

# ナノ物性物理学分野

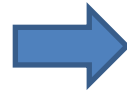
常行真司（東大・院・理／物性研）

# 物性物理学の研究対象

- 100種類の原子＋電子  
→ 無限とも言うべき種類の物質（凝集体）
- 何かしらの秩序と、きわめて多数の粒子が集まったときに初めて現れる特徴・性質
- P.W. アンダーソン(Anderson)の言葉によれば,  
**More is different.** (数が多いと何かが変わる)

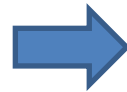
# ナノスケールの次世代デバイスを生み出す 基本的な物理概念

電子波の可干渉性



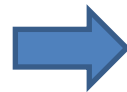
敏感性、非散逸性、量子情報

相転移と対称性の破れ



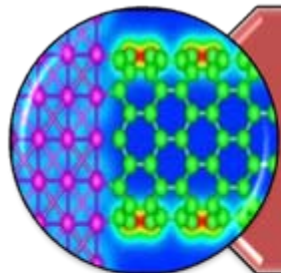
巨大応答

スピン、軌道といった  
量子力学的内部自由度

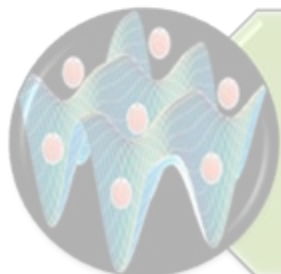


新しいタイプの量子デバイス

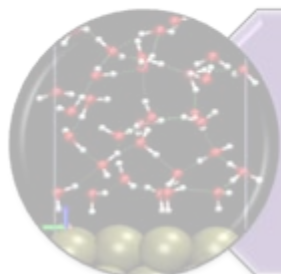
# 次世代スパコンで推進すべきテーマ



「ナノ」から「サブミクロン」までの  
デバイス物性



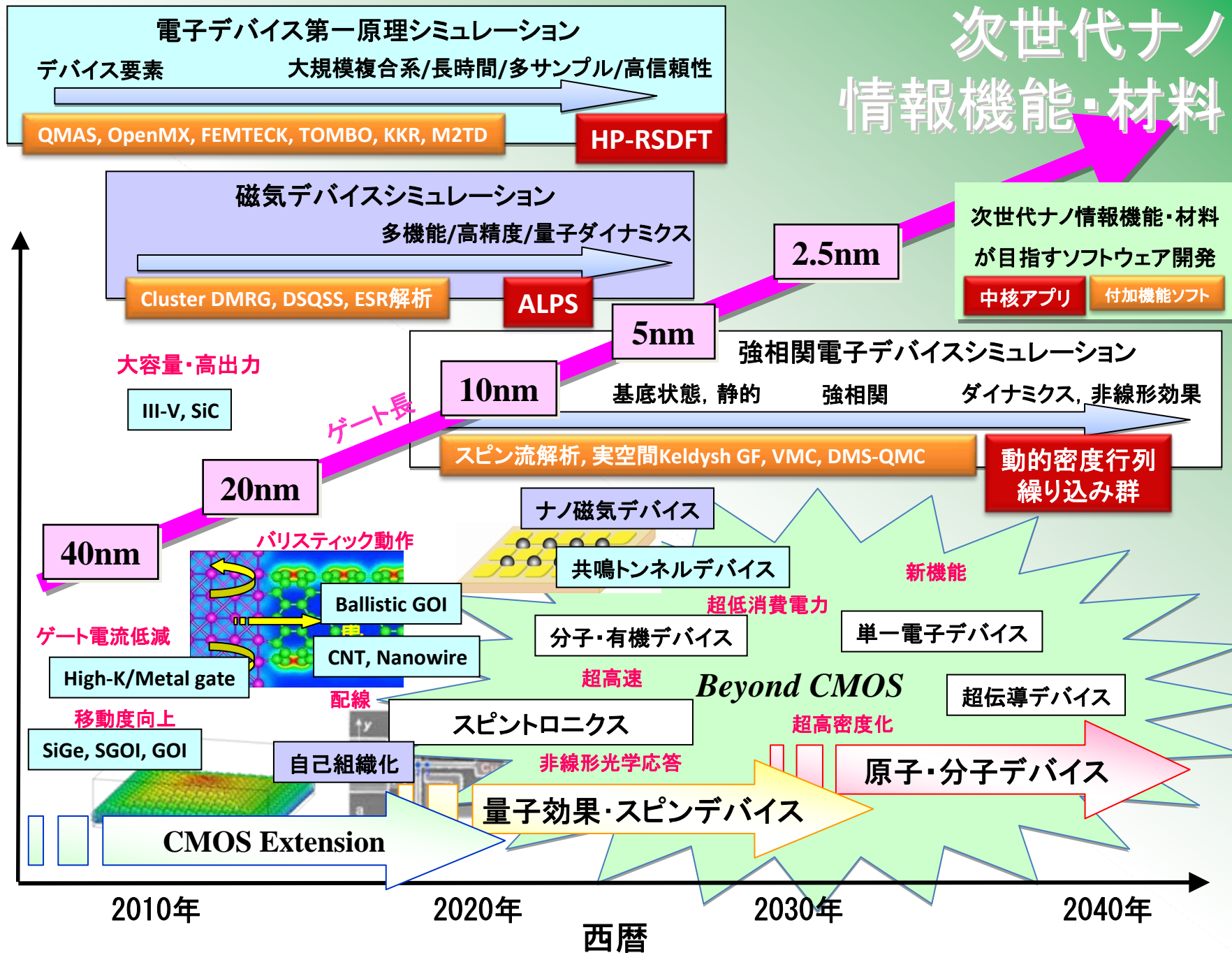
新量子状態・新規物質探索



エネルギー・環境物質科学

# 次世代ナノ 情報機能・材料

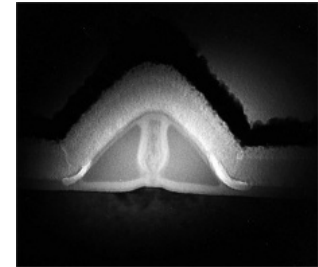
デバイスサイズ(性能・集積度)



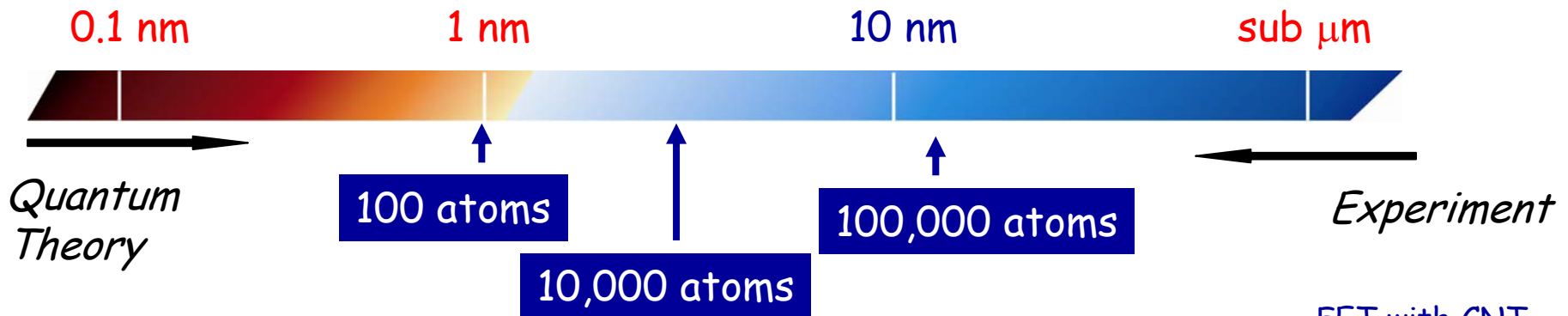
# 大規模電子状態計算は半導体テクノロジーでの起爆剤

## 次世代半導体テクノロジー

- ✓ 更なる微細化: 加工サイズ 32 nm (2009) ⇒ 18nm (2014)
  - ✓ シリコン以外の物質の導入 (Hi-k 物質、炭素ナノチューブ、...)
- しかしこれらは量子論が司る未踏の世界  
32nm 技術の研究開発費はすでに1700億円  
⇒ **量子論的計算科学の果たす役割**



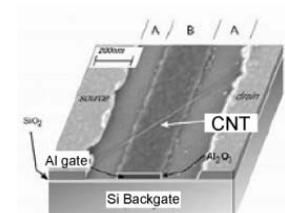
CMOS  
ゲート長 = 5 nm  
NEC 2003



量子論と実験はナノメートル構造体で直接に遭遇

- ✓ 科学の新しい地平
- ✓ それが次世代半導体テクノロジーを支える

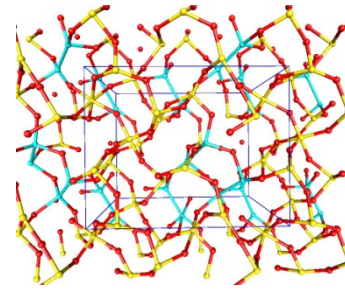
FET with CNT  
IBM 2004



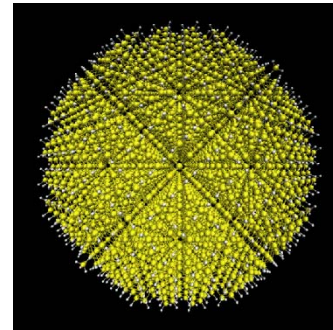
Double-Gate FET: IBM  
December 2004

# 現時点でできることと向こう数年間でのタスク

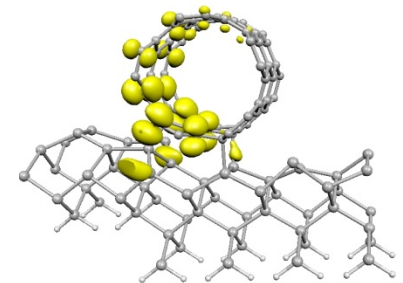
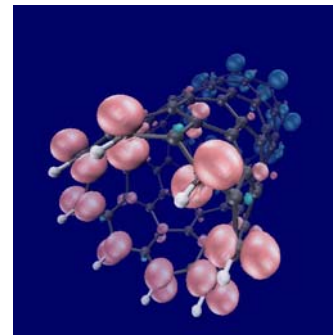
- $\text{SiO}_2$ へのレーザー照射によるSi結晶創成機構解明 (現在100原子、ピコ秒)  $\Rightarrow$  (10,000原子、ナノ秒)が必要
- Siナンドットの電子状態計算 (現在10,000原子系SCF計算)  $\Rightarrow$  (100,000原子系の構造最適化)が必要
- 炭素ナノチューブとシリコンの相性解明 (現在100原子系)  $\Rightarrow$  (10,000原子系のコンビナトリアル探索)が必要
- 炭素ナノチューブの新奇機能発見: 磁性 (現在限られた種類のCNT)  $\Rightarrow$  (10,000原子系でのコンビ探索、より精度の高い電子相関効果の取り入れ)



自由エネルギー分子動力学計算により、電子温度25000KでSi-Siボンド形成(水色)



直径7.6nmのシリコンドット: 世界最大規模の電子状態計算



炭素ナノチューブとシリコン表面の構造: 表面ステップに吸着したナノチューブによる特異な1次元電子状態雲

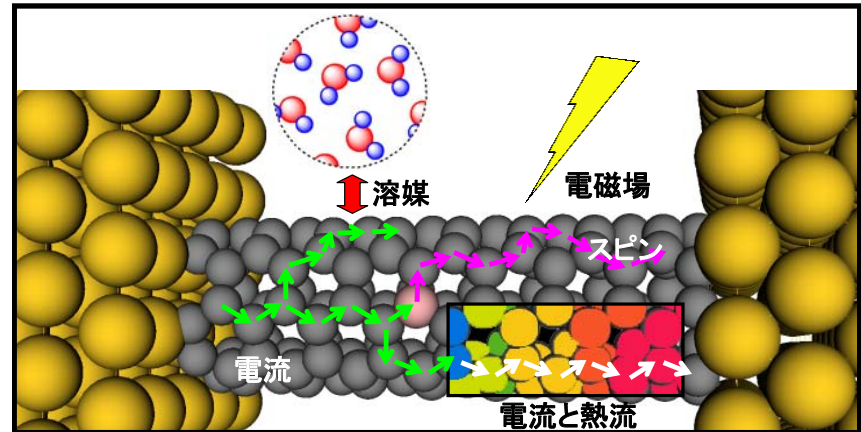
押山G(東大)

炭素ナノチューブの端状態でのスピン密度雲: ナノチューブ磁石の可能性

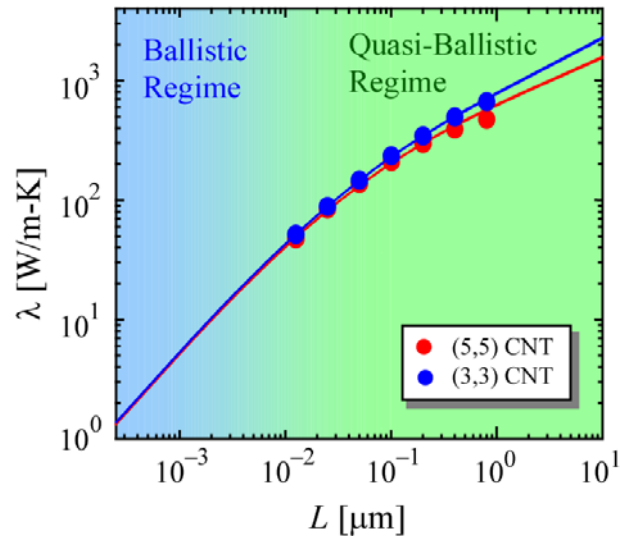
# ナノスケール電気伝導・熱伝導

## 【ターゲット】

- ・ナノスケール局所物性の  
先進計測法のシミュレーション  
(解析支援)
- ・ナノスケールデバイス動作の  
シミュレーション  
(設計支援にむけて)



## 【現状】 CNTの熱伝導(山本貴博 他)



## 【5年後の展望】

ナノデバイス／ナノ物性計測の「ま  
るごと」シミュレーションのプロタイ  
プ

(例)

- ・欠陥ナノ構造の電気伝導＋局所  
発熱＋放熱のシミュレーション
- ・リアリスティックな電極-試料コン  
タクトを考慮した4端子抵抗シミュ  
レーション

渡邊G(東大)、渡辺G(理科大)