

## 新探究 デバイス

### - More Than MooreとBeyond CMOSの考え方 -

平本俊郎

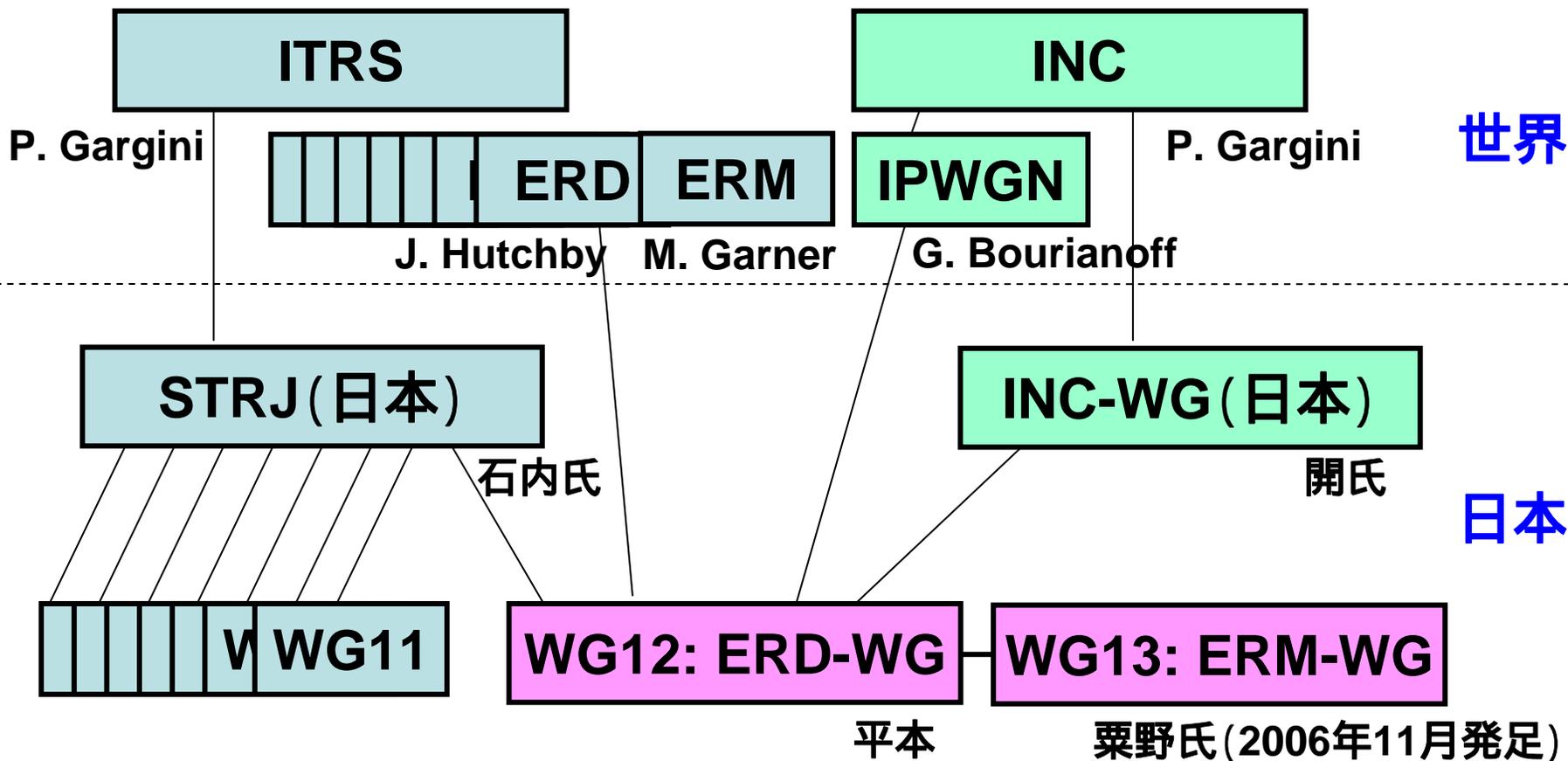
東京大学生産技術研究所

1. 日本のERD-WGの位置付け
2. ERDのスコープと目的
3. 議論している内容(ロジック, メモリ)
4. Beyond CMOSの考え方と日本のERD-WGの見解
5. まとめ

# WG12 (ERD)の位置付け

Int. Tech. Roadmap for Semicond.

Int. Nanotechnology Conference



**ERD-WG(WG12)は, ITRSのERD-WGとINCのIPWGNを兼ねる.**

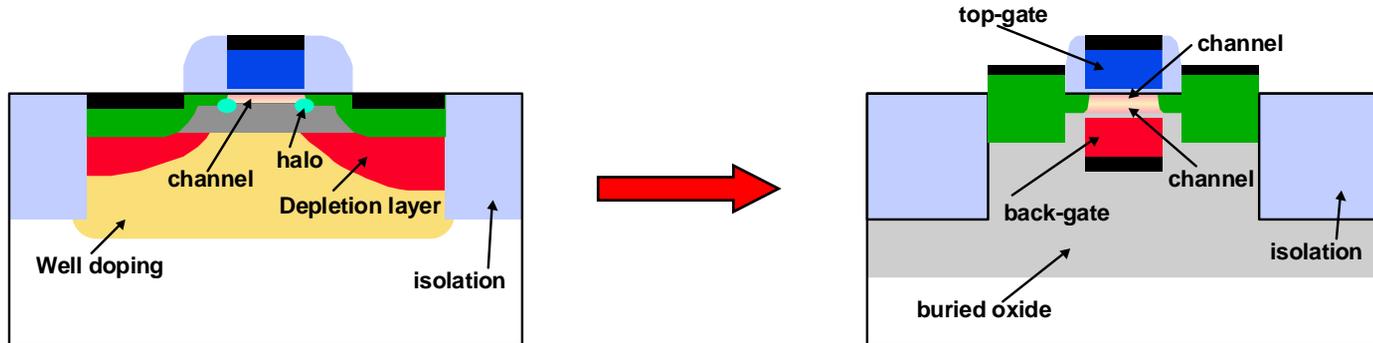
# WG12 (ERD) 構成メンバー

- 主査 :** 平本俊郎 (東大)
- 企業 :** 栗野祐二 (富士通) 井上靖朗 (ルネサス)  
林 重徳 (松下) 小瀧 浩 (シャープ)  
内田 建 (東芝) 屋上公二郎 (ソニー)  
二瓶史行 (NEC)
- コンソーシアム :** 河村誠一郎 (Selete)
- 特別委員 :** 高木信一 (東大) 水田 博 (東工大)  
和田恭雄 (早大) 秋永広幸 (産総研)  
菅原 聡 (東工大) 浅井哲也 (北大)  
日高睦夫 (INSTEC)

# 用語集

<b>CNN</b>	<b>Cellular Nonlinear Network</b>
<b>CNT</b>	<b>Carbon Nanotube</b>
<b>DFM</b>	<b>Design for Manufacturability</b>
<b>ERD</b>	<b>Emerging Research Device</b>
<b>ERM</b>	<b>Emerging Research Material</b>
<b>FD</b>	<b>Fully Depleted</b>
<b>GOI</b>	<b>Germanium on Insulator</b>
<b>HV</b>	<b>High Voltage</b>
<b>INC</b>	<b>International Nanotechnology Conference</b>
<b>IPWGN</b>	<b>International Planning WG for Nanoelectronics</b>
<b>MEMS</b>	<b>Micro Electro Mechanical Systems</b>
<b>QCA</b>	<b>Quantum Cellular Automata</b>
<b>RSFQ</b>	<b>Rapid Single Flux Quantum</b>
<b>RTD</b>	<b>Resonant Tunneling Diode</b>
<b>SET</b>	<b>Single Electron Transistor</b>
<b>S-S/D</b>	<b>Schottky Source/Drain</b>

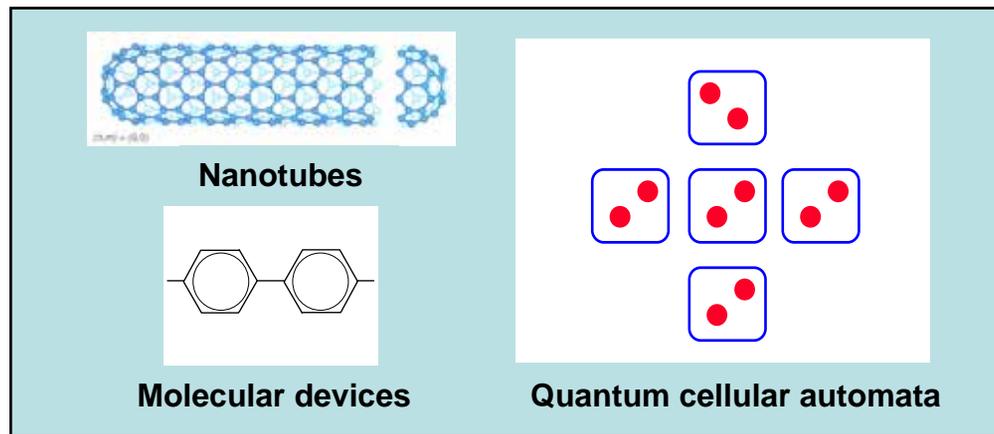
# 2003年版までのERDのスコープ



**Bulk CMOS**

**Double-Gate CMOS**

**New Memory and Logic Technologies**

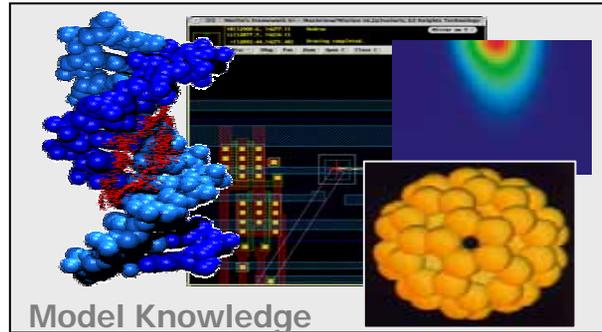


**New Architecture Technologies**

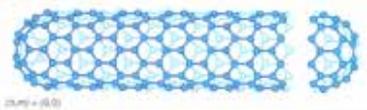


**Emerging Information Processing Concepts**

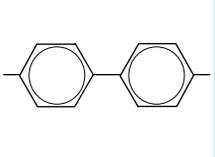
# 2005年版ERDのスコープ



新材料

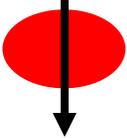


Nanotubes

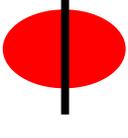


Molecular devices

0



1



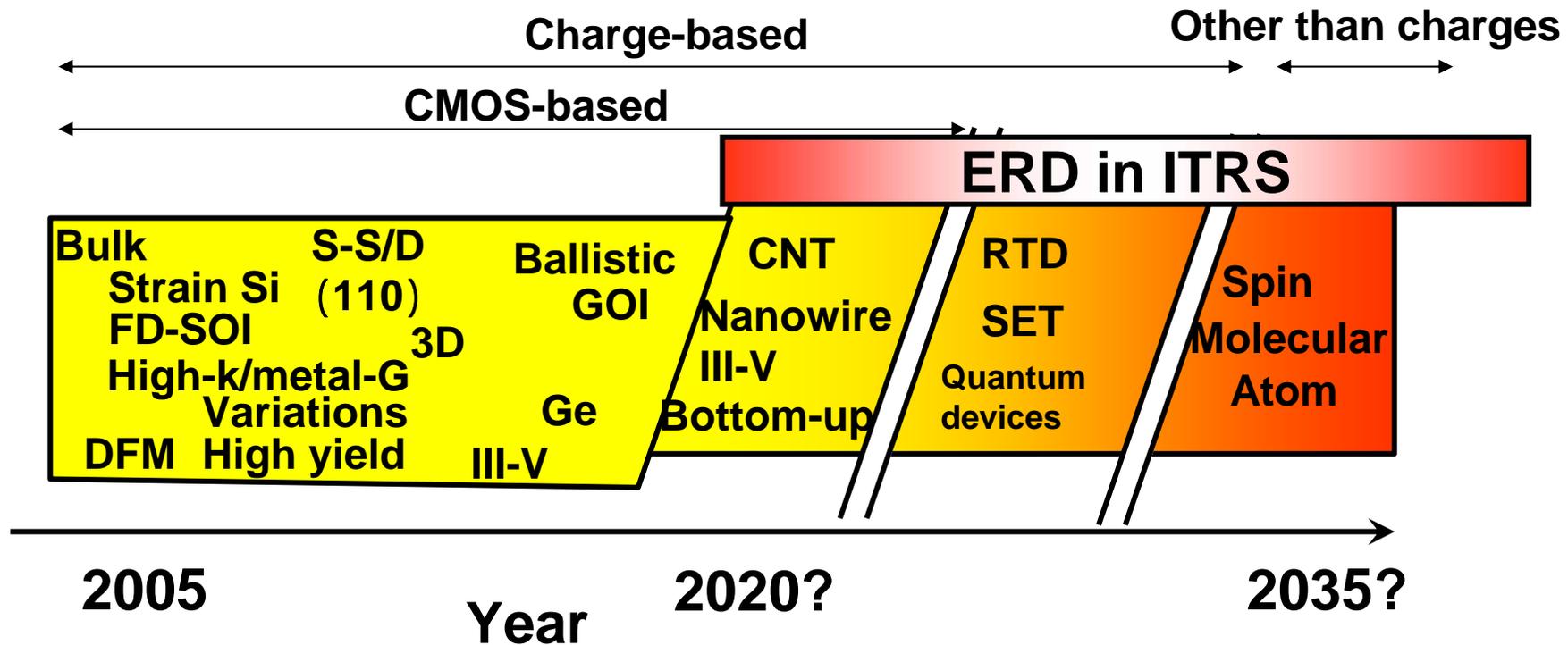
Spin states

新メモリとロジック技術

新アーキテクチャ技術

新情報処理のコンセプト  
「Beyond CMOS」

# Three Stages in Silicon Nanoelectronics



1. CMOS Extension

3. Beyond CMOS

2. Added to CMOS (Application Dependent)

# ERDの目的

1. 極限CMOSを超える情報処理へのアプローチ
2. 2020年までに実用化される新情報処理デバイスの同定
3. 新不揮発性メモリ, 新材料

## 最近の動き

1. 2005年版からERDが単独の章として独立
2. 2005版からノンクラシカルCMOSの節がPIDSへ  
Beyond CMOSの考え方がより鮮明に
3. Emerging Research Materials (ERM)の独立  
新材料がデバイス機能に与える影響が大  
日本でもERM-WGが2006年11月に設立

# カバーすべき分野と委員

## メモリ

ナノ浮遊ゲート トンネル障壁  
高誘電体FET 抵抗変化  
ポリマー分子

平本, 小瀧, 栗野  
林 秋永  
和田

## ロジック

1D 共鳴トンネル 単電子分子  
強磁性ロジック  
スピンTr  
RSFQ

小瀧, 栗野, 二瓶  
水田  
平本, 水田, 内田  
菅原  
日高

## 材料

1D電荷状態  
スピン注入  
強磁性  
強相関電子  
分子  
作成・評価  
アーキテクチャ

高木  
栗野, 二瓶  
井上, 屋上  
井上  
秋永  
水田,  
浅井

QCA  
CNN  
再構成可能  
バイオ  
量子計算

MEMS  
非技術・戦略

浅井  
浅井  
水田, 栗野  
水田, 小瀧  
河村

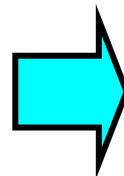
# 求められる機能

- **要求される特性:**

- スケーラビリティ
- 性能
- エネルギー効率
- 利得
- 信頼性
- 室温動作

- **望まれる特性:**

- CMOSプロセスとの互換性
- CMOSアーキテクチャとの互換性

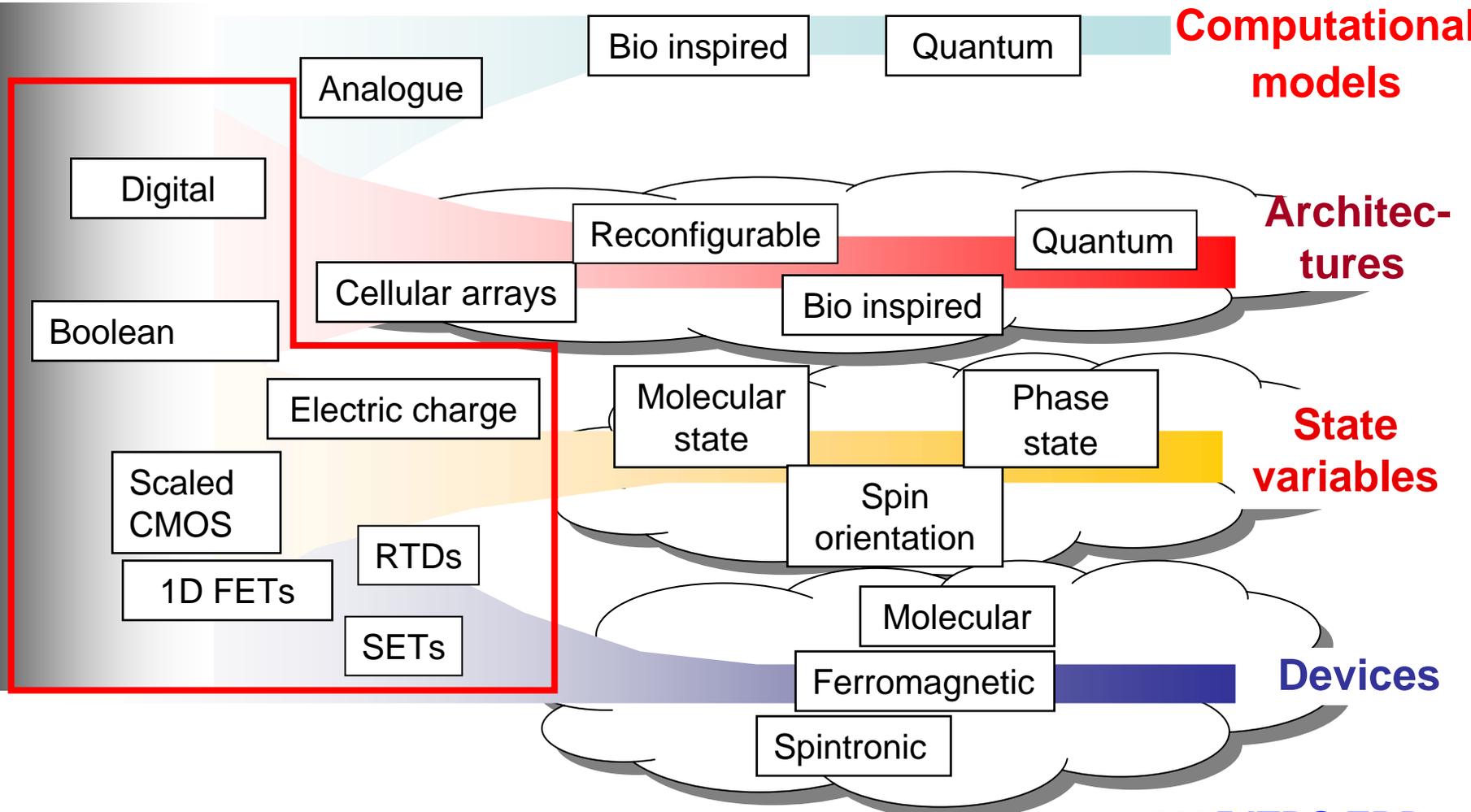


## 他の状態変数

(電荷だけでなく)

- スピン状態
- 分子状態
- 強相関電子状態
- 位相状態
- 量子状態
- 磁気単一量子磁束
- 機械的変形
- ダイポール

# ナノ情報処理の分類



2005 ITRS ERD

# 新探究ロジックデバイス

デバイス							
	FET [B]	1D 構造	共鳴トンネルデバイス	SET	分子	強磁性ロジック	スピントラ ンジスタ
種類	Si CMOS	CNT FET NW FET NW ヘテロ 構造 クロスバー ナノ構造	RTD-FET RTT	SET	クロスバー ラッチ 分子ラン ジスタ 分子 QCA	ドメインウ ォール M: QCA	スピントラ ンジスタ

新たに加わったもの: 強磁性ロジック  
候補から外れたもの: RSFQ, E-QCA

2005 ITRS ERD

しかし, CMOSを超えるデバイスは見つけれない。

# 新探究メモリ

	ナノフローティングゲートメモリ	トンネル障壁メモリ	強誘電体FETメモリ	抵抗変化メモリ	ポリマーメモリ	分子メモリ
記憶メカニズム	浮遊ゲートの電荷	浮遊ゲートの電荷	強誘電体ゲート絶縁膜の残留分極	複合機構	不明	不明
セル構成	1T	1T	1T	1T1R or 1R	1T1R or 1R	1T1R or 1R

2005 ITRS ERD

新たに加わったもの: 強誘電体FETメモリ, ポリマーメモリ  
 候補から外れたもの: 単電子メモリ, 浮遊ボディDRAM, PRAM

# ERDの指導原理

1. 電荷だけではなく電荷以外の状態の利用  
スピン, 位相, 量子状態, メカニカルな位置, 分子状態など
2. 非熱平衡状態システム
3. 新しい情報・エネルギー転送機構
4. フォノンエンジニアリング
5. サブリソグラフィック作製プロセス

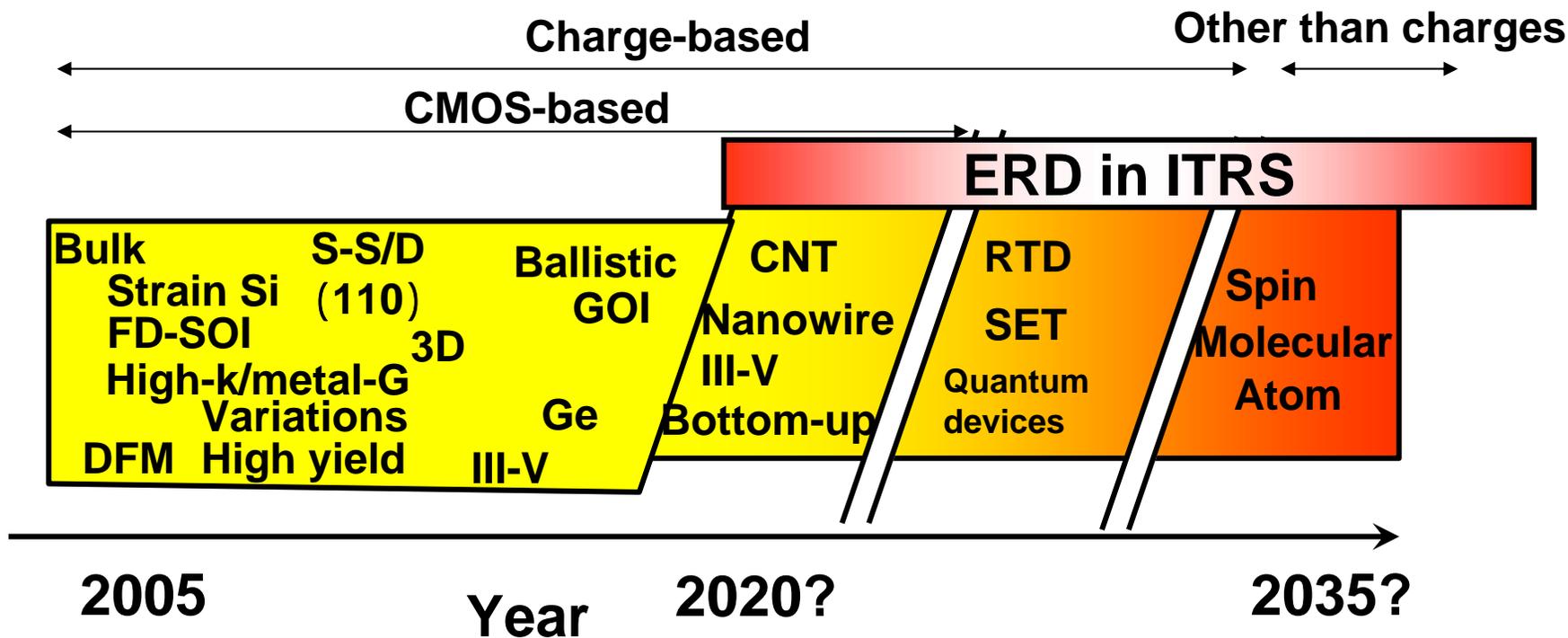
2005 ITRS ERD

「CMOSが最も効率の良いスイッチである」

- (1) Extending CMOS?
- (2) Added to CMOS?
- (3) Replacing CMOS?

2005年12月のERD会議

# Three Stages in Silicon Nanoelectronics



1. CMOS Extension

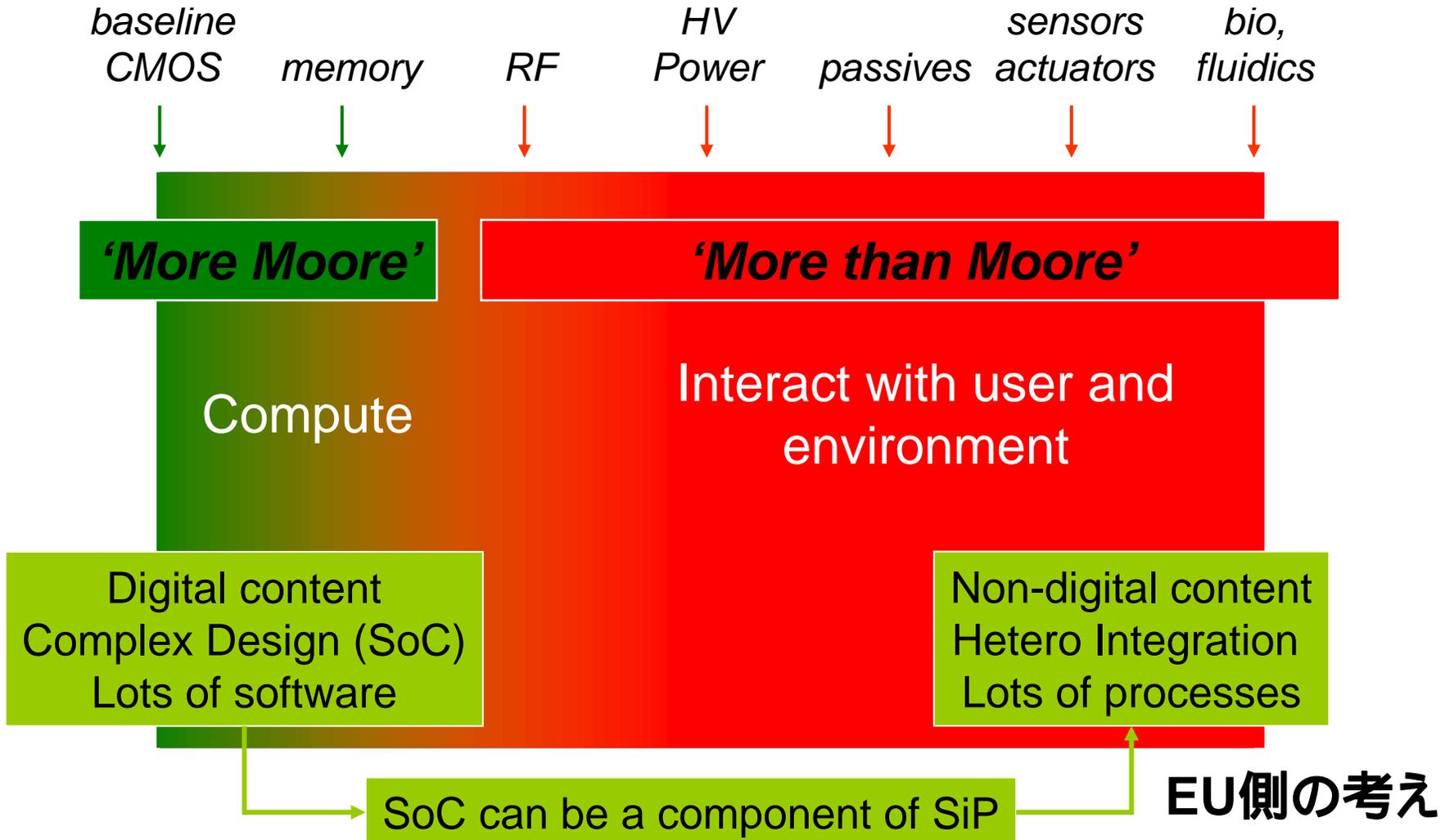
3. Beyond CMOS

2. Added to CMOS (Application Dependent)

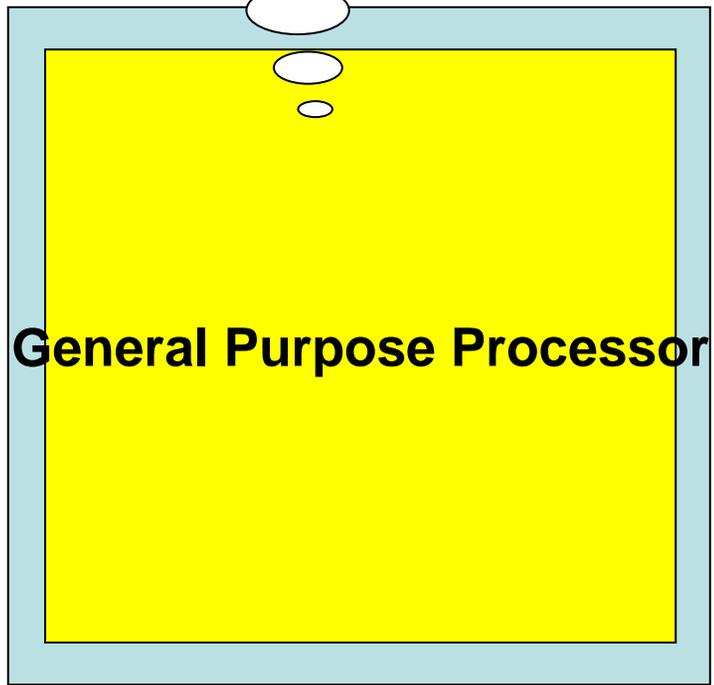
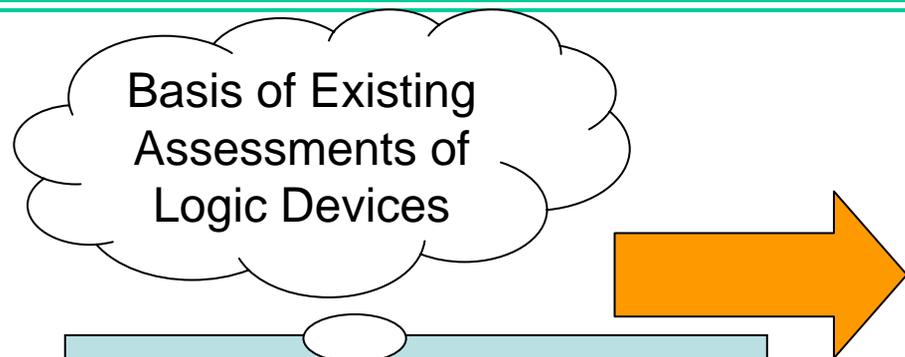
日本側の考え

# More than Moore

## Scope and functionality



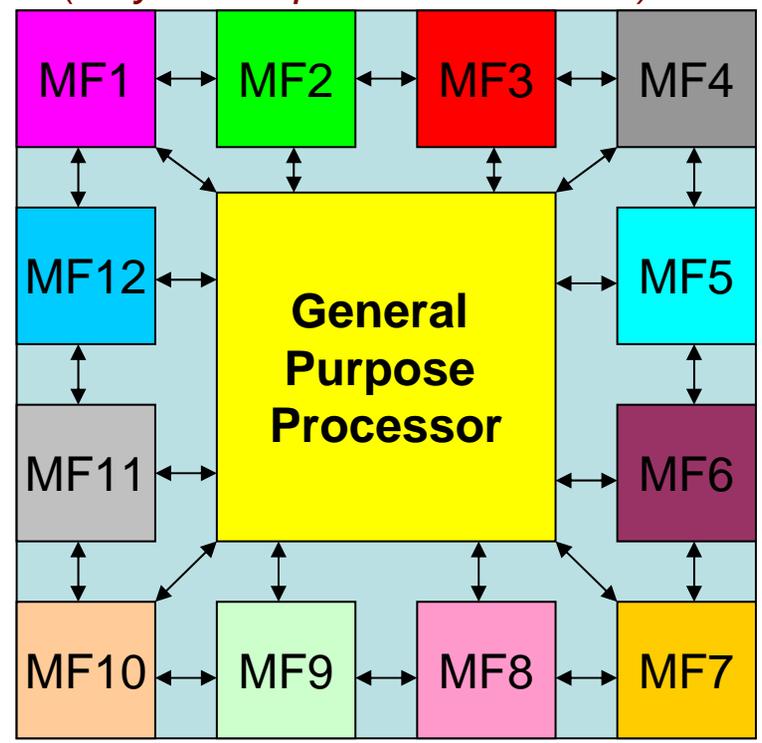
# ITRSの考え方: Macro-Function Synthesis



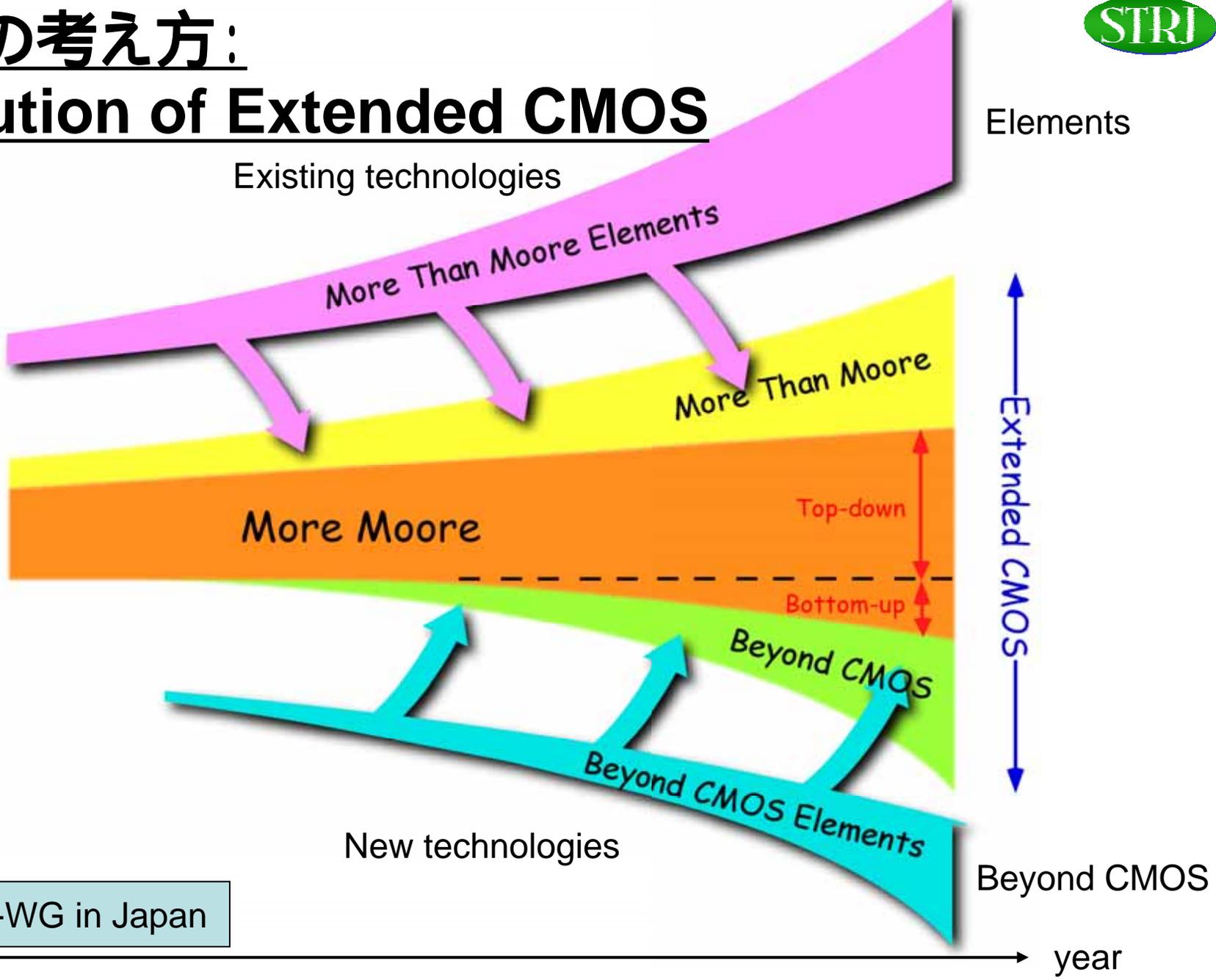
ITRS Winter Conference 2006, Taiwan

A possible ultimate evolution of **on-chip** architectures is Asynchronous **Heterogeneous** Multi-Core with Hierarchical Processors Organization

**MF(n)** – application-specific processor implementing a specific macro-function  
(*may need specialized devices*)



# 日本の考え方: Evolution of Extended CMOS



ERD-WG in Japan

# まとめ

1. いよいよBeyond CMOSを考えるべきとき.
2. 従来の電荷だけでなく他の状態を積極的に利用.
3. 米国式にトップダウン式な考え方を導入すべき.
4. Added to CMOS (More Than Moore) のような考え方も重要. 非常にアプリケーション指向が強い.
5. Beyond CMOSもいずれCMOSと融合する可能性が高い. どのようにアプローチするか要検討.