日本の科学技術力の現状と課題
～ナノテクノロジー・材料分野～

（独）科学技術振興機構　研究開発戦略センター
上席フェロー　田中一宜

国際連合大学　ウ・タント国際会議場
平成23年6月28日
科学技術シンポジウム「これからの科学技術イノベーション政策」

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

目　次

1．国際科学技術力比較の概要

比較項目:13分野、67技術領域(中綱目)、100余名の専門家

- ナノテク・材料の応用（グリーンナノテク、ナノバイオ、ナノエレクトロニクス）
- 基盤科学技術（新物質・新材料、ナノサイエンス、ナノ加工プロセス、計測・評価・解析）
- *共通課題（共用拠点・研究開発拠点、教育・人材育成、国際標準・工業標準、リスク評価・EHS、ELSI・社会受容、国際プログラム・国際連携）*

2．ナノテクノロジー・材料分野の課題と今後の方向

- 現状到達点と今後の方向（大震災後の状況含む）

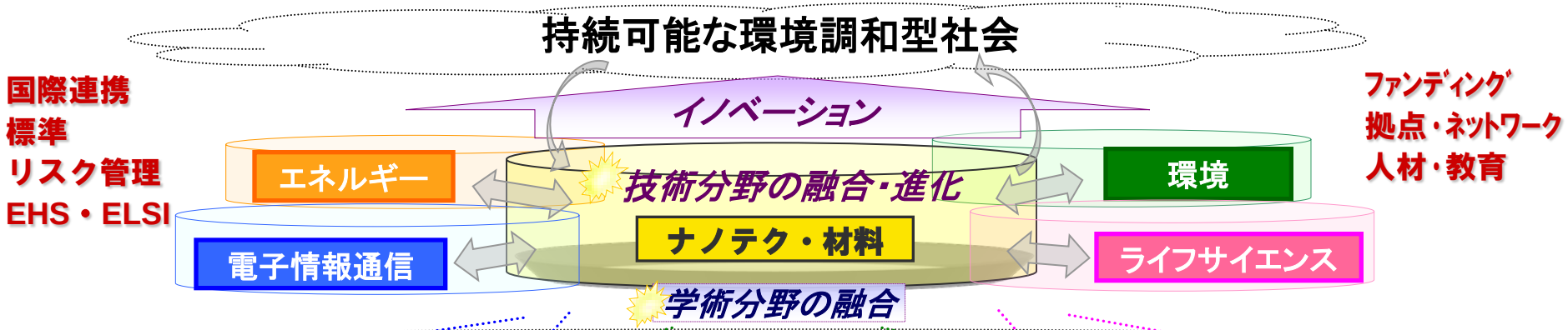
1. 国際科学技術力比較の概要

ナノテク国家投資／研究アウトプット国際比較

	年間投資額順位（購買力平価比較）			学術論文数（2009/順位）		特許出願数（2007/順位）	
	2001	2006	2011	量	質（ﾄｯﾌﾟ1%）	総件数	PCT件数
日本	1（トップ）	3	⇢	4	4	1	3
米国	3	1（トップ）	→	3	1	3	2
EU-27	2	2	↗	1	2	2	1
中国	5	4	↗	2	3	4	5
韓国	4	5	↗	5	5	5	4
コメント	アジア：最大投資 BRIC's：急増 イラン：強化		↗	中国：質・量とも急進 欧米：質高し 日本：上位だが韓国肉薄		日本は総件数トップだが、PCT（特許協力条約）国際出願は3位。中国は国内特許多し	

論文数：トムソン・ロイター社の「Web of Science」を基にJST・CRDSが集計
特許数：EPO "PATSTAT Sep. 2010 edition"よりJST・CRDSが作成

ナノテクノロジー・材料分野の重要課題（≒調査項目に対応）



ナノエレクトロニクス

省エネルギーの実現
- 超低消費電力デバイス
- カーボンナノエレクトロニクス
- 不揮発性メモリ・CPU

多機能システムの実現
- ナノCMOS・スピン・光・バイオ・MEMS融合
- スマートインターフェース（スマートセンサ・ロボット、高精細ディスプレイ、ウエアラブル情報端末）

超高速演算の実現/通信等他分野応用
- 量子コンピュータ
- ナノフォトニクス・プラズモニクス・メタマテリアル

グリーンナノテク

エネルギーを創る
- 低コスト・高効率太陽電池
- 高効率熱電素子、燃料電池
- バイオリファイナリー
- 人工光合成（水素・燃料生産）

エネルギーを運ぶ・貯める
- 新電池材料、超伝導材料

エネルギーを節約する
- 断熱構造材料、軽量輸送用材料
- 複合トータルエネルギーシステム

環境を守る
- 環境浄化分離膜（水、ガス）
- 高感度・高選択性環境モニタリング
- グリーンプロセス、希少資源代替

ナノバイオ

革新的ナノ医療技術（セラノスティクス）
- 薬物送達・細胞内注入
- インプラント型診断治療デバイス
- 再生医療材料

生体の環境調和型システムへの応用
- 光合成模倣による環境浄化
- 生体材料による環境モニタリング

生体システムの他分野への応用
- 自己組織化利用情報デバイス
- 生体機能を模倣した超低電力IT

新物質・新材料

・新規磁性材料 ・耐食・耐熱金属材料 ・ワイドギャップ・酸化物半導体材料 ・コンポジット・ハイブリッド材料 ・新構造・空間材料 ・分子・有機材料 ・生体材料

ナノ基盤技術・物質材料制御技術 ／ ナノサイエンス

合成・加工プロセス
- 自己組織化・階層性構築制御
- ボトムアップ、トップダウン融合
- ナノ・マイクロ印刷技術、3Dナノ製造

設計・理論（設計法・理論構築）
- 新材料設計・探索、元素戦略
- ナノシステム設計、界面・表面理論
- 動的計算・量子輸送・シミュレーション

ナノ計測・解析
- ３次元化、可視化、動的計測
- 界面および内部計測
- 非超高真空環境・その場計測

各分野の国際比較概要

グリーンナノテクノロジー

日	研	◎	↗
	技	◎	→
	産	◎	→
米	研	◎	↗
	技	○	↗
	産	○	↗
欧	研	◎	→
	技	○	→
	産	○	→
中	研	○	↗
	技	△	↗
	産	△	↗
韓	研	○	→
	技	△	↗
	産	△	→

日本は太陽電池、燃料電池、二次電池や環境技術など、総合力はトップレベル。米国は具体的な重点施策を進め国際的リーダーの地位に。欧州は地道な基礎研究で高いレベルを維持。特筆すべきは中国、研究水準から産業技術力まで各技術で急速に向上。韓国も科学技術政策の強化、日本に肉薄。

米DOEにおける46のエネルギーフロンティア研究センター（EFRC）のテーマの大部分はナノテク。また、最近はレアアースをはじめとする資源問題がクローズアップされ、中国が最も積極的に対応している。

ナノバイオテクノロジー

日	研	◎	↗
	技	○	→
	産	○	→
米	研	◎	↗
	技	◎	→
	産	◎	→
欧	研	◎	→
	技	○	→
	産	◎	→
中	研	△	↗
	技	△	↗
	産	△	↗
韓	研	○	↗
	技	○	↗
	産	△	↗

日本はDDSや再生医療用材料の研究では一歩リード。しかし産業化を支えるインフラ・制度面で課題あり。総合的には欧米の後塵を拝す。依然米国が豊富な資金力と人材を背景に研究開発を先導。中国も、中国科学院、南京大学など世界に並ぶ研究機関が現れている。

米国では、2009 年にES 細胞研究に対する連邦予算の助成を解禁し、食品医薬品局（FDA）はヒトES細胞を用いる臨床研究計画を認可、すでに数例の臨床応用を開始。

各分野の国際比較概要

ナノエレクトロニクス

日	研	◎	→
	技	◎	→
	産	◎	↘
米	研	◎	↗
	技	◎	↗
	産	◎	↗
欧	研	◎	↗
	技	○	↗
	産	○	→
中	研	△	↗
	技	△	↗
	産	○	↗
韓	研	○	↗
	技	◎	↗
	産	◎	↗

カーボンエレクトロニクス、スピントロニクス、有機エレクトロニクス、ナノフォトニクス等の研究水準で日本は世界のトップレベル。米国は研究から産業化まで高い水準を維持。欧州は基礎研究には非常に強い研究拠点を有する。韓国は特にメモリやディスプレイデバイスで、大手企業が先導し世界トップ。

世界的に研究開発の拠点化とアライアンス化が進むなか、日本メーカーの研究開発アクティビティは大幅に低下し懸念あり。

新物質・新材料

日	研	◎	→
	技	◎	→
	産	○	→
米	研	◎	→
	技	◎	→
	産	○	→
欧	研	◎	→
	技	○	↗
	産	○	→
中	研	○	↗
	技	△	↗
	産	△	↗
韓	研	○	→
	技	○	↗
	産	△	↗

多くの網目で日本が世界の先端。欧州は計算科学に強く、新材料設計ソフト面に強みをもつ。韓国・中国は利益率の高い材料について実用化に関する研究が盛ん。

米国はナノチューブからグラフェンへの研究者の移行が顕著。材料の設計という思想は欧米に端を発しているので、依然として欧米が強い。**震災による日本の部素材産業への影響が懸念。**

各分野の国際比較概要

ナノサイエンス

日	研	◎	↗
	技	○	→
	産	△	→
米	研	◎	↗
	技	○	↗
	産	○	→
欧	研	◎	↗
	技	○	→
	産	△	↘
中	研	○	↗
	技	×	↗
	産	×	↗
韓	研	△	↗
	技	○	↗
	産	○	↗

日本は界面科学の理論やプローブ顕微鏡などを駆使した観察技術、自己組織化プロセス制御などで先端。欧州は理論・シミュレーション技術など、基礎科学的側面で伝統的に強。米国はソフトウェアの商業化・産業化で強み。

半導体分野を中心に大型設備やノウハウを集積した拠点型研究で日本は欧米に水をあけられている。触媒、ナノ空間材料等の研究開発で日本は独自の強みを発揮。

ナノ加工プロセス

日	研	◎	→
	技	◎	→
	産	○	→
米	研	◎	→
	技	◎	→
	産	○	→
欧	研	◎	→
	技	◎	↗
	産	○	→
中	研	△	↗
	技	△	↗
	産	△	↗
韓	研	○	↗
	技	○	↗
	産	○	↗

日米欧が強さを示す。韓国・台湾は国としてエレクトロニクス産業を育成、基盤技術であるナノ加工プロセス技術の研究開発に注力、欧米から帰国した研究者が活躍。

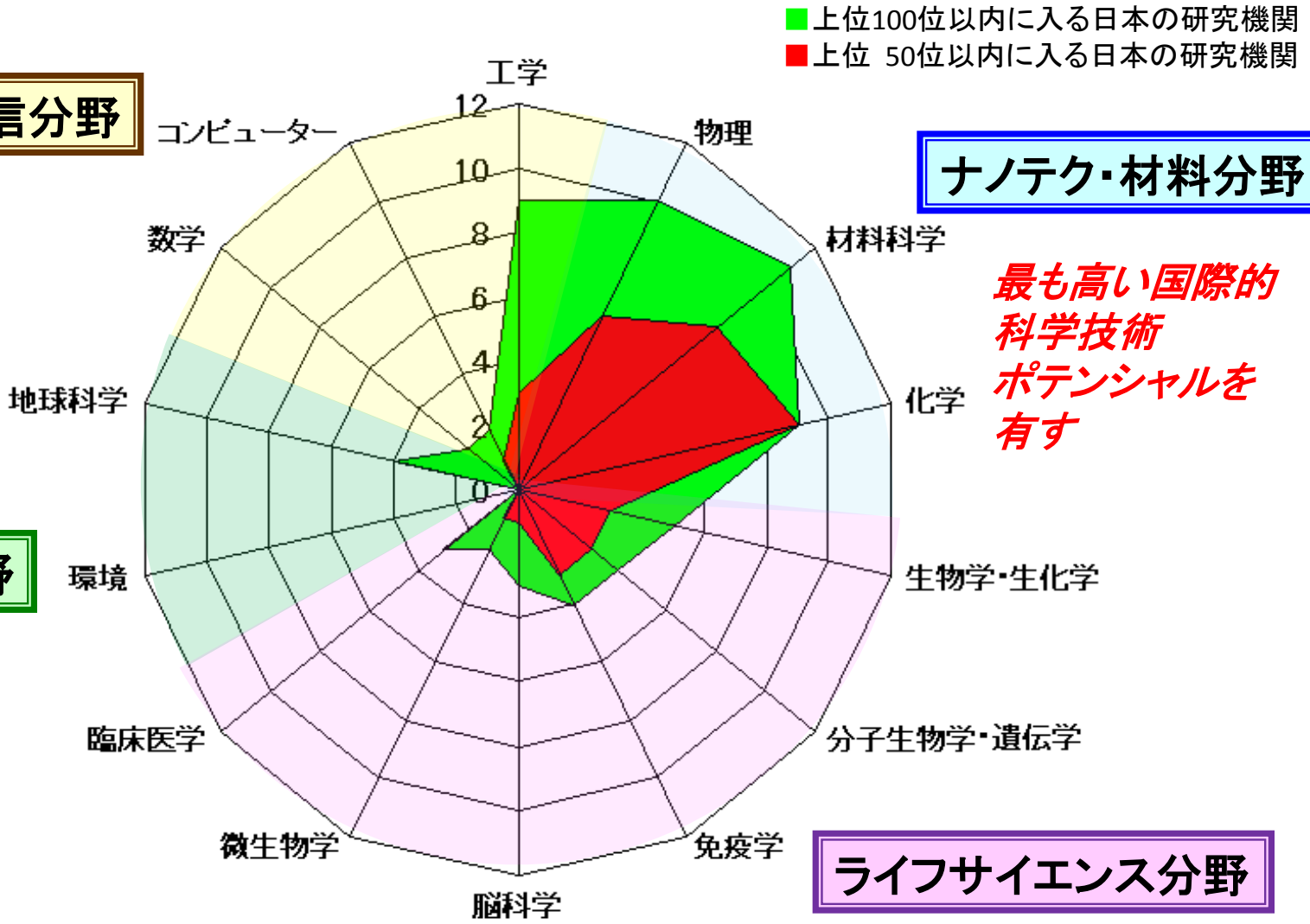
欧州ASML社は、EUV露光装置の2011年量産化を計画。ナノ転写では光ナノインプリントに重点がおかれ、ナノ・マイクロ印刷ではアジア勢がFPD事業投資・商品開発に積極的、MEMS／NEMSでは自動車や携帯等のセンサ開発が盛ん。

主要国のナノテクプラットフォーム、教育・人材育成策

国	ナノテク共用拠点		教育・人材育成	
日	•文科省ナノ・ネット事業（2007～11）全国13拠点（26機関）で活動。 •TIA-nano（2009-） **•国際的に開かれていない。自立性低い。**	○/△	•10大学ほどでナノテク関連の学際領域専攻が開設 •TIAの即戦力先端人材養成 **•長期の根幹プログラムは不在**	△
米	•インフラ整備はNNIの8重点領域の一つ •NSF/NNIN、DOE /NSRC •Albany	◎	•国家戦略としてNNIで明確化。NNIN-REU、インターンシップ実施。 •K-12・STMの教師育成を積極推進。教科書作り、外国語翻訳実施。	◎
欧	•集中型研究拠点　IMEC, MINATEC •独KIT-KMNF　オープンプラットフォーム •英MNT-Network　中小企業からアクセス、全国24の共用施設を整備。 •仏RTB (National Network of Large Technological Facilities）施設設備、CNRS/LETI連携強化。	◎	•Nanoforum主導のナノテク高等教育綱領に基づく大学院ナノテク学位コースが修士・博士課程で多数有。 •教育により、市民参加によるリテラシー向上策を積極推進	○
中	•ナノ科学技術センター（NCNST）が北京、天津、上海に設置、（2005-）	○/△	•共用施設でサマースクール開催 •台湾の教育プログラムは世界有数、米国と同様にK-12 を推進	○
韓	•ナノテク国家計画の3本柱の1つ •教育科学技術部（MEST）2センター、知識経済部（MKE）が3センター。 •NNFC　ユーザー支援を主。自主運営。	○ 今後の発展確実	•ナノテク専修コースが多くの大学でスタート •長期の予算確保 •研究者数は8年間で4倍	◎

日本の科学技術／ナノテク･材料研究の国際レベル

＜分野別の論文引用件数割合によるレーダーチャート＞



情報通信分野

ナノテク･材料分野

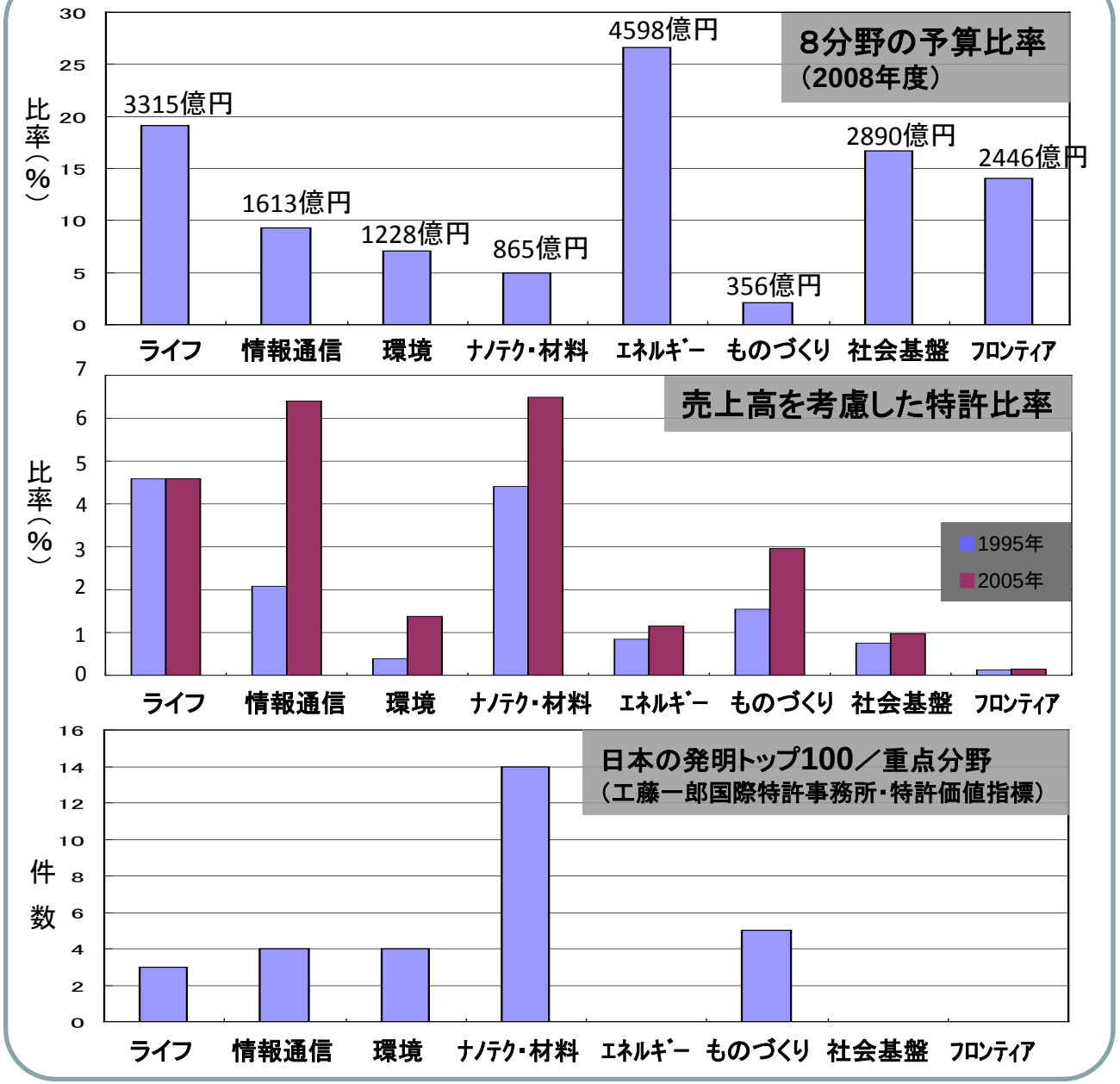
環境分野

ライフサイエンス分野

最も高い国際的科学技術ポテンシャルを有す

JST/CRDS調べ（2004−2008）トムソンロイター社のDBによる

科学技術8分野の産業へのインパクト（特許分析）



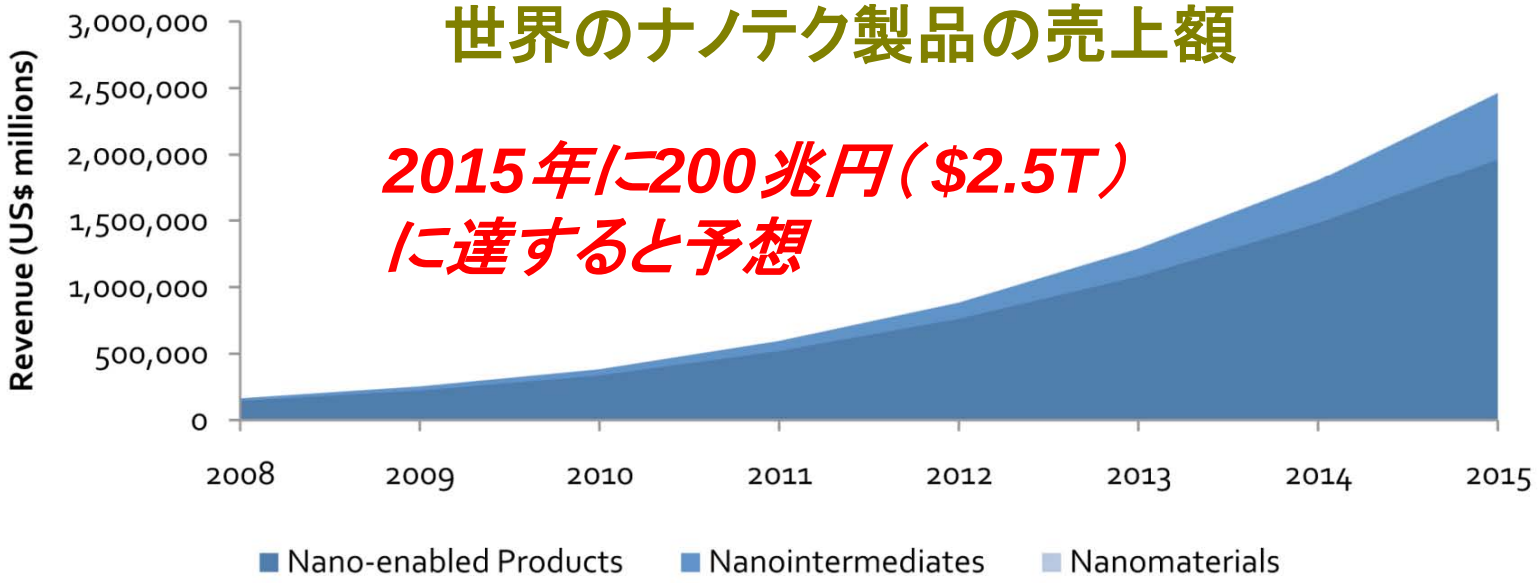
政府の科学技術戦略
（重点推進4分野＋
推進4分野＝8分野）
の投資効果を調査分析

製造業22業種の売上高
8分野の特許（特許庁）
特許数と売上高（変換表）
元橋一之氏（東京大学）

日本の8分野中
ナノテク・材料は
最も大きな
産業へのインパクト

JST-CRDS／三菱総研
科学技術の公的投資効果に関する調査分析 (2009)

Nanotech-enabled Consumer Products Continue to Rise *ナノテク製品は増え続ける*



Value chain stage	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nano-enabled products	$145,291	$223,785	$336,062	$519,425	$762,204	$1,081,025	$1,480,928	$1,962,950
Nanointermediates	$18,353	$28,839	$45,592	$75,712	$120,206	$206,823	$322,691	$498,023
Nanomaterials	$812	$1,074	$1,309	$1,540	$1,798	$2,098	$2,462	$2,916
Total	**$164,457**	**$253,699**	**$382,963**	**$596,677**	**$884,208**	**$1,289,947**	**$1,806,081**	**$2,463,890**

Lux Research report, 2009
"The Recession's Ripple Effect on Nanotech"

2. 課題と今後の方向

ナノテクノロジーは進化する
～異分野融合／技術の統合を通してシステム化へ～

ナノの極限化 **要素技術**

個別の学術・技術分野でのナノ科学・ナノ技術の極限追求

ナノの融合化 **要素技術の融合**

学際的研究や異分野融合による新機能・新ナノ技術創製

ナノのシステム化 **システム機能へ統合**

極限化され融合化されたナノ技術をシステムに統合・構成
（自己組織化と設計法確立、システム科学）

ナノの極限化
(1980's～) →

ナノの融合化
(2000's～) →

ナノのシステム化
(2010's～) →

Engine for Innovation

ナノテクノロジーにおける“システム化”

システム化Ⅰ（Seeds Pushing）

単純系から複雑系への学術的・技術的進化

異分野融合、自己組織化、計算科学、システム科学

システム化Ⅱ（Needs Pulling）

工学的統合と機能設計学の構築

材料・プロセス・デバイス設計、システム最適設計、計算科学

システム化Ⅲ（Policy Supporting）

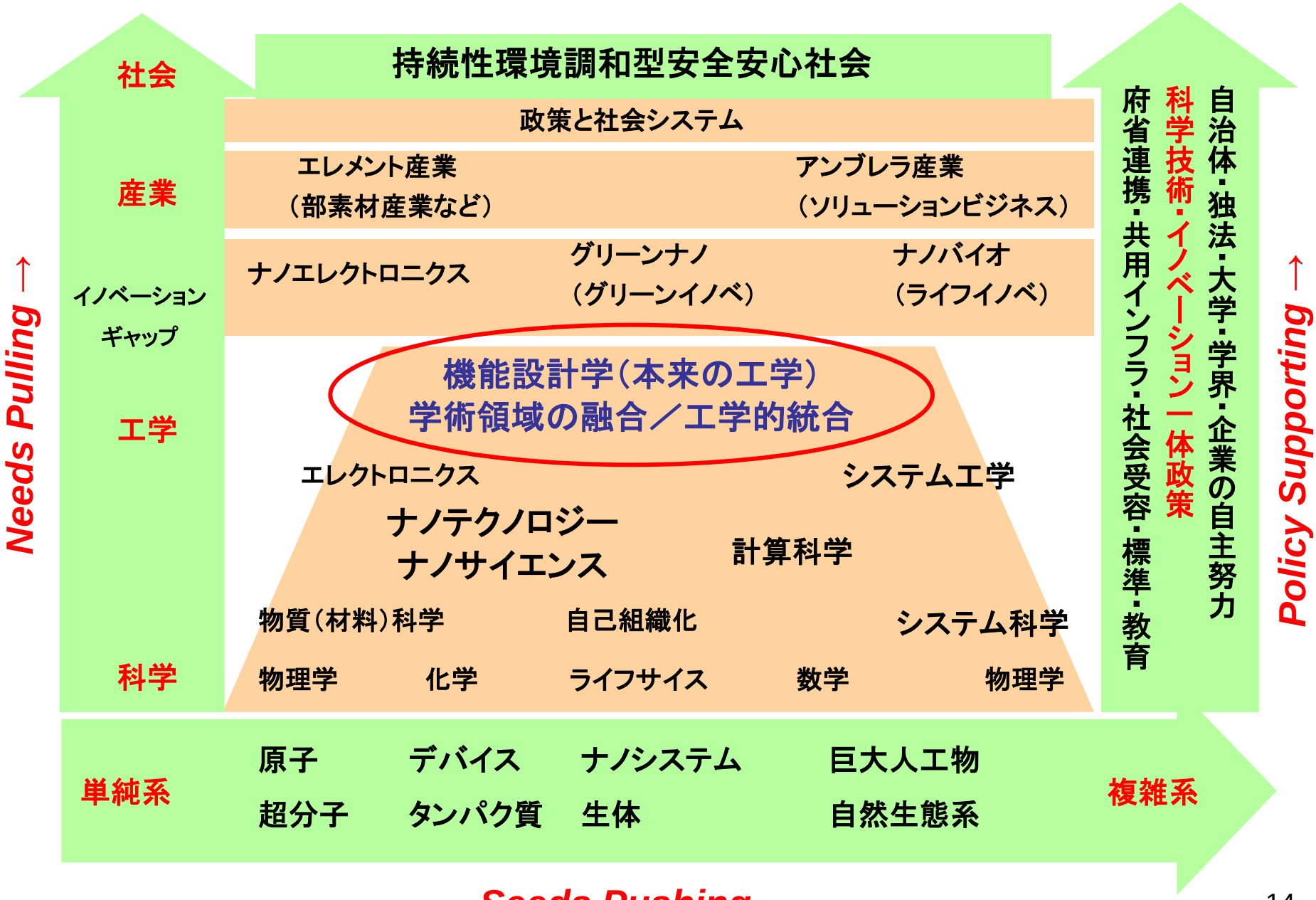
科学技術／イノベーション一体化促進政策

国のガバナンス（府省連携）、融合促進のインフラ

他セクターの自主努力（自治体、独法、大学、学界、企業）

学術的・技術的進化、工学的統合、政策的支援を通して
システムとしてイノベーションへ貢献すべき

ナノテクノロジー／システムへの進化と産業への貢献



主要国の今後のナノテク国家政策比較

国		ナノテク国家戦略（基本政策）	ステータス
日		•現時点（2011以降）では特定のイニシアティブはない •「第三期科学技術基本計画」（2006-2010）では重点推進4分野の一つ。分野推進戦略「ナノテクノロジー・材料分野」	不透明
米		•National Nanotechnology Initiative（2001-） -2011 年2月に第3期新戦略プラン発表。2012予算要求12%増。	継続
欧	独	•Nano Initiative – Action Plan2015(2005-) -ハイテク戦略の一環としてBMBFを中心に7省が連携して策定。 -2010年に5カ年計画として更新。	継続
	英	•UK Nanotechnologies Strategy (2010-) -BISが中心となって省庁横断の国家ナノテクノロジー戦略を公表。	継続
	仏	•国家研究・イノベーション計画における重点3分野の1つ Nano-INNOV計画(2010-) ナノテクによるイノベーション創出に向け産学官連携・協力を加速	強化
中		•国家中長期科学技術発展計画綱要(2006-2020) 先端技術8分野の一つ「新材料技術」でナノテク強化。最先端大型施設を続々建設	強化
韓		•ナノテクノロジー総合発展計画（2001-） -研究開発、教育・人材育成、インフラ整備の3つの柱。 -5年ごとに見直し。2011年から3期目に突入（ナノ融合2020）。	継続

2011年3月11日
東日本大震災／福島第一原発事故以後

●政官産学の基本システム見直し、とくに一体的なエネルギー関連政策が必要（米国DOE、英国エネルギー・気候変動省）

●科学技術の成果を遅滞なく政策・対策に反映させる仕組み

●ナノテク・材料分野の貢献の仕方

（1）放射線汚染物質（空中、地中、海中、液中）の処理・分離技術、使用済み核燃料の新処理技術、簡易放射線測定技術などのナノテク技術開発

（2）原子力エネルギーの安全を重視した新たなナノテク・先端材料技術（日本の原子力は先端物質科学との接触が薄い／米国DOEの46のEFRCのうち、3センターは原子力）

（3）再生可能エネルギーの拡大政策における科学技術基盤としてのナノテク・材料技術

（1）（2）（3）いずれも

グリーンナノテクノロジーの拡大基盤技術

総括コメント

過去10年余、特にこの5年、日米欧のみならずアジアや新興国がナノテクへの国家投資を急増。徐々に産業化。2015年には世界ナノテク市場は200兆円と予測。イノベーションのエンジンと国際的に共通認識。

米国は中長期の戦略を含めて成果もトップ。日本は科学技術論文レベルで米EUに次ぐ位置に居たが最近中国に量・質で抜かれた。しかし各個別ナノテク・材料技術は世界トップ。特許出願は日本がトップ維持。EUは企業化に難。綜合的に見て米EUに並ぶ日本だが、韓国、中国が肉薄している。

中長期に必要な施策、共用施設・研究拠点インフラの構築、教育・人材育成、国際プログラムについては、米EU韓に比し、日本は出遅れている。

一方、日本国内においては、ライフ、情報通信、環境、などの重点推進分野の中ではナノテク・材料が高い国際的な学術ポテンシャルを有し、産業へのインパクトも大きい。明らかに、日本の強み。

しかし、ナノテクのシステム化（収穫期）に向かう2011年以降の国家戦略について、日本のみが課題解決型のシナリオ中に明確な位置づけなし。基盤的な科学技術プラットフォームとしてシナリオの強化と完成が急がれる。

大震災後復興については、グリーンナノテクノロジーの拡大基盤技術としてナノテクの貢献度は大きい。