

招 待 講 演

AIST

## 色素増感太陽電池の現状と将来展望

産総研における色素太陽電池の研究

(独)産業技術総合研究所  
エネルギー技術研究部門  
太陽光エネルギー変換グループ  
杉原秀樹

Website: [www.aist.go.jp](http://www.aist.go.jp) / ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

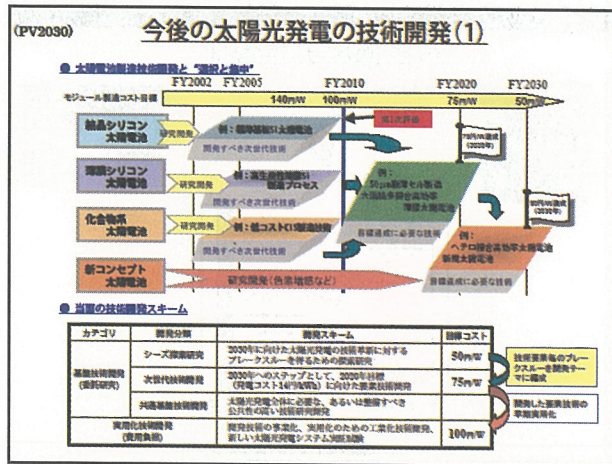
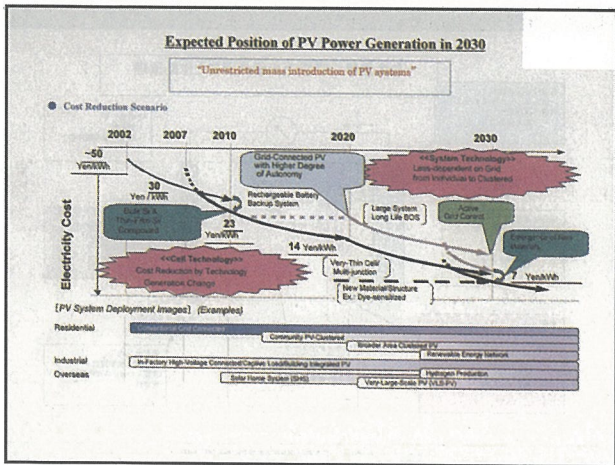
AIST

### 現状と課題

- 高効率化と耐久性の向上
- 色素デザインの実際
  - 長波長吸収をもつ色素の設計
  - 励起状態、基底状態のエネルギー準位の調整
  - 吸収係数の増大や耐久性の向上
- 電解液の検討、導電性高分子
- 半導体電極

まとめ

Website: [www.aist.go.jp](http://www.aist.go.jp) / ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

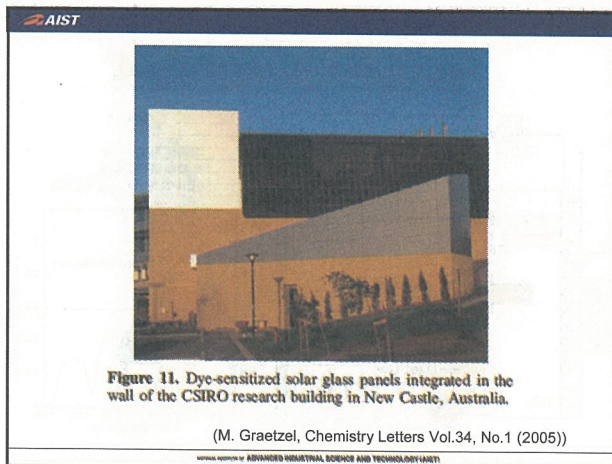


AIST

## 太陽電池

- 従来型 (p-n junction type)
  - 結晶 Si: 18~24%
  - GaAs: 26%
  - InP: 20%
  - CuInGaSe (CIGS): 16%
  - アモルファス Si: 12%
- 有機系太陽電池
  - 色素増感太陽電池: ~11%
  - 有機薄膜太陽電池: ~4%

Website: [www.aist.go.jp](http://www.aist.go.jp) / ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



(PV2030) **太陽光発電の当面の技術開発内容**  
 — 2016年までに想定される開発項目 —

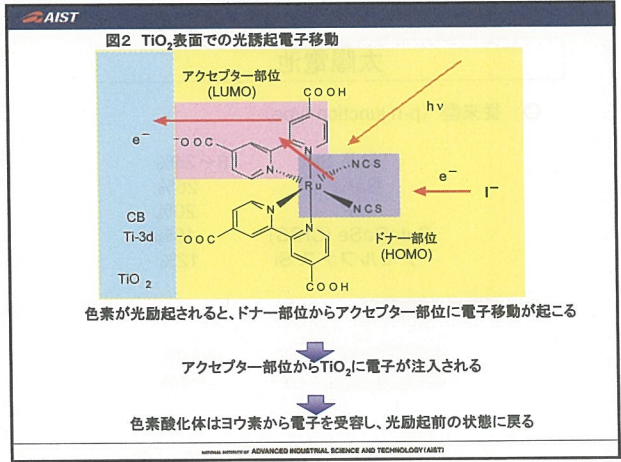
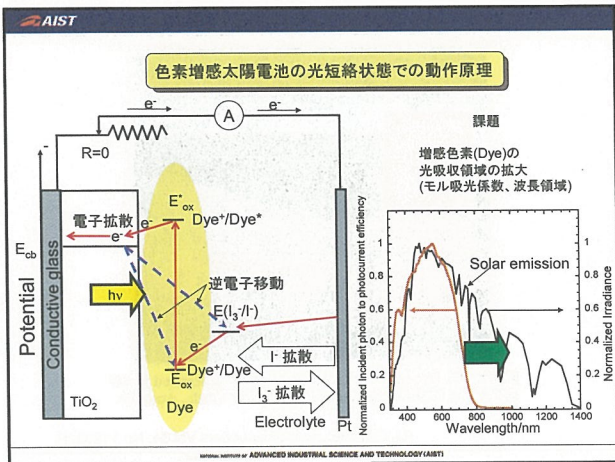
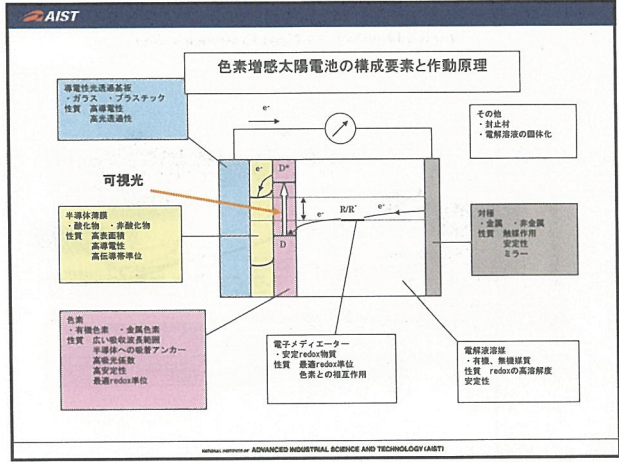
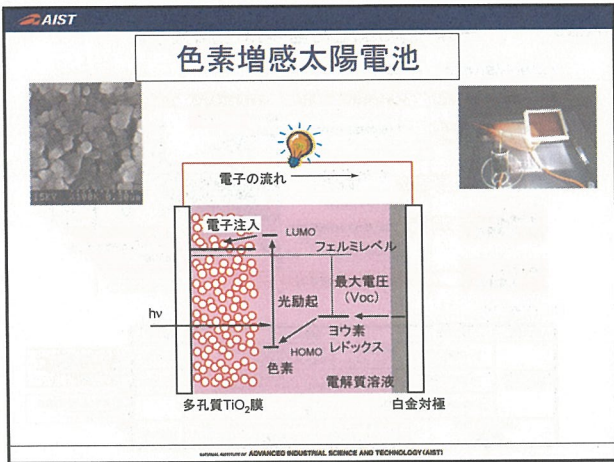
2020年の中期目標(発電コスト 14円/kWh)への開発技術開発	2020年へ向けたいブレイクスルー目標 7 項目	2010年導入目標へ対応 22項目
2016年までの次世代技術開発テーマと開発内容	2016年までに実用化が必要なシーズ技術開発課題	実用化技術開発課題
分野と開発テーマ	開発内容	
<結晶シリコン太陽電池> 超結晶・超薄膜化 超結晶・大面積化 超結晶・大面積化 超結晶・大面積化	インゴット結晶化・多結晶・超結晶等への 結晶化・超薄膜化・厚さ200μm→50μm以下への 超薄膜化・ドローイング・セル化工程技術 高効率化・高信頼性・高寿命 新素材・プロセス・設備などの開発効率化	インゴットの結晶化・超薄膜化 超薄膜化・ドローイング・セル化工程技術 超結晶・大面積化 超結晶・大面積化
<薄膜シリコン太陽電池> 高効率・高信頼性 超薄膜・大面積化	超薄膜化の解明と制御技術 超薄膜化の制御技術 多層化セル構造	高効率シリコン材料製造技術 高効率モジュール材料
<化合物半導体太陽電池> 高効率・大面積化 太陽電池製造プロセス	非真空・低温・大面積製造技術 超薄膜化・超薄膜化 超薄膜化・超薄膜化	高生産性・高信頼性プロセス 高効率・大面積化
有機薄膜太陽電池	5層を有するシリコン-有機セル形成	大面積化・超薄膜化プロセス
<新コンセプト太陽電池> 超結晶・大面積化 超薄膜・大面積化 超薄膜・大面積化	非真空・低温・大面積製造技術 超薄膜化・超薄膜化 超薄膜化・超薄膜化	
<システム技術> 自律制御・向上型システム技術	低コスト・高信頼性・インテグレーション 制御システム構築	

AIST

課題: 変換効率の更なる向上と耐久性の向上

NEDO「太陽光発電システム未来技術研究開発」における  
 開発目標 (平成18年度ー平成21年度)

色素増感太陽電池  
 (1) 高効率化技術では、セル(面積1 cm<sup>2</sup>) 変換効率15 %  
 (2) モジュール化技術・耐久性向上技術では、サブモジュール(30 cm角程度)で効率8 %、かつJIS規格C8938の環境試験・耐久性試験(温湿度サイクル試験、耐熱性試験、耐湿性試験、温度サイクル試験、光照射試験)において相対効率低下10 %以下を実現する。



**増感剤として必要な性質**

- 大きな吸光係数をもち、太陽光スペクトルと吸収領域が重なっていること
- 基底状態、励起状態のエネルギーレベルが半導体電極、酸化還元系のエネルギーレベルとマッチングしていること
- 半導体電極表面に（単分子層で）吸着することができるような構造をもつこと
- 光の照射、熱に対して安定であること
- 製造コストが大きくないこと、資源の制約や、廃棄の際の安全性やコストに問題がないこと

**高性能有機色素の開発 (NKX-2677)**

$\eta = 7.7\%$   
 錯体色素に匹敵する初めての高性能有機色素

Cc1c2c(c3c1O)c4c(O)c5c(O)c(O)c5c4O)c3C (NKX-2677)

Photocurrent density / mA cm<sup>-2</sup>

η = 7.7% (AM1.5)  
 J<sub>sc</sub> = 14.3 mA cm<sup>-2</sup>  
 V<sub>oc</sub> = 0.73 V  
 Fill factor = 0.74

K. Hara et al., *New J. Chem.*, 27, 783 (2003)

**金属色素の特徴**

有機色素に比べ安定であることが期待される中心金属元素を適当に選ぶことにより目的に即した、光化学・電気化学的性質をもつ錯体色素を設計できる

配位子を設計することにより、光化学・電気化学的性質をチューニング可能

**一般的なRu錯体色素 (N3色素とブラックダイ)**

IPCE (%)

Wavelength / nm

Max. efficiency = 11.1% (Black dye)

N3 dye

Black dye

**ルテニウム錯体の増感色素の検討**

- 励起状態と基底状態の最適エネルギー準位  
⇒どこまで長波長化できるのか？
- モル吸光係数の向上方法  
TiO<sub>2</sub>膜厚を薄くできる。光開放電圧の向上
- 逆電子移動反応の抑制 (特にTiO<sub>2</sub>からI<sub>3</sub><sup>-</sup>への電子移動)

**ルテニウム(II)錯体の光吸収波長領域の長波長化**

An acceptor ligand with low-lying π\* level

Relative Energy/kK

π\* π\* π\*

t<sub>2g</sub> t<sub>2g</sub> t<sub>2g</sub>

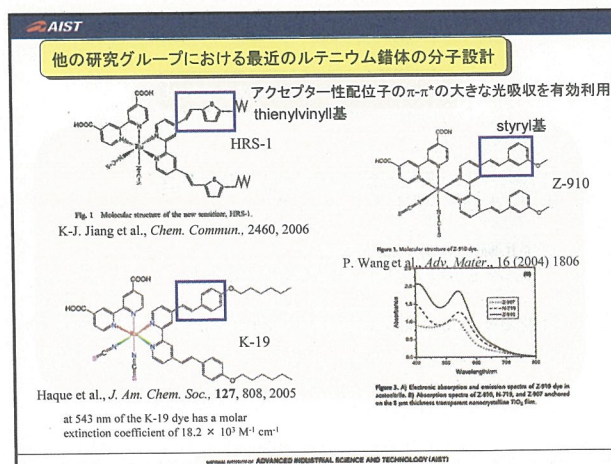
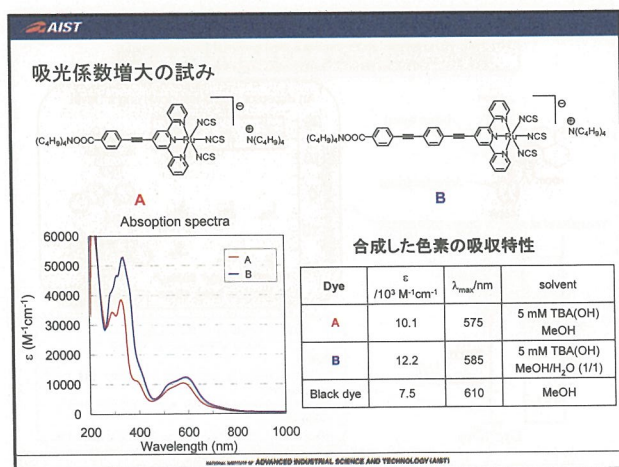
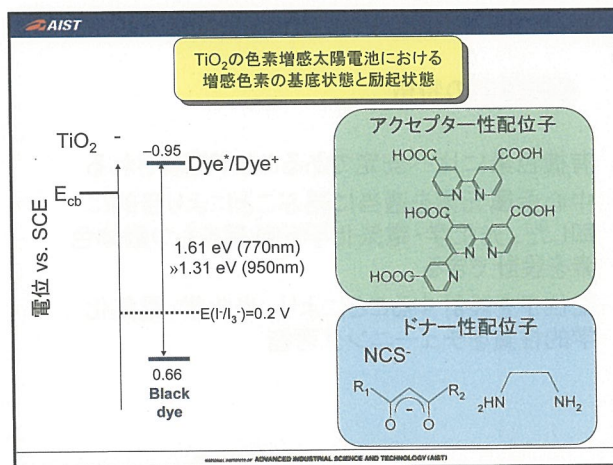
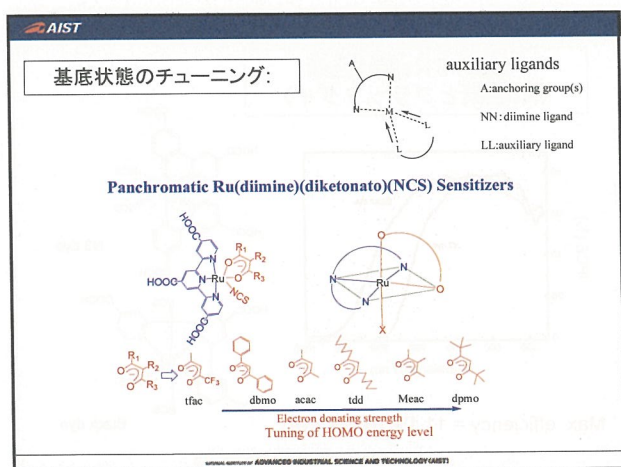
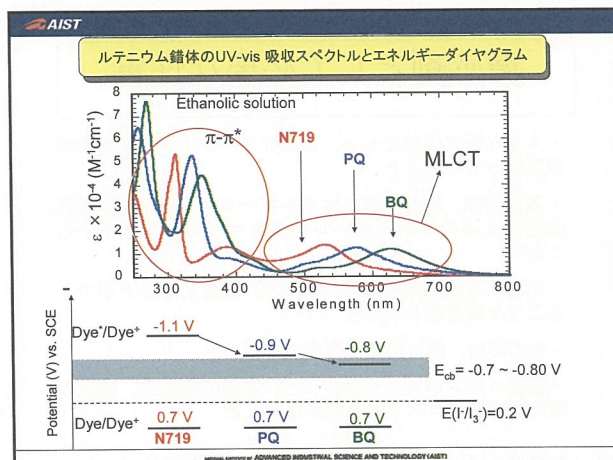
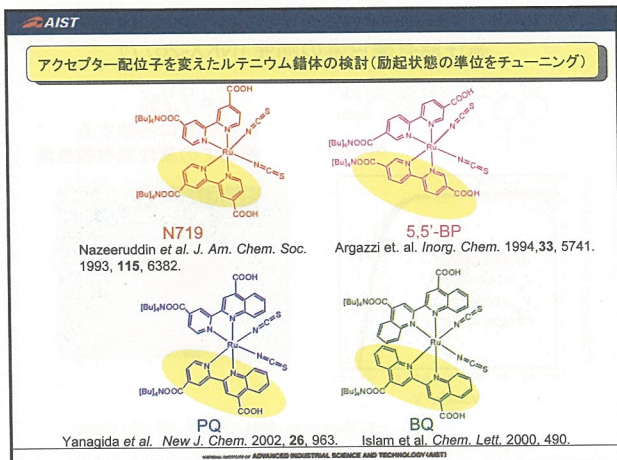
π π π

Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> Ru(pa)<sub>3</sub><sup>2+</sup> Ru(biq)<sub>3</sub><sup>2+</sup>

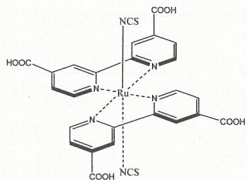
D. M. Klassen, *Inorg. Chem.* 1976, 15, 3166.

Destabilization of the metal t<sub>2g</sub> orbital with a strong donor ligand

NCS: Nazeeruddin et al. *J. Am. Chem. Soc.* 1993, 115, 6382.  
 β-diketonato Takahashi et al. *Inorg. Chem. Acta.* 2000, 12, 1083.  
 dithiolate Islam et al. *J. Photochem. Photobiol. A* 2001, 145, 135.



幾何異性体の利用

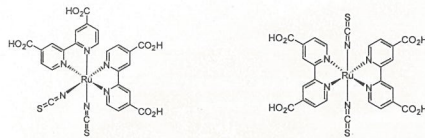


N3色素のtrans異性体がN3(cis型)に比べ50nm長波長側に吸収がシフトしている

これを利用して光電変換効率が向上との報告あり

Z-S Wang et al., *New J. Chem.*, 24, 567 (2000),  
Zakeeruddin et al., *Inorg. Chim. Acta.*, 296, 250 (1999)

異性体による光電変換特性の比較例



cis-(4,4'-dcbpy)<sub>2</sub>Ru(NCS)<sub>2</sub>

trans-(4,4'-dcbpy)<sub>2</sub>Ru(NCS)<sub>2</sub>

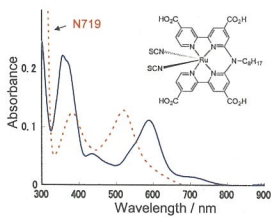
Dye Complex	$\lambda_{max}$ / nm	$J_{sc}$ / mAcm <sup>-2</sup>	$V_{oc}$ / V	FF	$\eta$ / %
cis-(4,4'-dcbpy) <sub>2</sub> Ru(NCS) <sub>2</sub>	538	14.9	0.69	0.60	6.7
trans-(4,4'-dcbpy) <sub>2</sub> Ru(NCS) <sub>2</sub>	582	19.6	0.72	0.56	8.6

dcbpy = dicarboxy-2,2'-bipyridine

trans-異性体がcis-異性体に比べ高性能

Z-S. Wang et al. *New J. Chem.* 2000, 24, 567-568.

産業技術総合研究所で開発した Ru 錯体色素



K. Kasuga et al. (2006)

電解液への添加剤の検討

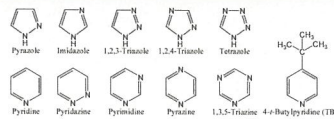


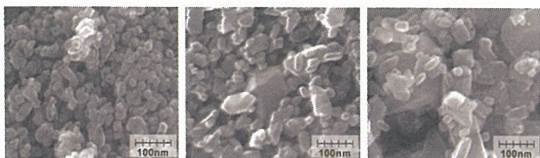
Fig. 1. The structures of the nitrogen-containing heterocyclic additives.

Table 1 The influence of the nitrogen-containing heterocycles in the I/I3-redox electrolyte solution on the dye-sensitized solar cell performance

Heterocycles	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	Fill factor	$\eta$ (%)
None	16.5	0.620	0.633	6.49
Pyrazole	15.6	0.674	0.670	7.05
Imidazole	9.9	0.848	0.770	6.45
1,2,3-Triazole	15.7	0.607	0.645	6.13
1,2,4-Triazole	15.1	0.662	0.661	6.92
Tetrazole	16.2	0.592	0.567	5.44
Pyridine	14.7	0.730	0.719	7.73
Pyridazine	15.1	0.603	0.692	6.32
Pyrimidine	15.2	0.666	0.689	6.95
Pyrazine	15.4	0.672	0.663	6.86
1,3,5-Triazine	14.5	0.700	0.712	7.23
TBP	14.2	0.770	0.724	7.92

a Conditions: electrolyte, 0.6 mol/dm<sup>3</sup> 1,2-dimethyl-3-propylimidazolium iodide + 0.1 mol/dm<sup>3</sup> LiI + 0.05 mol/dm<sup>3</sup> I<sub>2</sub> + 0.5 mol/dm<sup>3</sup> additive in acetonitrile; light intensity, 100 mW/cm<sup>2</sup>, AM 1.5.

TiO<sub>2</sub>ナノ粒子の合成



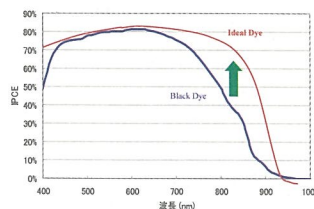
Condition A

Condition B

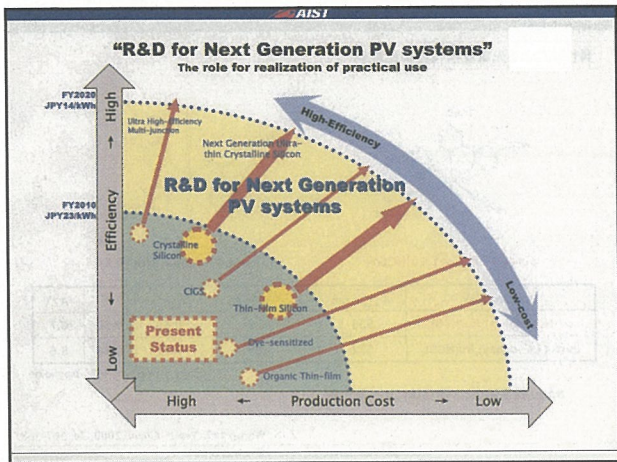
Condition C

更なる高効率化のために

target :  $\eta$  15%  
 $J_{sc}$  25、 $V_{oc}$  0.80、FF 0.75



Dye	$E_g$ (V)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )
New Dye	1.4~1.5	25



**AIST**

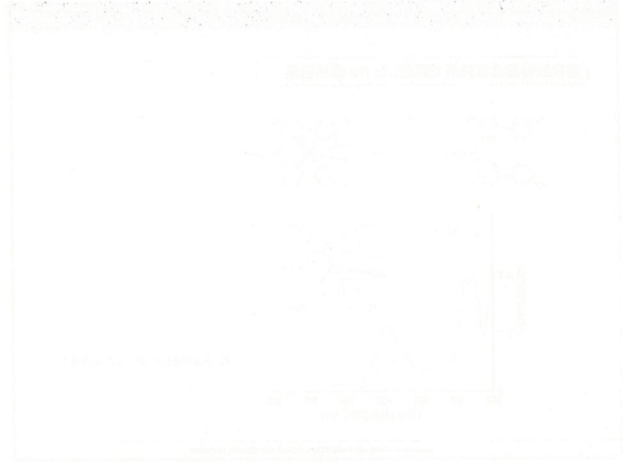
産総研での取り組み  
(基盤的研究に基づく)

色素等の開発による高効率化の実現

1.  $\text{TiO}_2$  ナノ結晶電極における増感色素の励起状態の準位は約-1.0 V vs. SCE 以下が必要である。
2.  $\text{H}_2$  をレドックス種とした場合、増感色素の基底状態の準位は約0.6 V vs. SCE 以上が必要である。
3.  $\text{H}_2$  をレドックス種とし、 $\text{TiO}_2$  ナノ結晶電極を用いた色素増感太陽電池の場合、400 nm から 950 nm の太陽光が利用できる。
4. ルテニウム錯体におけるモル吸光係数の向上。  
MLCT 以外の遷移も利用する。

セル構成法の工夫による高効率化の実現  
実用化に向けた、劣化要因の解明と耐久性向上技術開発

White paper of ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



特 別 講 演



**AIST** **IRAI**

科学的発見・発明とイノベーション

半導体基礎研究・開発の現場から

(独)産業技術総合研究所  
次世代半導体研究センター  
廣瀬全孝

第3回  
太陽光発電研究センター  
成果報告会(2007.7.17)

**AIST**

アウトライン

1. 企業のR&Dと研究開発コンソーシアムの活用
2. トランジスタ技術のイノベーション-サイエンスへの原点回帰
3. 製造技術を革新する検査・計測技術
4. 日本の技術力-国際比較
5. まとめ  
イノベーションの源泉-基礎研究の強化を

謝辞 本研究の一部はNEDOの半導体MIRAIプロジェクトの一部として行われた。

**AIST** 企業のR&Dと研究開発コンソーシアムの活用

中長期のテーマに関しては特にこの部分のコミュニケーション強化が必要

外部プロジェクト研究

● 経営者の信頼を得た責任者(CTO)と外部開発組織責任者の意思疎通が重要。  
● CTOはプロジェクト研究との整合をとれるように社内研究者の配置、派遣研究員のアサイン、プロジェクト研究テーマの提案、社内開発リソース配分などに実権を持つ必要。

**AIST** 米国大手半導体企業のR&D戦略における、大学、コンソーシアムの位置付け

(1) 半導体R&Dの技術世代間バランス  
● 3世代、10年間のパイプライン

フェーズ	3世代前	2世代前	1世代前
金額(\$/年)	Research	Development	Production
リスク	百万	千万	億
性格	高	中	小
	評価・Module	Integration	Ramp

● 異なる技術世代間を技術者が移動することを奨励

(2) 内外研究リソースのバランス  
● 技術世代に応じた内外研究リソースの有効活用

実用化年	テクノロジーノード	研究リソース
2009年	32nm	原則外部の研究リソース 大学、コンソーシアムに対するファンディング
2007年	45nm	外部リソース中心、内部でも研究
2005年	65nm	内部リソース主、外部補充
2003年	90nm	開発フェーズ、装置類の選定・評価、ベンチマーク
2001年	130nm	製造立ち上げ、複数工場への技術移転
1999年	180nm	改善プロセス、低コスト化

佐伯俊則 学位論文 (東北大学, 2003年)

**AIST** 産学官連携研究開発の課題

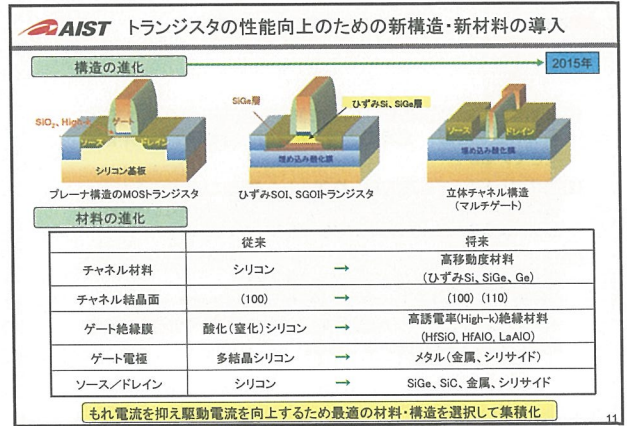
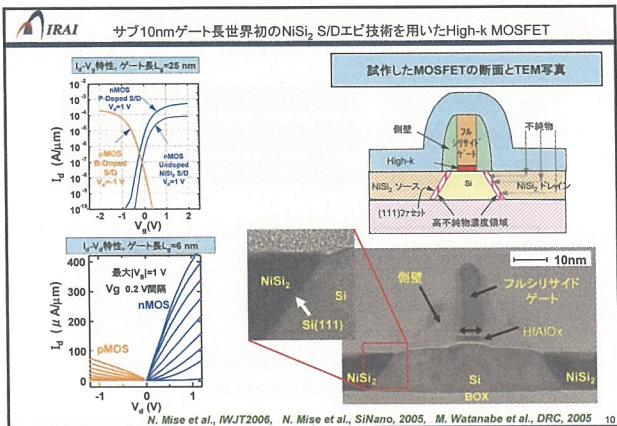
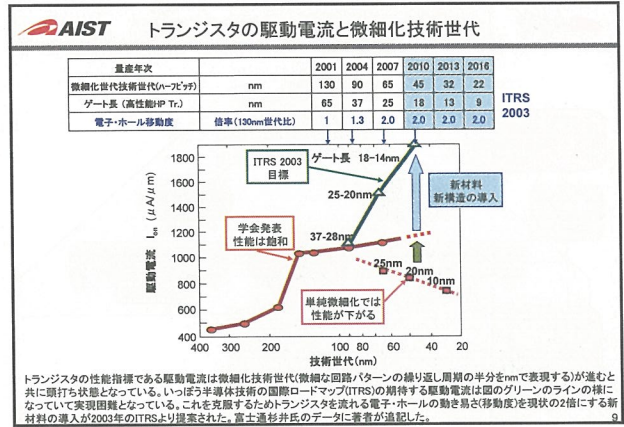
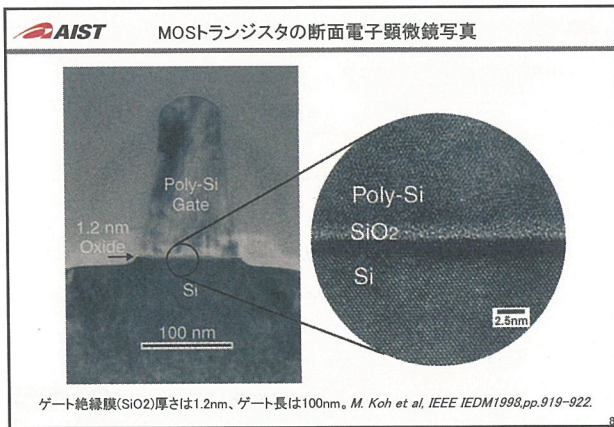
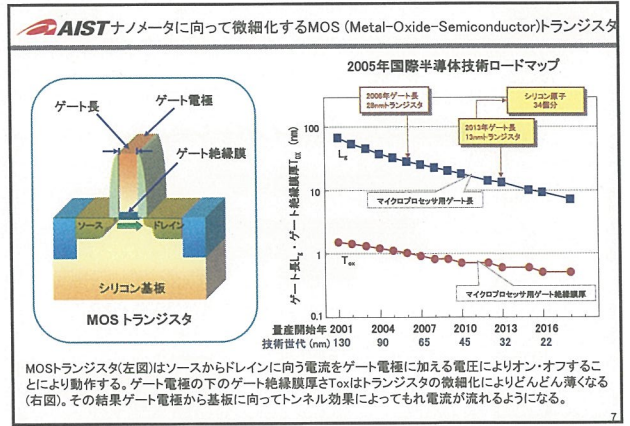
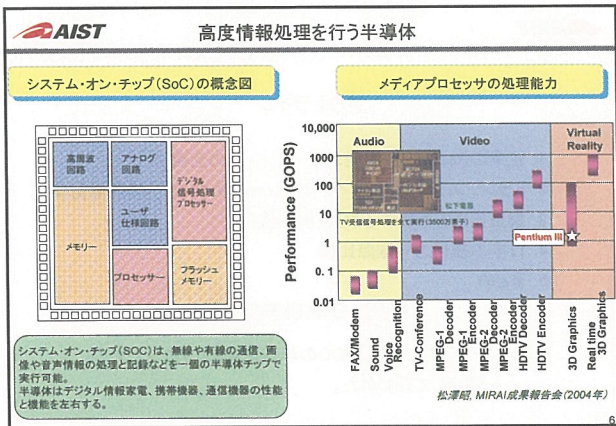
- (1) 技術ロードマップ対応短期的研究開発と長期的ハイリスク基礎研究の展望を国、企業経営者、大学・独法研究機関が共有できているか。
- (2) 技術ロードマップは高度化し複雑化した産業にとって必要だが、技術の方向性や優先度を定める意志と戦略を持たない組織にとっては研究開発の主体性を喪失するリスクがある。
- (3) 10-20年先の産業の風景を変えてゆく基礎研究の担い手は誰か。国全体としての方向付けをする主役は誰か。新たな知の創造とそれを社会的・経済的価値創出につなぐイノベーションのサイクル(知の生産と消費のサイクル)は全世界的にみてバランスを失いつつある。

**AIST** ユビキタス社会における半導体デバイス

- デジタルホーム → メディアプロセッサ、ディスプレイ
- モバイルブロードバンド → マルチプロセッサ・コア、NANDフラッシュメモリ
- デジタルカー → エンジン制御、走行支援システム

	日本市場	米国市場	世界市場
●半導体デバイス	5兆	12兆	25兆
●ディスプレイ	2兆	-	6兆
●自動車	40兆	40兆	200兆
●エレクトロニクス機器	23兆	-	120兆

持続力のある技術覇権の確立と新技術による市場創造力の強化が必要。  
半導体のGDPへのインパクトは200兆円(GDP500兆円の40%)。



**AIST**

### アウトライン

1. 企業のR&Dと研究開発コンソーシアムの活用
2. トランジスタ技術のイノベーション—サイエンスへの原点回帰
3. 製造技術を革新する検査・計測技術
4. 日本の技術力—国際比較
5. まとめ  
イノベーションの源泉—基礎研究の強化を

12

**IRAI** トランジスタ技術のイノベーション:サイエンスへの原点回帰

- High-kゲートスタック技術  
しきい値電圧制御のボトルネック—Fermi Level Pinning (FLP)  
学会の常識(FLP)を覆す発見 ⇒ MOSFET設計原理の革新
- トランジスタチャネルへのひずみ導入技術  
一軸/二軸、圧縮/引張りひずみによる移動度向上—ビエゾ抵抗  
ひずみ及び結晶面による反転層キャリアの量子状態制御 ⇒ サブバンド・エンジニアリングによるデバイス設計
- 極限計測・検査技術  
原子・分子スケール寸法、形状、ドーパント計測—走査プローブ  
デバイス特性ばらつき、歩留りなどに対処できる物理計測 ⇒ 新計測原理の普及

13

**IRAI** フラットバンド電圧 $V_{FB}$ 制御の技術的意味

— 何を制御しているのか —

14

**IRAI**  $V_{FB}$ 制御へのチャレンジ

Fermi-level Pinning ⇒  $HfO_2$ (High-k)中の酸素空孔のためSi-Hf結合が形成される。しかし、Poly-Siゲートをメタルゲートに変えてもFLPは起る。

15

**IRAI** FLPのメカニズム説明のための積層構造ゲートスタック

- High-k積層構造の断面電子顕微鏡写真と深さ方向元素分布

(a) High-k積層構造断面図 (NIMS撮影)

(b) 元素の深さ分布

K. Iwamoto, VLSI Symp. 2007

16

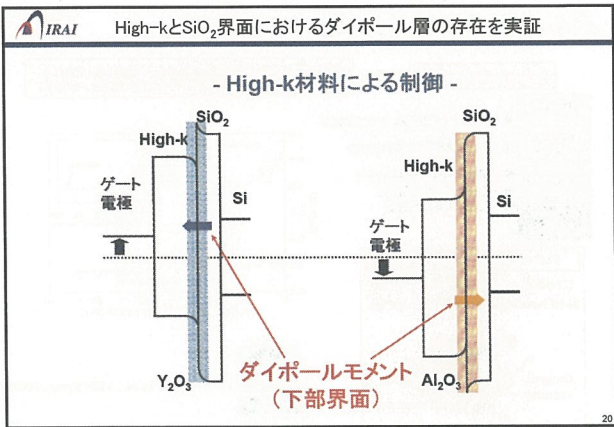
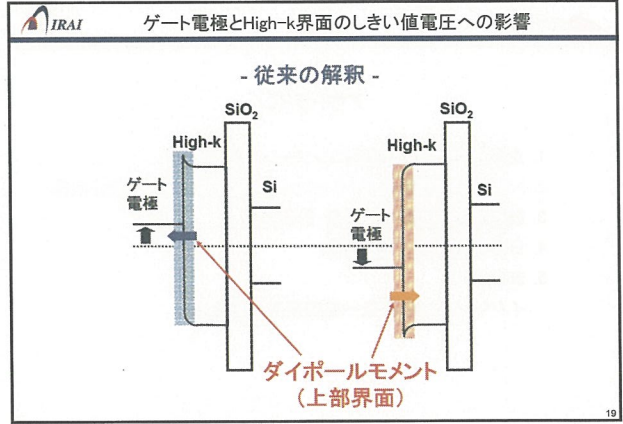
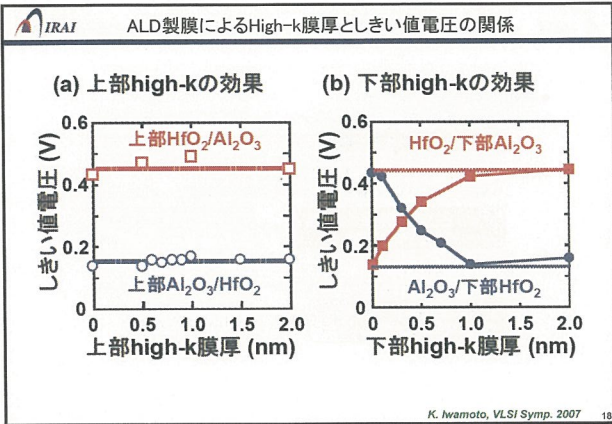
**IRAI**  $V_{FB}$ 制御へのチャレンジ

- 積層High-k -

Fermi-level Pinning は本当だったのか？  
High-k/ゲート電極界面の影響なし

K. Iwamoto, VLSI Symp. 2007

17



IRAI 新コンセプトHigh-k材料製膜装置の製品化

Layer-by-Layer Deposition and Annealing (LL-D&A) 法 概念実証機

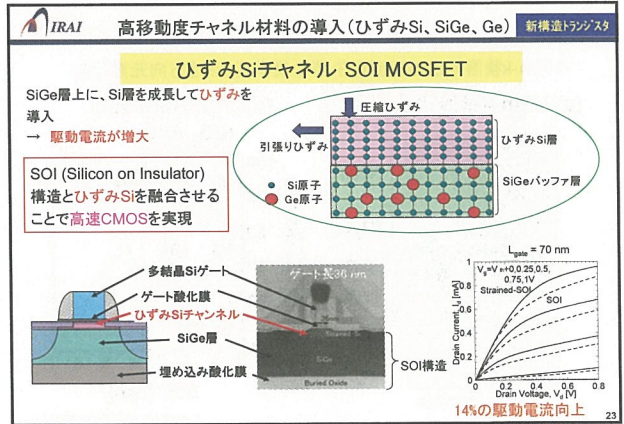
日経産業新聞 2004年11月25日  
窒化処理で酸化シリコン層薄く

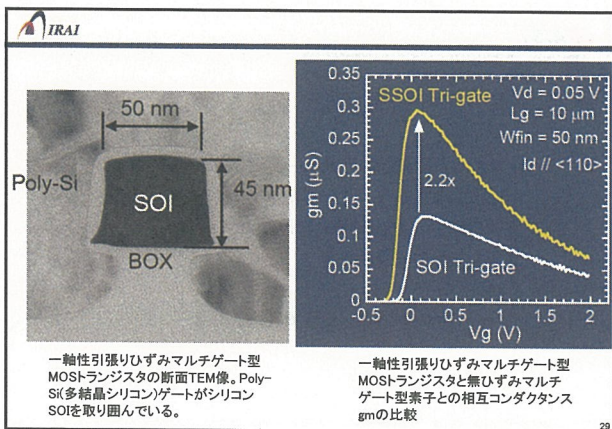
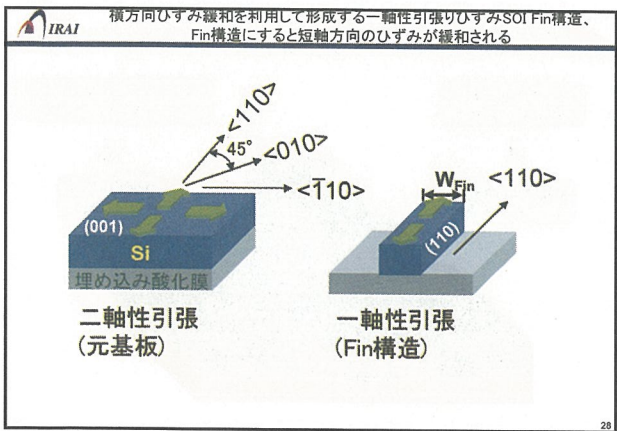
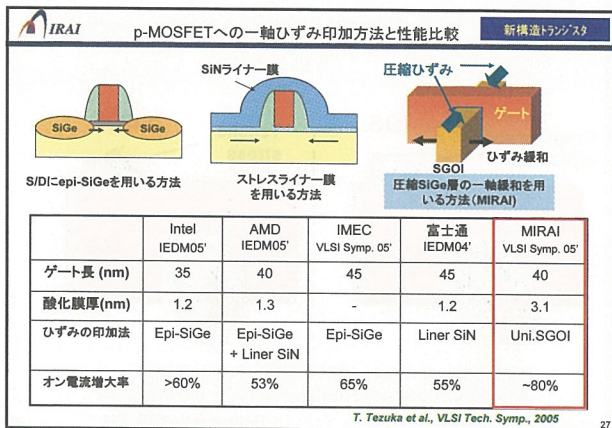
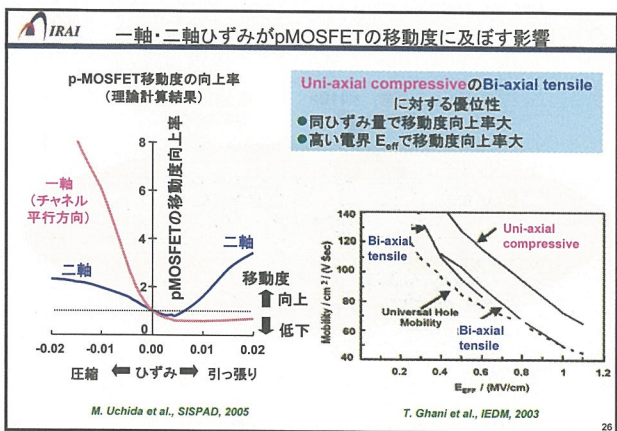
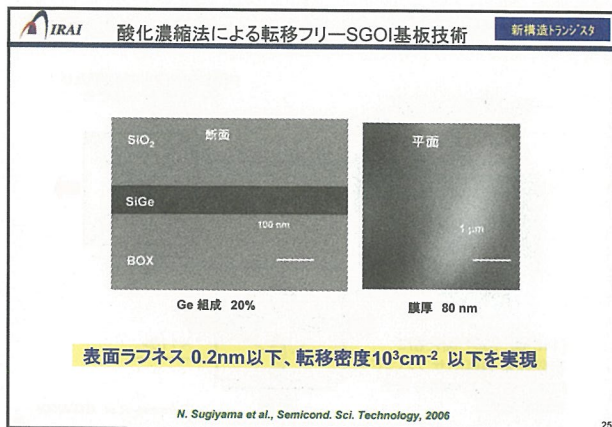
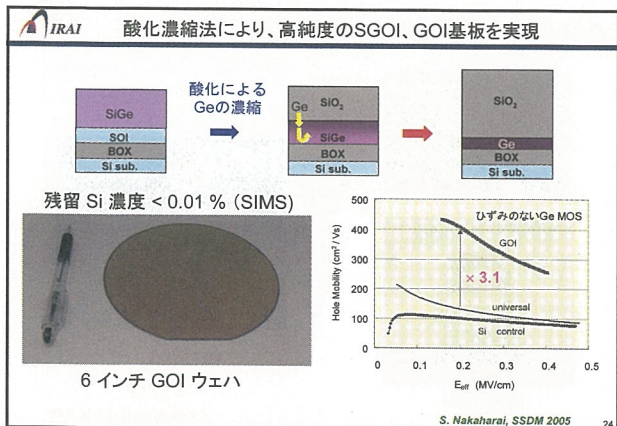
45ナノ半導体向け絶縁膜

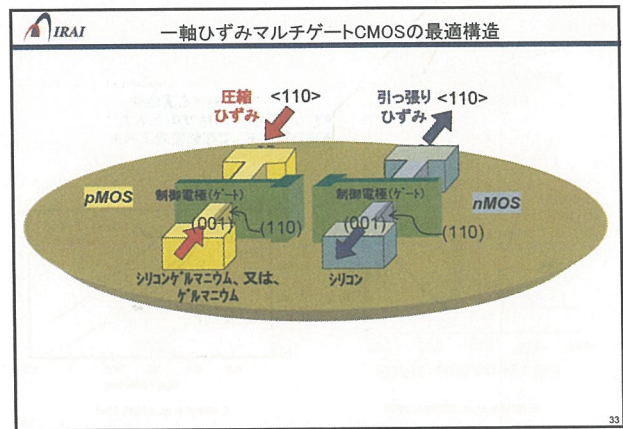
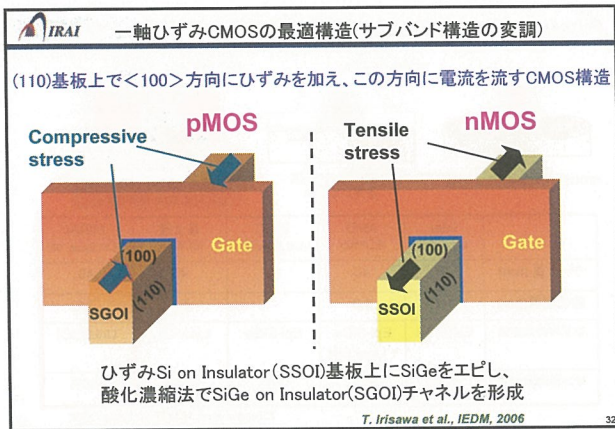
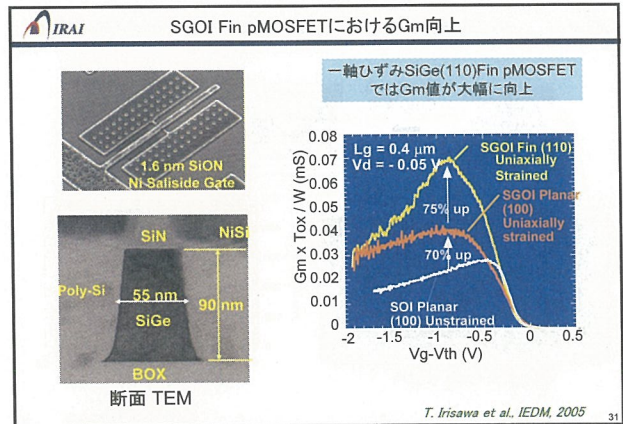
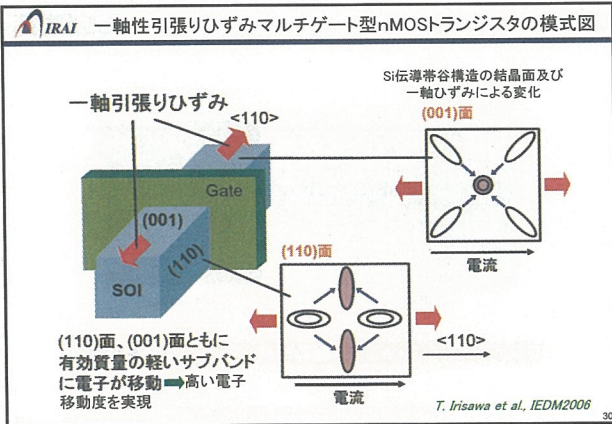
MIRAIオリジナル製膜方法  
日立国際電気で2005年春製品化

21

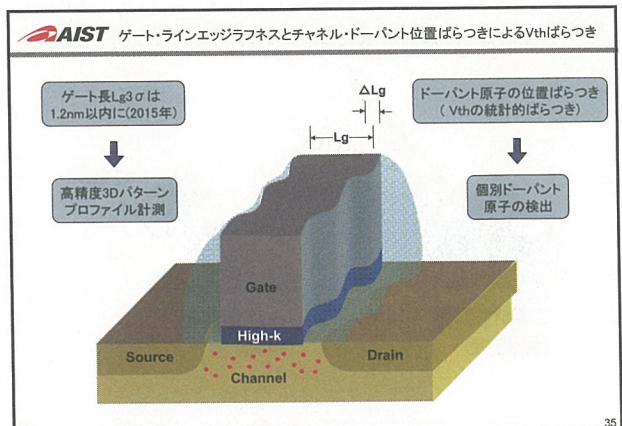
- IRAI フラットバンド電圧(しきい値電圧)制御の基本原理解の背景
- High-k材料の探索と物性制御のため原子層成長概念実証機(POC機)を開発・実用化したこと。
  - POC機により2種のHigh-kを積層することが可能になり Fermi Level Pinningメカニズム解明の手法を実証できたこと。
  - 学界の通説は覆り、新しいFLPメカニズムに基づくしきい値電圧制御手法の構築が可能になったこと。
- 22

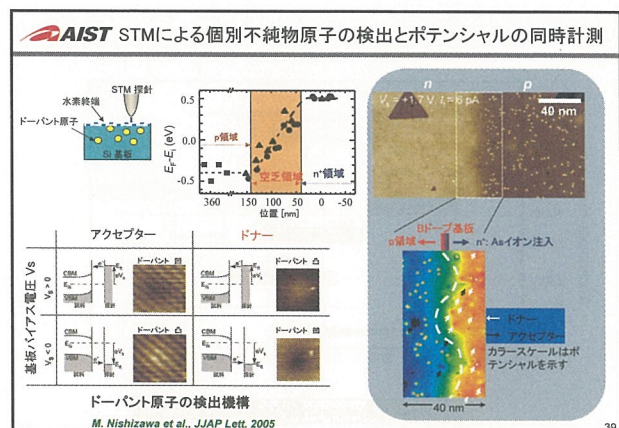
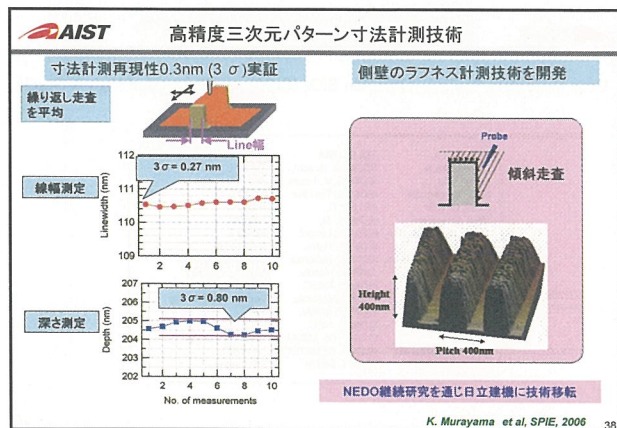
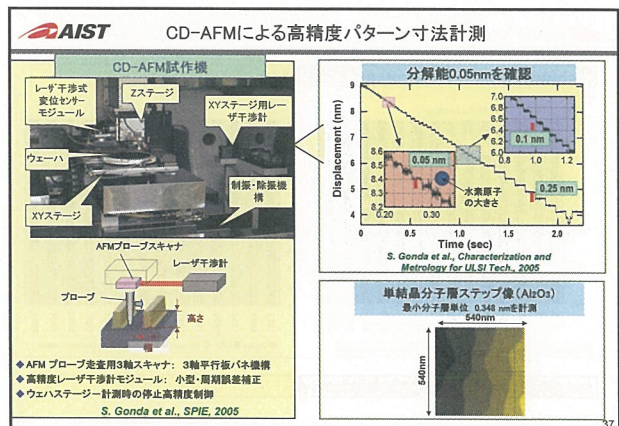
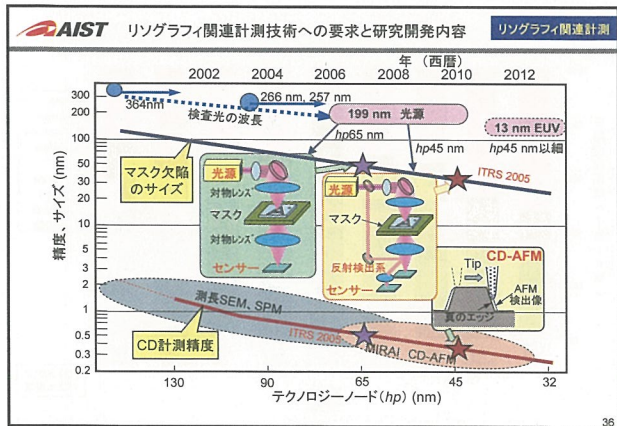




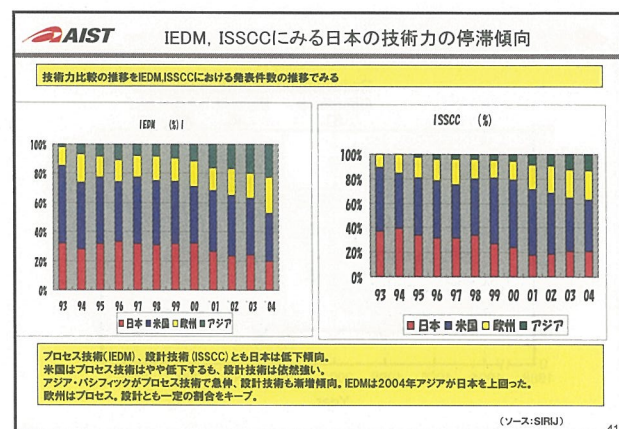


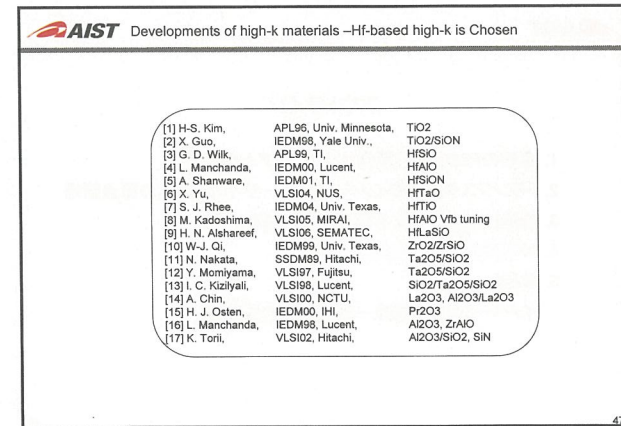
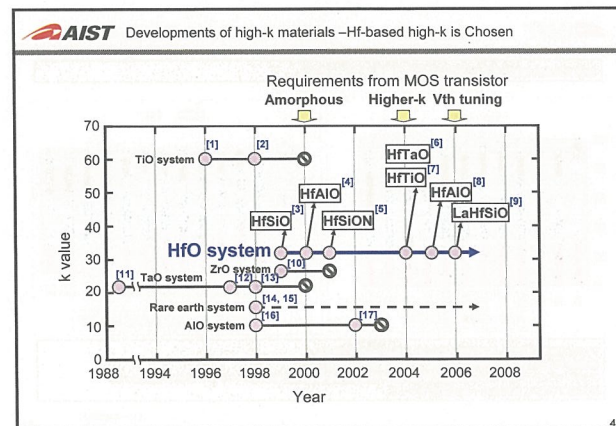
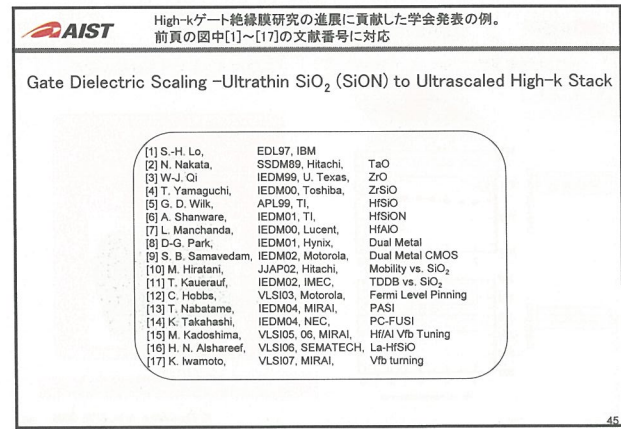
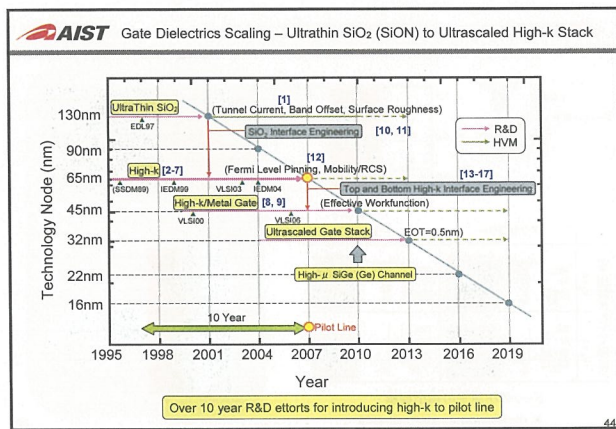
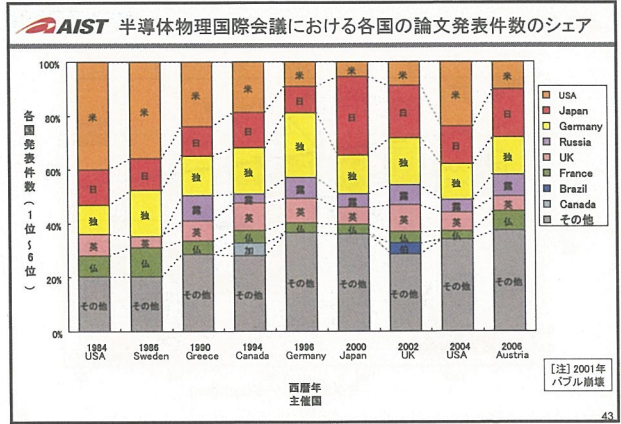
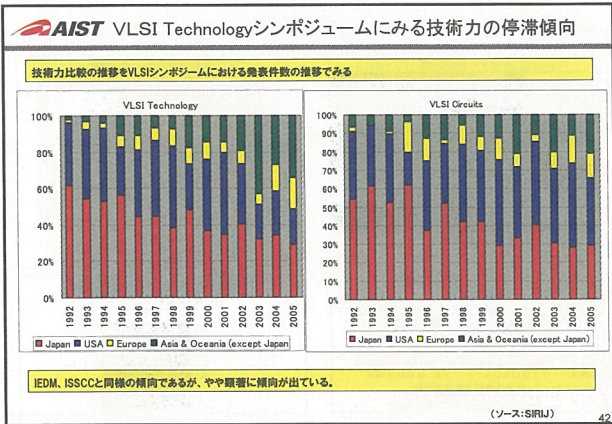
- AIIST
- アウトライン
1. 企業のR&Dと研究開発コンソーシアムの活用
  2. トランジスタ技術のイノベーション-サイエンスへの原点回帰
  3. 製造技術を革新する検査・計測技術
  4. 日本の技術力-国際比較
  5. まとめ
- イノベーションの源泉-基礎研究の強化を
- 34



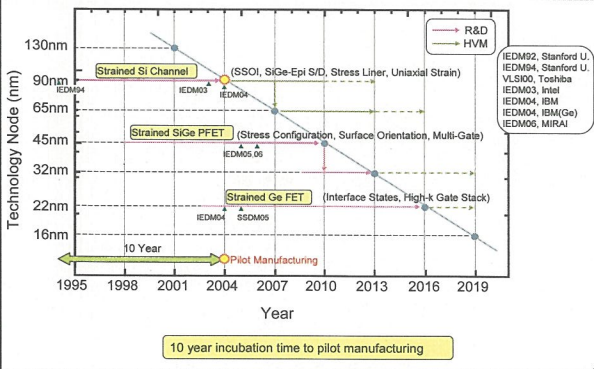


- AIST**
- アウトライン
1. 企業のR&Dと研究開発コンソーシアムの活用
  2. トランジスタ技術のイノベーション—サイエンスへの原点回帰
  3. 製造技術を革新する検査・計測技術
  4. 日本の技術力—国際比較
  5. まとめ
- イノベーションの源泉—基礎研究の強化を









- 科学上の発明・発見や探索研究から生まれた新技術が社会的経済的価値を生み出す迄に10年を越える研究開発努力が必要である。
- 基礎研究(純粋科学研究、探索研究、基礎研究)の担い手が大学などの研究機関であり、また大企業の研究所でもあった時代が終りつつある。  
研究開発コンソーシアムはロードマップに対応する短期的なソリューション提供を求められる傾向があり、企業の基礎研究者の活躍の場は縮小しつつある。
- 基礎研究を担う企業研究者の減少は大学等の研究機関と企業のパートナーシップに影響を落とす。両者が共有する専門知の領域が縮小し、双方向の知識の流れを停滞させるからである。これを回避する施策が国レベルで求められる。
- 研究コンソーシアムの役割もソリューション提供型から基本原理提示型にシフトする必要がある。



# 国創りに結実する科学技術イノベーション 創出能力強化に向けて ～環境と経済の両立に貢献する 太陽光発電イノベーションへの期待～

三菱重工業(株)特別顧問  
日本学術会議会員  
前総合科学技術会議議員  
柘植綾夫

## 第1章

# 真の科学技術創造立国を築く為に ～創出すべきイノベーションの構造と それを支える技術・人材像～

## 科学技術イノベーション

科学的発見・技術的発明を洞察力と融合・発展させ、  
新たな社会的価値・経済的価値を生み出す革新  
＝科学技術創造  
国創りに結実すること

“知の創造を社会経済的価値創造に結合すること”

## 何故今“イノベーション”か？

①確実に予測される少子・高齢化、人口減少社会での  
国力の持続的発展

**National Innovation System (国と地域)**

②迫り来る地球的規模の危機(3E問題、水と食料問題  
等)の解決に貢献：**Global Sustainable  
Innovation Ecosystem (地球的イノベーション)**

この10年が21世紀の国創りの勝負！

～これを逃すと日本の国力・地域力は衰える～

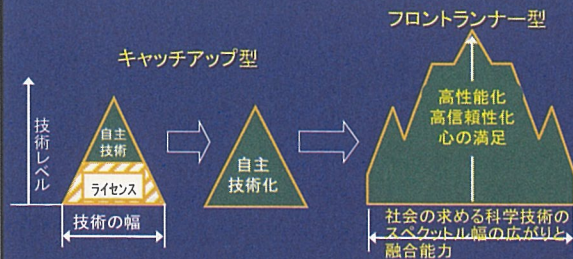
この危機感に対する産学官の認識が希薄！

## National Innovation: 21世紀の日本の国創りの 要⇒3つの財政強化の連立方程式の解の追求

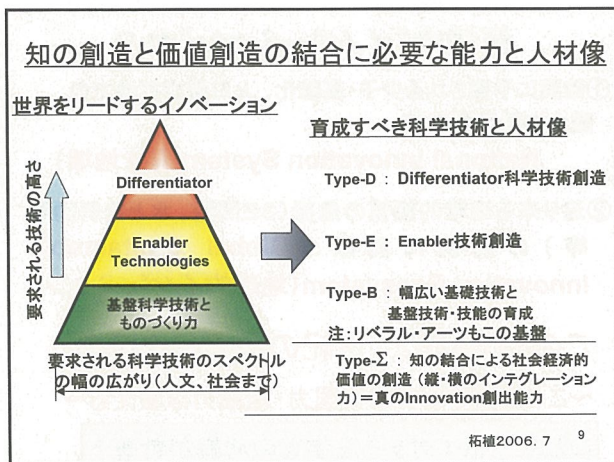
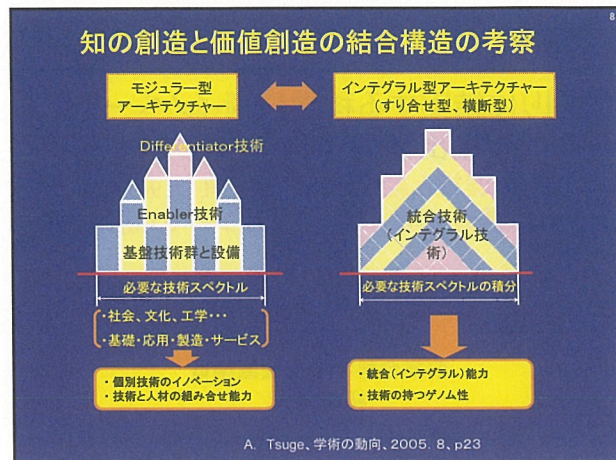
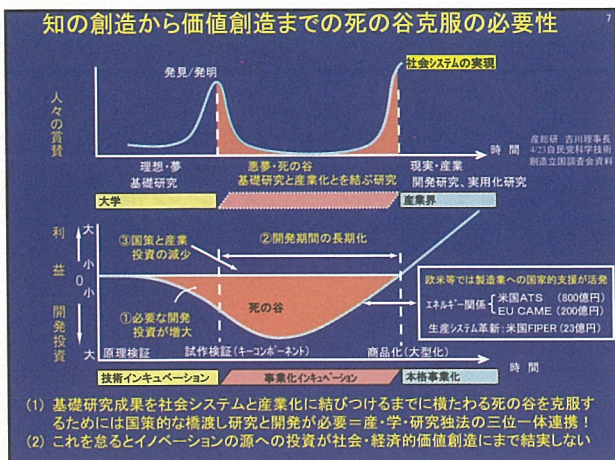


- ・雇用(家計)と納税(国/地方の財政)を支える企業の世界競争力強化による企業財政の強化が必須。
- ・科学と技術革新による社会・経済的価値創出=イノベーション創出が鍵。科学技術革新への歳出はコストではなく、“3つ財政立て直し・強化”への“投資”である。

## 21世紀のイノベーション創出構造の変化



フロントランナー型イノベーション創出には、基礎から応用までの科学技術群のスペクトルの広がり  
それらの結合が必須→巨大複雑系の個別先端  
科学技術創造とその統合化能力が不可欠



### イノベーション創出人材

- Type-D & E: 科学者と科学に裏付けられた工学人材も重要な役割を担う。
- Type-B: 工学人材のミッション
- Type-Σ: 工学人材の本来のミッション  
命題: 今の工学教育はType-Σ能力を教育しているか?

10

### 1章まとめ: 21世紀の国創りに結実する科学技術創造の要

1. イノベーション創出能力強化と人材育成
  - ① 科学にもとづく先端知の創造と
  - ② 社会・経済的価値創造

「①と②の結合能力」を持った工学人材!
2. National Innovation Systems & Global Innovation Ecosystem構築の両立が21世紀のイノベーションの命題・国際競争と協調の両輪を動かす科学技術経営人材が要!

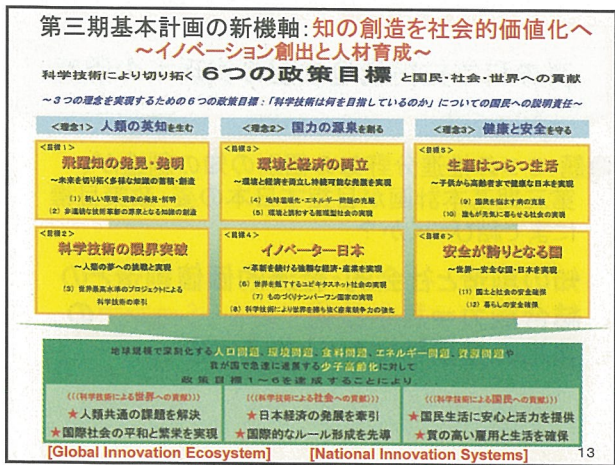
科学技術経営の重要性は益々重い!

11

### 第2章

#### 第3期科学技術基本計画の新機軸 ~人材育成とイノベーション実現への課題~

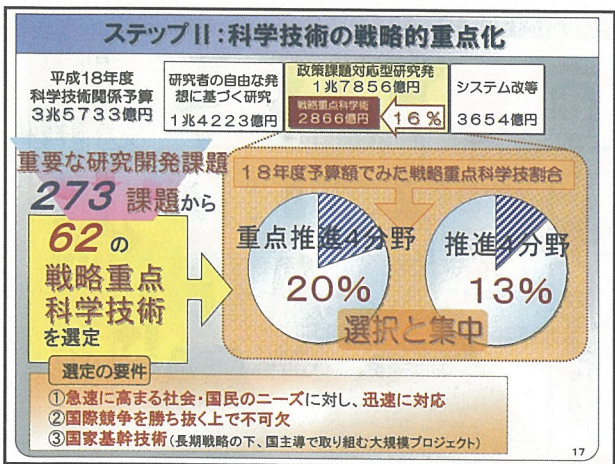
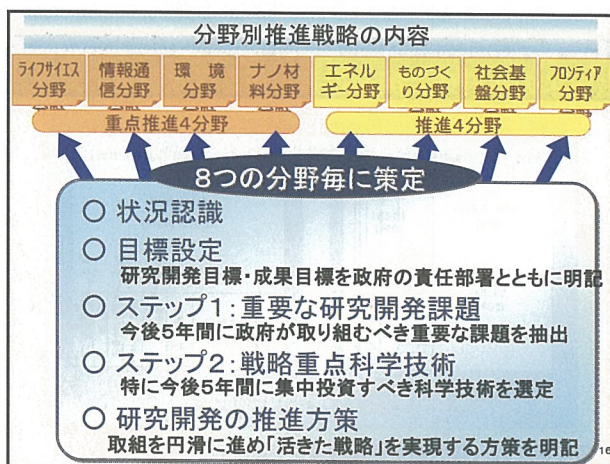
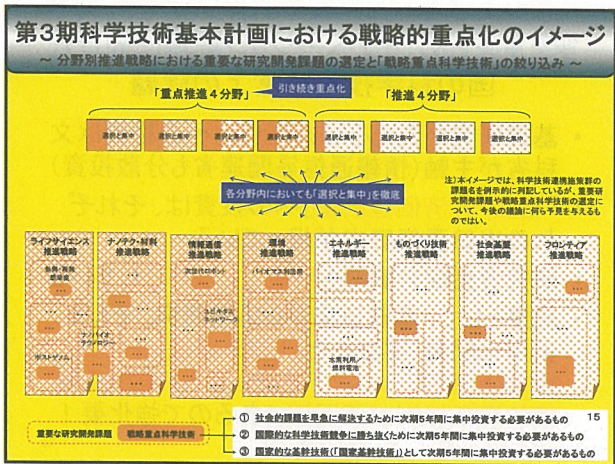
12



### 政策目標の体系的整理：出口からの必要科学技術のブレークダウン例

理念	大政策目標	中政策目標	個別政策目標
<理念1> 人類の英知を生む	<目標1> 飛躍知の発見・発明 ～次世代を切り拓く多様な知識の創成・創出～	(1) 新しい発明・発見、発明による知識の創成	世界最先端の中心分野に於けるような研究開発推進体制の構築による、多様な知識の創成・創出の促進
		(2) 多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成	国際競争力向上と、多岐にわたる技術的課題の解決による、多様な知識の創成・創出の促進
	<目標2> 科学技術の限界突破 ～人類への挑戦と突破～	(3) 世界最先端のプロジェクトによる科学技術の牽引	世界最先端の中心分野に於けるような研究開発推進体制の構築による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
		(4) 地球温暖化・エネルギー問題の克服	地球温暖化・エネルギー問題の克服による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
		(5) 環境と調和する循環型社会の構築	環境と調和する循環型社会の構築による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
<理念2> 国力の源泉を創る	<目標3> 環境と経済の両立 ～環境と経済を両立し持続可能な発展を実現～	(6) 世界を揺るがすユビキタス社会の構築	世界を揺るがすユビキタス社会の構築による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
		(7) ものづくりインバナー産業の発展	ものづくりインバナー産業の発展による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
	<目標4> イノベーター日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業を実現～	(8) 科学技術により競争力を高める産業競争力の強化	科学技術により競争力を高める産業競争力の強化による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
		(9) 国民を悩ます病の克服	国民を悩ます病の克服による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
		(10) 誰もが安心して暮らせる社会の構築	誰もが安心して暮らせる社会の構築による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
<理念3> 健康と安全を守る	<目標5> 生涯はつらつ生活 ～子供から高齢者まで健康な日本を実現～	(11) 国土と社会の安全確保	国土と社会の安全確保による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
		(12) 暮らしの安全確保	暮らしの安全確保による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成
	<目標6> 安全が誇りとなる国	安全が誇りとなる国による、多岐にわたる技術的課題の解決と知識の創成	

14



### 科学技術が実現を目指す政策目標と戦略推進分野との関係例

政策目標	戦略推進分野	関係例
＜理念1＞ 人類の未知を拓く	＜目標1＞ 知識の発見・発明 →最先端の知識を創出する研究の推進	(1) 顕微鏡・電波の発見・発明 →最先端の知識を創出する研究の推進 (2) 舟車輪が技術革新の源泉となる知識の創造
＜理念2＞ 国力の振興	＜目標2＞ 科学技術の躍進を図る →最先端の知識を創出する研究の推進	(3) 世界最先端水準のプロジェクトによる科学技術の躍進 (4) 先端産業の育成
＜理念3＞ 健康と安全を確保する	＜目標3＞ 環境と経済の両立 →最先端の知識を創出する研究の推進	(5) 環境と経済の両立 (6) 最先端の知識を創出する研究の推進
＜理念4＞ 社会基盤	＜目標4＞ イノベーションの促進 →最先端の知識を創出する研究の推進	(7) モーティベーション・イノベーションの促進 (8) 最先端の知識を創出する研究の推進
	＜目標5＞ 産業界との連携 →最先端の知識を創出する研究の推進	(9) 産業界との連携 (10) 最先端の知識を創出する研究の推進
	＜目標6＞ 産業界との連携 →最先端の知識を創出する研究の推進	(11) 産業界との連携 (12) 最先端の知識を創出する研究の推進

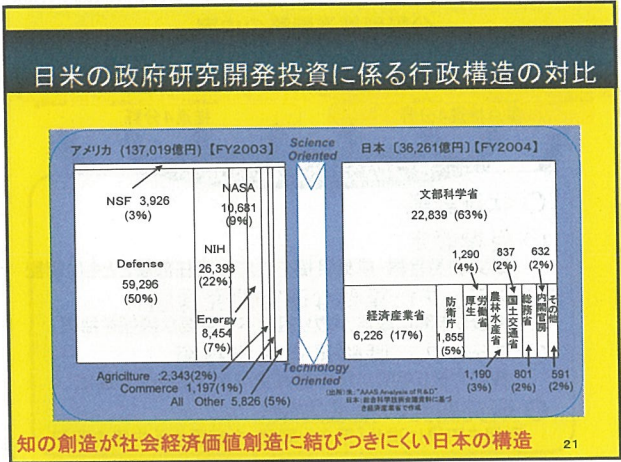
19

## 真の科学技術創造立国の実現への課題

命題：8つの推進分野毎の個別の知の創造が、第三期基本計画が目指す日本の姿：政策目標にまで結びつくか？

知の創造と社会的・経済的価値創造との結合能力＝科学技術イノベーション力の強化の重要性にもっと拘るべき

20



### 第2章まとめ：イノベーション実現に向けた国の科学技術経営上の課題

- 基礎研究が支える「知の創造」への投資は文科省が主軸(情報通信等関連省も分散投資)
- 「社会・経済価値創造」への投資は、それぞれの出口責任府省が担っている
- 研究資金配分機関も府省ごとに独立している
- 結果として、基礎研究から応用研究、そして実用化開発・実証へと、「知の創造」を「社会経済価値創造」にまで結実させる持続的、継続的責任体制が不明確であるので強化要！

22

## 第3章

### 知の創造と社会経済価値創造との結合強化を目指した“ナショナルイノベーション・パイプラインネットワーク”構築提案

参考資料： 柘植、イノベーター日本、オーム社2006. 11

23



イノベーション創出能力強化の為に「知の創造と社会・経済価値創造の結合パイプライン網」提案  
要諦1.

①連鎖しつつも開放性に富むイノベーションの流れにおいて、**知の創造と社会経済的価値創造の流れ(パイプライン網)**が基礎研究から製品開発・市場投入まで**垂直に双方向に繋がり**、かつ網の目のように分野を**水平方向にも双方向に結合**する有機的な結合構造。

25

イノベーション創出能力強化の為に「知の創造と社会・経済価値創造の結合パイプライン網」提案  
要諦2

②イノベーションの流れの各段階(純粋基礎研究、目的基礎研究、応用・実用化研究開発研究開発、成果の製品化及び普及)毎に、上流下流、および異分野間で相互連携のもとで適切にマネジメントを行い、**知の創造を価値創造に結実させ社会に還元するとともに、社会から知の創造にもニーズが還元する結合構造。**

26

イノベーション創出能力強化の為に「知の創造と社会・経済価値創造の結合パイプライン網」提案  
要諦3

③国の科学技術投資の3倍を上回る**民間企業による研究開発投資メカニズム**も、以上のイノベーション・パイプラインネットワークに一体となって捉えられている結合構造。

概念図を図-1に示す。

27

## イノベーション創出総合戦略

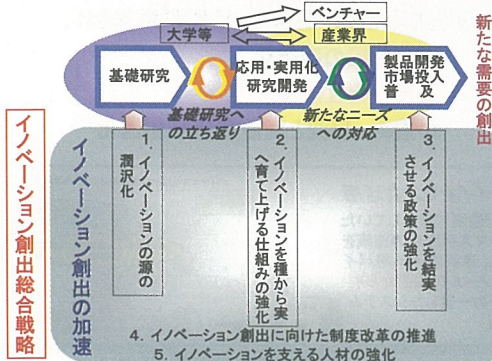
第56回総合科学技術会議決定

平成18年6月14日

28

### イノベーション創出総合戦略の概要

官民を上げて取り組むイノベーション創出総合戦略の策定が喫緊の課題。



29

### 第60回総合科学技術会議 植植議員発言要旨

平成18年10月27日

「今後の科学技術政策の重点課題」について二点。第一点は、重点課題(1)の「**イノベーション創出を加速する研究開発**」の具体化のポイント。

・その要は、これまでの10年間の第一期、第二期基本計画が生み出した「**イノベーションの種**」を「**社会経済価値という実**」に仕上げる作戦と、これと平行して、これからの10年、20年かかる「**イノベーションの種**」作りの二面作戦を同時に行うこと。

・我が国のイノベーション創出プロセスの弱点は、そのプロセス自身が上流、下流の間でうまく繋がっていない部分が多い。

30

- その結果、イノベーションの源である学術研究が、目的基礎研究から社会経済価値に結合していないケースが多い。一方、出口側の社会経済ニーズから入り口側の学術研究へというバック・ツー・サイエンスのパイプも詰まっている部分がある。
- 私はこれを“知と価値創造の結合パイプラインネットワークの欠陥”と表現。このイノベーション・パイプラインネットワークを強化する施策が肝要。
- その強化施策の第一は、主に文科省が投資する目的基礎研究と社会・経済的価値に具現化する責任省庁が投資する応用研究開発活動とを、相互に有機的に結合する府省連携強化策。

第60回総合科学技術会議(H18. 10. 27) 拓植議員発言要旨

31

- この連携施策群マネージメントを、イノベーション・パイプラインネットワーク強化の観点から強化すると共に、同時に、各府省がそれぞれ独立して持つ“ファンディング・エイジェンシーの間を双方向に結合する施策”が有効。

第60回総合科学技術会議(H18. 10. 27) 拓植議員発言要旨

32

## I. 科学技術連携施策群とは

- 各府省科学技術施策の縦割り打破、連携強化
- 府省横串のWG及びコーディネーターを配置
- 成果の最大化とイノベーション創出

【目標、主な関係府省】	【目標、主な関係府省】
<b>ポストゲノム</b> —健康科学の推進— ゲノム医療やゲノム編集、予防医学などの確立を目指す 文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省	<b>バイオマス</b> 利活用 バイオマス利用、燃料転換等の技術開発により循環型社会形成を目指す 経済省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省
<b>新興・再興</b> 感染症 新興・再興感染症から国民の安心・安全を守る研究体制の確立を図る 内閣府、文部科学省、厚生労働省、農林水産省	<b>水素利用/</b> 燃料電池 水素エネルギー社会実現のため水素利用、燃料電池技術の確立を目指す 経済省、文部科学省、経済産業省、国土交通省、環境省
<b>ユビキタス</b> ネットワーク —電子タグ技術の推進— ユビキタスネットワーク社会実現の上で中核的な技術基盤の確立を図る 経済省、文部科学省、経済産業省、国土交通省	<b>ナノバイオ</b> テクノロジー ナノバイオの融合領域研究により健康寿命延伸等安心安全な社会を目指す 文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、環境省
<b>次世代</b> ロボット —産業用ロボット技術の確立— 次世代ロボットのさらなる応用分野に共通のソフトウェア技術の確立を図る 経済省、文部科学省、国土交通省、経済産業省、農林水産省	<b>地域科学技術</b> クラスター 地域における最先端技術・新産業創出を促した地域経済の活性化を図る 内閣府、経済省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省

・平成17年度7月から活動開始 出典：第61回総合科学技術会議 H18. 11. 21 33

## II. 科学技術連携施策群の成果

これまでの取組より、以下の成果が得られつつある。

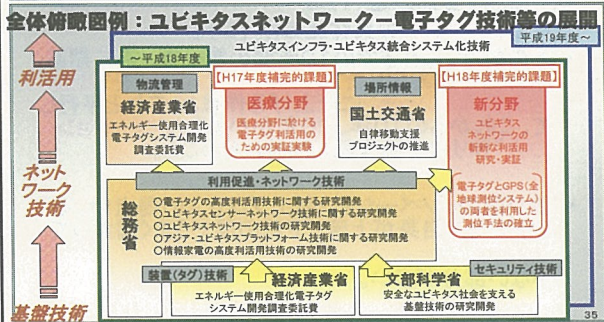
- 府省施策の**重複の排除**  
各省施策を俯瞰できる有識者と各省責任者間での討議
- 府省間の**連携強化**による成果  
役割分担の明確化、成果の相互利用
- 補完的課題**の実施による成果  
共通の研究基盤の整備、全体俯瞰に基づく欠落課題抽出

出典：第61回総合科学技術会議 H18. 11. 21

34

### II-1. 府省施策の重複の排除と連携強化効果

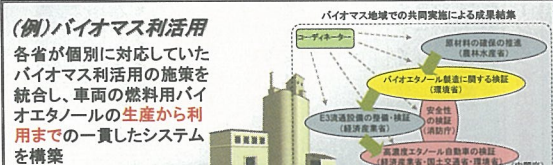
- 各連携施策群毎にWGを設置(コーディネーターを配置)
- 府省施策の**全体俯瞰図**の作成による把握
- イノベーション創出への**全体マップ**としても有効



35

### II-2. 府省間の連携強化による成果

- 所掌を越えた広い視点で、目標が共有され、
- 役割分担の明確化、
  - 成果の相互活用、
- が進み、研究と価値創造が加速化



出典：第61回総合科学技術会議 H18. 11. 21

36




### Ⅱ-3. 補完的課題の実施による成果

- 個々の府省では対応しにくかった**共通の研究基盤整備**を行い、成果を創出
- 全体俯瞰図をもとに、**欠落していた重要研究課題**を抽出し、研究全体を推進
- 補完的課題として、H17より11課題、H18よりさらに8課題を実施中

(例1)「生命科学データベース統合に関する調査研究」(ポストゲノム)  
 文科省、厚労省、農水省、経産省  
 →生命科学関係のデータベースの統合に関する課題を抽出し、生命科学の研究開発基盤の強化に貢献する

(例2)「ウイルス伝播に關与する野鳥の飛来ルートの調査とそれら野鳥における病原体調査及びデータベース構築」(新興・再興感染症)  
 文科省、厚労省、農水省  
 →ウイルス伝播に関する野鳥の飛来ルート等を解明し、我が国の感染症対策に貢献する



出典:第61回総合科学技術会議 H18. 11. 21

### Ⅲ. 府省連携施策の今後の課題と進め方

- 出典:第61回総合科学技術会議 H18. 11. 21
- 1. 課題**
    - ・基礎研究・研究開発から利用までの一貫した連携強化
    - ・府省だけでなく民間を含めた情報の共有
    - ・今回の連携施策群制度の検証に基づく本制度の更なる活用
  - 2. 今後の進め方**
    - ・第3期基本計画の分野別推進戦略を効果的に推進するため、**連携施策群の手法**を活用
      - 戦略重点科学技術へ拡大
    - ・補完的課題への取組
    - 府省共通の研究開発基盤整備

イノベーション創出の加速化

### 第60回総合科学技術会議(H18. 10. 27) 榎植議員発言要旨(続)

- ・イノベーション・パイプラインネットワーク強化策の第二は、イノベーション創出にとって必須の産学協働の“場”づくり。
- 今年から始めた“先端融合領域イノベーション創出拠点事業”においても、このような“オープンな協働の場”の構築と機能強化が肝要。

### 知と価値創造の結合:先端融合イノベーション創出拠点例1



### 知と価値創造の結合:先端融合イノベーション創出拠点例2



### 第4章 イノベーションに向けたこの一年の 科学技術政策に係る重要な出来事

## イノベーションに向けたこの一年の科学技術政策に係る重要な出来事

1. 第三期科学技術基本計画決定(平成18年3月28日閣議)  
イノベーションと人材育成へ5年間で約25兆円の投資
2. 同分野別推進戦略決定(平成18年3月22日総合科学技術会議)  
273の重要科学技術と62の戦略重点科学技術の抽出
3. イノベーション創出総合戦略策定(平成18年6月14日同上)  
科学・技術価値創造を社会・経済的価値に具現化約束
4. 経済成長戦略大綱および工程表  
(平成18年7月6日財政・経済一体改革会議)  
経済成長に不可欠な科学技術イノベーション

43

5. 2006骨太方針(経済財政運営と構造改革に関する基本方針)  
(平成18年7月7日閣議決定)

11.4兆円以上の歳出削減のもと唯一科学技術振興費だけは+1.1~経済成長の範囲内増加

6. 平成19年度予算の科学技術に関する資源配分の方針  
(平成18年7月26日総合科学技術会議)

経済成長戦略大綱とイノベーション創出総合戦略実現に重点化

7. 平成19年度科学技術関係予算案

(平成18年12月25日総合科学技術会議)

総額35,113億円 補正予算1,451億円を含めた対前年度増+2.3%

8. イノベーションの実現を加速する社会還元プロジェクト

(平成19年4月24日総合科学技術会議)

44

## 経済成長戦略大綱の狙う国創り

出典: 財政・経済一体改革会議、平成18年7月6日抜粋

### 第1章 国際競争力の強化

1. わが国の国際競争力の強化
  - (1) 科学技術によるイノベーションを生み出す仕組みの強化
  - (2) 産学官連携による世界をリードする新産業群の創出
  - (3) 高度な部品・材料産業やモノ作り中小企業の強化  
以下省略

詳細な実行工程が策定されていることを忘れてはならない 45

## 安倍総理大臣の所信表明(H18.9.29)

### 活気に満ちたオープンな経済社会の構築

- ・日本が21世紀において「美しい国」として繁栄を続けていくには安定した経済成長が不可欠で、イノベーション力で日本経済に新たな活力を!
- ・成長に貢献するイノベーション創出に向け、2025年までを視野に入れた長期の戦略指針「イノベーション25」を策定し実行する。
- ・イノベーション25戦略指針 平成19年6月閣議決定  
平成20年度骨太方針に反映  
イノベーション推進本部を内閣府に設置

46

## 最近の科学技術政策に係る重要な出来事から認識すべきこと!

1. 国の事業経営と科学技術経営の両輪一体実現!  
・経済成長戦略大綱とイノベーション25戦略へ貢献
2. 科学技術イノベーションによる、これからの10年での国創りイノベーション・地域イノベーションへの貢献の重要性を認識しよう!  
・第1期、2期基本計画の過去10年間の知の創造成果を結合してこの5-10年で社会・経済的価値創造 = イノベーション創出へ貢献  
・平行して、10-20年の国創り・人創りの視野で、イノベーションの源と種つくりに向けた、真の産学連携の推進を

47

## 第三期科学技術基本計画の重大ミッション\*\*投資への約束履行

“科学技術的価値創造を社会的価値・経済的価値創造に結実させる”

### イノベーションの実現

命題1. 国の事業経営と科学技術経営との両輪の一体化経営の強化を!

### 経済成長戦略大綱と

### イノベーション25戦略実行の柱!

命題2. このミッション実行に対して、科学技術行政と科学技術コミュニティーはイノベーション創出に向けて、

### 科学技術経営力の強化を!

48

## 第5章

太陽光発電イノベーションは第三期科学技術基本計画とイノベーション25戦略の実行におけるロールモデルになるう！

49

・ 安倍内閣総理大臣のリーダーシップのもと、これから進む「イノベーション25」戦略指針の実現能力強化において、「知と価値創造の結合パイプライン網～ナショナルイノベーション・パイプラインネットワーク～構築」の視点での国の科学技術経営強化が必要

・ 特に「イノベーション25」の実行に際して必須の「科学技術イノベーション」の実現はまさに、「知の創造と社会・経済価値の創造の結合プロセス」そのものである

50

### エネルギー分野の科学技術イノベーションに向けて

#### イノベーション25での柱の一つ

#### ○ 政策ニーズへの対応

エネルギー政策上の目的(エネルギー安定供給、環境への適合等)及び科学技術政策上の目標(環境と経済の両立、イノベーター日本等)の達成への貢献度の視点から、ニーズ指向で重要な研究開発課題を選定。

#### G8サミットにおける主議題にも

#### ○ 時間軸上及び需給上のバランス

エネルギー関連技術の開発・普及には長時間を要することから、短期的な課題と中長期的な課題をバランス。また、エネルギーの供給面と需要面の両面での研究開発をバランス。

#### ○ 官民の役割分担と費用対効果 短期と中長期イノベーションの両輪を

民間での実施が困難な課題を選定すると官民の役割分担、研究開発費用と成果の社会的・経済的インパットの費用対効果を考慮。

#### ○ 総合科学技術会議の環境研究開発推進PTIにおける温暖化対策技術の研究開発戦略(右表はその概要)や安全・安心に資する科学技術推進PTIにおける検討結果を参照。

出典:第三期科学技術基本計画分野別推進戦略06. 3総合科学技術会議をもとに補補加筆

51

### 温暖化対策技術評価結果要約

研究課題	R&D推進価値	普及促進価値	研究課題	R&D推進価値	普及促進価値
太陽光・太陽熱利用技術	☆	◎	バイオマス利用材料技術	◎	◎
バイオマス・農業物エネルギー利用技術	☆	◎	高効率半導体回路製造技術	◎	◎
風力・地熱等自然エネルギー利用技術	◎	◎	高効率電力流通機器	☆	◎
水素製造・輸送・貯蔵技術	◎	◎	熱電変換システム	◎	◎
新液体燃料	○				
高効率火力発電技術	☆		太陽光発電、バイオマス利用を主軸とする再生可能エネルギーのR&D推進価値と普及促進価値は共に重要性が高いと評価された		
高効率ガスエンジン技術	◎				
燃料電池技術	☆		省エネ型ディスプレイ技術	◎	◎
分散型エネルギーシステム技術	◎	☆	高効率照明技術	◎	◎
都市システム技術	◎	◎	自動車の軽量化等技術	◎	◎
住宅系省エネ促進技術	◎	☆	クリーンエネルギー自動車	◎	◎
商業ビル系省エネ促進技術	◎	◎	省エネ型大規模輸送機器	◎	◎
電子タグ関連技術	◎	◎	省エネ型大規模輸送機器	◎	◎
情報家電ネットワーク	☆	◎	二酸化炭素回収・貯留技術	☆	◎
省エネ型鉄鋼プロセス技術	◎	◎	メタンおよび重炭酸窒素排出削減技術	◎	☆
省エネ型鉄鋼プロセス技術	◎	◎	代替フロン等3気体放出削減および代替技術	☆	◎
省エネ型化学薬材プロセス技術	◎	◎			

記号: 地球温暖化対策の観点から、今後5年から10年程度において国が研究開発又は普及促進に取り組む重要性が { ☆: 特に関心技術 ◎: 高い技術 ○: ある技術 }  
注: 原子力関連技術については、温室効果ガス排出削減がトンネルが非常に大きく温暖化対策技術として非常に重要であるが、「原子力政策大綱」の検討が現時点で行われていないことから検討の対象外とした。また、森林吸収源対策などの温室効果ガス吸収対策も、温室効果ガス排出削減技術と同様に比較できないことから同様に検討の対象外とした。

出典:第三期科学技術基本計画分野別推進戦略06. 3総合科学技術会議

52

### 重要な研究開発課題・推進方策

#### 推進方策

#### エネルギー源の多様化

##### 原子力エネルギーの利用の推進

- 次世代軽水炉・軽水炉高度利用技術
- 高温炉(炉内圧)・炉外炉
- フロン素燃焼技術・MOX燃料加工技術
- 使用済み燃料再処理技術(軽水炉関係)
- 原子力施設敷設地選定技術(軽水炉関係)
- 原子力施設敷設地選定技術(放射性廃棄物処理施設)
- 原子力施設敷設地選定技術(放射性廃棄物処理施設)
- 原子力施設敷設地選定技術(放射性廃棄物処理施設)
- 原子力施設敷設地選定技術(放射性廃棄物処理施設)

##### 再生可能エネルギー等の利用の推進

- 太陽エネルギー利用技術
- バイオマス・農業物利用技術
- 風力等その他の再生可能エネルギー利用技術

##### 水素/燃料電池

- 燃料電池・水素関連技術

##### 化石燃料の開発・利用の推進

- エネルギー資源探査技術
- 化石燃料探査技術
- 石油探査・利用技術
- クリーン石炭利用技術
- 石炭高効率燃焼発電技術
- 高効率天然ガス発電技術
- 高効率ガスエンジン技術
- 二酸化炭素回収・貯留技術

- 目的基礎研究の強化  
飛躍的なコストダウン・エネルギー効率向上などハイリスク・ハイリターンなチャレンジングな基礎研究の実現
- 普及対策との一体的推進  
普及する既存技術の競合に対抗するため、新規研究開発成果の普及促進対策の強化
- 人材の育成  
様々な技術の複合体であるエネルギー技術を担う人材の持続的育成
- 国際協力の推進  
技術協力・技術供用可能国との国際協力による研究開発投資の分担
- 分野別戦略の機動的な見直し  
最新のエネルギー・社会情勢に即応した第3期基本計画における分野別戦略の見直し他

出典:第三期科学技術基本計画分野別推進戦略06. 3総合科学技術会議

53

2007/7/6

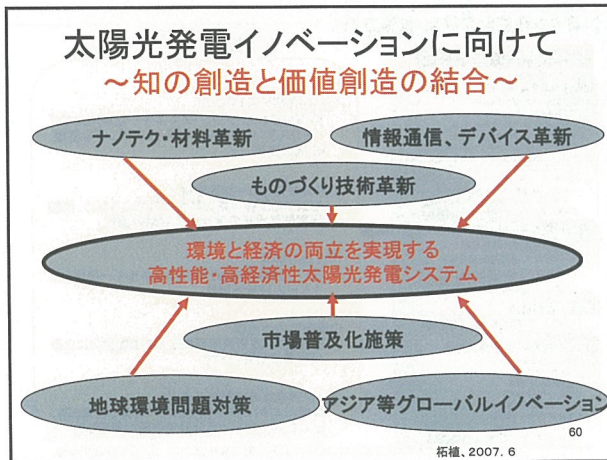
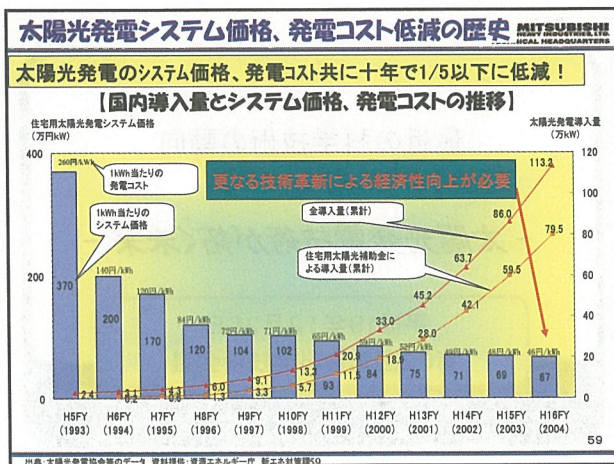
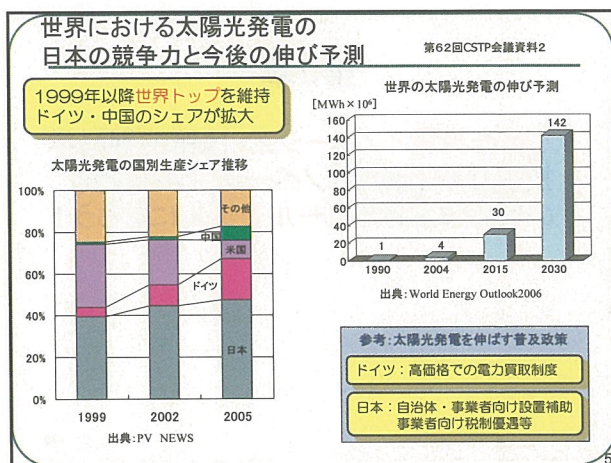
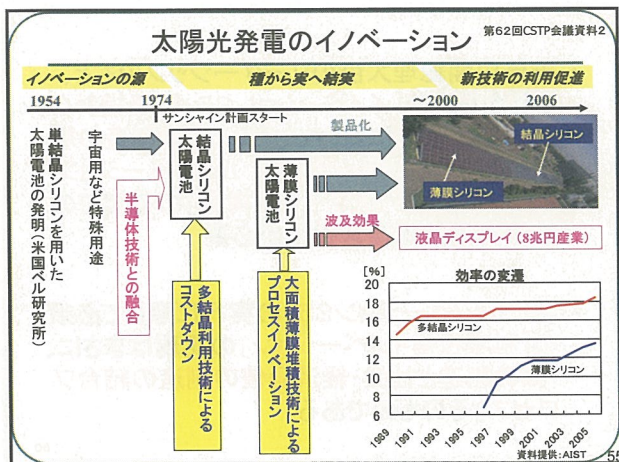
資料3

### 最近の科学技術の動向

- 太陽光発電技術が拓く未来 -

平成18年12月25日  
第62回総合科学技術会議

54



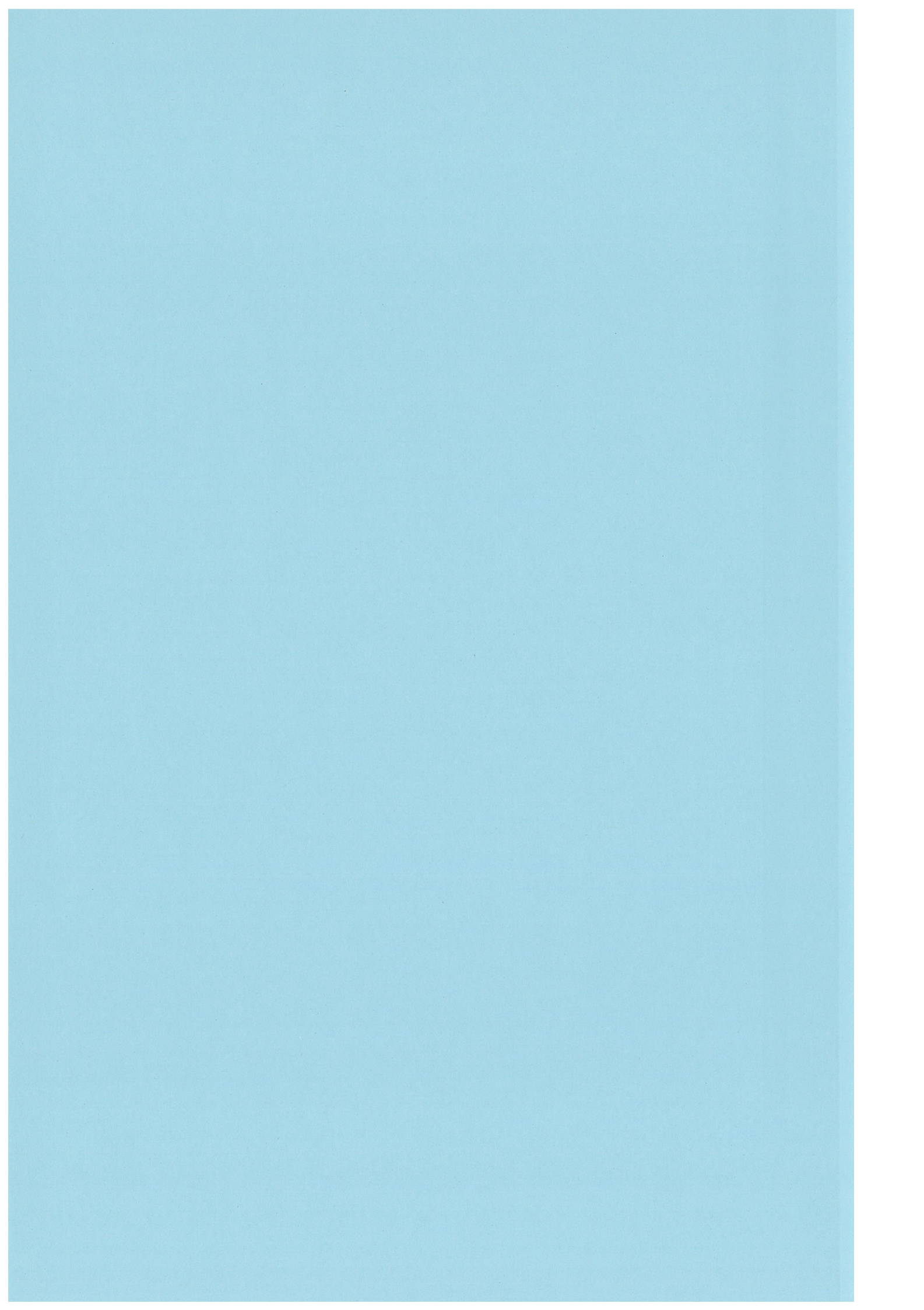


結び

国を挙げて「知の創造と社会経済価値創造との結合能力強化」を！  
 ～太陽光発電イノベーションはそのロールモデルになろう～

62





# 日本の太陽光発電システムの本格普及に向けて — 世界のリーダーになるために —

(株)資源総合システム  
— 木 修  
ikki@rts-pv.com

## 1. はじめに

太陽光発電システム普及拡大の動きは、日本とドイツを核にして、全世界に広がり始めている。ヨーロッパではフィードイン・タリフがヨーロッパ全域で採用されつつあり、アメリカもカリフォルニア州を中心に積極的な普及拡大に乗り出している。さらに、中国、インド、韓国など新興国でも普及のための国家計画を打ち出している。この結果、世界の太陽光発電システム年間導入量（但し、IEA加盟国18ヶ国の合計・2005年末時点）は、2005年に初めて1GW（1000MW=100万kW）を突破した。このうちドイツが600MW、日本が300MW、アメリカが100MWの規模に達している。一方、太陽電池の生産は年産2,500MWレベル（2006年）に成長し、3GW規模に迫っている。日本は900MWを生産し世界の太陽電池生産拡大を牽引しているが、ドイツを中心とするヨーロッパが生産能力増強と新規参入企業の躍進を背景に急拡大し、700MW規模目前である。さらに、中国と台湾が合わせて550MWを生産し、短期間のうちに目覚ましい成長を実現している。このように太陽光発電システムの本格普及に向けた世界の流れができ始める一方で、太陽電池の生産をめぐる日米欧プラス新興国による大競争時代も幕開けている。こうした中で、わが国では「新・国家エネルギー戦略」が策定（2005年）され、太陽光発電システムの普及も新たな段階を迎えている。

## 2. 世界の太陽光発電システム普及体制

現在の太陽光発電市場を支えているのは、表1に示すような世界各国で実施されている各種の導入インセンティブである。主要な施策としては、①フィードイン・タリフ（固定料金での逆潮流電力の買い取り制度）、②ネットメタリング（消費電力の正味計量）／余剰電力購入、③補助金、④税額控除、⑤再生可能エネルギー・ポートフォリオ基準（RPS）（一定割合の再生可能エネルギー発電の利用義務）——などがある。ヨーロッパは、ドイツを中心として各国でフィードイン・タリフなどを実施しており、市場が急拡大している。アメリカは、カリフォルニア州をはじめとする州政府の施策が奏功し、連邦政府の税額控除と相俟って導入が進展している。また、中国、韓国などの新興国においても、フィードイン・タリフ、補助金などの普及プログラムを検討、あるいは実施している。

表1 太陽光発電の市場拡大を支える普及支援体制

	フィードイン・タリフ	ネットメタリング/ 余剰電力購入	補助金	税額控除	RPS
ヨーロッパ	◎(ドイツ、スペイン、イタリア、フランス等22ヶ国)	△(スイス、マルタ等4ヶ国)	△(ベルギー、キプロス、イギリス等12ヶ国)	○(フランス等5ヶ国)	△(イギリス等2ヶ国)
アメリカ	△(ワシントン州)	○(41州*)	◎(28州*)	◎(連邦/24州)	△(23州)
日本	-	◎(電力)	◎(国、地方自治体、電力)	-	△(国)
その他	中国、韓国、台湾、インド、タイ、モンゴル、マレーシア等でも、太陽光発電システム普及プログラムを展開中				
備考	発電量に対する補助(kWh)		kWhに対する補助	kWまたは価格に基づく補助	再生可能エネルギー利用量の義務

\*: 電力事業者による実施を含む

出典:A. Jäger-Waldau, Joint Reserch Center (JRC), European Commission (EC), "PV Status Report", 2006年8月(ヨーロッパ)、州際再生可能エネルギー評議会(IREC), DSIRE, 2006年9月(アメリカ)、各種資料(その他)

### 3. 2006年における世界の太陽電池生産

2006年の太陽電池世界生産量は、PV News 4月号によると図1に示すように、2,521.4MWとなり、2.5GWレベルを達成した。対前年比では43.3%増となり、2000年以来猛烈な勢いを持続している。地域別の生産量では、日本は927.5MW、ヨーロッパは678.3MW、アメリカは201.6MW、その他の地域は714.0MWであった。日本の生産量は世界シェアで低下傾向が続くものの、8年連続の首位生産国として、世界生産量を大きく牽引している。ヨーロッパは日本を追いかけ、700MW規模目前であるが、初めてその他の地域に抜かれた。ヨーロッパの中心国は490.5MWを生産したドイツで、次いで73.3MWのスペインである。アメリカはようやく200MW規模に到達し、数年続いていた低迷期を脱する兆しを見せている。その他の地域は2003年以降急速に発展し始め、700MW規模を達成した。ヨーロッパを逆転し、日本に次ぐ位置に躍り出ている。その他の地域の国々は、369.5MWを生産した中国、177.5MWを生産した台湾、62.7MWを生産したフィリピンが中心であるが、この他にオーストラリア、韓国、インドも含まれている。対前年伸び率で見ると、日本が11.4%、ヨーロッパが44.3%、アメリカが30.9%、その他の地域が136.4%となり、世界全地域での伸びとなった。日本はシリコン原料不足の影響を大きく受けて、最も低い伸びにとどまっている。その他の地域は、2004年に初めて100MW規模となったが、中国勢及び台湾勢を核にして、2年間で5倍増を達成し、世界一の生産量を誇る日本を射程圏内にとらえている(但し、新興国における太陽電池生産量の信憑性に疑問も残る)。



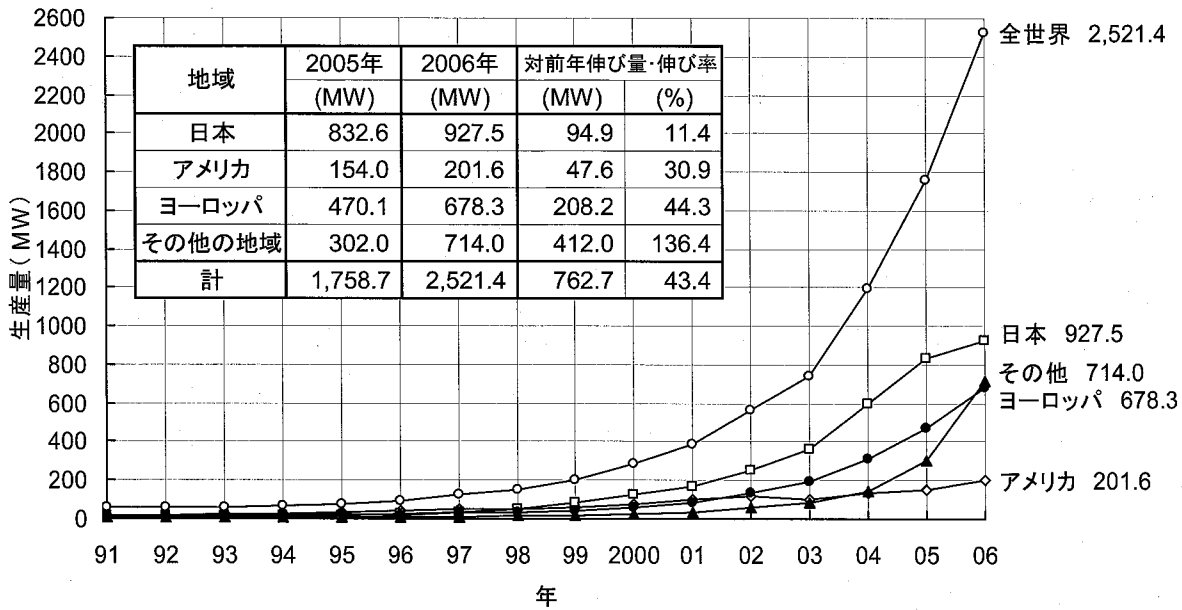


図1 世界における地域別太陽電池生産量

出典：PV News 2007年3月号、4月号を基に、(株)資源総合システムが一部修正して作成

材料別では図2に示すように、多結晶Si型太陽電池が9年連続1位で1,169.3MWで、1GW規模を達成した。単結晶Si型太陽電池(a-Si/単結晶Siを含む)もまた1,113.2MWとなり1GWを突破した。a-Si型太陽電池(多結晶Si薄膜を含む)は98.0MWで、ほぼ100MW規模となった。

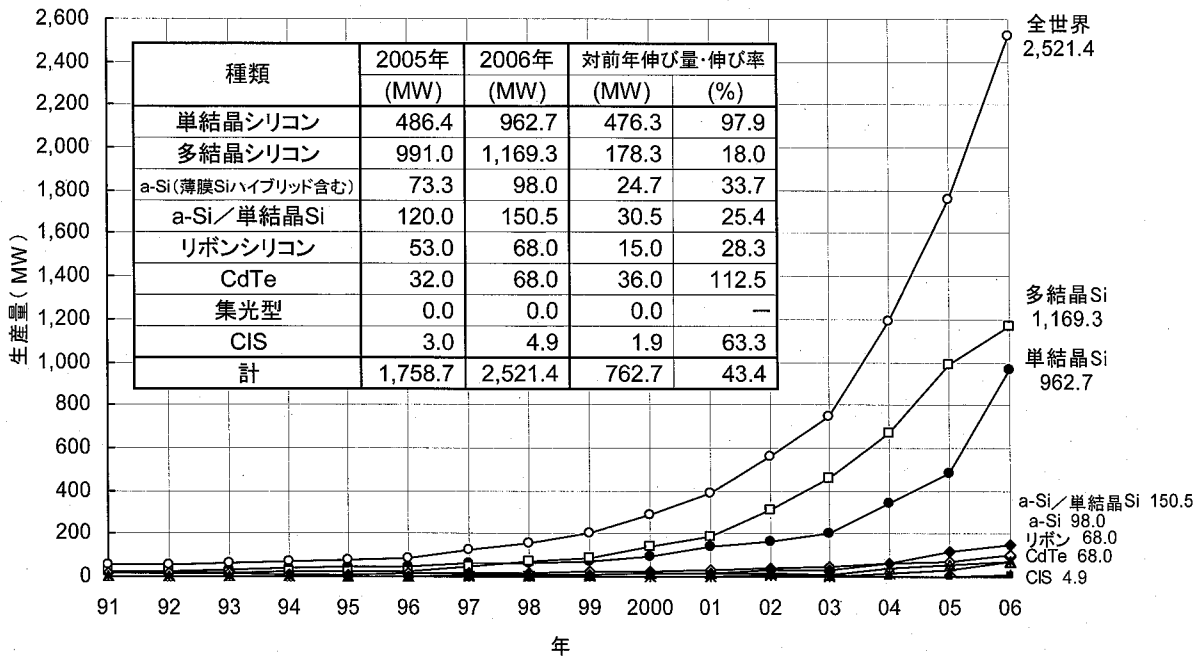


図2 世界における材料別太陽電池生産量

出典：PV News 2007年3月号、4月号を基に、(株)資源総合システムが一部修正して作成

リボン Si 型太陽電池は 68.0MW で、70MW 規模目前である。CdTe 型太陽電池は 68.0MW で、30MW 規模から倍増した。CIS 型太陽電池は 4.9MW となり、徐々に増えている。2005 年と比較して、材料分野での大きな変化は、単結晶 Si 型が 1 年で大きな伸びを示し、再び多結晶 Si 型と拮抗するようになった。a-Si 型はようやく 100MW 時代を迎え、将来への期待が膨らんでいる。CdTe 型は歴史が浅いにもかかわらず、早くもリボン Si 型に追いつき、成長スピードでは No.1 を誇っている。薄膜系 Si 太陽電池や非 Si 系の薄膜太陽電池は、太陽電池用 Si の供給不足と太陽電池需要拡大を背景に、ビジネスチャンスや期待が広がり、2006 年の生産量に反映されている。

企業別でみると表 2 に示すように、シャープが 434MW を生産し、7 年連続で世界 No.1 の地位を保っている。2 位以下を大きく引き離すも、対前年の伸びではわずか 1.5% の伸びにとどまり、これまでの勢いと比較すると大きなブレーキがかかっている。世界第 2 位企業は 2 年連続の Q-Cells で、253.1MW を生産し、本格的な市場参入 5 年目にして世界最速で 200MW 企業となった。世界第 3 位企業は同じく 2 年連続の京セラで、180MW を生産、200MW 目前である。世界第 4 位企業は三洋電機を追い抜いた Suntech (中国) で、対前年比ほぼ倍増となる 157.5MW を生産した。世界第 5 位企業は三洋電機で、155MW を生産し、着実に成長している。世界第 6 位は 111MW を生産した三菱電機、第 7 位は 110MW を生産した MOTECH (台湾) で、6 位と 7 位の差はわずかである。世界のトップ 6 に日本企業 4 社が占めており、これら 4 社が中心となって日本の世界一を支えている。日本企業ではこの他、カネカが 30MW、三菱重工業が 12MW、日立製作所が 5MW を生産している。海外企業では、SunPower (フィリピン) と First Solar (アメリカ) が大きく生産を伸ばしており、それぞれ 62.7MW、60.0MW を生産している。これまでヨーロッパの生産拡大を引っ張ってきた Schott Solar (ドイツ) と Isofotón (スペイン) は、それぞれ 83.0MW、61.0MW となりこれまでの勢いが失われている。

表 2 国別企業別生産量トップ 10

順位	企業名	2004 年生産量		2005 年生産量		2006 年生産量		対前年 伸び量・伸び率	
		(MW)	(%)	(MW)	(%)	(MW)	(%)	(MW)	(%)
1	シャープ(日本)	324.00	27.1	427.6	24.3	434.0	17.4	6.4	1.5
2	Q-Cells(ドイツ)	75.00	6.3	166.0	9.4	253.1	10.1	87.1	52.5
3	京セラ(日本)	105.00	8.8	142.0	8.1	180.0	7.2	38.0	26.8
4	Suntech(中国)	28.00	2.3	82.0	4.7	157.5	6.3	75.5	92.1
5	三洋電機(日本)	65.00	5.4	125.0	7.1	155.0	6.2	30.0	24.0
6	三菱電機(日本)	75.00	6.3	100.0	5.7	111.0	4.4	11.0	11.0
7	MOTECH(台湾)	35.00	2.9	60.0	3.4	110.0	4.4	50.0	83.3
8	Schott Solar (ドイツ)	53.00	4.4	82.0	4.7	83.0	3.3	1.0	1.2
9	SunPower (フィリピン)	-	-	23.0	1.3	62.7	2.5	39.7	172.6
10	Isofotón(スペイン)	53.30	4.5	53.0	3.0	61.0	2.4	8.0	15.1

出典：PV News 2007 年 3 月号を基に、(株)資源総合システムが作成

このように海外企業では、新興企業が大きく伸び、先発企業は従来の勢いを失い、2極化傾向が顕著である。この結果、年間100MWを超える企業（グループを含む）は、5社から7社、50～100MW規模の企業は、6社から7社、20～50MW規模の企業は、9社から13社に拡大している。また、CdTe型ではFirst Solar（アメリカ）とAntec（ドイツ）、CIS型ではShell Solar Industries（アメリカ）とGlobal Solar（アメリカ）、Würth Solar（ドイツ）が生産を拡大し、新しい材料による太陽電池も発展中である。2006年の大きな特徴として、ドイツ（EverQ、Solarwatt、Würth Solar）、ノルウェー（ScanCell）、スイス（Solterra）、中国（CEEG Nanjing PV、Baoding Yingli）、台湾（DelSolar）、韓国（Kyungdong PV Energy）など世界各地で、多くの新規参入企業が生まれている。

#### 4. 太陽光発電業界における世界の動き

2006年は、これまでの太陽光発電の歴史上、最大級と言えるくらいの大きな動きが相次いだ。シリコン原料需給逼迫の継続、次世代薄膜太陽電池の相次ぐ上市、新規参入者のさらなる増加などが見込まれる2007年以降にも、これまで以上の活発な動きが世界中で起こる準備が進められている。2006年の世界の太陽光発電産業においては、以下のような5つの潮流があった。

##### (1) 太陽電池用原料供給の担保——太陽電池用多結晶シリコンの本格生産準備

深刻化する太陽電池用シリコン原料の逼迫を受けて、大手多結晶シリコン・メーカーが矢継ぎ早に生産能力増強を発表した。どの企業も、太陽電池用への大幅増強を決めている。また、シリコン原料逼迫をにらんだ新規参入が相次いでおり、長年の研究開発成果を生かした量産化に取り組むなど、従来のシーメンス法とは異なる新製造法を採用するところや、新興企業ながら従来法による工場建設に着工するところもある。シリコン原料供給に対する太陽電池メーカーへの長期供給契約は、大手多結晶シリコン・メーカー主導により引き続き活発である。同様に、シリコン・ウェハー・メーカーと太陽電池メーカーでも長期契約が交わされ、これにより上流側は新規設備投資資金を確保し、下流側は将来にわたって原材料を確保することができる。

##### (2) 結晶シリコン太陽電池の能力拡張——半導体製造装置の活況

原料の確保に目途を付けた企業は、野心的な太陽電池生産能力拡張を実施、あるいは表明し、旺盛な需要に対応しようとしている。結晶シリコン太陽電池セル・メーカーは、モジュール・メーカーとの長期供給契約を締結するなどして資金調達を行い、新規投資を可能としている。しかし、中国や台湾メーカーも、強気の能力拡張を表明しているため、シリコン原料不足の懸念は継続されそうである。ほかにもワイヤー、特殊炭素製品、半導体ガス、不純物拡散剤、ペースト、樹脂など、太陽電池の増産に伴う各種原材料の需給逼迫、価格上昇が表面化しており、これらの増産も続々と発表されている。一方、半導体製造装置産業も太陽電池製造分野における活動を強化しており、顧客の要望に応じて、製造装置単品からターン

キーで太陽電池製造ラインを納入する方式に転換しつつある。

### (3) 次世代太陽電池の参入——長年の研究開発成果の開花

シリコン原料の逼迫は、薄膜太陽電池にビジネス・チャンスをもたらしている。薄膜シリコン太陽電池は、従来のアモルファス・シリコンに加えて微結晶シリコン型が登場しつつあるほか、フレキシブル型の参入もあった。さらに、薄膜太陽電池向けに製造装置を供給する企業が増えている。CdTeやCIGS太陽電池も、長年の研究開発を経て量産の準備が整い、間もなく上市の予定である。さらに、集光型太陽光発電システムも注目を集めている。シリコン・バレーから数多くのベンチャー企業が様々なアイデアで参入するなど、集光型太陽光発電システムが実用化の段階に進もうとしている。

### (4) 上流指向、下流指向——総合太陽光発電企業への挑戦

市場が拡大するにつれて、太陽光発電産業における相互関係の強化が進んでいる。①上流から下流までの大規模な一貫生産体制を確立する動き、②太陽電池生産のみならず下流の流通部門をも押さえていく動き、③上流の原料部門を押さえていく動き——などがみられる。このほかにも、結晶シリコン太陽電池メーカーが薄膜太陽電池や集光型太陽光発電メーカーに出資したり、合弁事業を興したりする動きも活発化し、太陽電池の種類を増やすことでリスク分散を図っているようである。RECグループやSolarWorldグループをはじめとする新興企業は、太陽光発電産業において上流から下流まで広範囲に事業を行う“総合太陽光発電企業”への脱皮を図りつつあり、世界覇権をかけた挑戦が始まっている。

### (5) 資金調達の活発化——投資家とベンチャーの意気投合

エネルギー・セキュリティや地球環境問題への関心の高まりから、機関投資家が再生可能エネルギーへの投資の姿勢を強めている。太陽光発電産業は、この機会に乗じて新規株式公開や増資を行ったり、ベンチャー・キャピタルと提携したりして潤沢に資金を集め、設備投資や研究開発に充てている。しかし、太陽光発電の本格的な発展はまだこれからであり、継続的な支援を確保していくためには、安定した事業経営はもちろん、信頼性の高い製品のタイムリーな投入に加えて、高い収益や他社に先駆けた新規事業活動などが求められるようになってきている。

このように世界の太陽光発電産業界は未成熟ではあるが、図3に示すように、2006年は生産能力・拠点拡大、新規参入、合併／合弁／提携、資金調達（株式公開等）、長期供給契約を通じて大きく飛躍した年である。日米欧に対して、中国、台湾、オーストラリア、韓国、インドなどの新興勢力が勢いを増しており、欧米においても先発企業に対して、新規参入企業の活躍が目立っている。シリコン原料確保に苦しむ結晶シリコン太陽電池に対しては、薄膜シリコンと新しい材料の太陽電池が市場に浸透し始めており、世界の太陽電池生産競争は生き残りをかけて、これまでも増して一層激化していくことが予想される。

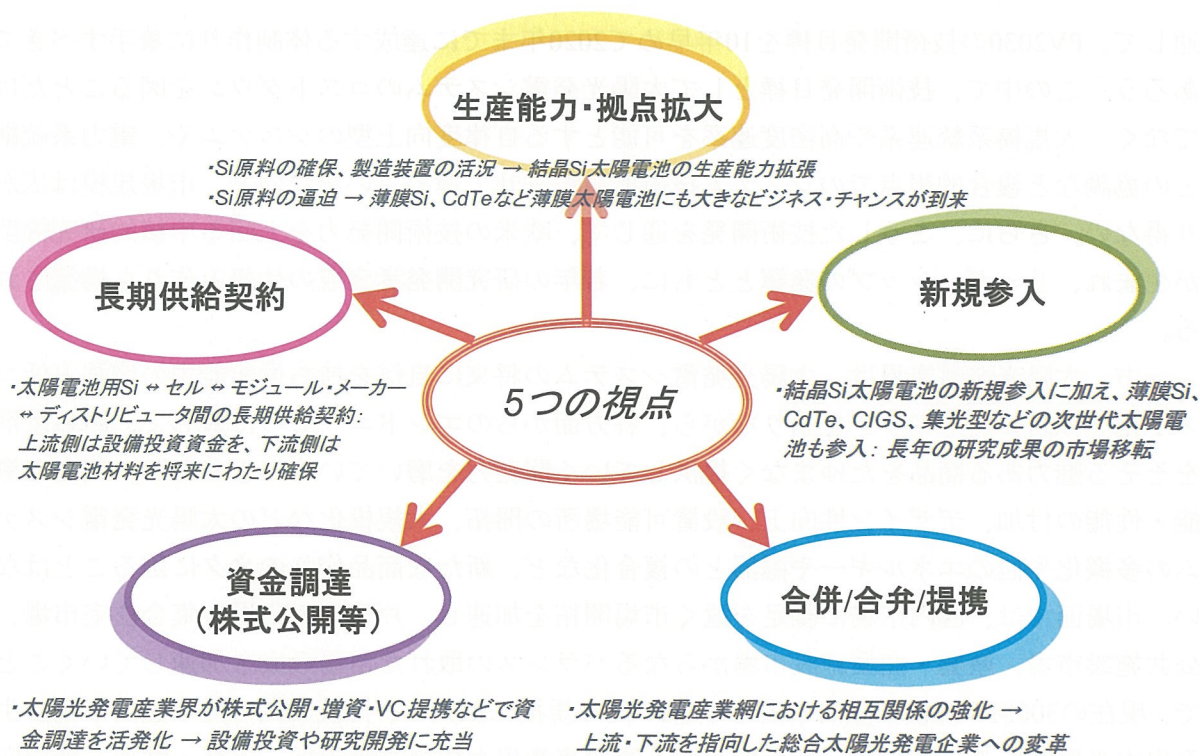


図3 2006年における世界の太陽光発電産業界の事業展開

出典：(株)資源総合システム資料

## 5. 太陽光発電システムの本格普及に向けた今後の展開

1994年の新エネルギー導入大綱を引き金にして、日本の太陽光発電システム導入普及が始まり、今日までに個人住宅用を中心とする初期市場が確立された。これまでは、経済産業省を中心とする政府が補助金をベースに、マーケット規模に応じた普及施策により市場拡大を主導してきたが、これからは政府と太陽光発電業界が両輪となって、各セクターと連携した普及体制を築く段階にきている。本格普及に向けて政府と太陽光発電業界がパートナーとなることで、両者が合わさると“1+1=4にも5”にもなる核となって、太陽光発電システムを主軸となるエネルギーの一つに育て上げることができよう。そのためには、政府は2006年に策定された「新・国家エネルギー戦略」を新たな発射台にして、太陽光発電システムの明日の姿を国家の意志として示していくことが重要である。ここでは政府は戦略的な導入目標量を明確にし、目標達成へ向けた法整備や施策の見直し・拡充を進める必要がある。各省庁及び都道府県が、それぞれ所管する公共施設への計画的継続導入を施策として立案し、社会資本整備の一環として学校、庁舎、警察署、消防署、保健所、公園などへの導入整備計画を実施することで、市場が担保され、導入拡大に大きな弾みがつく。

技術開発面では、第3期科学技術基本計画において、政府が集中的に取り組むべき戦略重点科学技術の一つに太陽光発電システムが選抜されたように、将来の主要なエネルギー源として、明日の可能性を切り開いていく開発体制が重要である。2004年にNEDO技術開発機構が、2030年までの技術開発ロードマップ (PV2030) を策定しているが、欧米では、このロードマップを参考にして、その上を行く技術開発計画を発表している。従って、開発スピードを加

速して、PV2030の技術開発目標を10年早めて2020年までに達成する体制作り着手すべきであろう。この中で、技術開発目標として太陽光発電システムのコストダウンを図ることだけでなく、大規模系統連系や高密度連系を可能とする自律度向上型のシステムや、電力系統網との協調など複合的視点でのシステム技術開発も併せて進めていかないと、市場規模は広がり得ない。さらに、こうした技術開発を通じて、欧米の技術開発力を上回る中核的研究機関が生まれ、リーダーシップの発揮とともに、若年の研究開発者育成の仕組み作りも構築される。

一方、太陽光発電業界は、太陽光発電システムの将来に自信を持ち供給能力の増強と低コスト化へのスピードアップを図りながら、各方面からのエンドユーザーに対して、購買意欲をそそる魅力ある商品をたゆまなく提供していく開発力を磨いていくべきである。新たな機能・性能の付加、デザイン性向上、設置可能場所の開拓、大規模化などの太陽光発電システムの多様化や他のエネルギーや機器との複合化など、新たな商品作りのネタに困ることはない。市場面では、国内市場に軸足を置く市場開拓を加速し、戸建住宅市場、集合住宅市場、公共施設市場、産業・商業施設市場からなるバランスの取れた市場形成を加速していくことで、現在の300MW規模の国内市場を早急に1GW規模に拡大し、持続成長可能な国内市場を生み出す必要がある。さらに、次の柱となる電力事業用大規模発電市場、道路・鉄道・農業向け市場の開発にも取り組むことが必要である。見習うべき市場は、自転車、自動二輪車、軽自動車、乗用車、トラック、バス、トラクター、ブルドーザーなどの多様な商品を持つ広い意味での車市場であり、太陽光発電産業に当てはめれば、太陽電池応用商品市場、小型独立電源市場、住宅市場、産業施設市場、商業施設市場、公共施設市場、発電事業市場、農業市場、道路・鉄道市場をカバーする商品展開が考えられる。輸出市場では、現地に根ざした消費地立地のモジュール生産も開始しており、現地の産業と協調して消費者の満足する商品を提供することや、支持を得る努力を怠らないことで、国際貢献を果たすことができよう。産業構造面では、太陽電池用原料の製造からエンドユーザーへの設置・施工まで、上流分野から下流分野までの産業連携を強化・充実し、少なくとも1GW規模の国内市場に対応した製造・流通に耐える産業構造に仕上げるのが重要である。特に、太陽電池製造部門、太陽光発電システム構成機器製造部門、住宅用太陽光発電システム販売部門など強い分野をさらに伸ばすとともに、太陽電池用原材料・部品製造部門や太陽光発電システムを活用するシステムインテグレーション部門など、弱い部門の強化と太陽光発電システム利用サービス部門など新たな分野の創出を図ることによって、産業として頼れる産業に発展させねばならない。産業構造全体を通じてのコストダウンと市場開拓のスピードアップを図ることで、太陽光発電産業を収益をベースとした自立発展構造に転換することができる。太陽電池製造が求心力になれば、他産業との協調・融合が生まれ、活力のある産業が実現できよう。

## 6.おわりに

2006年の新・国家エネルギー戦略に加えて、2007年にはRPS法が改正され、太陽光発電システムに対するRPS相当量を2倍にカウントする（太陽光発電システムからの電力量1kWh＝

2kWhとみなす) 措置を法律で打ち出された。初期市場は補助金で創出し、本格市場への誘導は、普及拡大への制度構築、あるいは制度の弾力的運用に軸足を移していくという政府の姿勢を示したものである。本格普及体制への制度構築は始まったばかりであるが、太陽光発電は、夢を追いかける段階は卒業し、夢を実現する段階を歩み始めている。太陽光発電は日本の将来を見据え、在来型のエネルギーとの調和を図った制度構築を今後も進めながら新たな社会システムとして組み込んでいくことで、安定した成長軌道に乗せ、仕上げは在来型エネルギーに匹敵する持続可能な国産エネルギーとなることができる。太陽光発電業界は、政府のエネルギー戦略に連動しながら、経済産業省だけでなく、全省庁や47都道府県にわたってパートナーとして連携し、今や“引っ張ってもらおう太陽光発電産業”から“攻める太陽光発電産業”に転身を図る時期にきている。

日本の太陽光発電産業の今日の自立に向けた歩みは、ヨーロッパのようなフィードイン・タリフ制度がない日本にとっては、国内市場の拡大には苦しい状況ではあるが、欧米がいずれ抱える未来の姿であり、日本が知恵を絞りながら最先端を歩んでいる。日本は、欧米に先駆けて市場原理と制度設計に基づく将来が見える大規模国内市場をいち早く確立することで、どこにも負けない国際競争力を身につけることができよう。そのためには図4に示すように、太陽光発電業界と政府との両輪による普及への取り組みに加えて、関連産業界及びユーザーとの協業・連携体制を早急に構築していくことが、日本国民全体の合作による“日本版普及モデル”となり、普及構造、産業構造、流通構造という3つの構造構築が完成する。このモデルは世界の模範ともなり、世界に貢献することもできる。

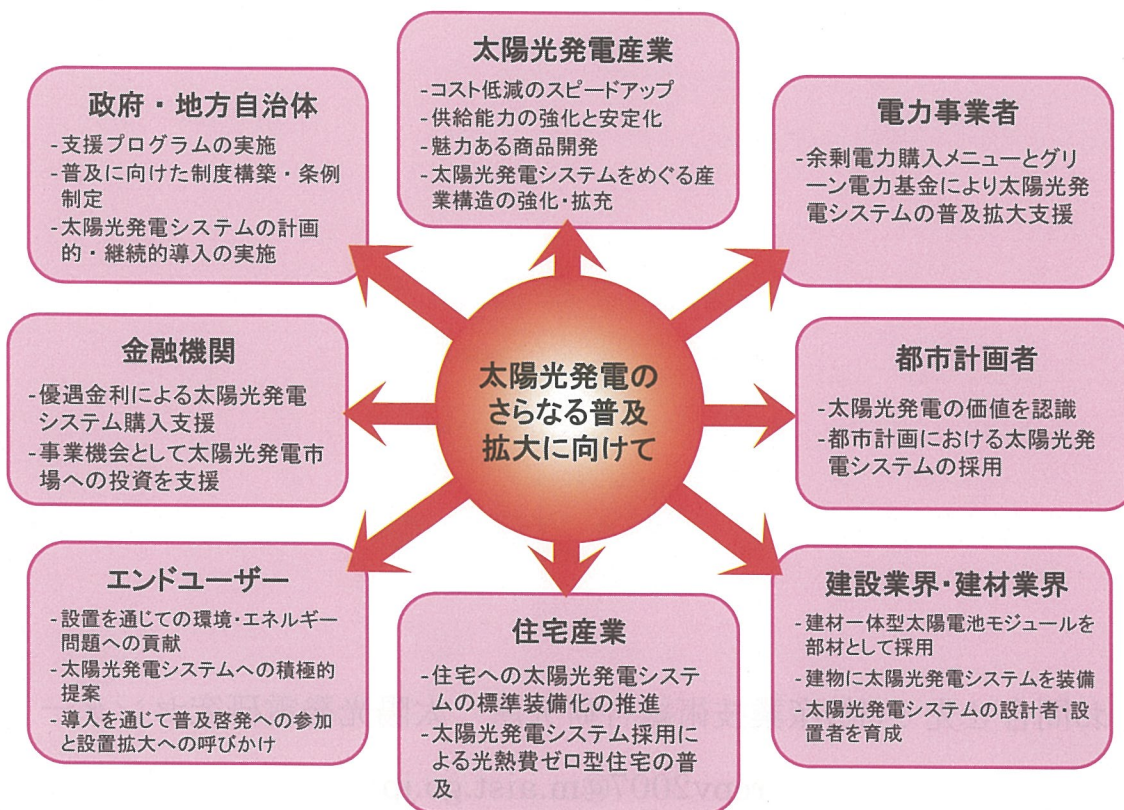


図4 ユーザー及び関連セクターとの協業/連携による太陽光発電システム普及拡大の輪