

# アカデミアから見て、今後のナノテク・材料科学はどうあるべきか、どうすべきか

東京工業大学大学院理工学研究科 小長井誠

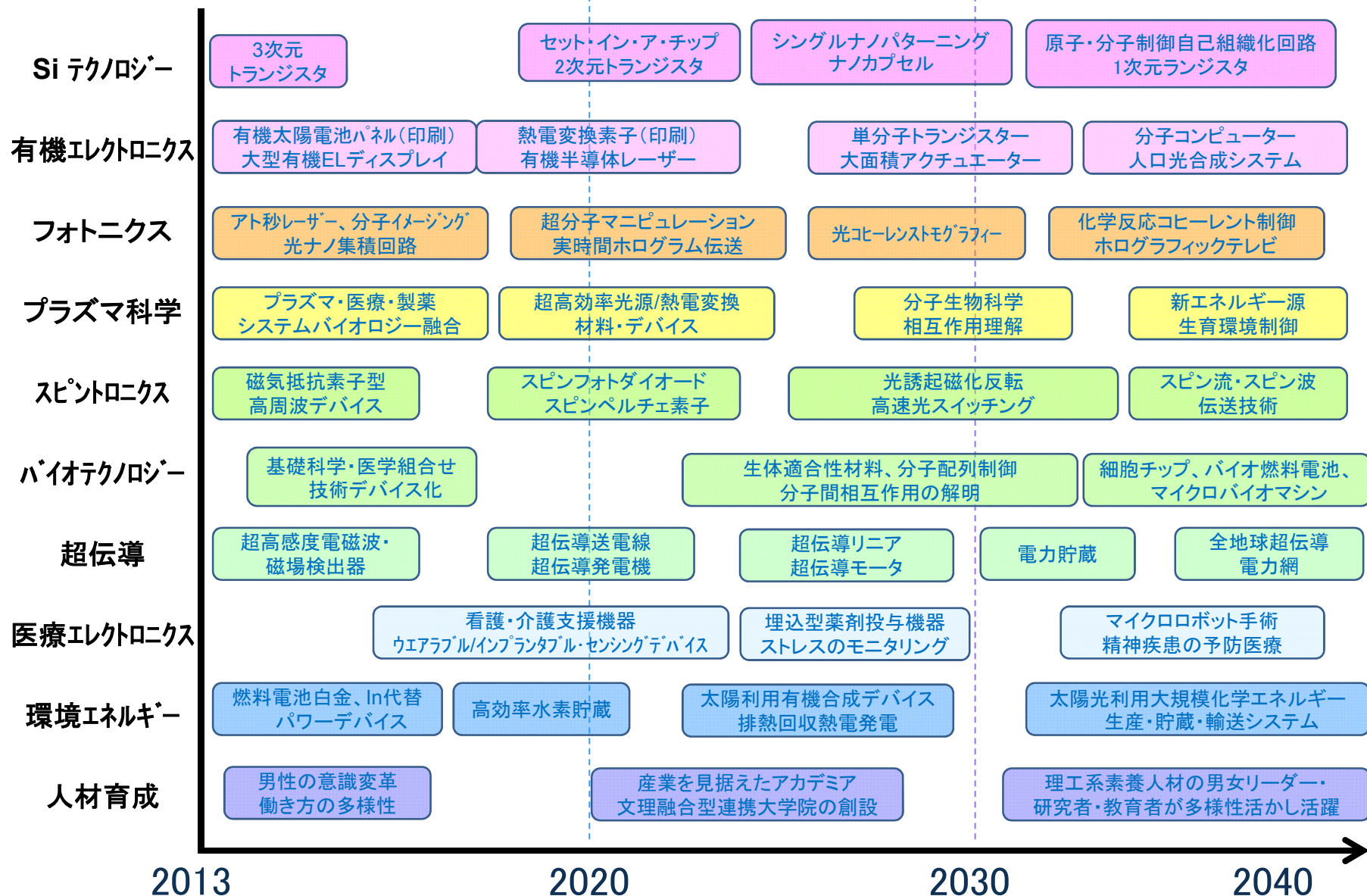
1. 重点を置くべき研究領域・国が支援すべき研究領域、研究課題、研究方策
2. 現在のシステムのボトルネック、今後のシステム改革の方向性
3. これまでのナノテク・材料科学政策に係わる課題・反省点、今後の政策に期待すること

# 1. 重点を置くべき研究領域・国が支援すべき研究領域、研究課題、研究方策

- ・研究領域・研究方策の協議には、学協会との連携を図る。
- ・日本学術会議と学協会が連携して理学・工学分野における科学・夢ロードマップを作成。  
(日本学術会議 <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-22-h201.html>)
- ・日本学術会議・大型研究計画の策定  
(<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t188-1.pdf>)  
応用物理学分野では、
  - ・量子技術ネットワーク
  - ・ナノバイオ学術基盤
  - ・有機エレクトロニクス
  - ・長寿命放射性廃棄物の核変換
  - ・**スピントロニクス**(重点大型研究計画)
  - ・プラズマ科学
  - ・ナノフォトニクス
  - ・統合エレクトロニクス集積化

# 7-1. 応用物理学の科学・夢ロードマップ

デバイスの高機能・高性能化/統合・システム化により人が快適で自然と調和する持続可能社会を実現



# 7-1-1.応用物理学 シリコンテクノロジー ～究極の集積化技術が切り拓く多機能・高性能ナノデバイスの世界～

小型化・低コスト化  
低消費電力化  
多機能化  
高速化

安全・安心な  
高信頼社会へ

持続的で  
希望あふれる社会へ

自然と調和する  
豊かな世界へ

- 活動支援ロボット:**
- ・5感を持つロボット
  - ・介護支援、自動運転カー
- どこでも・だれでもつながる:**
- ・全ての物への情報の埋め込み
  - ・自由で手間のかからないアクセス
- 自由な情報処理:**
- ・感情も伝える自動通訳
  - ・高臨場感
  - ・ヒューマンインターフェース
- 健康・長寿命・高信頼社会:**
- ・高齢・少子化対応健康サポート
  - ・スマートヘルスケア
  - ・セキュア・システム

- 自律型ロボット:**
- ・人の代わりに仕事をするロボット
- 思えばつながる:**
- ・考えるだけで情報通信
- 自在な情報管理:**
- ・思い出してくれる記憶補助
  - ・交渉もする電子秘書
  - ・しみわたる感動
- 省エネルギー:**
- ・充電・給電レス自立システム

- 超微細ロボット:**
- ・血管中を進む自動治療医療ロボット
- 自然につながる:**
- ・情報のゆりかご
- 自然な情報利用:**
- ・あらゆる場所での情報のやりとり
  - ・人の5感能力を超える安らかな感動
- 創エネルギー:**
- ・電力供給型端末システム

集積度

新材料・新構造の導入

Si CMOSプラットフォーム

バイオナノテクノロジーとの融合

分子テクノロジーとの融合

32nm

22nm

16nm

11nm

8nm

5.0nm

2.5nm

1.5nm

1 nm

RF・センサー・MEMSの融合

エネルギーハーベスター/ストレージ

セット・イン・ア・チップ

スピン素子  
シングルナノパターンング  
ナノカプセル  
ナノマシニング  
共鳴系トンネル素子

1次元トランジスタ  
単電子素子  
分子素子とのインターフェース  
マイクロロボット

分子テクノロジー

スピン、バイオ技術

MEMS, センサー、ナノマテリアル、計算技術

3次元トランジスタ

2.5/3D集積化

2次元トランジスタ

CMOS回路基盤技術

2013年

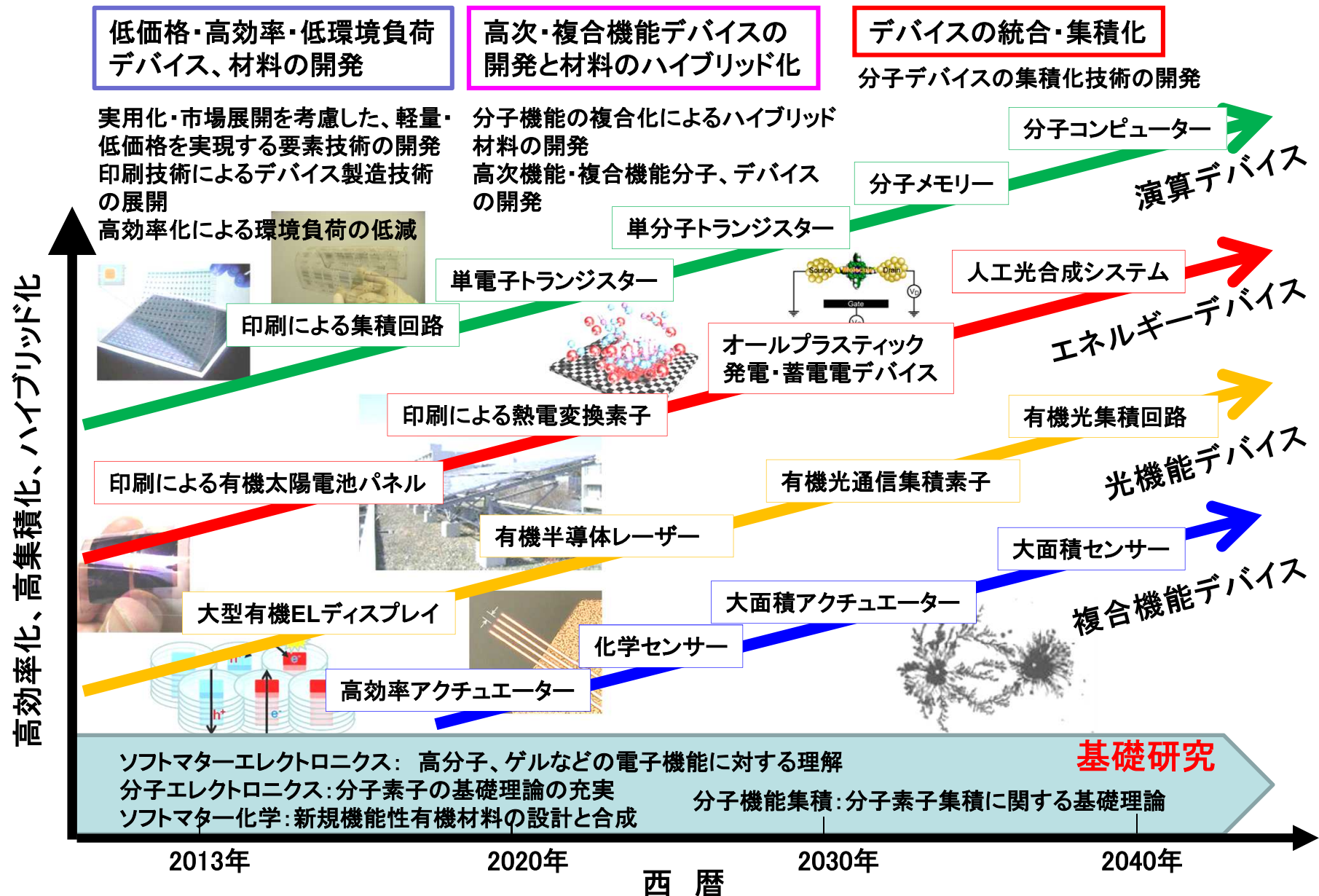
2020年

西暦

2030年

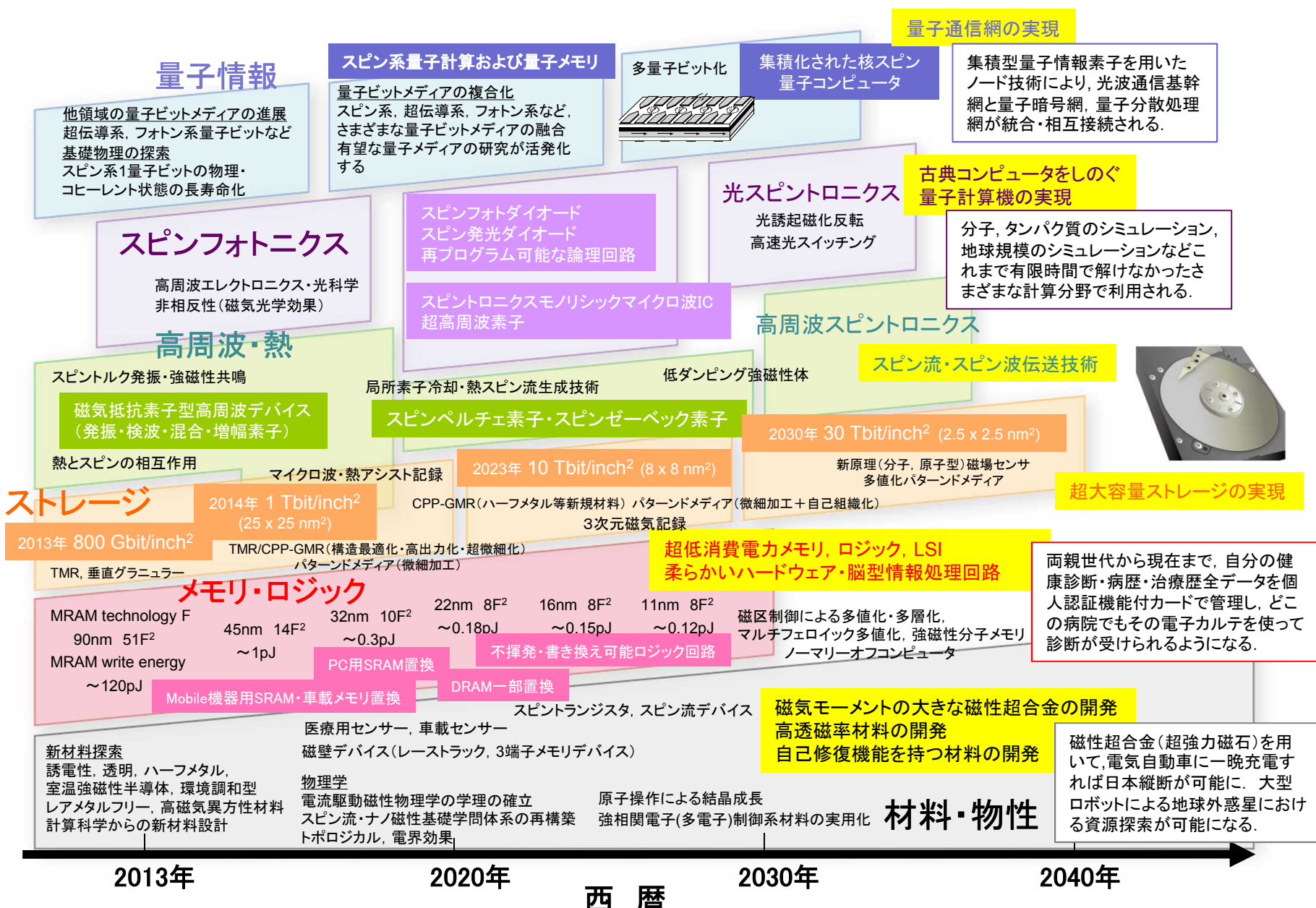
2040年

## 7-1-2. 応用物理学 有機エレクトロニクス～

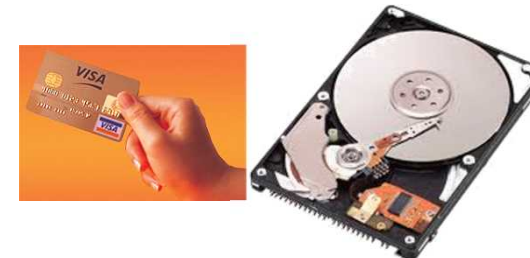
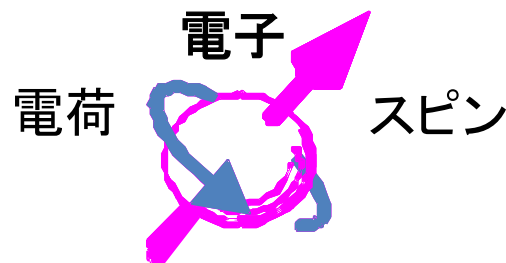




# 7-1-5. 応用物理学 スピントロニクス



# スピントロニクス：電気と磁気の新しい融合



**エレクトロニクス（電子工学）**  
電気伝導と光学特性を制御 (s, p 電子)  
情報処理、論理演算、通信

**マグネティクス（磁気工学）**  
磁性・磁化を制御 (d, f 電子)  
情報の記録、記憶

ナノサイエンス&ナノテクノロジーで融合

## 学術的に重要な現象

巨大磁気抵抗(GMR)効果  
トンネル磁気抵抗(TMR)効果  
スピン流の注入・輸送・蓄積  
強磁性の電界・光による制御  
単一量子計測・操作

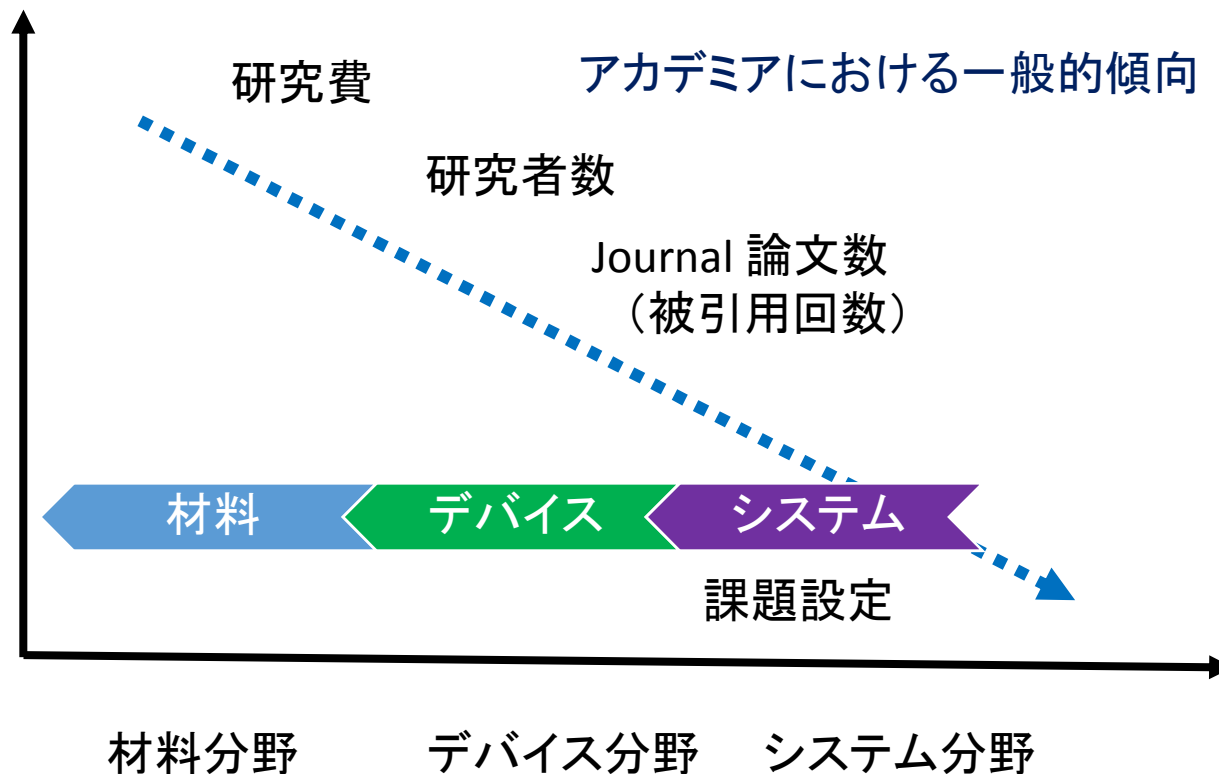
## 有用なデバイス・応用技術

GMR / TMR ヘッド、磁場センサー  
磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)  
スピントランジスタ、再構成可能な論理回路  
超低消費電力エレクトロニクス  
量子センサー、量子情報処理

重点大型研究計画:「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」拠点の整備 より

## 2. 現在のシステムの的なボトルネック、今後のシステム改革の方向性

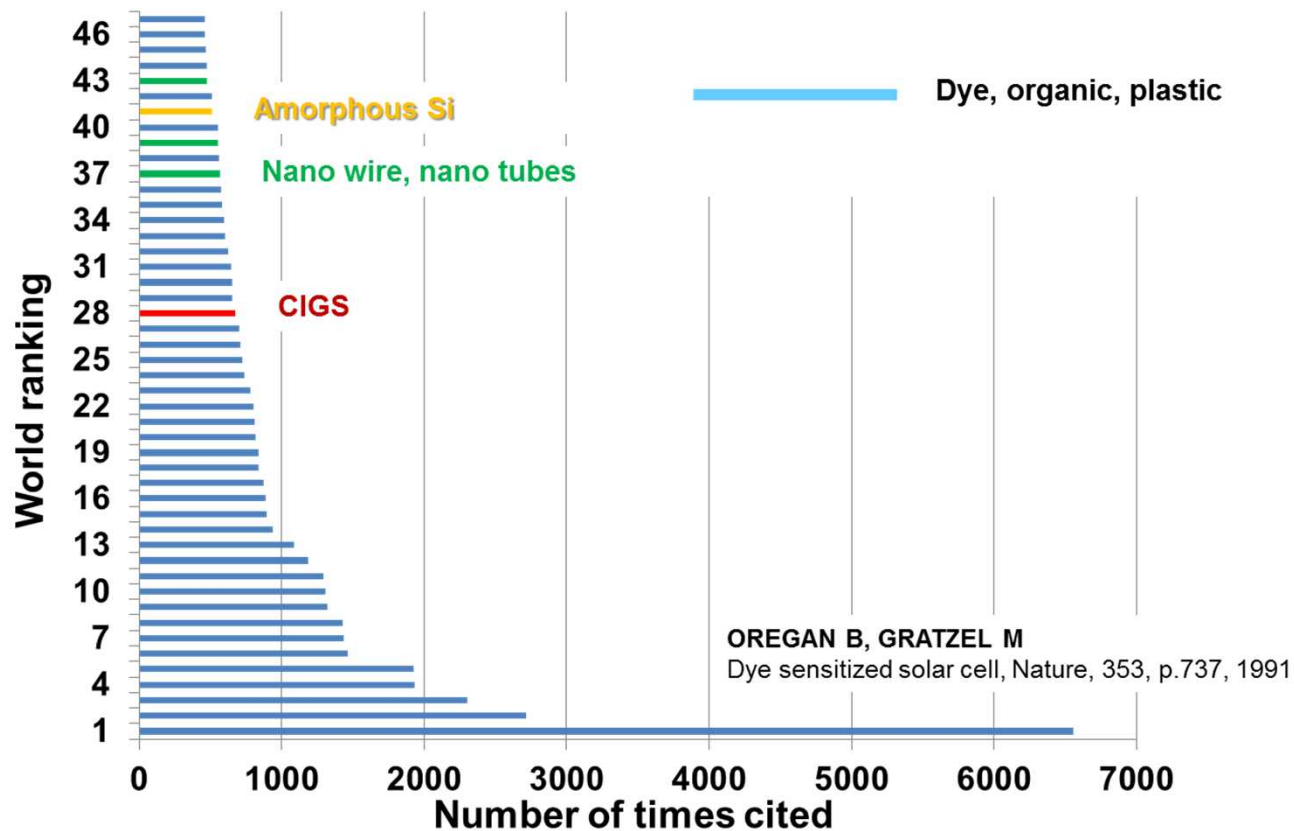
- ・すでに実施されているが、よりバックキャストで制度設計  
システム側にとってデバイス、材料開発を先導できる研究者の醸成
- ・我が国の残されたリソースは地方大学。洗練されたonly one技術
- ・新材料開発とともに、シリコン材料・デバイス開発は永遠の課題  
(シリコンを無視してはいけない)





### 3. これまでのナノテク・材料科学政策に係わる課題・反省点、今後の政策に期待すること

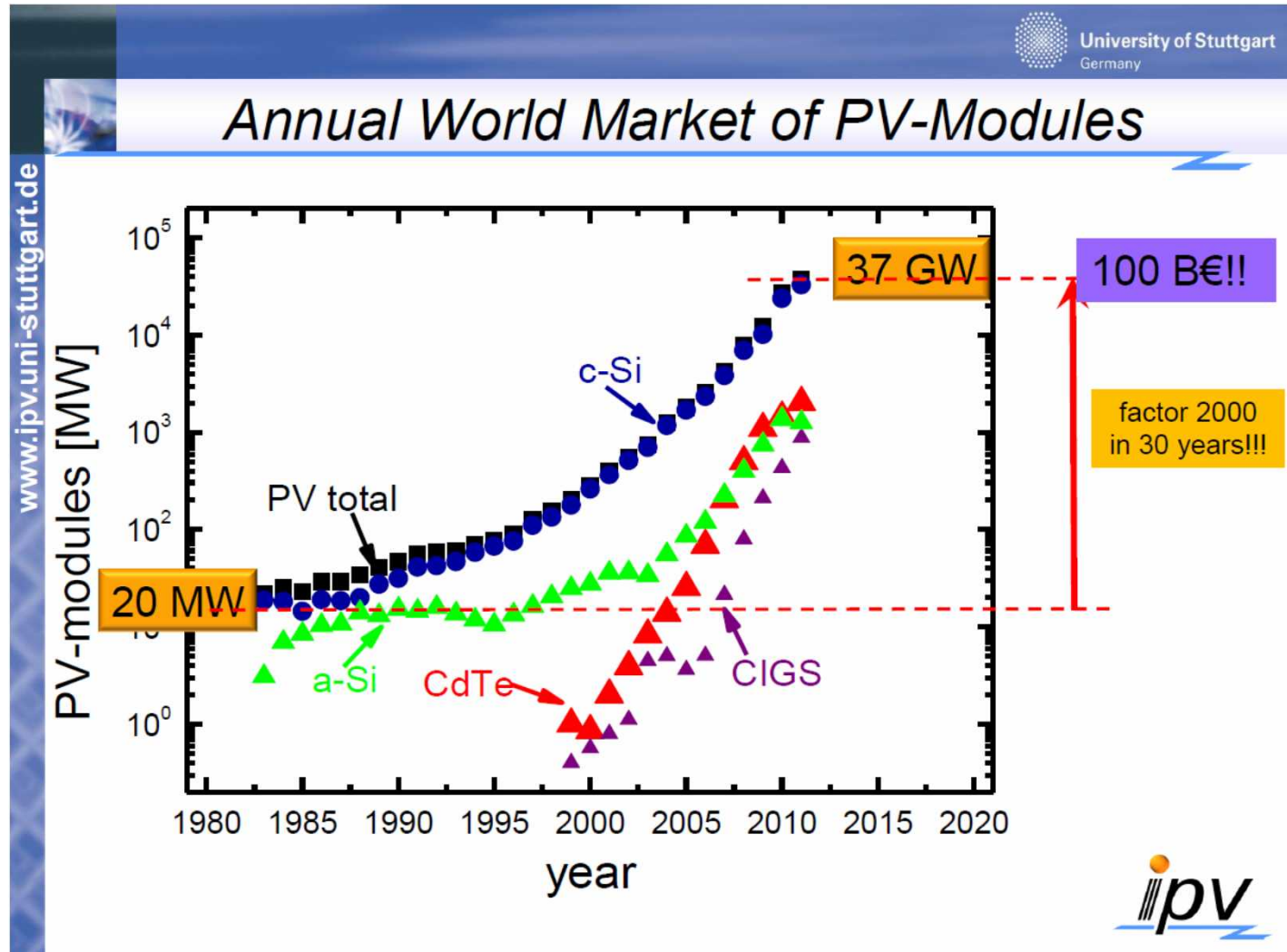
論文の被引用数は重要な評価指標だが、実用化との相関は小さい・・・(例:太陽電池材料)



ISI Web of Knowledge, 33,412 records, Topic= solar cell

このデータは2011年に作成したものです。現在、GratzelによるNatureの論文の被引用数は、**12,879**となっています。

# 太陽電池分野では、被引用回数と生産量はまったく正反対

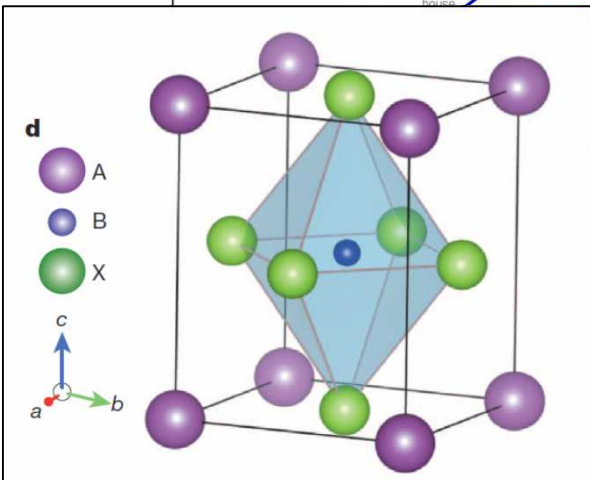
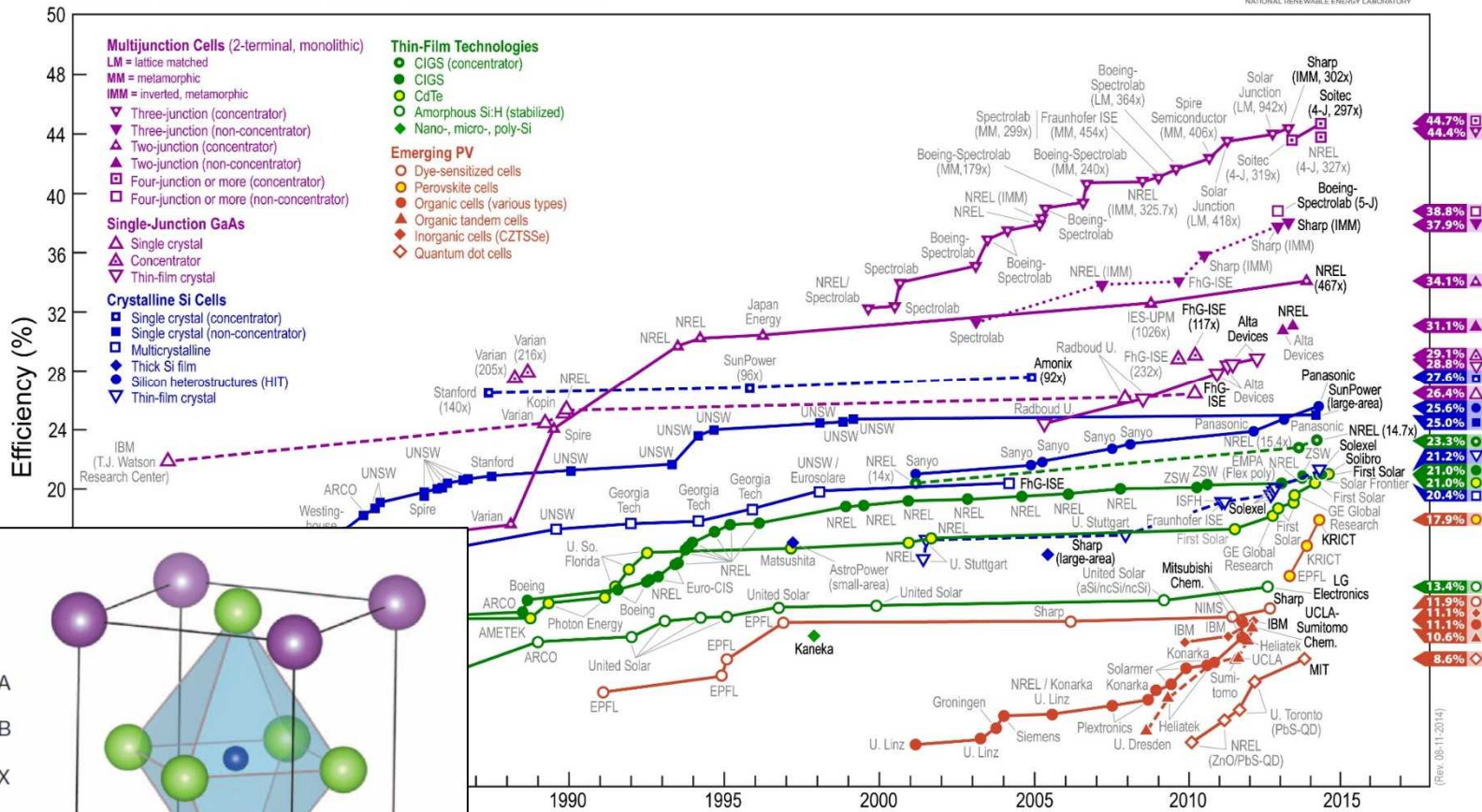


2014年時点で電力用の色素増感、有機太陽電池は生産されていません。

# ペロブスカイト太陽電池 – 色素・有機はペロブスカイトへ方向転換

- ・色素増感の失敗例がなければペロブスカイトは見いだされなかったか？
- ・日本発の新技术：スピード感をもった支援が必要

Best Research-Cell Efficiencies



NRELのBest Research-Cell Efficiencies図では、17.9%がmax

# 参考情報 — GaN LED ノーベル賞と被引用回数

- METALORGANIC VAPOR-PHASE EPITAXIAL-GROWTH OF A HIGH-QUALITY GAN FILM USING AN AIN BUFFER LAYER**

著者名: AMANO, H; SAWAKI, N; AKASAKI, I; et al.  
APPLIED PHYSICS LETTERS 巻: 48 号: 5 ページ: 353-355  
発行: FEB 3 1986

被引用数: 1,325  
(Web of Science Core Collection から)
- P-TYPE CONDUCTION IN MG-DOPED GAN TREATED WITH LOW-ENERGY ELECTRON-BEAM IRRADIATION (LEEBI)**

著者名: AMANO, H; KITO, M; HIRAMATSU, K; et al.  
JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS PART 2-LETTERS 巻: 28 号: 12 ページ: L2112-L2114 発行: DEC 1989

被引用数: 1,141  
(Web of Science Core Collection から)

同様に

Candela-Class High-Brightness InGaN/AlGaN Double-Heterostructure Blue-Light-Emitting Diodes, S. Nakamura et.al, Appl. Phys.Lett., 64 (1994) 1687  
の被引用数は、2,187