省審議会「航空宇宙産業分科会」資料より

1

はじめに

独立行政法人防災科学技術研究所防災システム研究センター災害リスクガバナンス研究チームのプロジェクトディレクターである長坂俊成 主任研究員を中心としたメンバーによって進められている研究のひとつは、地域防災力を高めるために地域コミュニティでは普段からどのような社会関係を結んでいけばよいかというものです。

メンバーの専門は、地震、水害等の自然災害を対象とした防災の研究分野だけでなく、リスクコミュニケーションやリスク評価、公共政策学、社会学、空間情報科学、地域コミュニティ、地域計画、ボランティアなど様々な研究分野にまたがっています。



独立行政法人防災科学技術研究所防災システム研究センター災害リスクガバナンス研究チームの皆さん（左から、臼田研究員、竹内アシスタント、増田研究員、池田客員研究員、川村アシスタント、長坂主任研究員 写真の他研究員、客員研究員等約15名がプロジェクトに参画しています。）

2

発見

eコミュニティの原型

eコミュニティはコミュニケーション空間であり、その原型はネットコミュニティであるパソコン通信や電子掲示板にさかのぼることができます。商用のパソコン通信サービスは、国内では1980年代半ばから提供されてきました。

パソコン通信サービスでは、掲示板、チャット、メール、電子会議室などの機能が提供され、利用者はネット空間のなかでメッセージのやりとりをしました。そうした交流から会員の間一体感、連帯感が芽生え、ネット空間に同じ関心で結びつく多くのコミュニティが産まれました。また、それは対面のコミュニティ空間にもつながり、現実の世界の一部となってきました。

eコミュニティの構築

現在ではインターネット環境が充実し、視覚的にも進化させた形でコミュニティを構築することができるようになっています。

現在構築されているeコミュニティは地域のポータルサイトとして構築されています。ポータルサイトとは検索エンジンやリンク集を中心としたウェブサイトで、「入り口」(portal)の役割を果たします。

eコミュニティでは地域情報の提供だけでなく、利用者が画面をクリックして情報を入手しながら、その体験を蓄積したり、新たに情報を付け加えたりすることで、地域の中に新しい活動が産まれることが期待されています。

eコミュニティにできること

eコミュニティでは何ができるのでしょうか。

例えば、パソコンや携帯電話を利用して、インターネット上のホームページに誰でも簡単に文書や写真、動画、音声などを投稿したり、閲覧、交換することができます。個人の日記やグループ活動記録、地域のイベント情報、町内会のお知らせなどを発信できます。個人やグループのページでは自分のグループの地図を作成できます。また、他人の地図や行政の提供するハザードマップなど自分の地図に重ねてみることもできます。

こうした情報共有が経験の共有につながり、お互いへの信頼が増していくのです。

3 概念の証明

地域防災からリスクガバナンスへ

地域防災の研究から、地域の防災力を向上させるためには、地域コミュニティのあり方が重要であることがわかってきました。地域防災力には次のような多くの課題があります。

- ①少子・高齢化、都市化による地域コミュニティの脆弱化
- ②自主防災組織の形骸化・平常時の防災活動のマンネリ化
- ③災害文化の継承が困難（被災経験、ヒヤリハット、地域固有の対策）
- ④行政や専門家の防災情報が地域で活用されていない
- ⑤想定を超える大規模災害への共助の備えが不十分
- ⑥自治会、自主防災組織、災害ボランティア、防災NPO、企業市民、行政等の平時の連携とネットワークづくり

⑦活動圏域、相互援助を考慮した広域連携とそれを支える情報共有のしくみづくり

これからの地域防災には、地域の多様な主体の協治により災害リスクの軽減を図るという「リスクガバナンス」の考え方がますます重要になると考えられます。

eコミュニティによる社会イノベーション

こうした課題を解決するために大切なのは、平時の地域社会に形成される多様な社会関係であり、地域防災に必要なのは、この社会関係の力（社会関係力）なのです。

eコミュニティを活用することで、地域の社会関係力を強化することができますと考えられます。

たとえば、静岡県島田市の大津地区では、町内の住民活動や安全安心に関する情報を収集し共有したいというニー

ズがありました。

島田市には「eコミュニティしまだ」という地域情報ポータルサイトが運用されています。同地区の住民の有志はこのサイトの機能を活用し、フィールドワークなどを通じて、地域住民から情報を寄せてもらい、住民参加型のハザードマップづくりを行いました。

さらにこのハザードマップにランドマークを加える活動や、被害情報の収集訓練、災害ボランティアの案内用地図として利用する活動が生まれ、参加による経験の共有が地域住民の社会関係を厚くすることにつながり、地域防災力を高めることができたのです。

※1「ヒヤリとしたこと」、「ハットしたこと」の意味。別の言葉で「インシデント」とも言う。インシデントとはアクシデント（＝「事故」）ではなく、「事故にはならなかったが事故に至る可能性があった潜在的事例」のこと。

4 技術のプロトタイプ・製品開発

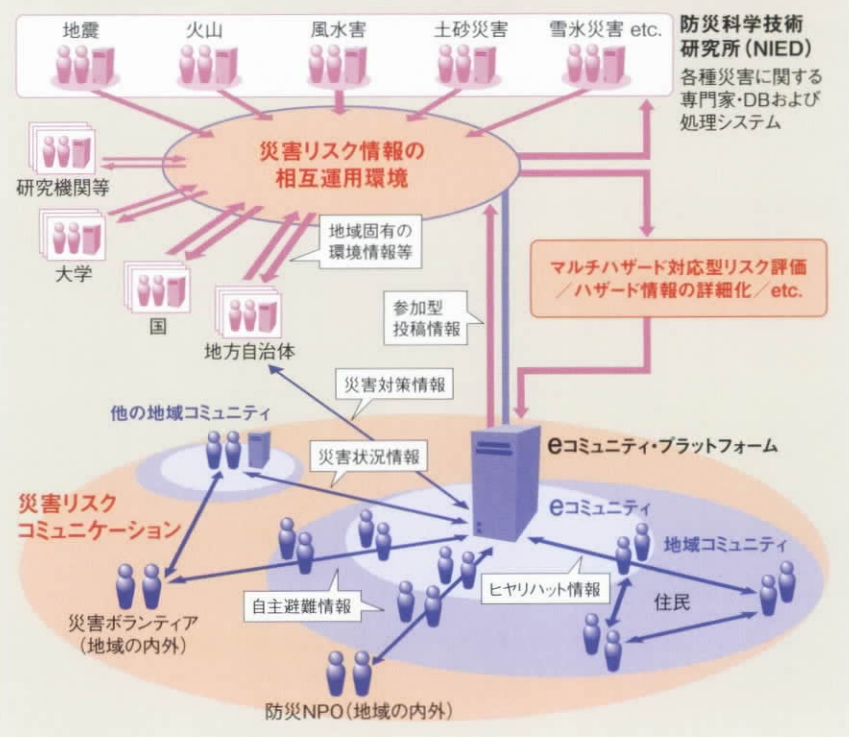
eコミュニティの活用事例

eコミュニティしまだの活用事例をさらに推し進めていくと、様々な技術と情報を組み合わせて、地域の防災力を向上させることができます。

たとえば、地理情報システム（GIS）に地域住民から収集した危険情報を反映させたり、携帯電話端末を活用して、災害情報の配信、収集を行ったりすることが技術的に可能です。

個々の技術が発達して高度な機能を実現していますが、ここで大切なのは様々な技術がシステムとして機能するということです。地域防災には住民一人一人の協力が欠かせませんし、その基盤となるのが地域コミュニティの「社会関係力」なのです。

災害リスク情報の相互運用とeコミュニティ



出所：防災科学技術研究所（NIED）提供資料

「eコミュニティにハザード情報を

神奈川県藤沢市には「ふじさわ電縁マップ」というeコミュニティがあり、住民が藤沢の観光名所や散策コース、バリアフリー情報、グルメ情報などを地図情報として公開しています。

このサイトではレーダーによる高精度の降雨量の情報を利用して、10m×10m単位の浸水位や水害危険度の情報をリアルタイムで配信する試みを行いました。

ここでも地域住民の協力は欠かせません。住民による被害調査を行うほか、過去の経験知を掘り起こして情報化し、地域内の危険情報を整備していきます。

リアルタイム浸水被害予測システム

(あめリスクナウ)とeコミュニティ(ふじさわ電縁マップ)とはもともと別のシステムですが、「分散・相互運用技術」を用いてそれらを結びつけて、さらに地域住民の収集した被害情報を反映すれば、公民連携による地域防災活動(リスクガバナンス)の情報基盤として大きな威力を発揮します。

子どもも参加して情報収集

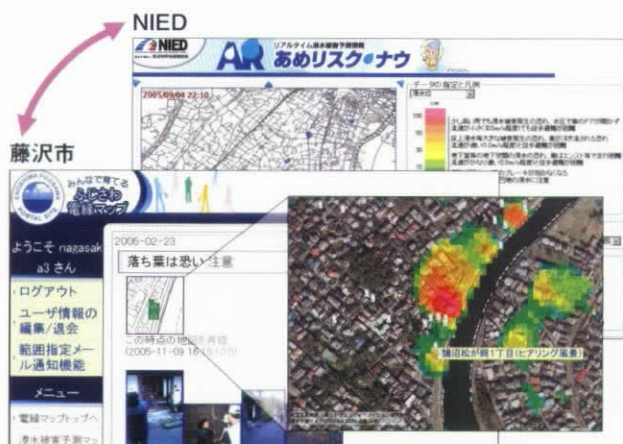
藤沢市の片瀬地域では少年少女を対象に防災ワークショップを開催しました。成果は防災教育の効果だけでなく、津波の避難場所に指定されているマンションのオートロックの問題など、大人では気がつかないような課題を子どもたちの視線で見えてきたことです。

災害時の情報収集と配信

災害時には被災住民や災害救援ボランティアから様々な情報が投稿されます。各種メディアが協力して配信する仕組みが必要です。

また、投稿された災害情報を整理・集約しないと、災害時に貴重な情報が活かされないケースがあります。

藤沢市ではeコミュニティに加え、コミュニティFM、衛星放送などの各種メディアを用いて、公民連携により情報を整理し適切に配信していく災害情報センター(仮称)の仕組みづくりや、そこで中心的な役割を担う災害情報コーディネーターの育成に関する研究に取り組んでいます。



eコミュニティ(電縁マップ)にリアルタイムで水害ハザード情報を配信
出所: 防災科学技術研究所(NIED)

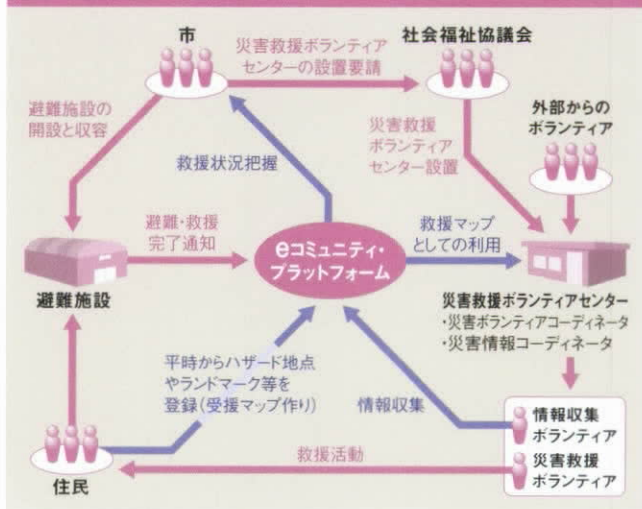


片瀬少年少女探偵団による防災ワークショップ
出所: 防災科学技術研究所(NIED)



eコミュニティしだの利用事例
出所: 防災科学技術研究所(NIED)

eコミュニティを活用した協働型防災マップづくりとその多目的利用



出所: 防災科学技術研究所(NIED)

6 未来に向けて

地域防災力は社会関係力

地域コミュニティは、地域住民の関係がどのようにつくられているかによって、機能の仕方が異なってきます。

地域防災研究の成果から、災害が発生したときに地域コミュニティに適切な対応ができるかどうかは、住民の社会関係力の強さに関係していることがわかってきました。

地域住民がどのような経験を共有し、準備をしているかで災害時の影響が異なってきます。こうした社会関係の積み重ねは、社会関係資本（ソーシャル・キャピタル）であり、積極的に評価されてしかるべきものです。

安全・安心な社会を実現するためには、ハードの技術開発もさることながら、社会関係の厚みを増やすためのソフトな技術も大切です。

eコミュニティの補完性

地域住民の地域コミュニティへの関わり方は人それぞれです。昼間は遠くの職場に通勤していて、日頃は関わり合いの少ない人も多いことでしょう。

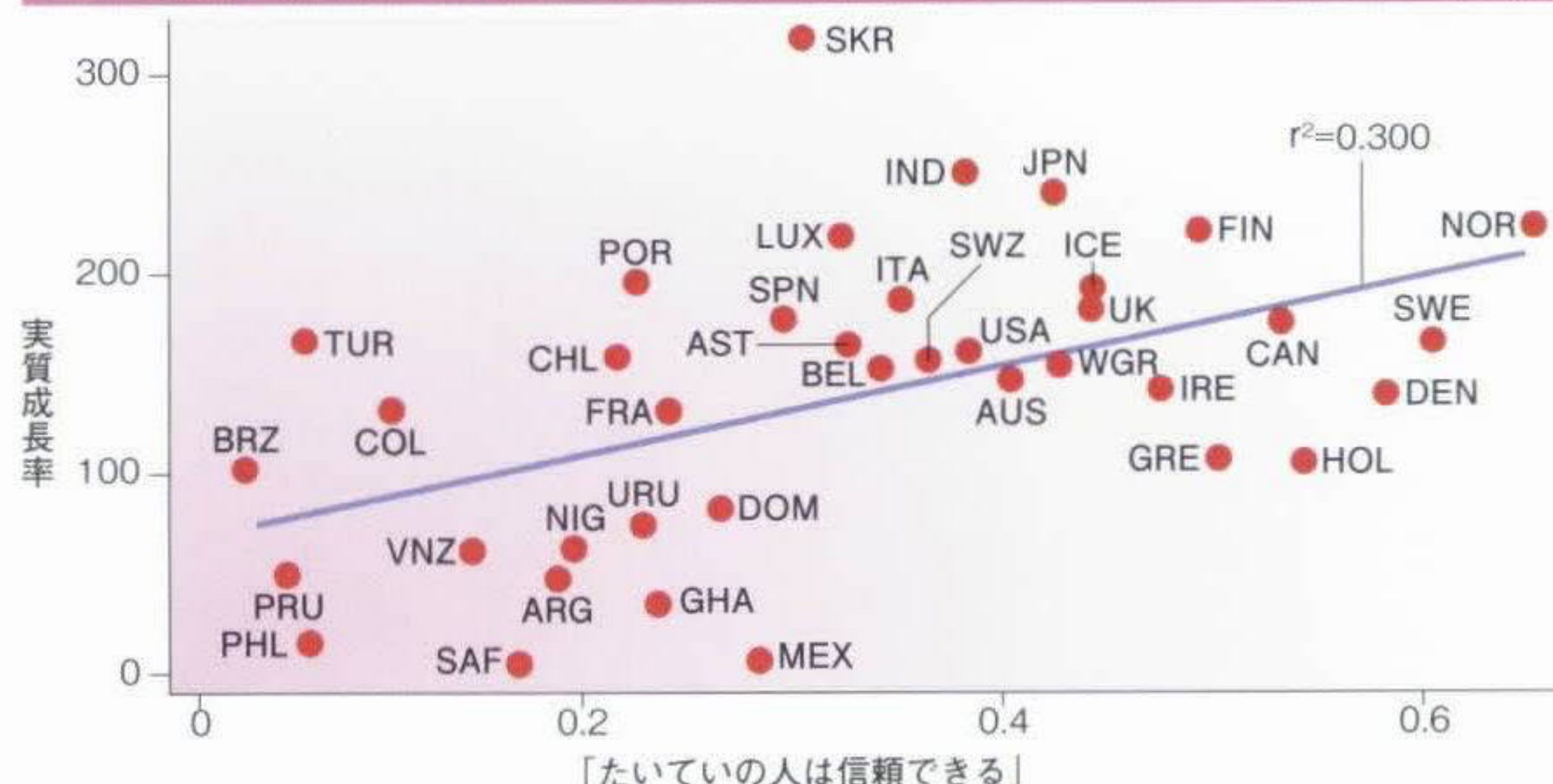
eコミュニティは現実の地域コミュニティに関わりを持ちにくい住民にとって、地域の情報を得ることができたり、発信することができたりする利点があります。eコミュニティの経験がきっかけとなって、現実の地域コミュニティに主体的に関わっていくこともあるでしょう。

eコミュニティは現実の地域コミュニティと対立するものではなく、補完的な役割を担いながら、地域コミュニティの形成を推し進めます。

eコミュニティもまた社会関係の厚みを増やす機能を有しており、ソフトな社会資本の一部だと言ってよいでしょう。

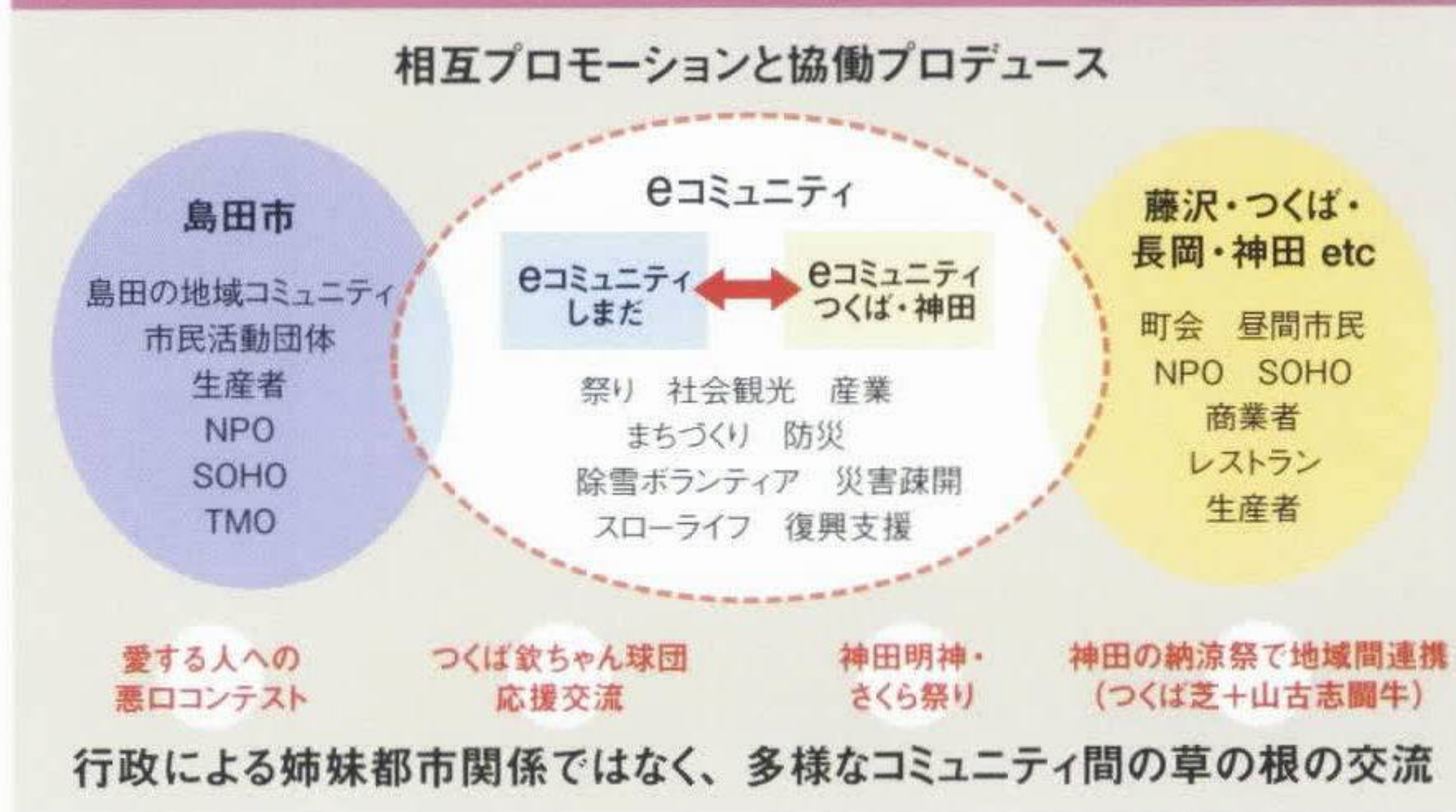
多様なコミュニケーションが信頼の源
地域の社会関係力を向上させるのは多様なコミュニケーションです。

信頼度と経済成長率の相関関係プロット



(注)世界価値観調査および国際社会調査プログラム。出所：Penn World Tables。

eコミュニティによる地域コミュニティ連携



出所：防災科学技術研究所(NIED)提供資料

島田市や藤沢市の例では、防災ワークショップの経験によって、危険情報を収集、集約しました。ありきたりな防災訓練では参加者は少なかったかもしれません。eコミュニティを活用し、地域住民が主人公として主体的に関わる仕組みを用意したからこそ、住民の潜在的能力が発揮され、多様なコミュニケーションが展開されたのです。

じつはこうしたコミュニケーションの輪は一つの地域のなかにとどまりません。様々な地域のeコミュニティが連携すれば、地域防災の情報を教えあうことができます。そこでは行政区域を越えた地域間の支えあいや協働の可能性が広がります。これも広い意味のリスクガバナンスの向上です。

eコミュニティによる社会イノベーションの実現

eコミュニティの活用事例では、様々な技術を組み合わせて活用し、地域の社会関係力を引き出しながら、地域防災力を向上させることができました。

社会関係力は社会への信頼度と置き換えてもよいでしょう。信頼度と経済成長には相関関係があることがわかっています。eコミュニティを活用することで行政区域や物理的な距離を越えた協働の可能性も見えてきました。こうした動きは地方分権、地域再生が課題となる中で、より良い社会への変化をもたらしていると言えます。

eコミュニティの活用はより良い社会への変化(社会イノベーション)だけでなく、経済成長にも貢献するものです。

今後の課題と挑戦

ここでは、ここまでの事例を総括して、イノベーション事例から得られるインプリケーションをまとめてみたいと思います。

事例から得られるインプリケーションは大きく次の3つと考えられます。

- 1 | イノベーションの創出は不確実で、経済的・社会的価値を生むまでには長い時間がかかる。
- 2 | 社会的なインセンティブを与える制度が重要である。
- 3 | イノベーションが生まれる「場」とそこで活躍する「人」が重要である。

1. イノベーションの不確実性・長期性

ある科学的発見が、経済的あるいは、社会的価値を生み出すのは不確実であり、かつ、非常に長い期間を要します。また、その過程では多くの研究者、技術者、起業家、生産者、消費者がかかわります。

本事例においても、スタチン系薬剤の発売までには、遠藤先生のコンパクチンの発見から14年もかかっています。太陽電池では、ベル研の発見から住宅パネルの開発までに37年、光触媒では、本多・藤嶋効果の発見から抗菌タイルの発売までに27年と非常に長い時間がかかっています。

特に、新薬開発については、日本では発売に至るまで非常に時間がかかるということで、様々な問題が指摘されています。また、海外の薬が日本で使えない、治験が困難である点も指摘されています。そのため、現在政府では、国際共同治験の推進や、審査官の倍増などを提案、実施^{※1}しております。

また、医療の質を指標として効果的な研究を推進するための臨床研究開発戦略（統合化迅速研究：ICR）が政策提言^{※2}されています。

2. インセンティブを与える制度

イノベーションは自然発生的に生じるものではありません。研究者の自由な発想から生まれた科学的な発見も、経済的なインセンティブが保証されていないと、なかなか次のステップに進まないのが現状です。それを保証する制度の一つが特許制度です。

スタチンの事例では、最初にコンパクチンを発見したのが三共であるのに対して、スタチン系薬剤を発売したのはメルク製薬でした。ここに両者の特許戦略の違いが現れていると言えます。

一方、イノベーションが経済的価値を生み出すためには、様々な社会制度と結びついて、安全、簡便にその技術が利用できる必要があります。そのために、世界的なルールづくりが重要であり、世界標準の戦略は重要です。日本発のイノベーションが世界に大きく羽ばたこうとしている光触媒の事例では、この問題の重要性が指摘されています。

生産者ではなく消費者へのインセンティブも重要です。イノベーションが普及する段階では、初期市場を創出する政府調達や購入者への補助金が重要です。

太陽電池の事例では、系統への逆流流に対する系統連携技術と余剰電力買取制度という仕組みがうまく組み合わさったインセンティブ・メカニズムを作っています。これら社会制度も、単純な経済的利益だけではなく、たとえば、CO₂削減といった、さらに大きな社会システムの中でうまく機能するように設計されています。

実際、ドイツは太陽電池の後発組であったのに、日本よりも積極的なインセンティブ政策を採ることで、累積導入量においても日本を凌駕しました。

イノベーションの実現のためには、せっかくの科学的発見や技術的努力が無に帰すことなく、研究者や生産者、消費者にインセンティブを与えるメカニズムを構築する必要があります。

3. 場の重要性

ステップ&ループモデルでは、「場」という概念を強調しております。それぞれの開発フェーズにおいても場は重要ですし、開発フェーズ間のフィードバックループも存在します。これらをつないでいるのが「場」といえます。^{※3}

量子暗号の事例では、今井教授は、ERATOというプロジェクトが「場」を提供した、ということ^{※3}を強調されています。プロジェクト当初は、

理論の専門家と技術の専門家でそれぞれの専門分野のイメージが強すぎて研究テーマに関する会話ができなかったといえます。しかし、ERATOの共同研究施設において顔をつきあわせて議論したことで、相互社用が生まれ、一気に実用化可能な量子暗号のシステム開発まで研究が進みました。

光触媒では、研究者コミュニティ（光触媒工業界）がその役目を果たしました。産業界も巻き込んで、コミュニティで情報を共有することで、新しい商品開発の可能性やそれに対する研究開発課題を次々と産み出し、うまく「ダーウィンの海」を渡りきった事例といえます。イノベーション論において「場」の概念は、西田哲学などの影響も受け、バイオホロニクスの研究から「場」の研究を行っている清水博東京大学名誉教授、「場の論理とマネジメント」等の著作で有名な伊丹敬之一橋大学教授、SECIモデルを提唱した野中郁次郎一橋大学名誉教授、などの研究が有名です。

最近では、同志社大学の山口栄一教授が「共鳴場」という概念を提唱しております。共鳴場とは暗黙知が醸成され伝達される「場」のことです。山口教授はイノベーション・ダイアグラムという図でイノベーションのメカニズムを説明しています。イノベーション・ダイアグラムでは「知の具現化」「知の創造」という2軸で説明しています。研究開発の目標に達することができなかった、あるいは失敗した原因について、科学的知見まで掘り下げることにより、イノベーションが次のステップに進むということを表しています。このプロセスにおいて、「知の具現化」と「知の創造」との結節点が共鳴場にほかなりません。

また、イノベーション・システムを生態系になぞらえたイノベーション・エコシステムという概念も提唱されています。日本においては、持続可能な発展のため、国レベルのシステムではなく、世界規模のイノベーション・システムの在り方を検討した「持続可能な社会のための科学と技術に関する国際会議2006—グローバル・イノベーション・エコシステム」（2006年9月日本学術会議、経

※1 | 総合科学技術会議 2006 年 12 月 25 日資料ならびに厚生労働省 2007 年 2 月 15 日発表資料より。

※2 | JST 研究開発戦略センター（CRDS）戦略プロポーザル「統合的迅速臨床研究（ICR）の推進」より。

※3 | Exploratory Research for Advanced Technology：戦略的創造研究推進事業（JST）

for next 10 years

済社会総合研究所他)で、本格的に取り上げられました。エコシステムがうまく機能し、イノベーションが生まれやすい環境・条件には、研究開発、リスクマネー供給、政府調達、市場整備に並んで、社会受容性やアントレプレナー精神(教育)等の重要性が指摘されています。

また、制度だけ構築してもイノベーションは生まれません。そこで活躍する人材がいて初めて産まれるのです。研究者はもちろんのこと、投資家、評価・マネジメント・コーディネート人材、社会イノベーションの担い手たる社会起業家など様々なイノベティブな人材が必要とされます。

4. アクションプラン

日本では、2006年9月の安倍政権の誕生とともに、政権の使命としてイノベーションを大きく掲げています。

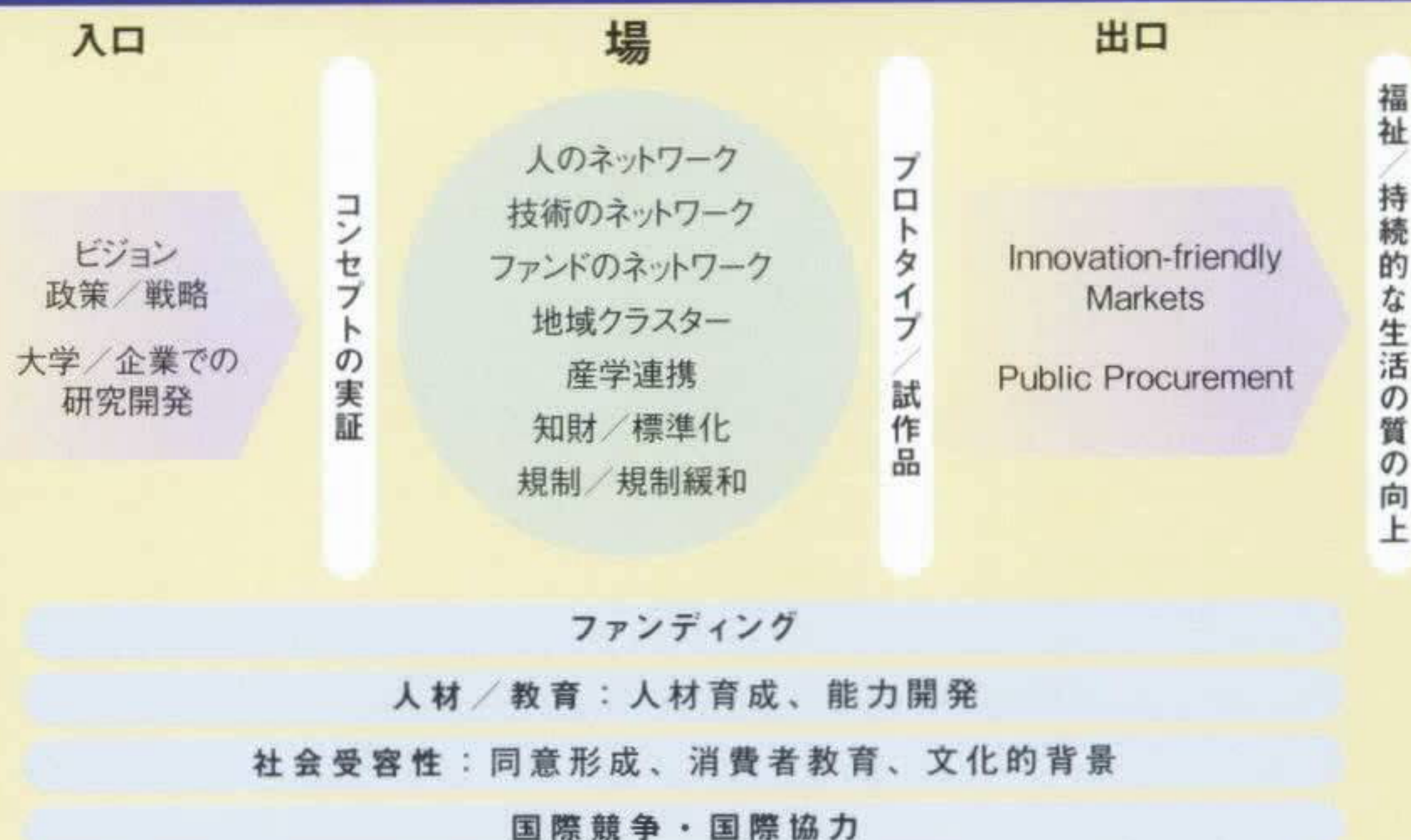
現在策定中の安倍政権の長期ビジョンである「イノベーション25」においては、その中間報告で、イノベーションへの取り組みを「科学技術イノベーション」「社会イノベーション」「人材イノベーション」と3つに分けて報告しています(2007年2月内閣府)。

イノベーション政策については、世界中で政策競争が起きています(次頁「イノベーション政策研究及び政策の潮流」参照)。これは、イノベーション政策がまさに総合政策であり、人材育成から研究開発、社会制度設計までをも含む、新しい国のデザインを描く試みだからです。魅力的な政策を打ち出し、内外にその成果をもたらすことで、国力を示すことにもつながります。

本イノベーション事例集からはこれから取り組むべき課題として、治験制度、標準化制度、調達制度等の社会制度の改革が浮かび上がっています。こうした課題に対しては、省庁横断的に取り組む必要があります。

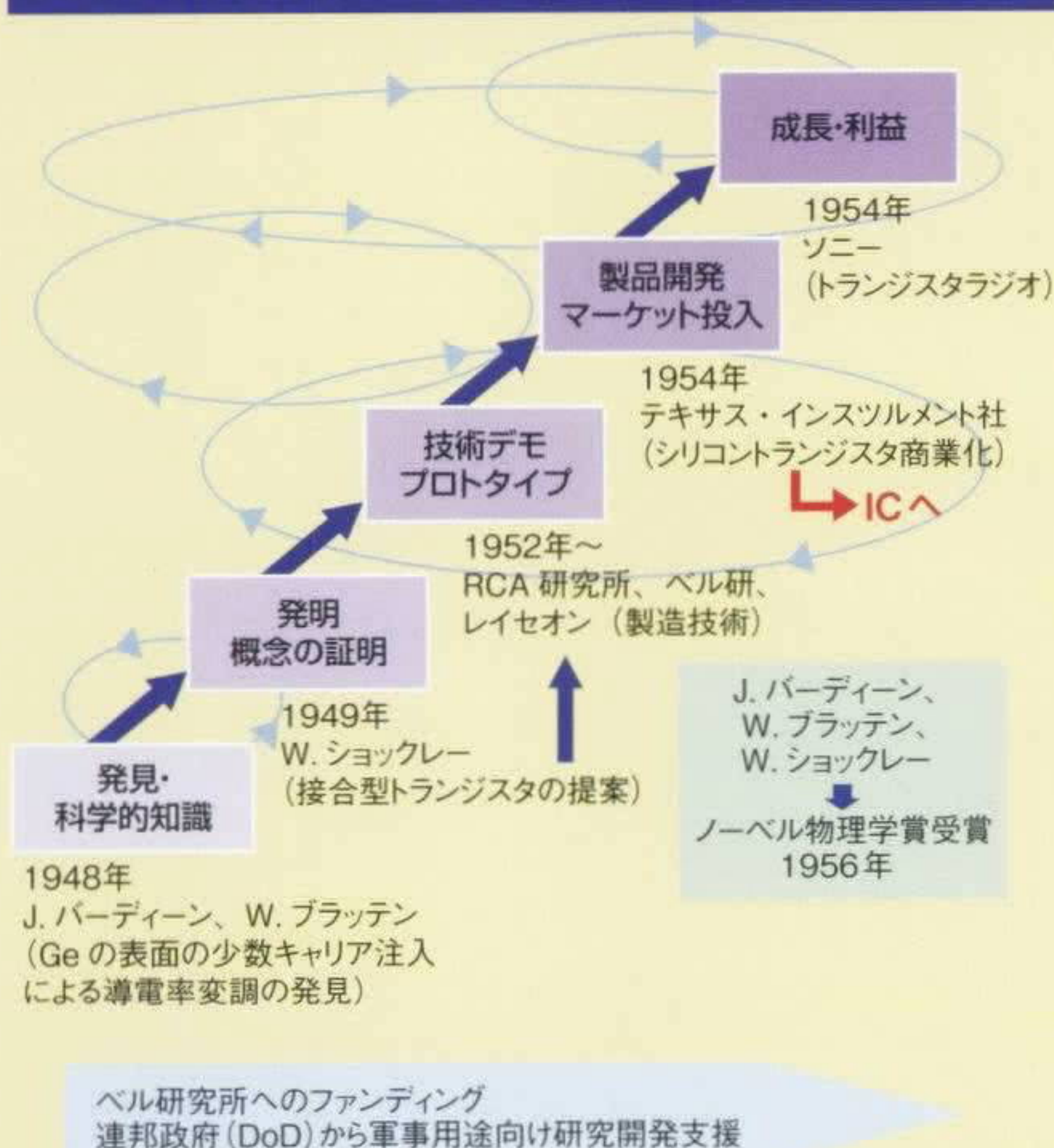
政府においては、経済財政諮問会議、総合科学技術会議、総合規制改革会議等において定められる中長期計画や指針等に従って迅速に計画的に取り組んでいく必要

イノベーション・エコシステム



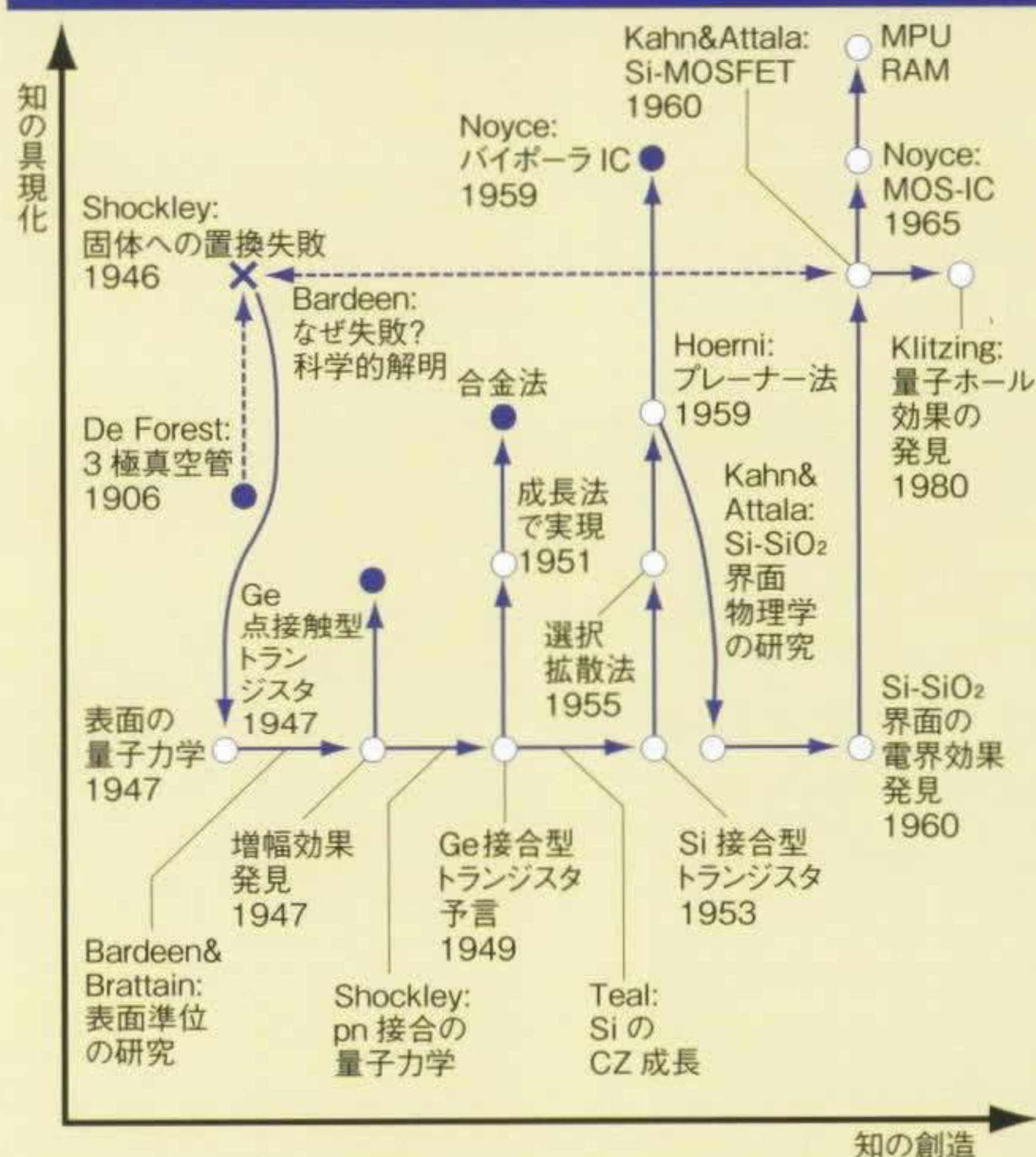
出所: 科学技術振興機構研究開発戦略センター(CRDS)提供資料

トランジスタのイノベーション・プロセス (Step&Loop モデル)



出所: 科学技術振興機構研究開発戦略センター(CRDS)提供資料

トランジスタとシリコン MOSFET のイノベーション・ダイアグラム



出所: 山口栄一著「イノベーション破壊と共鳴」、NTT 出版 2006

Challenges for next 10 years

があります。また、計画終了時には、フォローアップを実施し、イノベーションを産む環境が確実に整備されていくように、政策のPDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルを動かさなくてはなりません。

そのためにも、イノベーション政策を的確

に評価できる政策研究コミュニティが形成され、ネットワーク機能を果たすことが大切になります。

内閣府経済社会総合研究所は我が国における政策研究のプラットフォームとして、イノベーション政策の事例分析や要因分析を

積極的に展開していきます。また、イノベーションの果実が広く国民に行き渡るよう、これまで以上に社会制度の研究を進めていきます。

イノベーション政策研究及び政策の潮流			
	研究動向	ESRI 実績	政策動向
2004年 12月	NII レポート「Innovate America」 (通称：パルミサーノレポート) (全米競争力協議会)		
2005年 3月			EU 新リスボン戦略
7月		「科学技術と経済社会」研究チーム発足	
8月			仏国 産業技術革新庁
10月	NASレポート「Rising Above The Gathering Storm」 (通称：オーガスティンレポート) (全米アカデミー)		
11月	特別シンポジウム「イノベーションの経済社会的条件」 (日本学術会議、経済社会総合研究所、科学技術政策研究所、 (独) 科学技術振興機構、関係学会) OECDレポート「Going for Growth 2005」(OECD)	第4回科学技術社会論学会基調講演	
2006年 1月	ECレポート「Creating an Innovative Europe」 (通称：アホレポート) (欧州委員会) 国際シンポジウム「日米における21世紀のイノベーションシステム： 変化の10年間の教訓」 (文部科学省科学技術政策研究所、全米アカデミー科学技術経済政策委員会)		米国 大統領一般教書 「American Competitiveness Initiative」
2月			中国 国家中長期科学技術発展計画
3月	CRDSレポート「科学技術イノベーション推進のための National Innovation Ecosystem 政策提言の検討」 ((独) 科学技術振興機構)		中国 第十一次五ヵ年計画 日本 第3期科学技術基本計画
4月			英国 科学技術イノベーション庁
5月	国際カンファレンス「The Atlanta Conference on S&T Policy 2006 -US-EU Policies for Research and innovation-」 (ジョージア工科大学、PRIME) <アトランタ>		
6月			日本 イノベーション創出総合戦略
7月	OECD/GSF「Workshop on Science of Science Policy-Developing Our Understanding of Public Investment in Science」(OECD) <ヘルシンキ>	シンポジウム 「知識社会とは何か」開催	
9月	持続可能な発展のための科学と技術に関する国際会議2006 「グローバル・イノベーション・エコシステム」 (日本学術会議、総合科学技術会議、経済社会総合研究所、 科学技術政策研究所、(独) 科学技術振興機構)		EU 第7次フレームワーク・プログラム 日本 安倍総理施政方針 「イノベーション25」
10月		第21回研究・技術計画学会発表 イノベーション国際共同研究開始	日本 内閣特別顧問 (科学、技術、イノベーション担当)
11月		第5回科学技術社会論学会発表	
2007年 2月	CRDSレポート「科学技術イノベーションの実現に向けた提言 -ナショナル・イノベーション・エコシステムの俯瞰と政策提言-」 ((独) 科学技術振興機構) 日本政府戦略指針「イノベーション25中間とりまとめ」 (イノベーション25戦略会議)	WS「未来需要ダイアログ2007」 開催(イノベーション国際共同研究)	
3月	ESRI 国際フォーラム「イノベーションとその取り組みをめぐる 国際動向」 (経済社会総合研究所)	WS「心の豊かな」開催 (主催：科学技術政策研究所、 協力：ESRI (イノベーション国際共同研究))	
5月	日本政府戦略指針「イノベーション25」(イノベーション25戦略会議)		OECD 閣僚懇談会
6月	GIES2007 国際シンポジウム「グローバル・イノベーション・ エコシステム2007」(GIES2007組織委員会他)		

出典：中川尚志、有本建男「科学技術と経済社会」研究について」第21回年次学術大会 研究・技術計画学会 要旨集 を基に ESRI 作成

参考情報

本事例集の作成にあたり、以下の資料を参考にしました。

1 スタチン系薬剤 (P.6~9)

- 日本心臓財団「心臓」2005年8月号 Vol.37 No.8 pp.681-698
- 日本薬学会「これから薬学をはじめるあなたに」pp.5-6
- 遠藤章(2006)「新薬スタチンの発見—コレステロールに挑む」岩波書店
- 山内喜美子(2006)「世界で一番売れている薬」小学館
- 木村繁、医薬制度研究会(2005)「医者からもらった薬がわかる本」法研
- 財団法人国際科学技術財団 Webサイト
http://www.japanprize.jp/prize/2006/j2_endo.htm
- 厚生労働省 Webサイト
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/shakaihoshou/iryouseido01/taikou03.html>
- 厚生労働省「患者調査報告」、「国民健康・栄養調査」、「第5次循環器疾患基礎調査」
- 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(平成18年12月推計)」

2 量子暗号 (P.10~13)

- 科学技術振興機構 Webサイト
<http://www.qis.crest.jst.go.jp/>
<http://www.quantum.jst.go.jp/>
http://www.jst.go.jp/erato/project/irkk_P/irkk_P-j.html
- 根本香絵、池谷瑠絵(2006)「ようこそ量子 量子コンピュータはなぜ注目されているのか」丸善
- サイモン・シン(2001)「暗号解読—ロゼッタストーンから量子暗号まで」新潮社
- 佐藤勝彦(2000)「量子論を楽しむ本—ミクロの世界から宇宙まで最先端物理学が図解でわかる!」PHP 研究所
- 竹内繁樹(2005)「量子コンピュータ」講談社
- 古沢明(2005)「量子光学と量子情報科学」数理工学社
- ミカエル・ニールセン、アイザック・チャン(2004)「量子コンピュータと量子通信(1)量子力学とコンピュータ科学」オーム社

3 太陽電池 (P.14~17)

- NEDO 技術開発機構「新エネルギーデータ集」
<http://www.nedo.go.jp/nedata/>
- 財団法人新エネルギー財団 Webサイト
<http://www.nef.or.jp/what/whats01.html>
- NEDO 技術開発機構(2004)「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ」
http://www.nedo.go.jp/informationsother/161005_1/161005_1.html
- 太陽光発電協会(2006)「太陽光発電産業自立に向けたビジョン2006年改訂版」
- 濱川圭弘(2004)「フォトニクスシリーズ3太陽電池」コロナ社
- 総合科学技術会議評価専門調査会資料(資源エネルギー庁作成)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/output/hyouka06112102/sanko2-6-1.pdf>
- 資源エネルギー庁「1997/1998資源エネルギー年鑑」通産資料調査会
- シャープ株式会社 Webサイト <http://www.sharp.co.jp>
- 三洋電機株式会社 Webサイト <http://www.sanyo.co.jp>
- 京セラ株式会社 Webサイト <http://www.kyocera.co.jp>
- 三菱電機株式会社 Webサイト
<http://www.mitsubishielectric.co.jp>

4 光触媒 (P.18~21)

- NISTEP Report No.89(2005)「基本計画の達成効果の評価のための調査 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」
- 光触媒工業会 Webサイト <http://www.piaj.gr.jp/roller/>
- TOTO 株式会社 Webサイト <http://www.toto.co.jp/>
- 佐藤しんり(2004)「光触媒とはなにか」講談社
- 橋本 和仁、藤嶋 昭(2003)「図解 光触媒のすべて」工業調査会
- 東京大学先端科学技術研究センター Web サイト
<http://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/research/projects/2003/001/index.html>

5 地球シミュレータ (P.22~25)

- 地球シミュレータセンター Webサイト <http://www.es.jamstec.go.jp/>
- TOP500の Webサイト <http://www.top500.org/>
- 科学技術・学術審議会 計算科学技術推進ワーキンググループ報告書「計算科学技術の推進に向けて」
- NISTEP 技術動向センター Webサイト
<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt007j/index.html>
- NISTEP 技術動向研究センター発行「科学技術動向2001年10月号」
- チャールズ・J. マーレイ(1998)「スーパーコンピュータを創った男—世界最速のマシンに賭けたシーモア・クレイの生涯」廣済堂出版

6 宇宙開発 (P.26~29)

- 文部省白書昭和57年版
- 大沢 弘之(2003)「新版日本ロケット物語」誠文堂新光社
- 宇宙開発センター Webサイト
http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/structure_design_rockets01.html
- 総合科学技術会議「第20回宇宙開発利用専門調査会資料」
- 文部科学省(2001)「宇宙開発に関する基本計画」
- 宇宙技術開発株式会社 Webサイト
<http://www.sed.co.jp/tokusyu/launch.html>
- 宇宙航空研究開発機構2005年報
- 航空宇宙工業会「平成17年度宇宙機器産業実態調査報告書」
- 航空宇宙工業会「宇宙産業の将来見通し」

7 eコミュニティ (P.30~33)

- 防災科学技術研究所防災システム研究センター災害リスクガバナンス研究プロジェクト Webサイト <http://risk.bosai.go.jp/risk/>
- eコミュニティしまだ Webサイト
<http://www.community-platform.jp/portal/>
- 野沢慎司監訳(2006)「リーディングス ネットワーク論 — 家族・コミュニティ・社会関係資本」勁草書房
- 宮川公男・大守隆 編(2004)「ソーシャル・キャピタル 現代経済社会のガバナンスの基礎」東洋経済新報社
- 内閣府政策統括官 編「日本の社会資本 — 世代を超えるストック」財務省印刷局

今後の課題と挑戦 (P.34~36)

- 清水博(2003)「場の思想」東京大学出版
- 伊丹敬之(2005)「場の論理とマネジメント」東洋経済新報社
- 野中郁次郎(2003)「知識創造の方法論」東洋経済新報社
- 山口栄一(2006)「イノベーション破壊と共鳴」NTT 出版
- JST 研究開発戦略センター戦略プロポーザル(2006)「科学技術イノベーションに向けた提言」

関係協力機関一覧

本事例集の作成にあたり、以下の機関にご協力いただきました。厚く御礼申し上げます。

公的機関	文部科学省科学技術政策研究所(NISTEP)
	独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)
	独立行政法人科学技術振興機構(JST)
	独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター(CRDS)
	独立行政法人防災科学技術研究所(NIED)
	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
	独立行政法人海洋研究開発機構地球シミュレータセンター(JAMSTEC-ESC)
民間企業	日本電気株式会社(NEC)
	TOTO 株式会社
	三洋電機株式会社
	シャープ株式会社
	京セラ株式会社
	第一三共株式会社
	株式会社バイオフィーム研究所
民間団体	財団法人国際科学技術財団
	財団法人神奈川科学技術アカデミー(KAST)
	太陽光発電協会(JPEA)
編集協力	株式会社三菱総合研究所(MRI)
	株式会社日本総合研究所
	財団法人未来工学研究所
	株式会社ロボットメディア

内閣府経済社会総合研究所 編
イノベーション事例集2007

編集委員会

委員長

黒川 清

内閣特別顧問 イノベーション25 戦略会議座長

委員

有本 建男

独立行政法人科学技術振興機構 社会技術研究開発センター長

武田 健二

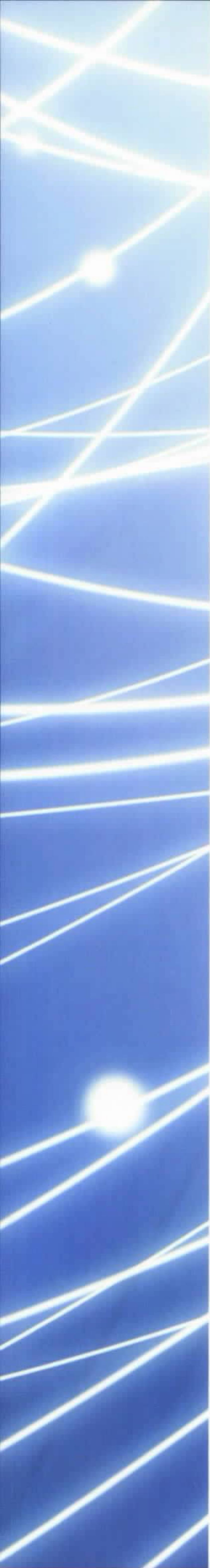
独立行政法人理化学研究所 理事

原山 優子

東北大学大学院工学研究科 教授

干場 静夫

内閣府経済社会総合研究所 総括政策研究官



内閣府経済社会総合研究所