

エネルギー・環境問題に 挑戦するグリーンテクノロジー

2009年12月7日

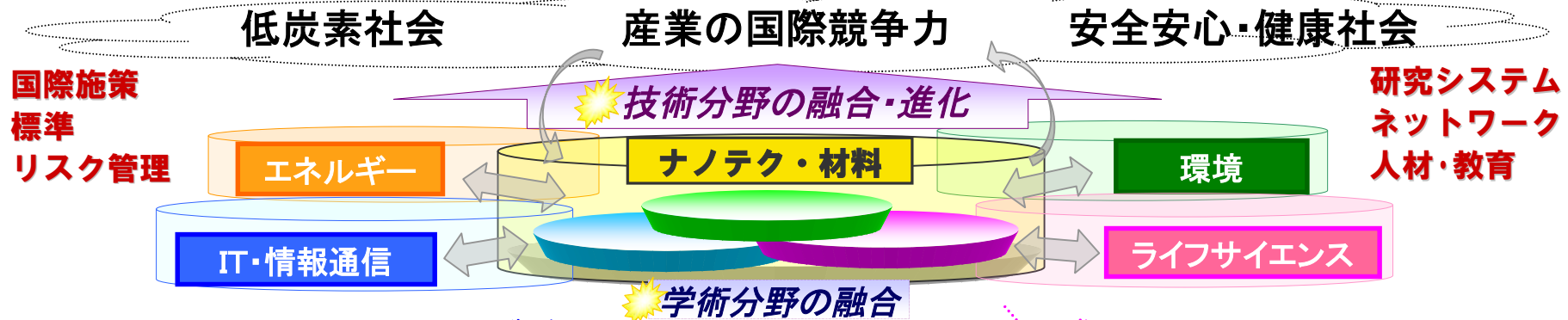
日本電気(株) 中央研究所
(独) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

曾根 純一

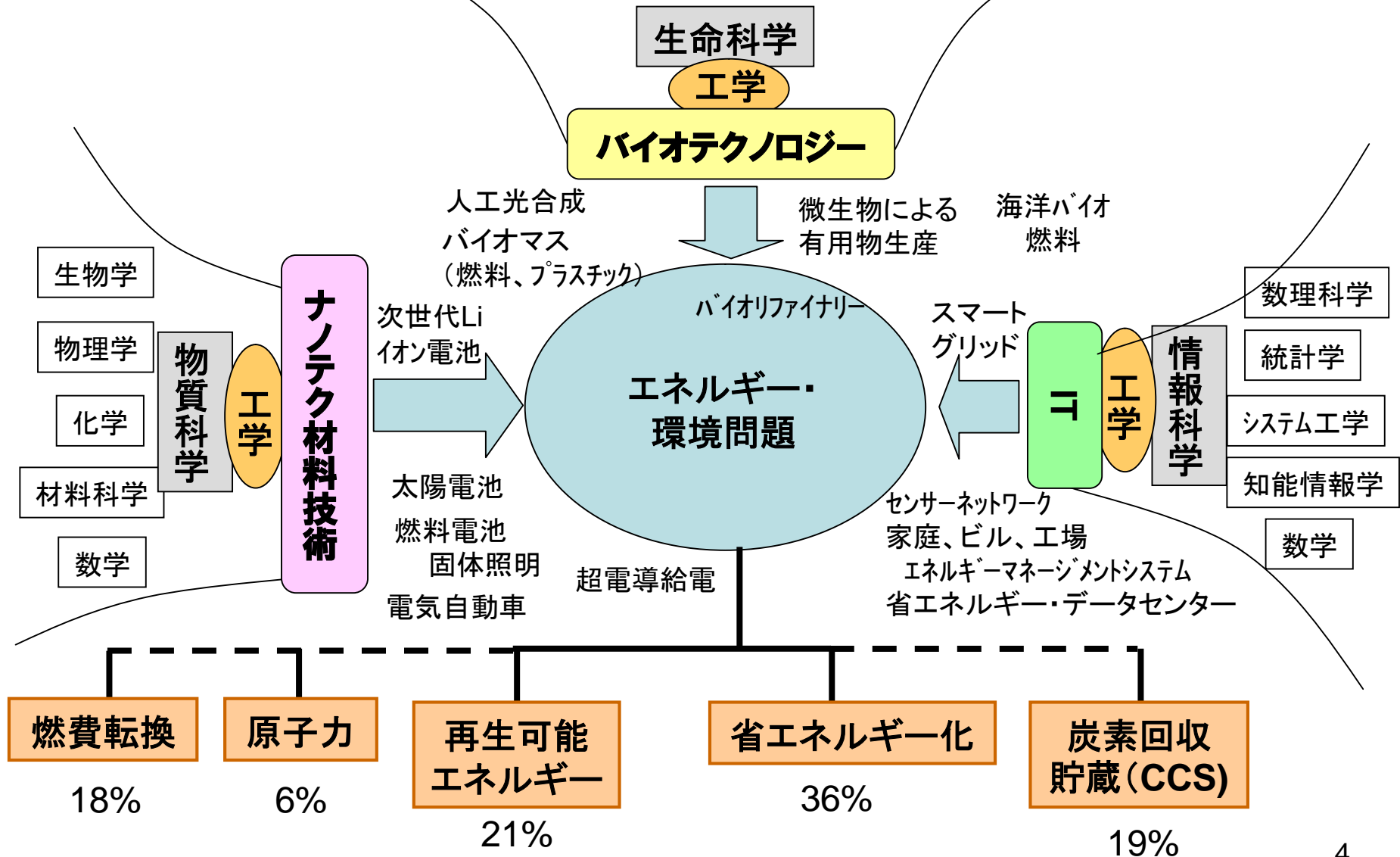
内容

- 地球温暖化問題
- 情報量爆発とIT機器の消費電力増大
- 省エネルギー技術の追求 「データセンターを例に」
- 環境・エネルギー問題に挑む材料・ナノデバイス技術
- ITによるエコ社会実現
- まとめ

ナノテクノロジー・材料各分野の重要課題



循環型・持続可能社会を実現する



*) IEA(国際エネルギー機関)のエネルギー技術展望、'05年のCO2排出量28Gtを'50年に半減させるシナリオ

オバマ政権下における米国の環境エネルギー政策

- 「Green New Deal」政策を発表。Clean Energy Economyに入ると宣言。
- DOE長官にSteven Chuが就任、各種環境エネルギー政策を実行。
 - ・1997年ノーベル物理学賞受賞(レーザー冷却)、
 - ・元ローレンスバークレー国立研所長 “Molecular Foundry”を提唱
- 5年間777M\$の予算でEFRC(Energy Frontier Research Centers)を設置
 - ✓ 46センター(大学:31、DOE研究所:12、NPO:2、共同研究所:1)を設置
学生含め、1800名の研究者を支援
 - ✓ 研究テーマの内訳
 - ・Renewable & Carbon Neutral Energy (太陽エネルギー利用、先端原子力エネルギーシステム、バイオ燃料、CO2の地質学的隔離) 20センター
 - ・Energy Efficiency (クリーンで効率的な燃焼、固体照明、超伝導) 6センター
 - ・Energy Storage (水素研究、電力貯蔵) 6センター
 - ・Cross-Cutting Science (触媒、極限環境の材料、他) 14センター
- エネルギー技術の産業化を目的に8つのEnergy Innovation Hubsを設置
 - ✓ 一か所あたり初年度35M\$、以降25M\$/年で5年間、総額1080M\$の支援
 - ✓ エネルギー高効率ビルシステム、太陽光発電、グリッド材料・デバイス・システム、CO2回収・貯蔵、極限材料、シミュレーション、バイオマス、バッテリー・エネルギー貯蔵

エネルギー・イノベーションハブ

- ✓ エネルギー技術の産業化を目的に8つのハブを設置
- ✓ 一か所あたり初年度35M\$、以降25M\$/年で5年間、総額1080M\$
- 極限材料
 - 耐熱性、耐放射線先端材料の開発（原子力エネルギー向け）
- モデリング & シミュレーション
- 太陽光発電
- CO2回収・貯蔵
 - Surface interaction of CO2, Novel solvents/Sorbents, Cost effective
- グリッド材料・デバイス・システム
 - Advanced power electronics materials (SiC, GaN),
 - Discovery & design of smart sensors & devices for smart grid.
- バイオマス
 - Photochemistry associated with the natural photosynthetic system
 - Biomass, Biofuel
- 電池・エネルギー貯蔵
- エネルギー高効率ビルシステム

京都議定書と京都議定書

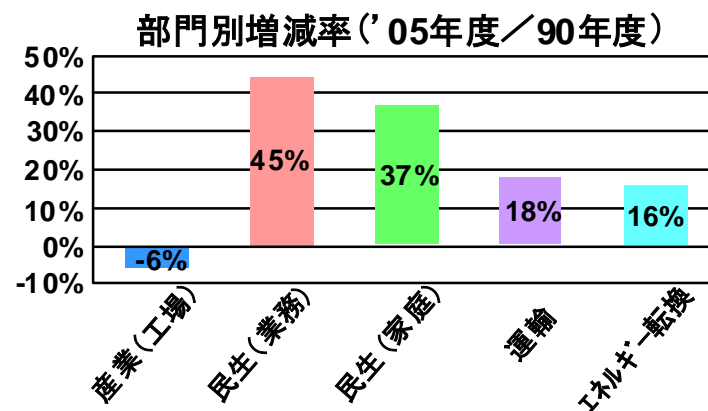
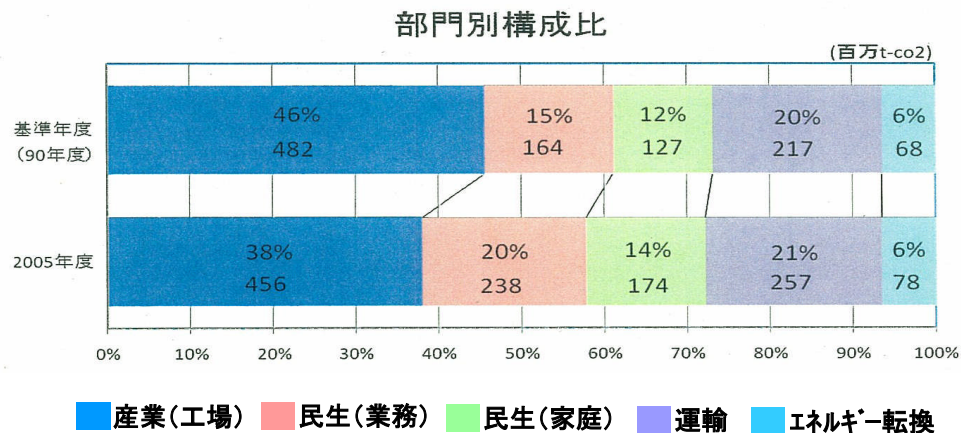
京都議定書:2008~2012年までに温室効果ガス(CO2等)の排出量を1990年比**6%削減**

- 日本の**温室効果ガス排出量**は1990→2005年度で全体で**8%増加**
- ハイリゲンドラムサミット(2007.6)で日本は**2050年度までにCO2排出量半減**を提案

ポスト京都議定書:2020年までに温室効果ガス排出量を1990年比で**25%削減(鳩山宣言)**

- この間、太陽光発電量を20倍に、次世代自動車(HEV、EV)のシェアを2%から50%に
- ※) US:2005年比で温室効果ガス14%削減、EU:1990年比で温室効果ガス20%削減
- 技術的な裏付けはこれから

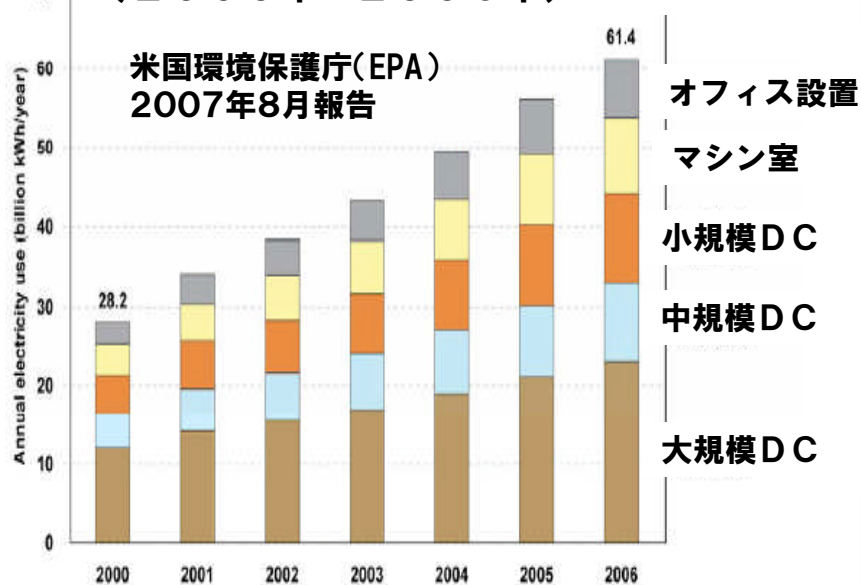
日本のエネルギー起源部門別CO2排出量推移



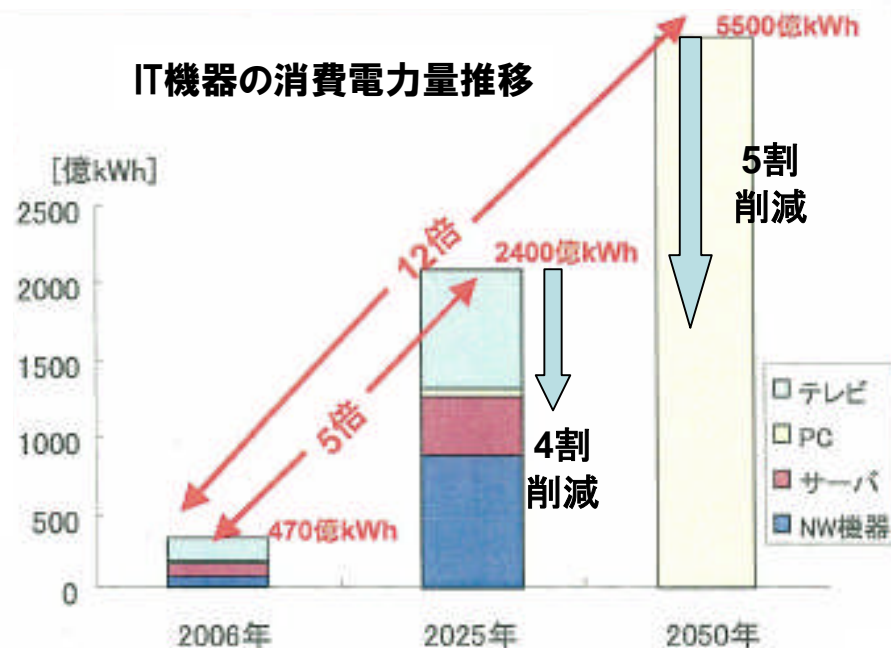
情報量爆発とIT機器の消費電力増大

- ・インターネットでの情報流通量は637Gbps@2007が120Tbps@2025と190倍に増大
- ・米国のデータセンターの消費電力量は過去6年間で倍増、原子力発電所5基分の消費電力量に到達、2011年の予測は2006年(米国全体1.5%)の約2倍の1000億KWh

米国の設置場所別電力消費量の推移
(2000年-2006年)



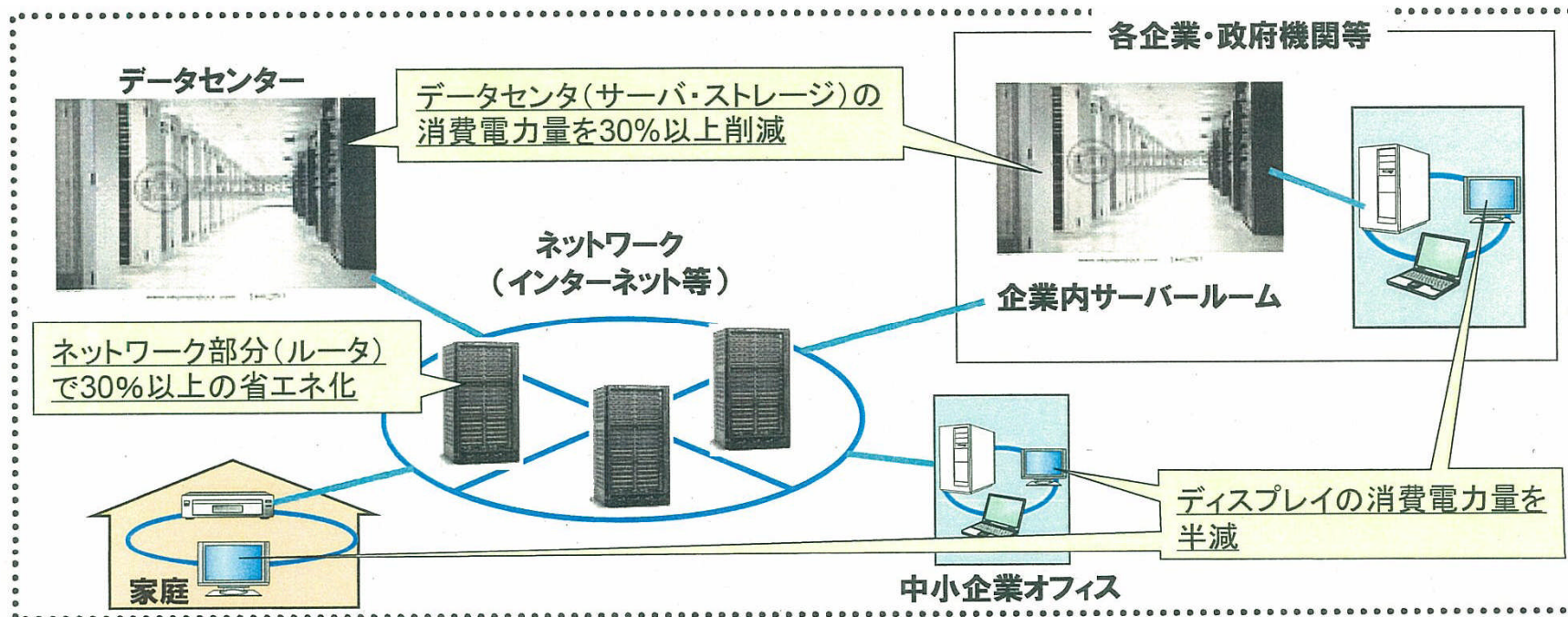
IT機器の消費電力量推移



出典: 経産省「グリーンITイニシアティブ」

■経産省グリーンITプロジェクト

- ・IT機器省エネに加え、データセンターなどのNWシステム全体での省エネを実現する革新技術開発
- ・世界のサーバー電力コスト:325億ドル@07（年率10%増）
- ・IT 関連機器の電力消費は日本全体の5%、2025年には20%



■IT各社の省エネへの取り組み

- ・グーグル：新規データセンターは水力発電所近くに建設中
- ・Sun：地表から100mの地下空間にデータセンター設置 ⇒ 省エネとセキュリティを確保
- ・IBM：Project Big Greenでデータセンター総消費電力40%削減
- ・日立：CoolCenter50で今後5年間でデータセンター消費電力50%削減
- ・NEC：Real IT Cool Projectで5年間でITプラットフォームの消費電力を50%削減

データセンターの電力消費量増大

- インターネットの普及に伴う情報爆発は、我が国だけでなく各国全体の問題。米国では、グーグル1社で日本の総消費電力量の約1/1000を消費。
- 米国内のデータセンターの消費電力量は過去6年間で倍増 (原子力発電所5基分)、5年後には更に倍増すると予測。日本でも、データセンターの5年後の総電力消費量は倍増。

- ・ YouTubeは毎日1億本以上のビデオを配信
- ・ Yahoo!は毎日30億のページ・ビュー



データセンターでは、近い将来、ハードウェアそのもののコストより電力コストの方が上回る (Intel CTOのジャスティン・ラトナー氏)

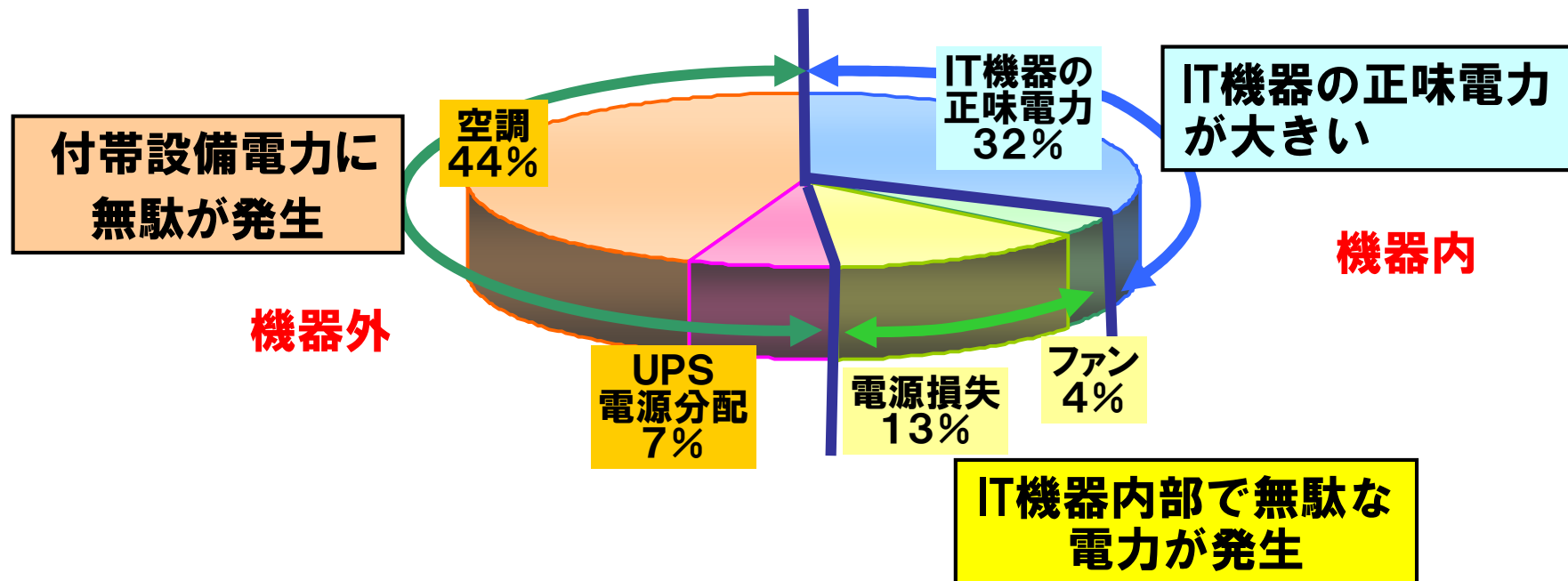


【発電所に隣接するGoogleの巨大データセンター】

データセンターにおける電力問題

- データセンターにおいては、IT機器の電力に加え、付帯設備の電力、電源系で損失する電力が発生
- IT機器の省エネのみならず、ファシリティも含めた総合的な省エネ解決策の提示が必要

データセンターにおける電力消費の割合



出典: "Powering Compute Platforms in High Efficiency Data Centers"
(Intel Developer Forum, Fall2006) をもとに作成

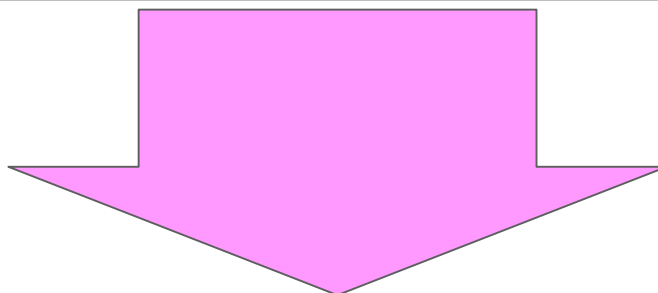
省エネルギー技術の追求

デバイスからシステムまで各レイヤで低電力化技術を追求

全体の効率化

無駄の削減

システム構成	時間・空間分散処理	圧縮技術		
アーキテクチャ	並列処理	動的電源電圧制御	光化 Siナノ フォト ニクス	電源 スイッチ
回路,レイアウト	クロック自動制御	マルチコア メニーコア	不揮発 メモリ	
デバイス	微細化(Moore則追求)			



自動車
耐環境、高信頼動作



携帯機器
長時間駆動



PC、AV機器
放熱の容易化、省エネ化



コンピュータ、通信機器
放熱の容易化、高信頼化
省エネ化



ナノエレクトロニクス、 フォトニクスによる 省エネルギー化

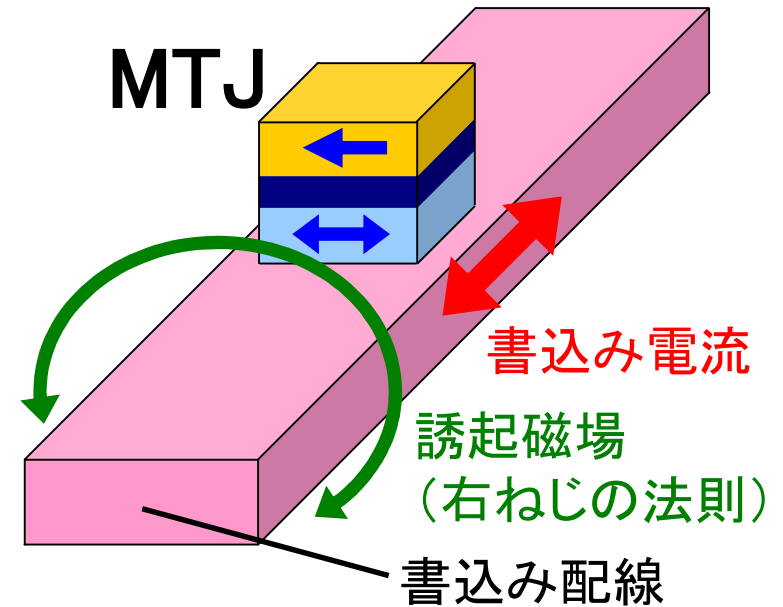
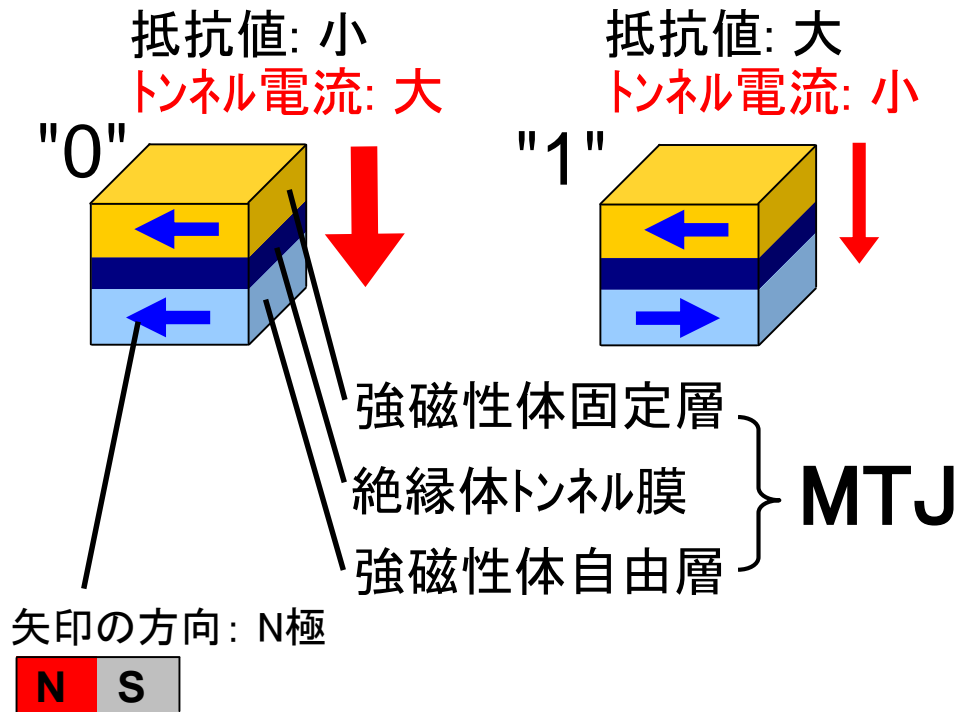
“電子デバイスの研究は全てが省エネルギー化を指向”

- 不揮発メモリ、ロジック素子
- カーボンエレクトロニクス
- ナノCMOSデバイス
- ナノブリッジ
- ・
- ・

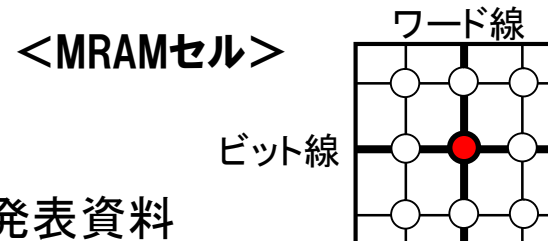
MRAMの動作原理

読み: MTJ抵抗値の大/小を
データの0/1に割付

書き: 配線電流で発生する磁場で
N極の方向を反転



ビット線とワード線により選択された
セル内の書き込み配線に電流が流れる



MTJ = 磁気トンネル接合
Magnetic Tunnel Junction

*) 杉林(NEC): 応用物理学会 2009秋季大会発表資料

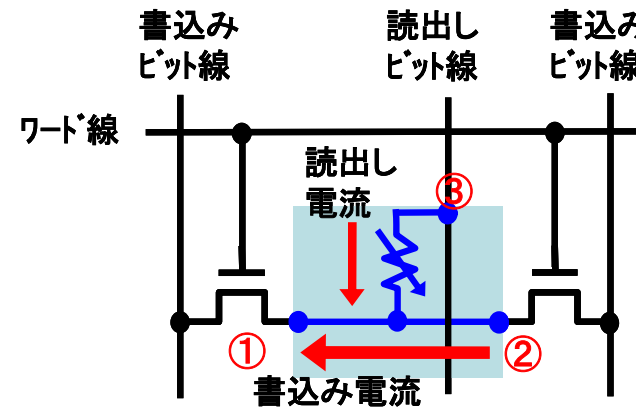
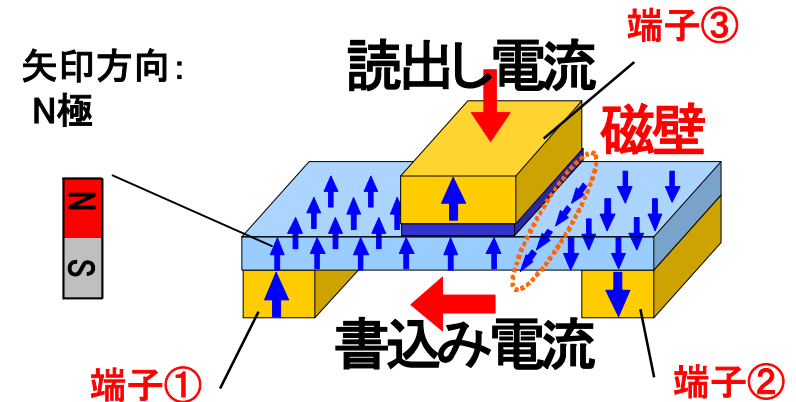
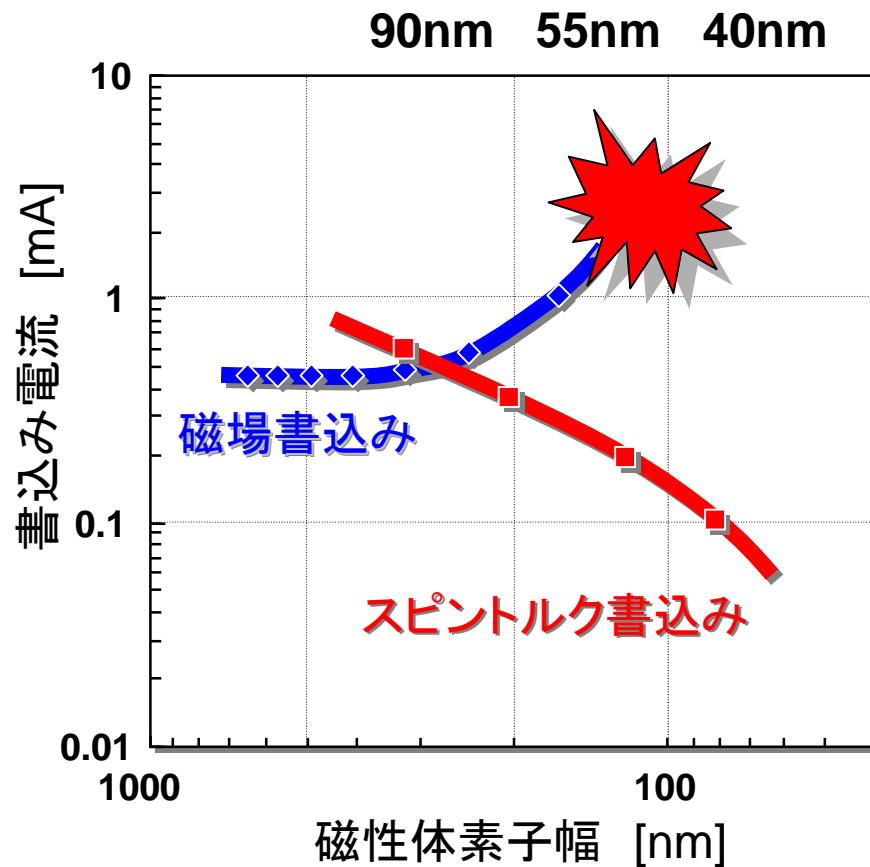
MRAMの特長

- ・書き換え回数制限のない唯一の不揮発メモリ技術
- ・低電圧動作（電流書込み、電流読出し）
- ・高速書き込み（消去、ベリファイ不要）

	MRAM	FeRAM	PRAM	FLASH
書換回数制限	無制限	10^{12}	10^7	10^6
動作電圧	低	高	高	高
動作速度	高速	破壊読出し	Reset & set	Erase & verify

書込み方式の変更の必要性

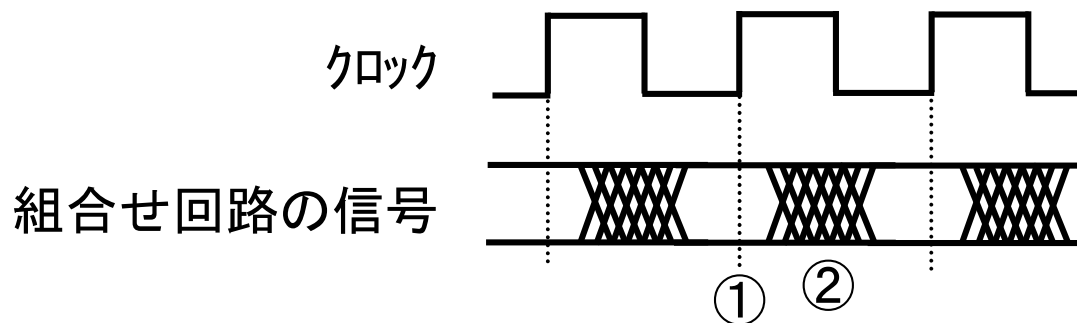
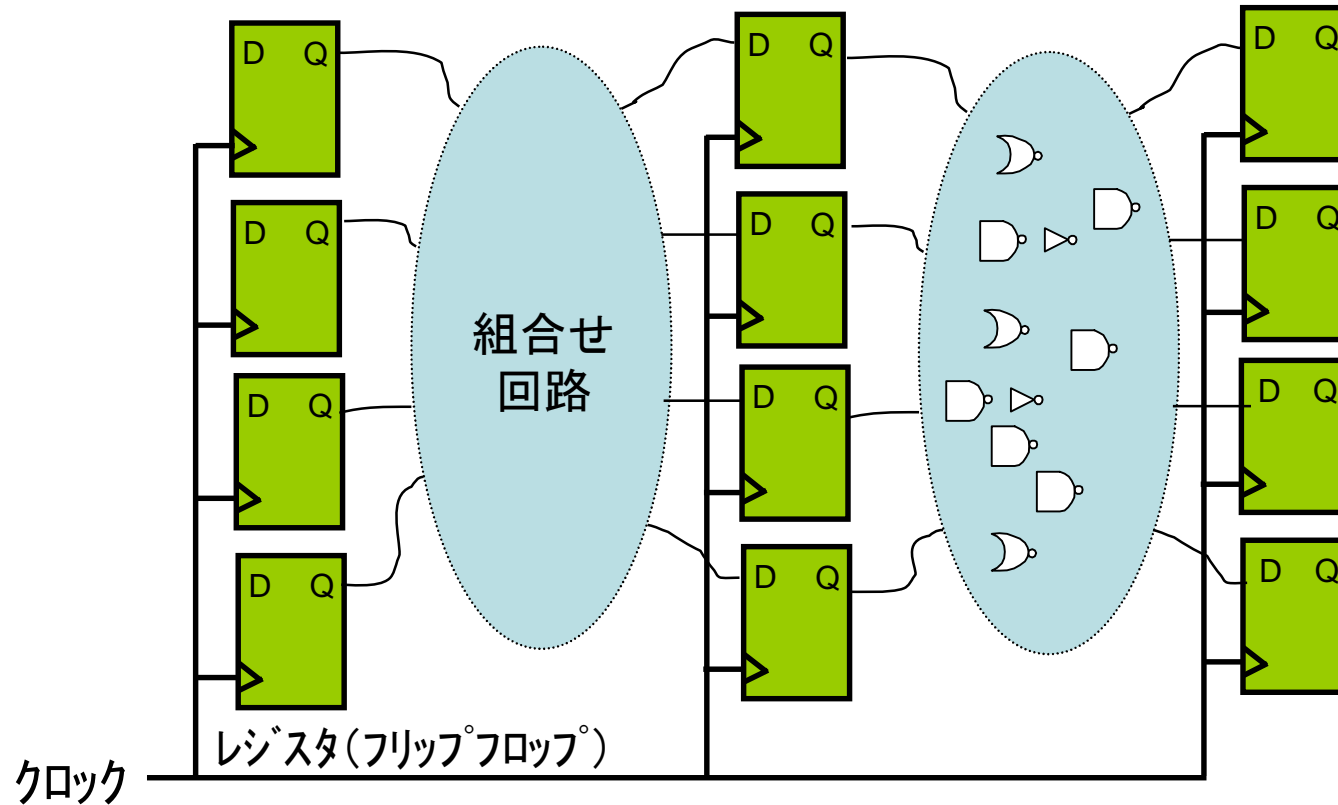
シミュレーションによる予測



- ・書込み方式としてスピントルク磁壁移動を採用
- ・読出し方式は従来のMRAMと全く同じ

システムLSIの論理回路の一般的な構造

(クロック同期回路) = (組合せ回路) + (レジスタ)

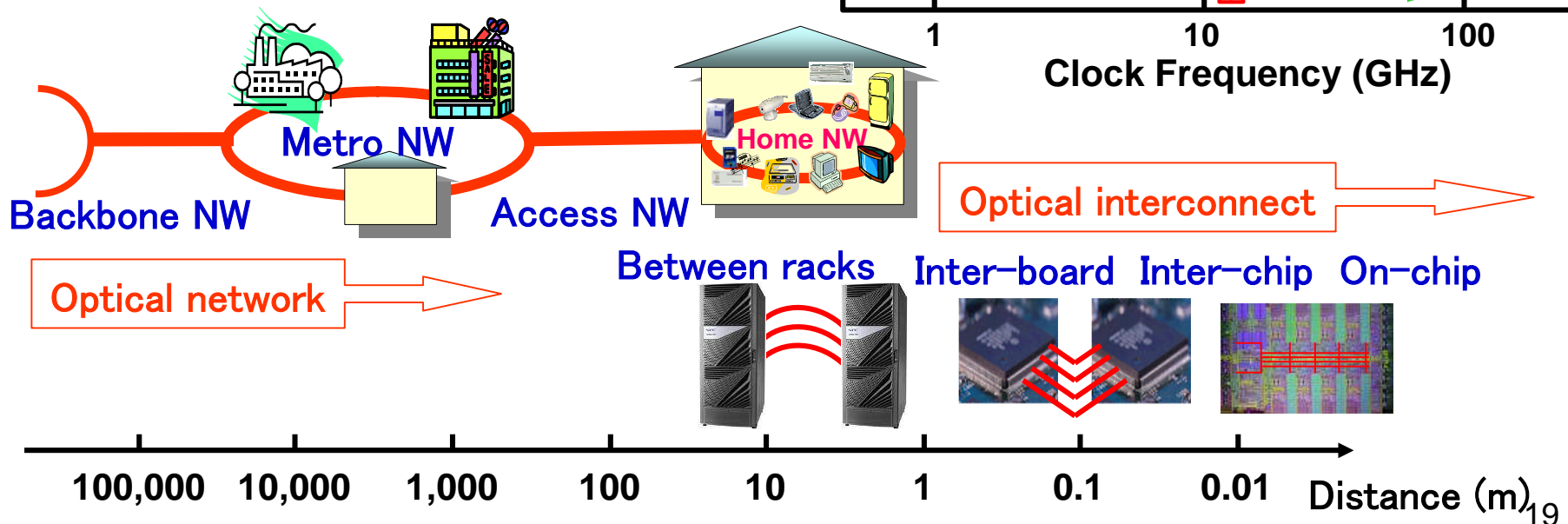
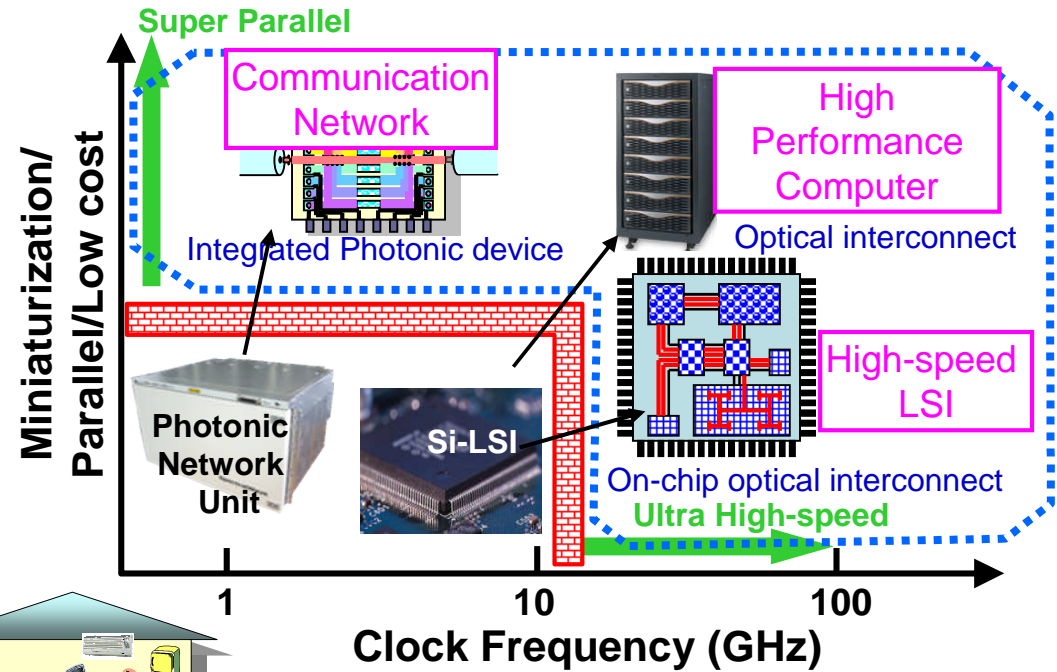


- ①クロックの立上りで、前サイクルの計算結果をレジスタに取り込み、保持
- ②その値を基に次のサイクルの計算を實施

Siナノフォトニクス

光通信網と超高速コンピュータにおける技術革新の必要性

- ❑ Overcome cost, power, and space issues in optical network node
- ❑ Exceed speed limit (~10GHz) of electronic interconnect for high performance computing system

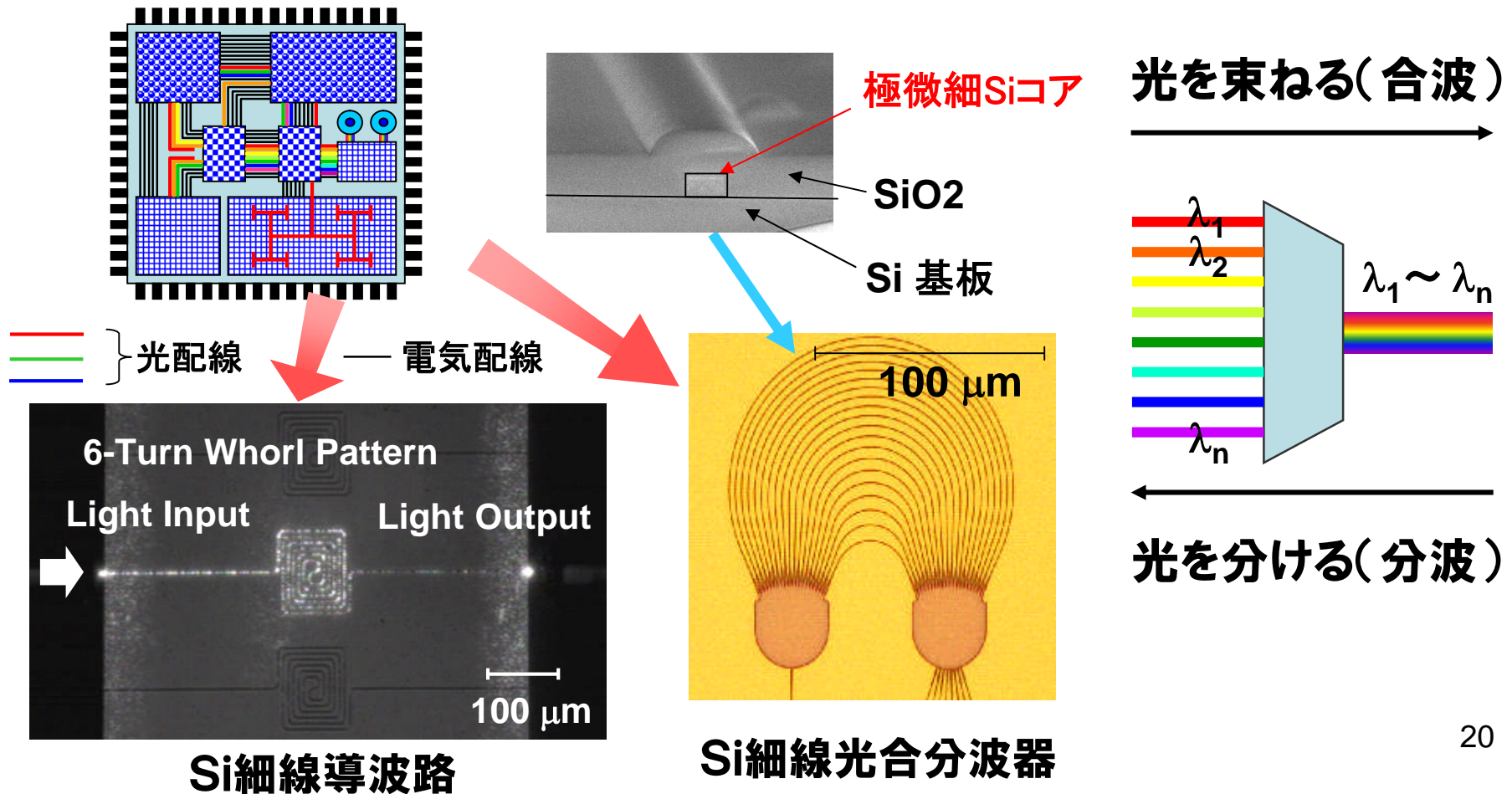


光を導き束ねる

極微細Si導波路と超小型光合分波器

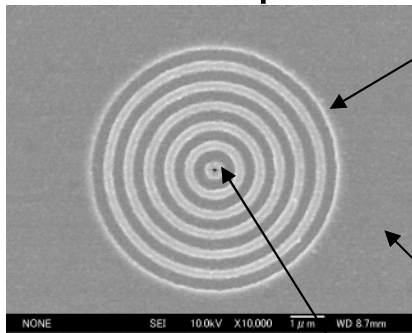
LSIチップ内で電気配線のように自在に光を供給・伝達
従来の1/1000のサイズで光合波分波を実現

多チャンネル信号を束ねて伝送する波長多重素子をSiチップ上で実現



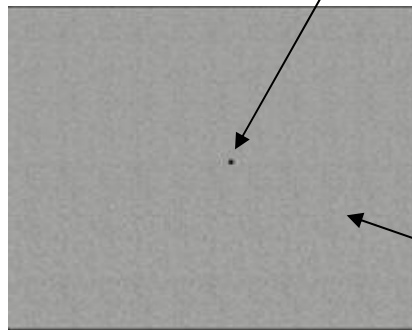
表面プラズモン共鳴による光の微小孔透過

Periodic circular-groove structure causes plasmon resonance



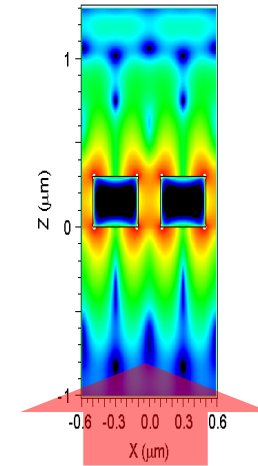
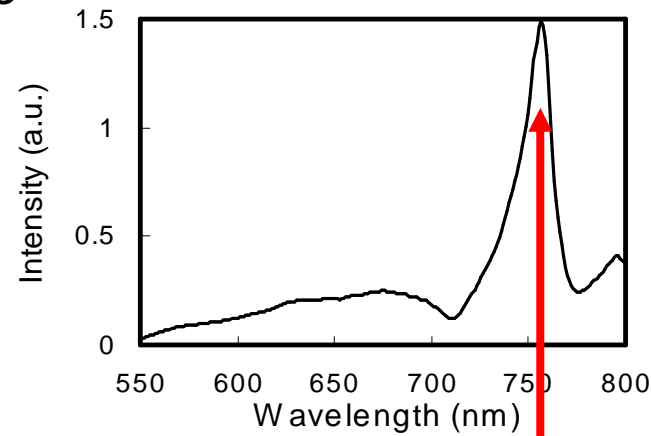
Ag Plate

Hole with diameter of 100-200nm

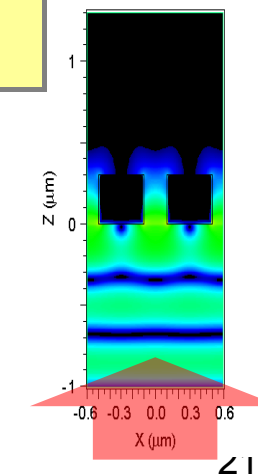
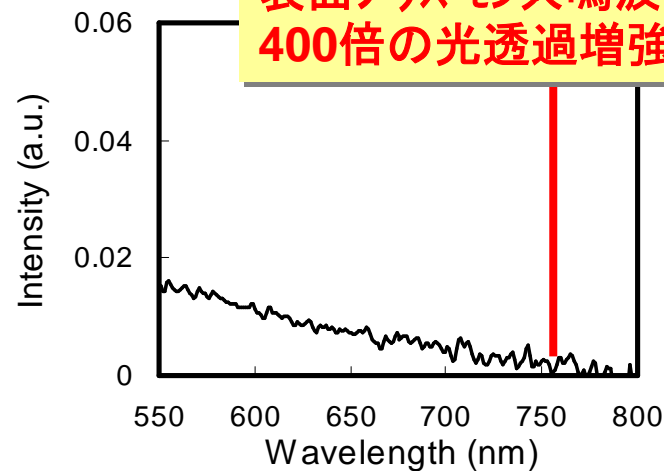


Ag Plate

Amplitude of transmitted light



表面プラズモン共鳴波長で
400倍の光透過増強効果



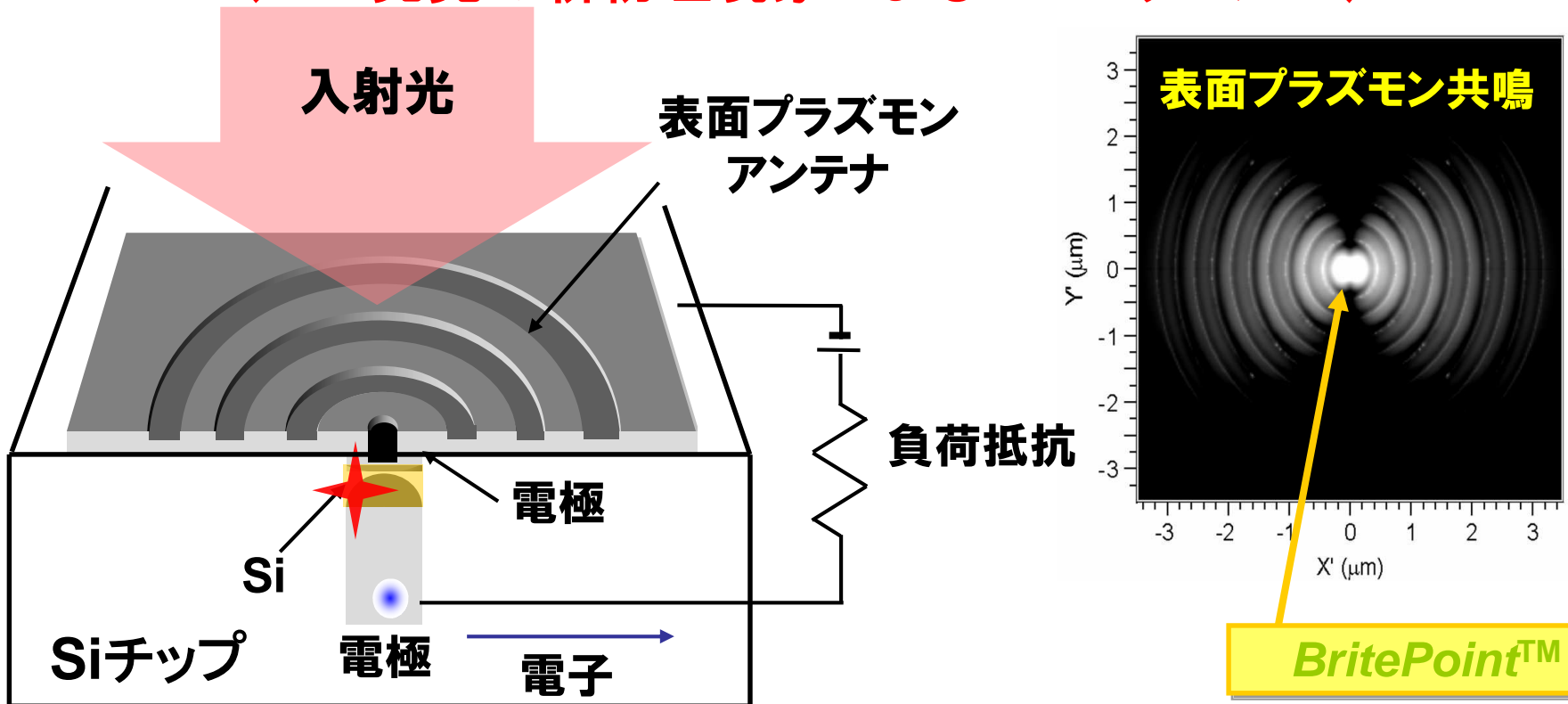
Z 1

光を電子に

Siナノフォトダイオード(受光素子)

チップ内で光をエレクトロニクスにつなぐNECの新技术

表面プラズモン共鳴により細く絞った光を電子に超高速で変換
(NEC発見の新物理現象によるブレークスルー)



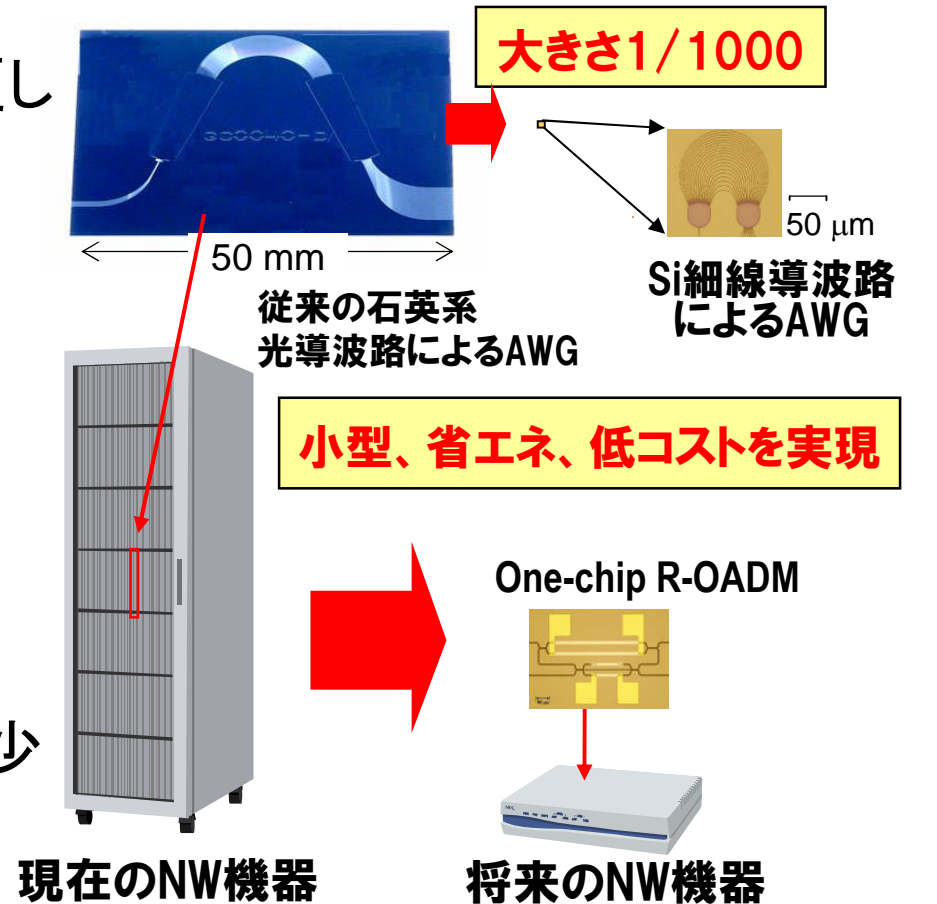
改良構造のSiフォトダイオードで
50GHz動作実証(世界最高速)

細かい孔を透過し強力な近接場光発生

シリコンナノフォトニクス

シリコン微細加工技術とナノフォトニクス技術の融合による、
光回路素子の画期的な小型化・低電力化を実現

- 光導波路材料をSiO₂からSiに変更し
Si微細加工技術を導入
→ 波長可変フィルタや光スイッチ
を超小型化
(~1/100)
- 小型化で光素子の熱容量が減少
→ 温度制御の電力を低減
(~1/10)
- 小型化で光素子の電気容量が減少
→ 誘電損失による電力を低減
(~1/10)



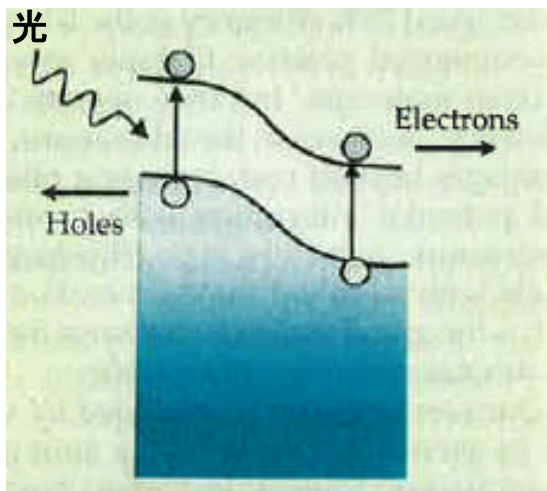
R-OADM: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer
AWG: Arrayed Waveguide Grating

環境問題に挑む材料技術

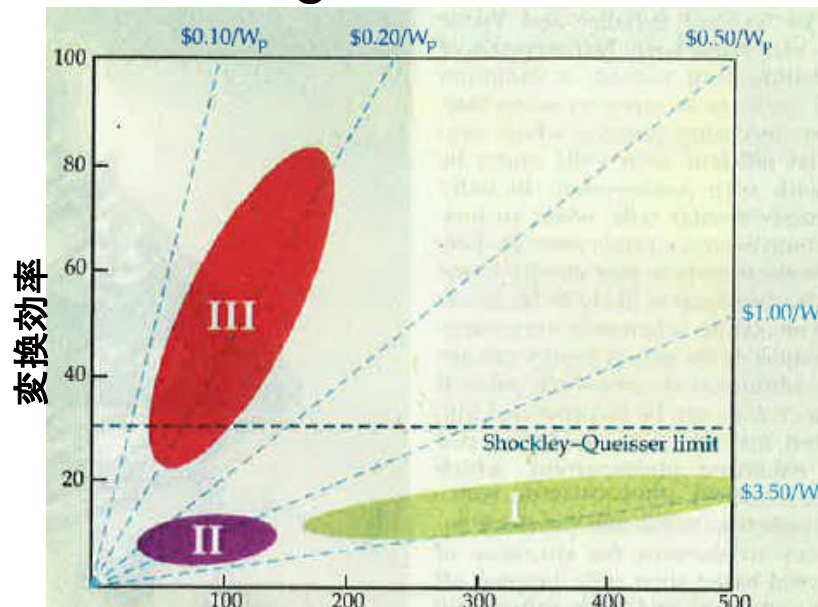
- 太陽電池
- Liイオン電池と電気自動車
- バイオプラスチック

太陽電池の進化

- 第1世代 : 結晶Si ($\eta = 24\%$) 効率が高いが、コストも高い
- 第2世代 : 薄膜Si(アモルファスSi、非結晶Si)、CdTe、CIGS ($\eta = 15\%$) コストは安いが効率が劣る
- 第3世代 : Carrier multiplication, hot electron extraction, Multiple junctions, Quantum-Dot
New Material・・・Dye Sensitized SC ($\eta = 11\%$)
Organic SC ($\eta = 6\%$)



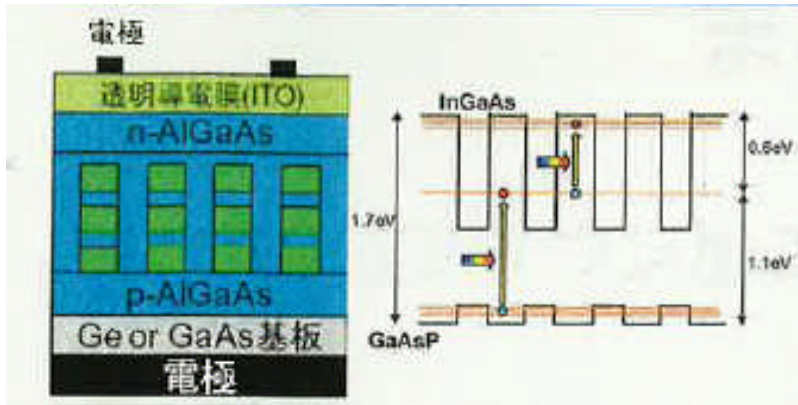
pn接合における
電子・正孔対生成



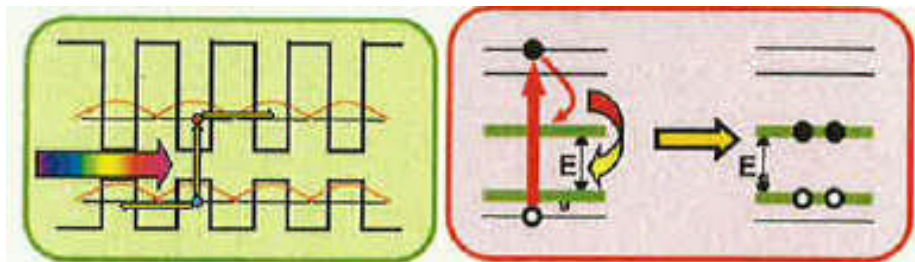
Cost in \$ per square meter of solar module

第3世代太陽電池への挑戦

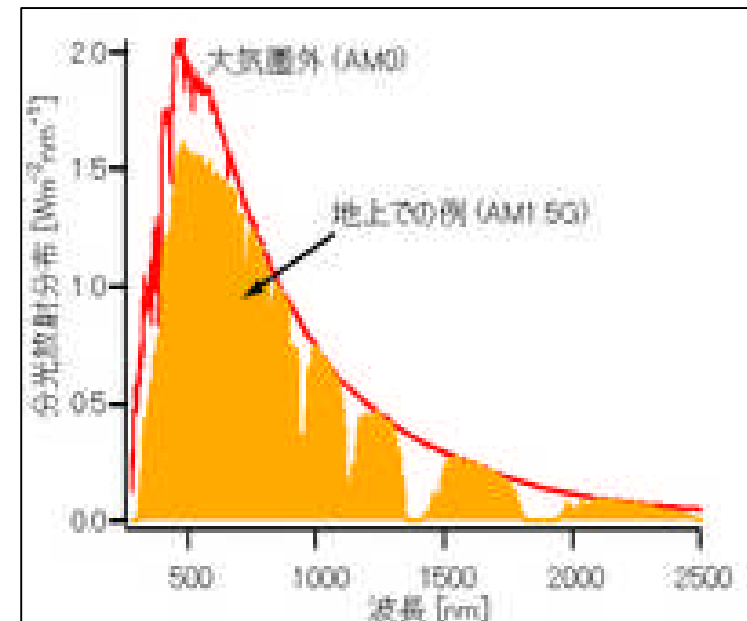
量子ドット型、多接合型太陽電池



- InGaAs/GaAsP、GaAs/AlGaAs、GaN/InGaN...
- Si系量子ドット



- ミニバンドを利用した電子・正孔の引き抜き
- オージェプロセスを利用したキャリア増幅



太陽光のスペクトラム

環境問題への挑戦(電気自動車)

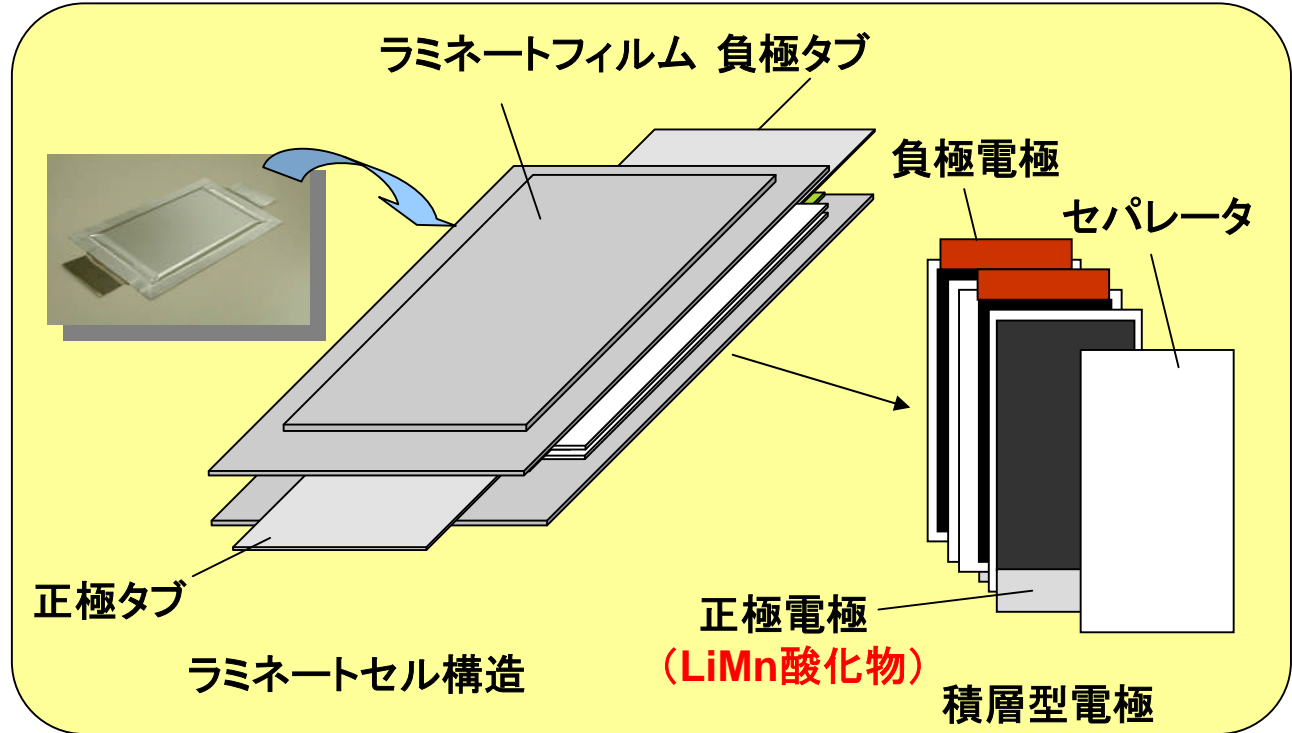
東京電力業務用電気自動車
 “H18年度地球温暖化防止
 活動環境大臣表彰”



- ✓軽ガソリン車に比較して
約70%のCO₂削減
- ✓急速充電可能
15分で容量の85%充電
- ✓走行距離80Km (10kWh)
(鉛電池は30Km)



AESC社
 (日産・NEC合弁@2007)
 リーフ: 24kWhの電池
 160Km走行
 30分で80%、8hでフル充電



NECラミオンエナジー社・ラミネート型リチウムイオンセル構造

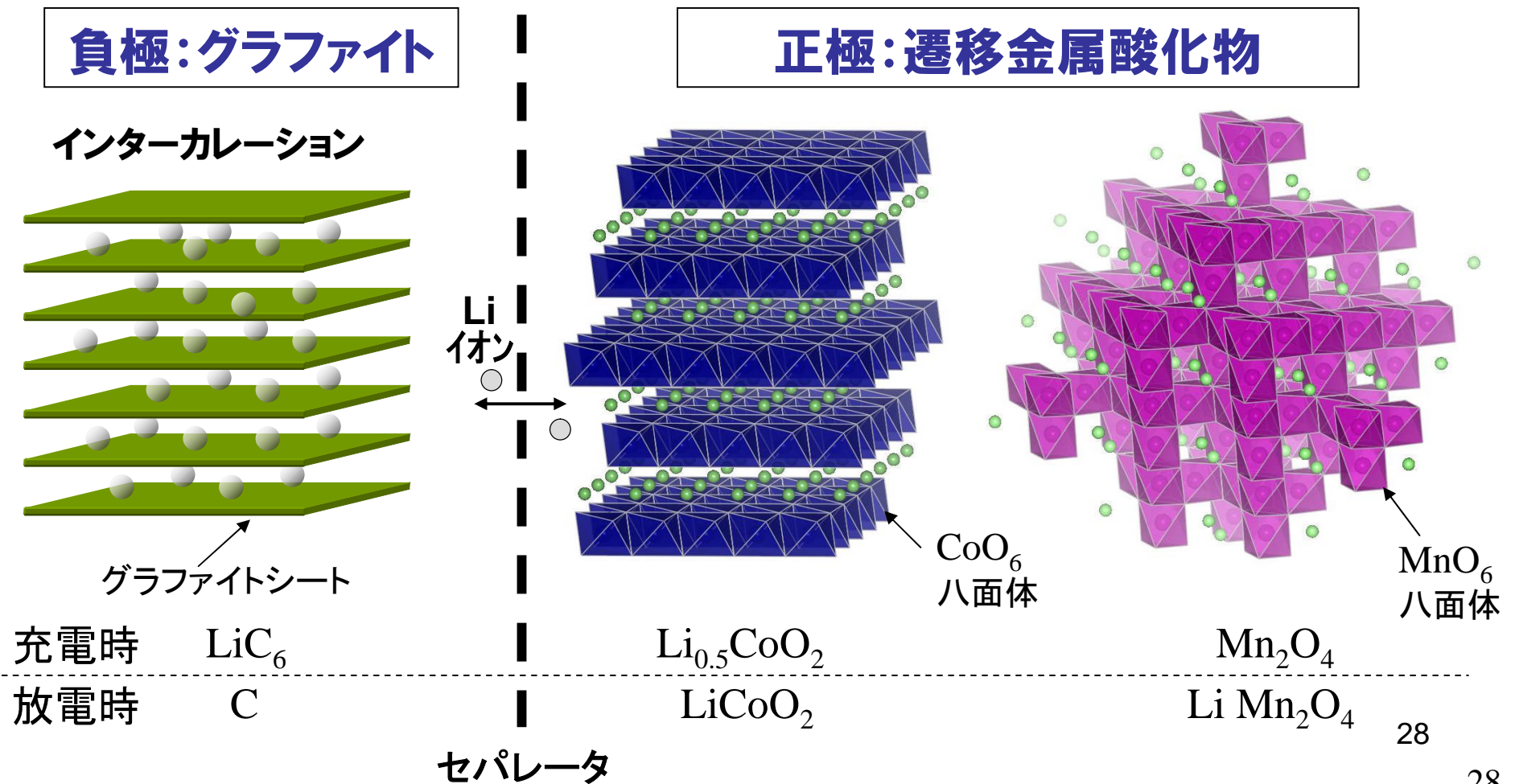


日産「リーフ」 * AESC社ホームページ

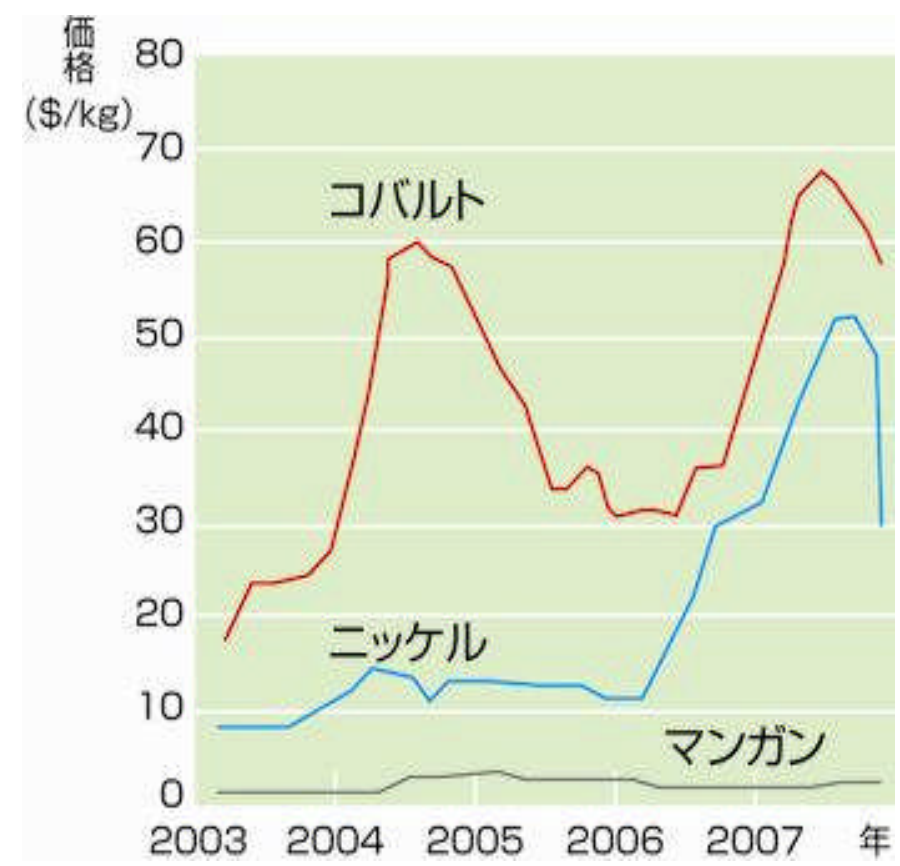
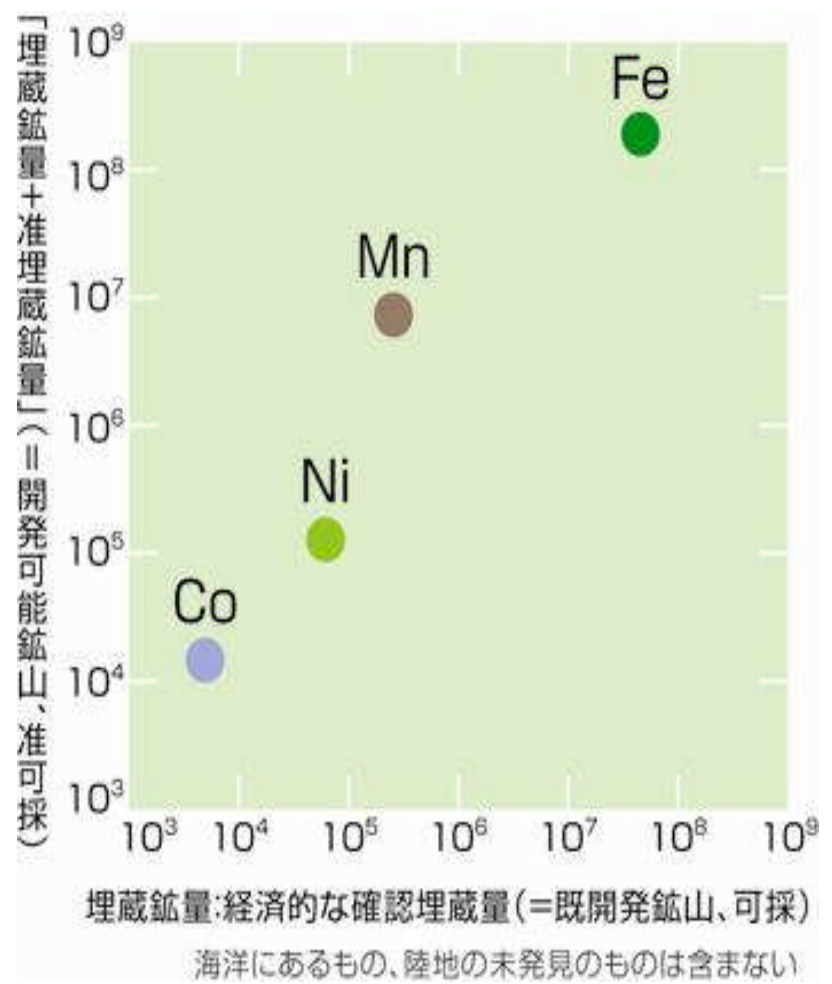
- ・正極材料にLiMn酸化物
高信頼、長寿命、高出力を実現
- ・ラミネートセル構造により、放熱性に
優れ、軽量、薄型化が可能

リチウムイオン電池の活物質

- ◆カーボン負極の採用により、金属Liのデンドライト析出を回避
- ◆Co系層状化合物は過充電により結晶崩壊の恐れ



Co, Ni, Mnの埋蔵鉱量と価格推移



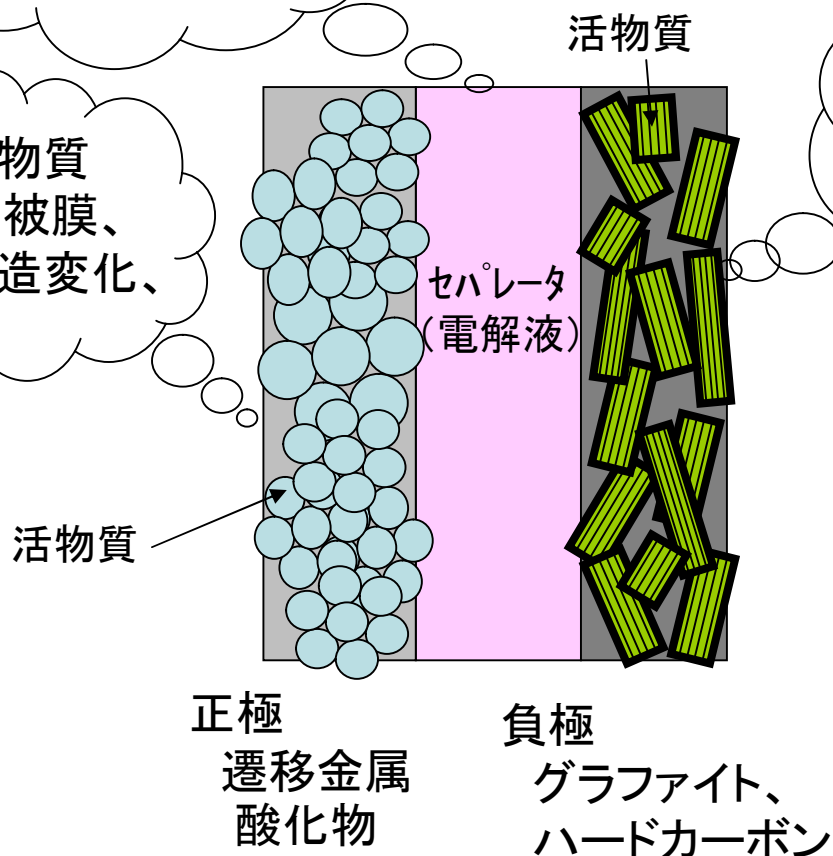
* 出典: AESC社Home Page (<http://www.eco-aesc.com/>)

Liイオン電池特性の信頼性問題

■信頼性問題:容量減少、内部抵抗増大

- ・イオン伝導性劣化
- ・正極・負極活物質の溶融

- ・活物質の被膜、
- ・構造変化、



- ・活物質の被膜
- ・膨張/収縮による劣化

安全性向上

- ・電解液の高沸点化、ポリマー化による不燃化

信頼性向上

- ・個液界面でのイオン拡散、伝導、化学反応の理解、制御

- ・電気化学評価、
- ・内部の構造解析、動的観測 (Spring-8、In-Situ評価)

計算科学への期待

MRS Fall Meeting出席しての感想

“エネルギー・環境問題、この人類・社会にとって喫緊課題への挑戦”

1) エネルギー・環境問題は材料科学によるイノベーションを必要としている

- ・Li イオン電池：新しい正極、負極、電解液の材料探索

 - 正極：層状構造の充電時の安定性、充放電容量

- ・Thermo-Electric Power Deviceへの材料探索

 - Electron-Crystal Phonon Insulator Material

2) 第3世代太陽電池の開発には多くの物理現象の理解が必要

- ・Organic Solar Cell：Polymer Semiconductor / C60 Heterojunction

 - Carrier collection vs Diffusion

 - 理論的にどこまで効率は上がるのか、設計理論が必要

- ・Quantum Dot Solar Cell：Mini-bandによるCarrier Extractionは機能するのか

 - Multi Exciton Generationは機能するのか

3) 計測分析技術と一体になったシミュレーション技術が必要

- ・Li イオン電池の信頼性解析

 - ✓ 正極・負極 / 電解液の個液界面でのイオン拡散、伝導、化学反応の理解、制御

 - ✓ 寿命予測

ICT化進展が与える環境への影響

プラス

- ・生産性の効率化
- ・物流、人の移動の削減
- ・紙の削減

環境に貢献

資源効率向上、地球温暖化防止

環境影響の定量化による
問題の明確化と対応策の提示

マイナス

- ・端末、サーバの増加
- ・インターネットの増加

電力増加、CO₂の排出量の増大

環境に負荷

ICTによる低環境負荷・省エネルギー社会の実現

- ✓ 巨大ICTシステムの省エネ化・低環境負荷化
- ✓ ICTを使ったエコライフの実現

人に優しい走る情報空間
(効率的な物の移動)

- GPS連動のナビゲーションシステム
- エコな電気自動車

医療・介護

- 遠隔医療
- 情報ベースに個別医療サービス (健康センサー+ NW)
- ロボット介護、老人見守り

遠隔診断

ウェアラブル
健康モニター

自動車



電力グリッド
自然エネルギー
(エネルギー技術の変革)

データセンター
センサーネットワーク
比容量電池

IT機器の
省エネ

エネルギーデバイス
大容量電池

廃熱利用

NGN

エコ材料

シームレスオフィス
(人の移動をなくす)

- 遠隔会議システム (超臨場感通信の実現)
- 携帯端末による会議システム

家庭

- 疑似体験(旅行、美術館など)
- 遠隔地の家族との会話
- 立体・臨場感あふれる通信/放送 (TVショッピングの高度化など)
- HEMSによる省エネ



ホーム

