



## 第10回科学技術予測調査のハイライト

～ ナノテク・材料を基盤とした  
エネルギー・環境分野等の2030年の社会像例～

2017年1月25日

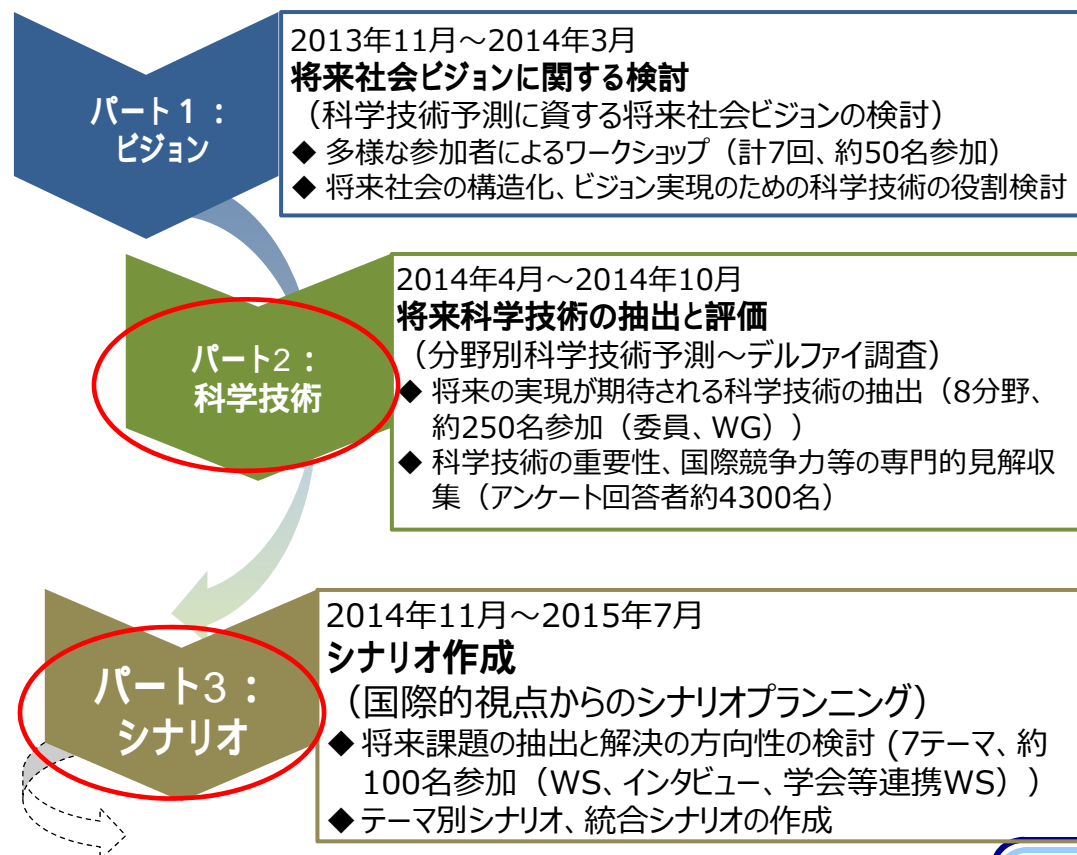
文部科学省科学技術・学術政策研究所  
科学技術予測センター長 赤池伸一

## ■ 経緯

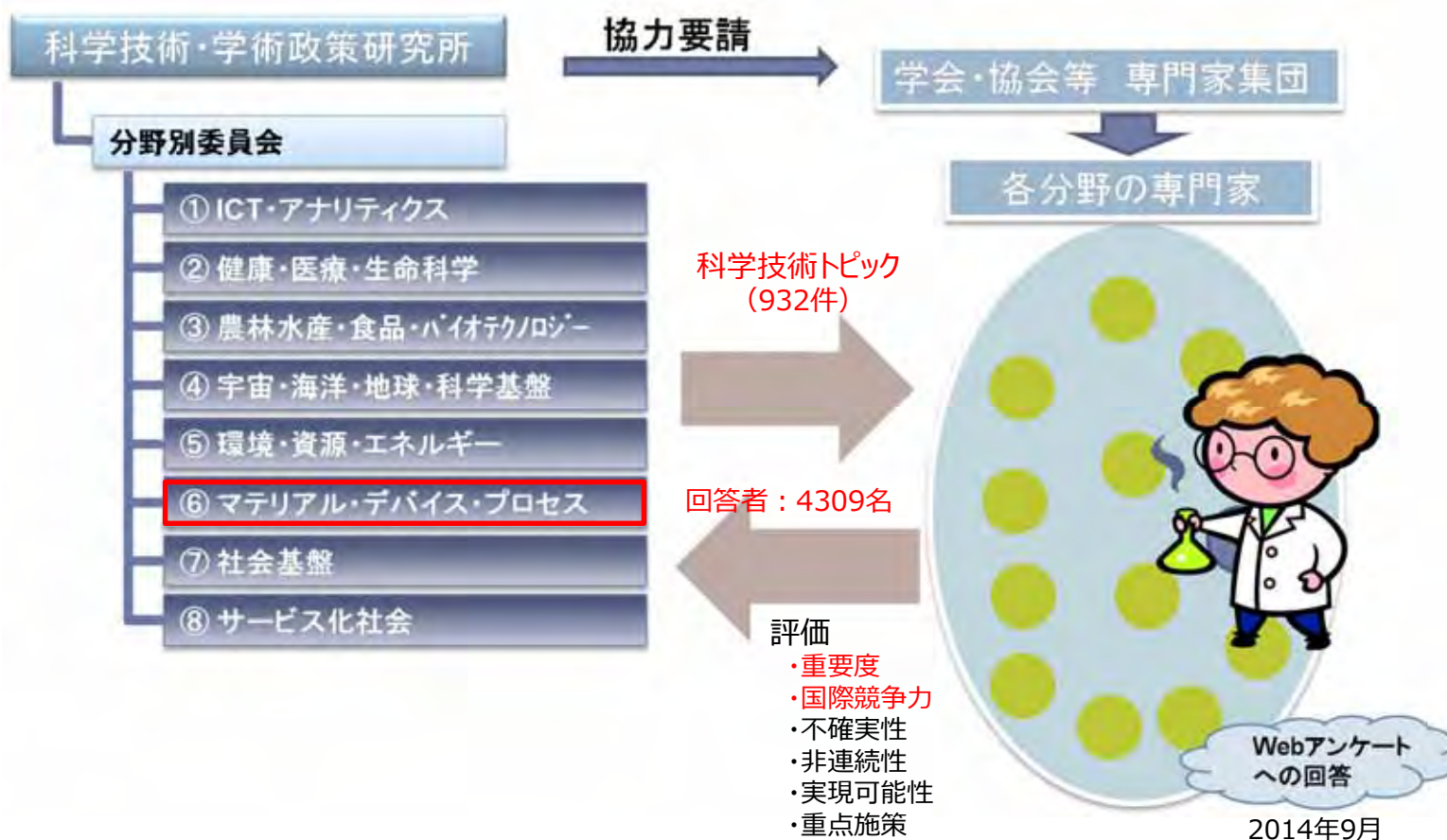
- ◆ 我が国では、科学技術の中長期発展を展望する大規模な「科学技術予測調査」を1971年から約5年毎に実施。第5回調査（1992年）から、科学技術・学術政策研究所が実施主体
- ◆ 2013年より、10回目に当たる「科学技術予測調査」を実施。2030年を中心とし、2050年までの科学技術発展と社会実装を展望。

## ■ 調査の概要

- ◆ 科学技術イノベーション政策戦略の議論に資することを目的として、ビジョン実現に向けた科学技術の発展について検討
- ◆ 社会の視点からの「将来社会ビジョンの検討」（パート1）、科学技術の視点からの「分野別科学技術予測」（パート2）を実施。
- ◆ パート1 及びパート2 の検討結果を統合し、将来社会における課題の抽出と解決の方向性、戦略事例について検討。（パート3）



- ◆ 科学技術の中長期的発展（2050年まで）の方向性について、専門家の見解を収集・分析
  - 将来の経済社会あるいは科学技術発展に大きなインパクトをもたらす潜在可能性の高い科学技術を  
→ 科学技術トピックとして設定（8分野、932件）
  - トピックの研究開発特性や実現見通し等に関するアンケートを実施  
→ 4309名が回答



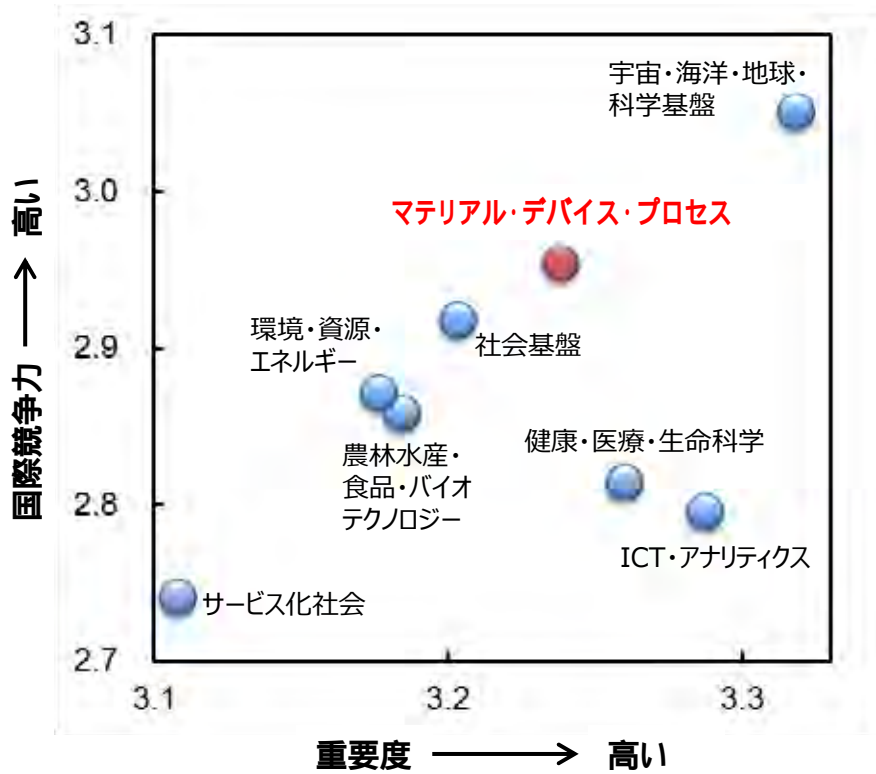
マテリアル・デバイス・プロセス委員会 委員

座長	小関 敏彦	東京大学副学長、大学院工学系研究科 教授
委員	安藤 寿浩	独立行政法人物質・材料研究機構 先端的共通技術部門 先端材料プロセスユニット カーボン複合材料グループ グループリーダー
	伊藤 順司	住友電気工業株式会社 常務取締役 パワーシステム研究開発センター センター長
	井上 俊英	東レ株式会社 研究本部 顧問
	緒形 俊夫	独立行政法人物質・材料研究機構 環境・エネルギー材料部門 特命研究員
	金丸 正剛	独立行政法人産業技術総合研究所 情報通信・エレクトロニクス分野/ナノテクノロジー・材料・製造分野 研究総括
	久保 百司	東北大学大学院 工学研究科附属 エネルギー安全科学国際研究センター 教授
	近藤 寛	慶應義塾大学 理工学部 教授
	高見 知秀	広島大学大学院 理学研究科 特任教授
	竹谷 純一	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授
	長井 寿	独立行政法人物質・材料研究機構 ナノ材料科学環境拠点 拠点マネージャー
	新野 俊樹	東京大学 生産技術研究所 教授

(所属は2015年3月現在)

	細目	トピック数	主なキーワード
コア	新しい物質・材料・機能の創成	17	無機材料（可塑性）、導電性高分子材料、ハイブリッド材料、架橋性樹脂（リサイクル）、自己組織化、自己修復材料、熱電素子、蓄光材料、パワー半導体、人工バルク半導体、有機半導体、高移動度トランジスタ、半導体レーザアレイ、メタマテリアル材料、電磁波反射体、室温超電導材料、微小物体の制御・計測、トライボロジー
	アドバンスト・マニュファクチャリング	13	付加製造、オンデマンド生産、パーソナル生産、変種大量生産、ネットシェイプ加工、オンデマンドファブシステム、超精密プロセス技術、バイオプリンティング、アミロース・糖類の生産、アトリトルオーダーの物質注入、立体固体造形、暗黙知のアーカイブ化、技術継承、低環境負荷精錬技術
ツール	モデリング・シミュレーション	12	マルチフィジクス／マルチスケールシミュレーション、合成・加工プロセスシミュレーション、三次元造形機能・構造予測シミュレーション、動的プロセス設計、触媒反応、ダイナミクスシミュレーション、化学反応経路検索、マテリアルズ・インフォマティクス、モデル最適化技術、新規物質検索性予測ツール、
	先端材料・デバイスの計測・解析手法	12	時空分解解析、リアルタイム三次元可視化、物質のゆらぎ、固体欠陥解析、オペランド解析、触媒反応素過程、実時間解析、ナノ材料、生理学的安全性推測、細胞への自動インジェクション、分子動態追尾、電子顕微鏡、高温超電導、スピントロニクス、偏極中性子
応用	応用デバイス・システム（ICT・ナノテク分野）	12	プリンタブルLSI、プリントド・システム・オン・プラスチック、フレキシブル・マン・マシン・インターフェース、ナノ機械システム、単層グラフェンデバイス、二次元半導体、1チップ集積回路、ディスプレイ、デジタルジレンマ、超高密度記録技術、低消費電力メモリ、単一スピン情報素子、量子暗号通信、単一光子、大容量ストレージ
	応用デバイス・システム（環境・エネルギー分野）	21	熱電変換素子、高エネルギー消費効率冷凍機、太陽電池、直流スマートグリッド、低温温水発電システム、高層偏西風、プラスチック創成（CO <sub>2</sub> 利用）、人工核変換、遺伝子マーキング、高効率エネルギーハーベスト、自動車用二次電池、空気電池、マグネシウム、リサイクル、炭素質キャパシタ、希少金属、燃料電池、低濃度NO <sub>x</sub> 酸化剤、高密度水素貯蔵材料、実用光触媒、人工光合成、CO <sub>2</sub> 燃料化、膜分離技術、低環境負荷デバイス（グラフェン、ナノチューブ）
	応用デバイス・システム（インフラ分野）	5	ヘルスマニタリング、自己診断表示材料、高強度高靱性鉄鋼製建築構造材、金属・セラミクス直接接合、炭素系構造材料

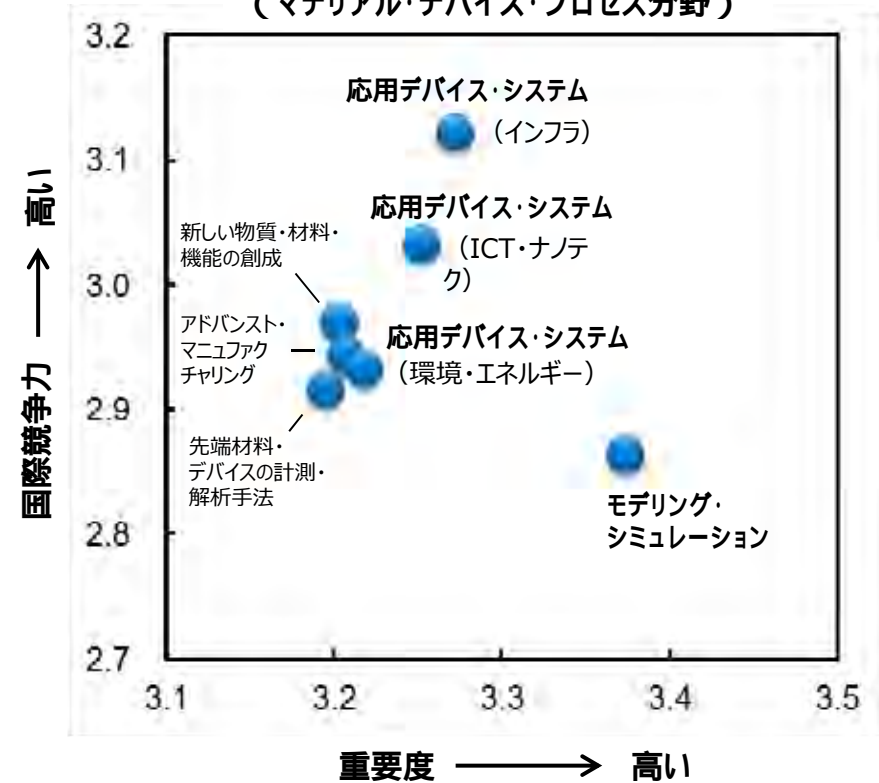
## 分野別比較



➡ マテリアル分野は、宇宙・海洋分野に次いで国際競争力が高いと評価

## 細目別比較

(マテリアル・デバイス・プロセス分野)



➡ 応用デバイス・システム (インフラ) が国際競争力が高く、モデリング・シミュレーションは国際競争力は低いと評価

重要度/国際競争力：選択肢を点数化し、スコアを算出。  
(4点：非常に高い、3点：高い、2点：低い、1点：非常に低い)

## ■ 重要度、国際競争力 双方とも高いトピック

- ★環境・エネルギー応用関連の**二次電池・燃料電池・太陽電池**関連、
- ★インフラ応用関連の**建築用構造材料**関連、
- ★ICT・ナノテク応用関連の**高性能・低消費電力LSIやメモリ**関連

	細目	トピック
1	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)	現行の大きさ、重量でも航続距離が500kmの性能（エネルギー密度1kWh/kg以上、出力密度1kW/kg以上）をもつ自動車用 <b>二次電池</b>
2	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)	希少金属を用いない自動車用の高効率 <b>燃料電池</b>
3	応用デバイス・システム (インフラ分野)	超大橋など大規模構造物に利用できる軽量高強度・高耐食の <b>炭素系構造材料</b>
4	応用デバイス・システム (インフラ分野)	降伏強さ1800MPa（既存鋼材の3倍）以上で脆性遷移温度が-40℃以下の高強度高靱性鉄 <b>鋼製建築構造物</b>
5	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)	マグネシウムなどを用いた、エネルギー密度が高く、再生・リサイクルが容易な <b>空気電池</b>
6	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)	単位面積当たりの消費電力を増加させずに情報処理能力を向上させて、現在のスパコン程度の性能を1チップで実現する <b>集積回路技術</b>
7	応用デバイス・システム (ICT・ナノテク分野)	現在のDRAMに比べ、100倍のメモリバンド幅を持ち、100分の1の消費電力で動作する <b>メモリ</b>
8	応用デバイス・システム (環境・エネルギー分野)	変換効率50%を超える <b>太陽電池</b>

## ■ 重要度は高いが、国際競争力が低いトピック

全て「モデリング・シミュレーション」の関連

	細目	トピック
1	モデリング・シミュレーション	構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、求める機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術
2	モデリング・シミュレーション	表面・界面で起こる化学反応に対して、摩擦、衝撃、応力、流体、電場、熱、光などの多様な物理的因子が与える影響を解明可能なマルチフィジックスシミュレーション技術
3	モデリング・シミュレーション	電子スケールから原子、メゾ組織、マクロ組織、工業部材までマルチスケールでのマルチフィジックス材料シミュレーション技術
4	モデリング・シミュレーション	材料設計のみならず、動的なプロセスの設計が可能な量子論に基づくシミュレーション技術
5	モデリング・シミュレーション	電子スケールで起こる化学反応がマクロスケールの物性、機能、劣化、破壊に影響を与えるマルチスケールシミュレーション技術
6	モデリング・シミュレーション	合成プロセスシミュレーション、加工プロセスシミュレーション、機能予測を一環して可能なシミュレーション技術
7	モデリング・シミュレーション	シミュレーションデータと実測データの同化を通じて材料の局所的物性とマクロ物性を接続する、より精緻に予測可能なモデル最適化技術



## テーマ別シナリオ

## 統合シナリオ

**[ものづくり] 未来の産業創造と社会変革に向けた新しいものづくりプラットフォーム**

ICT及びサービスとの高度な融合による「未来の産業創造と社会変革」に寄与する新しいものづくりプラットフォーム

**[サービス、ICT] ICTの活用による未来共創型サービス**

様々な要素を構成してユーザーの要望に応える新しい価値サービスを共創するサービスイノベーション

**[健康・医療情報、脳とこころ] 健康長寿社会の実現に向けた心身の健全化**

超高齢社会におけるQoL及び労働力の持続的な確保に向けた疾病対策、及び、脳とこころの健全化

**[地域資源・農と食] 地域資源を活用した食料生産と生態系サービスの維持**

食、サステナビリティ、人材育成を軸とした検討

**[レジリエントな社会インフラ] 大規模災害や少子高齢化等に対応するレジリエントな社会インフラ**

大規模自然災害への対応、国土監視、社会インフラ統合管理

**[エネルギー・環境・資源] 持続可能な未来構築に貢献するエネルギー・環境・資源**

エネルギーのベストミックスと気候変動問題解決に貢献するためのエネルギー・環境・資源

「世界の中の日本」

統合  
シナリオ

[リーダーシップ]

[国際協調・  
協働]

[自律性]

視点	内容	具体事例
<b>リーダーシップ</b>	我が国の強みを活かし、国際競争力を確保する	<ul style="list-style-type: none"> <li>高い国際競争力を持つ技術的な強みや、文化的な強みをベースに、我が国が高い提案力を持つ</li> <li>課題先進国としてフィールドを提供して優秀な研究者や企業を呼び込み、イノベーションをリードする</li> </ul>
<b>国際協調・協働</b>	我が国の強みを基盤としつつ、国際協力によりグローバルな課題の解決を図る	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害、環境、エネルギーなど、グローバルな課題解決に貢献する</li> <li>難病や感染症対策など、多国間協調・協働により課題解決が促進される</li> </ul>
<b>自律性</b>	我が国の存続基盤に関わる課題に自律的に対処する	<ul style="list-style-type: none"> <li>人口減少に伴う生産と消費に関する課題の解決に資する</li> <li>人口減少に伴う地域の課題に対応する</li> <li>精神的効用を含む生活の質向上に寄与する</li> </ul>

課題先進国日本にとり、「課題」はいわば「チャンス」。課題解決を図り、生活の質を維持向上することは、存続基盤の維持とともに、我が国の存在感の維持・向上につながる。

\* 本調査における「シナリオ」は、一つを排他的に選択して実施するのではなく、利用可能なリソースの制約等を考慮しつつ、対応する局面に応じた適切なバランスの下に各シナリオの実現を図っていくことを想定したもの。

## シナリオ委員会（ものづくり・サービス・ICT合同） 委員

座長	下村 芳樹	首都大学東京 システムデザイン学部 教授
サービス	内平 直志	北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 教授
ICT	越塚 登	東京大学大学院 情報学環 教授
サービス	竹中 毅	独立行政法人産業技術総合研究所 サービス工学研究センター 主任研究員
ものづくり	田中 浩也	慶應義塾大学 環境情報学部 准教授
サービス	戸谷 圭子	明治大学大学院 グローバル・ビジネス研究科 教授
ものづくり	長瀬 公一	東レ株式会社 研究・開発企画部 主席部員
ものづくり	新野 俊樹	東京大学 生産技術研究所 教授
ICT	檜山 敦	東京大学大学院 情報理工学系研究科 特任講師
ICT	堀 浩一	東京大学大学院 工学系研究科 教授
ものづくり (インタビュー)	芦野 俊宏	東洋大学 国際地域学部国際地域学科 教授
ものづくり (インタビュー)	古川 英光	山形大学大学院 理工学研究科機械システム工学専攻 教授
サービス (インタビュー)	持丸 正明	独立行政法人産業技術総合研究所 サービス工学研究センター長

ICT、ものづくり、サービスの各専門家からなる合同ワークショップにおける議論を基に、2030年をターゲットとした将来シナリオを検討

経済・人口・地域の各側面から、「ものづくり」に深く関わる2030年の社会課題を抽出

経済	人口	地域
<p>(制約事項として) エネルギー・環境・資源・新興国 <b>新興国の台頭</b> (コモディティー化、国際競争力の低下)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>生産性の向上、生産性の定義の再構築</li> <li>高付加価値化 (ブランディング、感性、文化、ハピネス重視)</li> <li>個人、企業の価値観の転換</li> <li>消費ニーズ多様化への対応 (中小企業刷新、地域活性化)</li> </ul>	<p><b>労働人口減少</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>生産性の向上</li> <li>シニア、女性人材の活用</li> <li>仕事マッチング、モチベーションの向上</li> </ul> <p><b>少子高齢化</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>介護負担の低減</li> <li>健康管理、維持、在宅医療</li> </ul> <p><b>職住環境の変化</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>職住近接、家事サービス付集合住宅</li> <li>地域&amp;職場コミュニティの構築、融合</li> </ul>	<p>* 人口20万人程度の職住近接型都市を想定</p> <p><b>大企業の撤退等による仕事の減少</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一次産業の工業化 (植物工場等)</li> </ul> <p><b>地域特有の多種多様な課題</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地域ものづくりコミュニティ (ファブラボ等)</li> <li>多品種少量生産ソリューション</li> <li>農産物の収穫などの労働の間接支援</li> <li>高齢者モビリティ (あぜ道走行等)</li> <li>生活支援 (細かい作業用ロボット)</li> <li>インフラ老朽化対策 (自己修復、アップデート)</li> </ul>

2030年の日本の社会課題

- 工業製品のコモディティー化
- 少子高齢化による労働人口の減少
- 地方の衰退 など

→これまで日本の国際競争力を牽引してきた「ものづくり」産業を取り巻く環境は大きく変化

わが国の産業の国際競争力を強化し、将来に向け持続的な発展を実現していくための

→「ものづくり」の重要な方向性

「個人や社会の多様なニーズへの対応」による、個人のQOL (生活の質) 向上と、国内外で顕在化する社会課題解決への貢献

★外務省・科学技術外交を念頭に  
別途「世界の中の日本」  
ワークショップを開催し論点を整理  
→以下の3つの観点からシナリオを作成

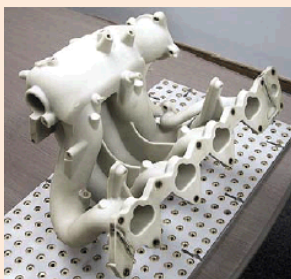
- ①リーダーシップ
- ②国際協調・協働
- ③自律性

国際社会における日本の「ものづくり」の将来像と、今後の方向性・戦略を抽出

### リーダーシップ シナリオ

個人や社会の多様なニーズに応え  
国際競争力を備えた  
新しいものづくりが実現した社会

サービスとの高度融合による高付加価値化と、ICTの高度利用による高効率なデジタル化プロセス・システム（設計、製造、流通、販売、サービス）の構築によって、国内外の個人や社会の多様なニーズに応え、国際競争力を備えた、新しいものづくりが実現する。



### 国際協調・協働 シナリオ

エネルギーの有効利用と、環境に  
やさしい国際社会の構築に  
ものづくりが貢献する社会

低環境負荷のモビリティ、再生可能エネルギーと省エネルギーを支える材料デバイス等の国際競争力の高い技術をベースに、ICTの高度利用によるシステム化、および材料創成シミュレーション計測の基礎研究推進により実現した、エネルギーの有効利用と、環境にやさしい国際社会の構築にものづくりが貢献する。

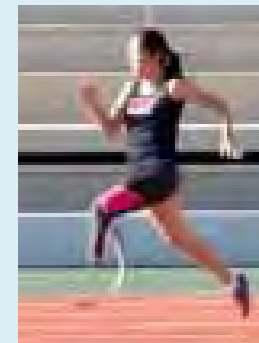


出典：(株)東芝HP

### 自律 シナリオ

人の行動ニーズに適した高度な  
支援機器や使用環境整備に  
ものづくりが貢献する社会

ICTとの高度融合によって、多様な生活シーンに求められる煩雑作業動作を可能とする機器（広義のロボット）の研究開発と使用環境の整備により、少子高齢化や食料問題など、日本をはじめ今後各国で顕在化する社会課題の解決にものづくりが貢献する。

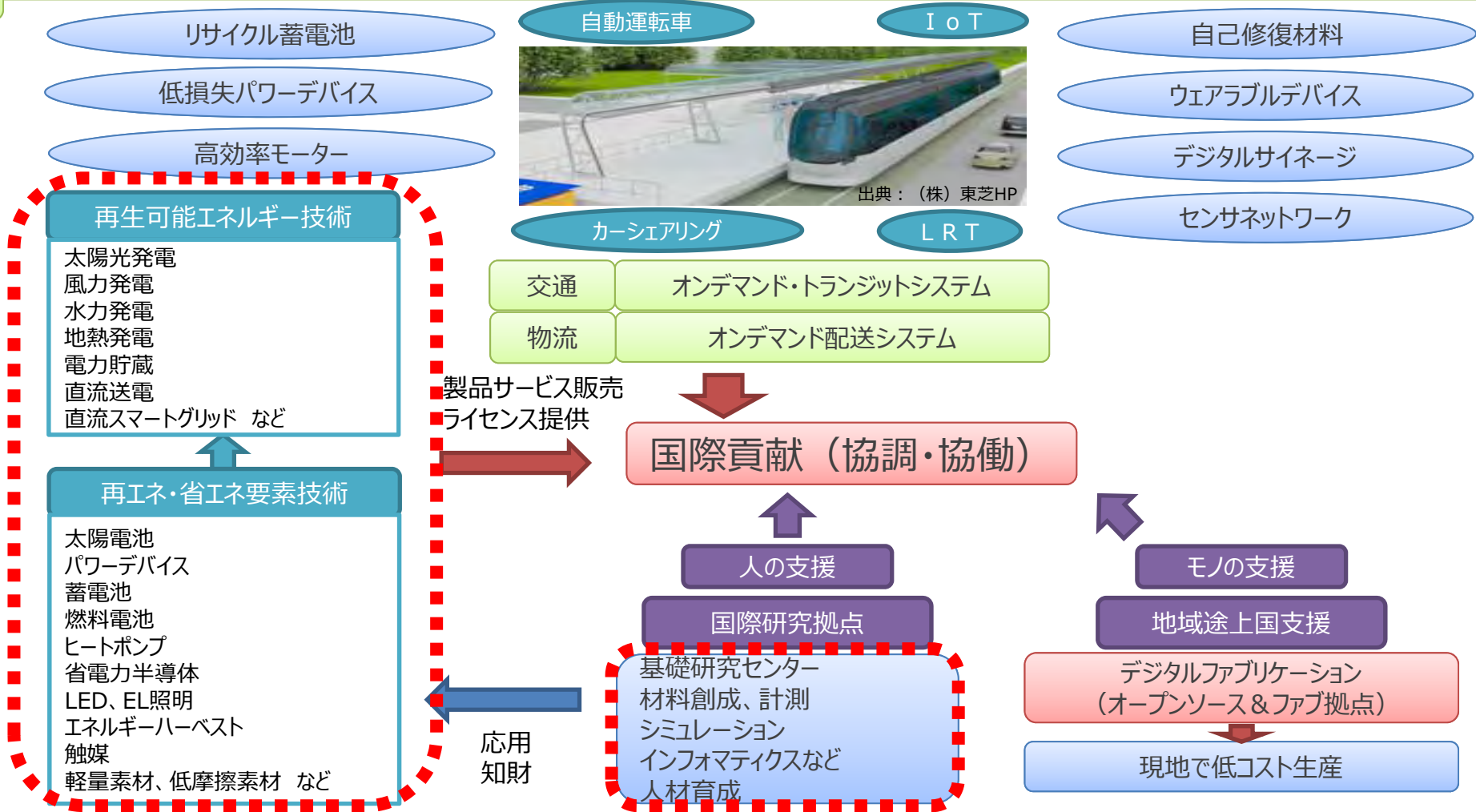


写真提供：東大生研



写真提供：東レ(株)

低環境負荷のモビリティ、再生可能エネルギーと省エネルギーを支える材料デバイス等の国際競争力の高い技術をベースに、ICTの高度利用によるシステム化、および材料創成シミュレーション計測の基礎研究推進により実現した、エネルギーの有効利用と、環境にやさしい国際社会の構築にものづくりが貢献する社会



従来型ではない基礎研究推進・産学連携推進の実効的な仕組みの構築

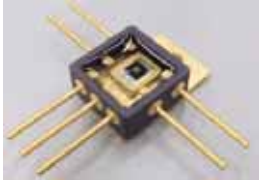


変換効率50%を超える**太陽電池**

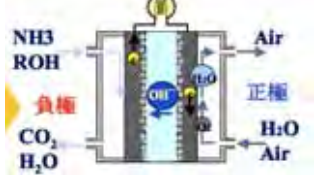
航続距離500kmの性能の  
軽量小型自動車用**二次電池**



SiC、GaNよりも低損失の電力用**パワー半導体**



希少金属を用いない  
自動車用高効率**燃料電池**

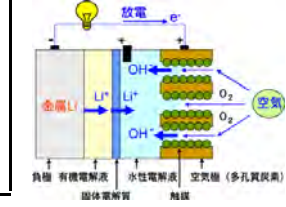


大規模構造物用の軽量高強度・高耐食の**炭素系構造材料**



低消費電力で現在のスパコン性能を  
1チップで実現する**集積回路技術**

再生、リサイクル可能な**空気電池**



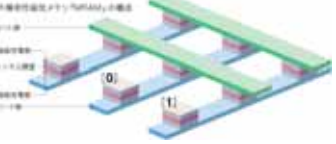
建築構造物軽量  
**ヘルスマonitoring技術**



一環して**合成&加工プロセス・機能予測**が可能な  
**シミュレーション技術**



低消費電力  
**ワイドバンドメモリ**



電子スケールの化学反応がマクロスケールの物性、機能等に影響を与える**マルチスケールシミュレーション技術**

電子スケールから工業部材までマルチスケールでの**マルチフィジックス材料シミュレーション技術**

表面・界面で起こる化学反応に対して、多様な物理的因子が与える影響を解明可能な**マルチフィジックスシミュレーション技術**

**人工光合成技術**  
(効率1%以上)



構造を与えてその機能・物性を予測するのではなく、  
求める**機能・物性を有する構造自体を予測可能なシミュレーション技術**

- ◆ パート2：分野別科学技術予測調査より
  - ✓ マテリアル分野は、他分野と比較し**重要度が高く、国際競争力が高い。**
  - ✓ 分野内では、**応用システム・デバイス（インフラ/ICT・ナノテク）**が、特に重要度が高く、国際競争力が高い。
  - ✓ **モデリング・シミュレーション**は、重要度が高いが、国際競争力は低い。
  
- ◆ パート3：国際的視点からのシナリオプランニングより
  - ✓ マテリアルを基幹とする「ものづくり」で、国際社会でリーダーシップを取るためには、**ICT、サービスとの融合が必要**となる。
  - ✓ また、デジタル化プロセスと**日本独自のマテリアル・製造のインフォマティクス**の融合とその戦略が国際社会をリードする上で重要となる。
  - ✓ **国際協調・協働**のために、国際競争力の高い日本の環境エネルギー関連技術を持続的に活かすために、シミュレーションやマテリアルズ・インフォマティクスを含めた国際基礎研究拠点を設けることが有効である。
  - ✓ 課題先進国として日本が**自律性**を確保するために、世界に先駆け、人のニーズに適した3Dデザイン&ファブシステムなど、**デジタルファブリケーション、AI、ロボット、軽量素材・デバイス**の研究開発を推進することが有効である。



リーダーシップ  
シナリオ

温暖化問題解決に貢献する、  
世界をリードする技術開発  
の推進

- 最適制御されたエネルギーのベストミックス
- 省エネ技術の高度進展化
- 資源回収マネジメント技術による廃棄物(レアメタルや廃熱)の100%再利用化
- 地球観測技術、モニタリング、発生メカニズムの解明など
- 環境や生態系におけるリスク要因の解明と適切な対策

- エネルギーのベストミックスに関する法的支援
- 省エネ製品の国際展開支援
- 生物多様性を考慮した原材料の仕組みづくりと他業界との連携

国際協調・協働  
シナリオ

地球規模問題への対応と  
世界の発展への貢献

- 地球温暖化の定量的モデルの確立と影響評価
- 自然エネルギーおよびCO<sub>2</sub>回収技術の普及
- クリーンシップによる食料や鉱物資源の輸入
- 水資源の確保と世界トップレベルの水関連技術を通じた世界の貧困問題解決
- 世界の減災に貢献

- 新たな市場創造開拓
- エネルギーマネジメントに精通した人材育成
- 経済性、環境影響を考慮した技術開発

自律  
シナリオ

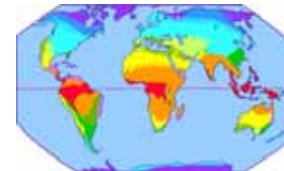
全体最適化を考慮した  
システムの実現

- 節電やエネルギーのベストミックスによる地方活性化
- ICT技術の進展によるスマートエネルギーシステムの全国展開
- 気候変動に柔軟に対応した露地栽培と施設栽培の最適化システムの普及
- 労働力不足に対応する移民制度やロボット利用

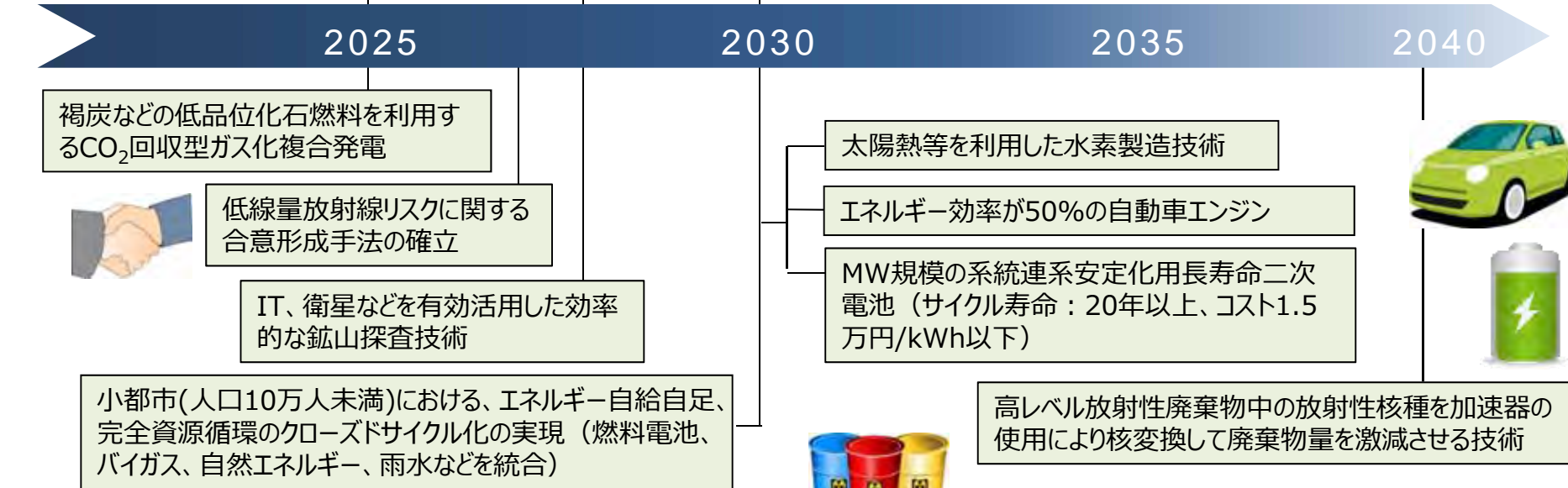
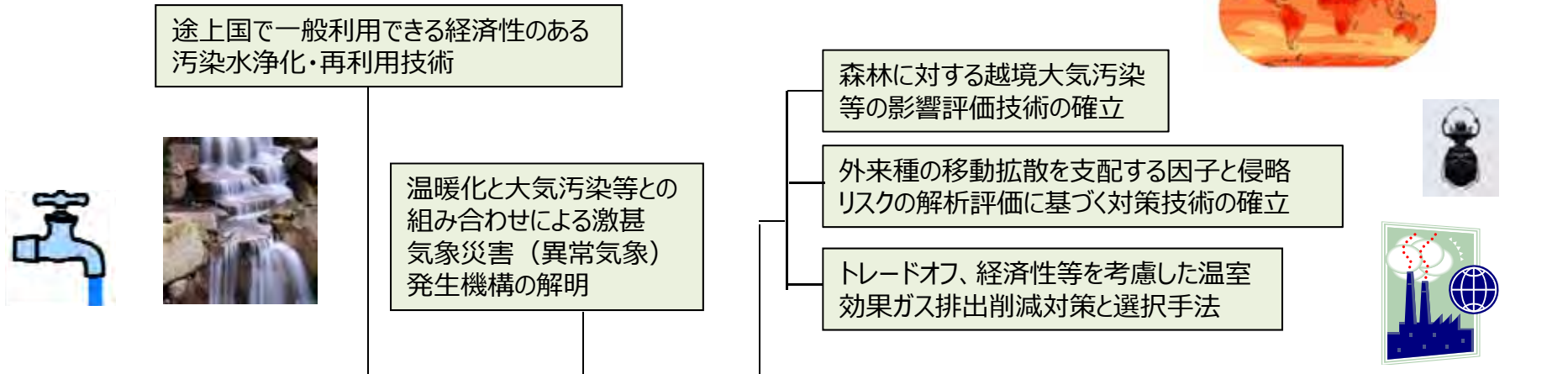
- 全体最適化を考慮したソフトウェア開発や統合システム開発
- 事業採算性をサポートする施策
- 自然との調和に配慮した農林水産技術

2030年の  
社会

戦略



## 環境問題



## エネルギーシステム