

モアザンムーアの半導体開発

-- 半導体メーカー、アナログ回路技術の側面から --

-- 群馬大学科学技術振興会 --

2010/11/19

ルネサス エレクトロニクス株式会社

技術開発本部

ミックストシグナルコア開発統括部

主管技師長

松浦 達治

群馬大学 研究・産学連携戦略推進機構

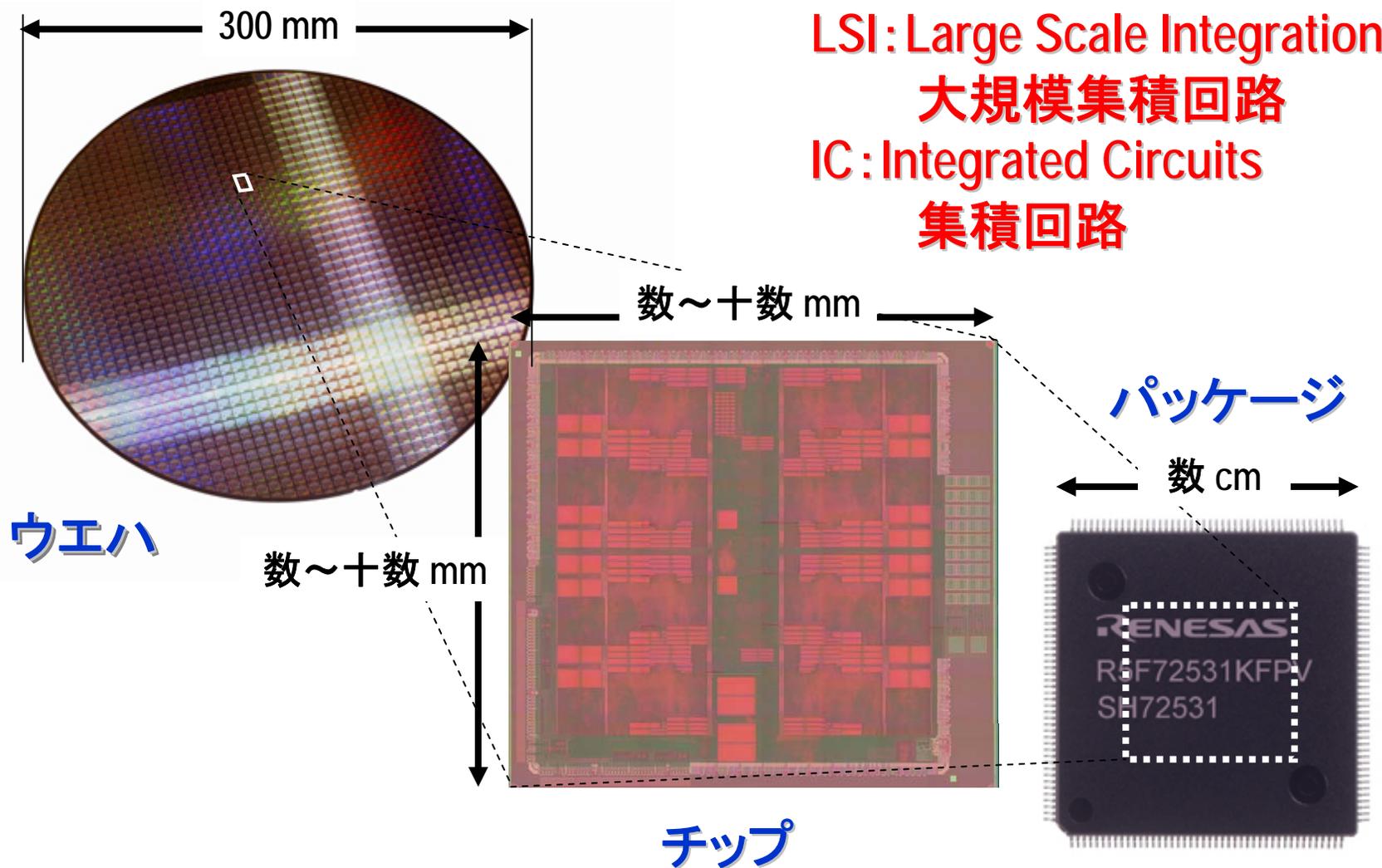
産学連携・先端研究推進本部

客員教授

目次

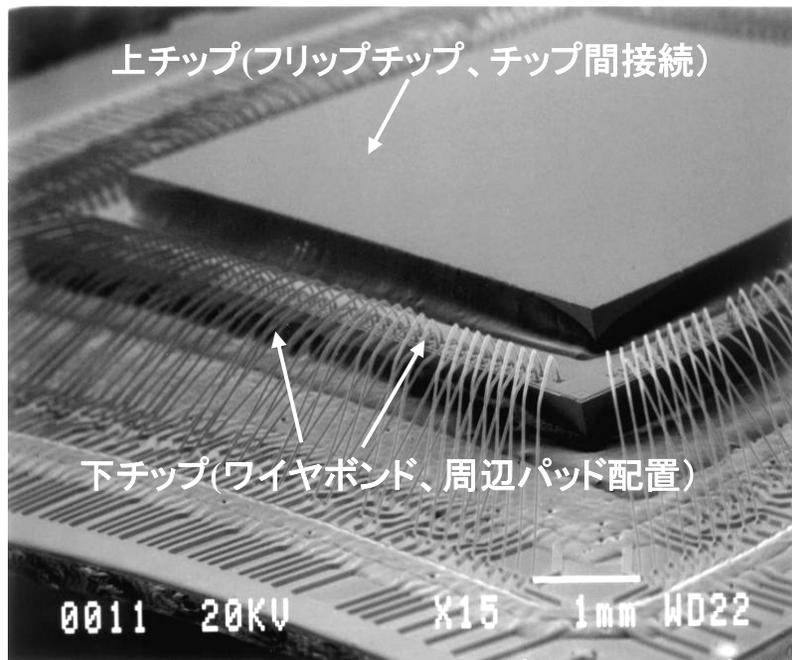
1. 半導体産業
 1. LSIとは
 2. 半導体産業発展の歴史 ---- ムーアの法則
2. 半導体産業が直面する課題
 1. 微細化の限界
3. 価値観の変換
 1. 微細化から機能インテグレーションへ
 2. ITRSロードマップ: モア・ザン・ムーア
4. スマートコミュニティを支える新しい半導体技術
-- 活躍するアナログ・RF・パワーデバイス機能 --
5. まとめ

LSIとは？



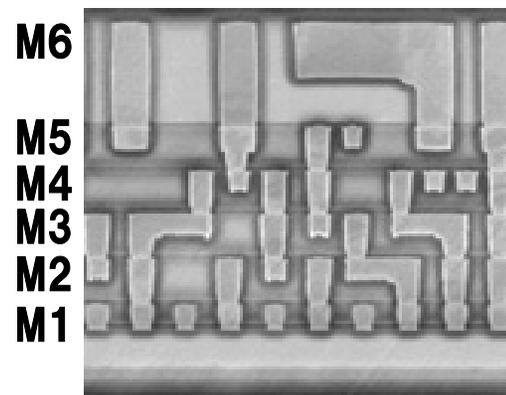
パッケージの内部は？

SIP (System In Package) の内部



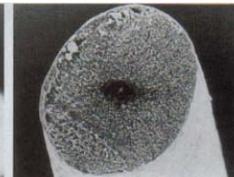
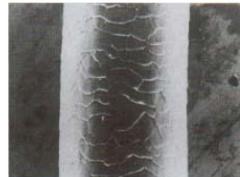
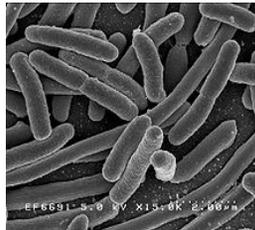
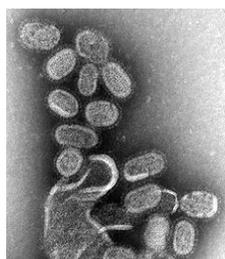
1 mm

65 nm Cu/Low-k配線構造断面図



100 nm

どんなに小さいものを作っているか？



$\text{mm} = 10^{-3} \text{ m}$
 $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$
 $\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$
 $\text{pm} = 10^{-12} \text{ m}$

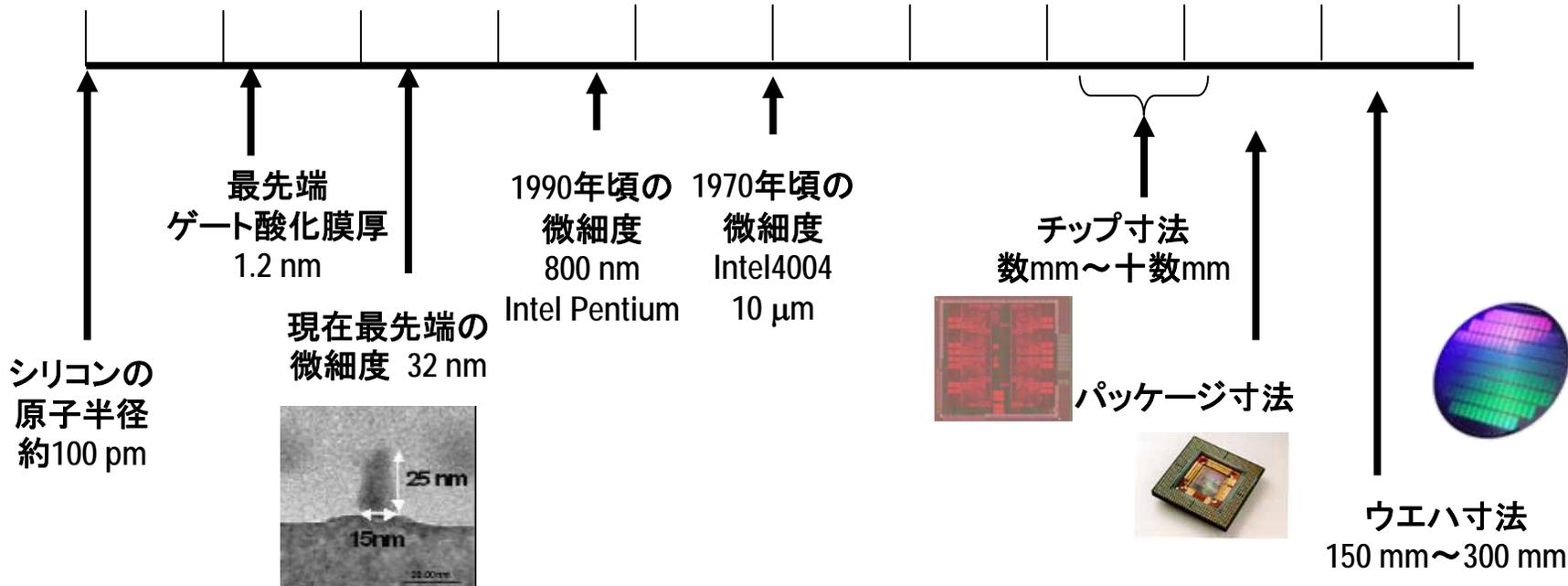
空気の
 粒子寸法
 200 pm

ウイルス
 20nm～450nm

バクテリア
 1μm～10μm

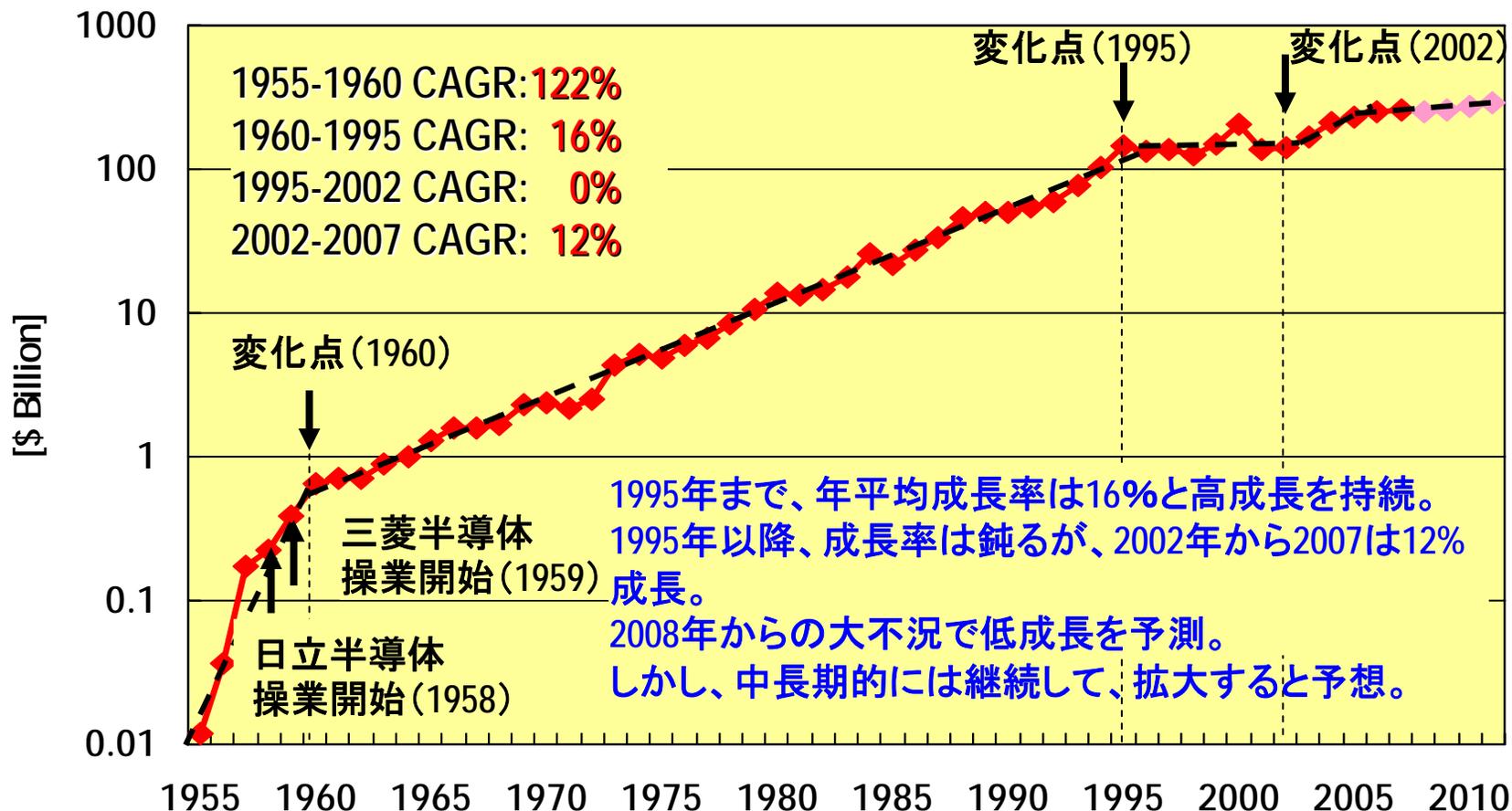
人の髪の毛の
 太さ
 18μm～180μm

100 pm 1 nm 10 nm 100 nm 1 μm 10 μm 100 μm 1 mm 10 mm 100 mm 1 m



世界半導体産業の発展

■ 過去半世紀以上にわたり、継続的成長を遂げている。



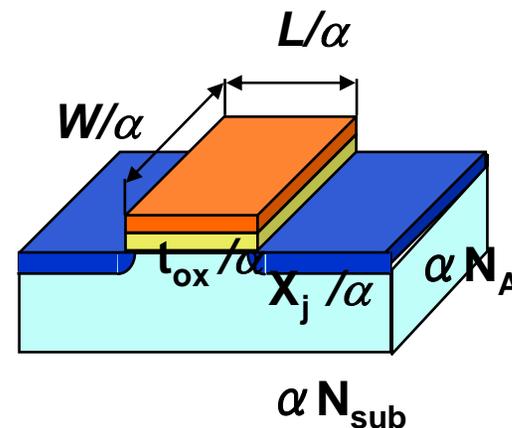
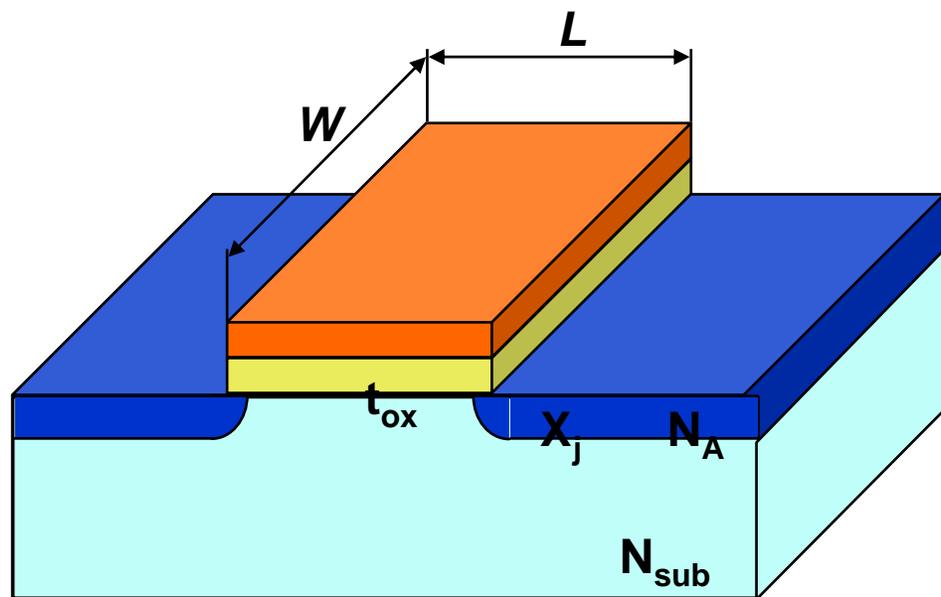
Source: SIA, WSTSをもとに作成

半導体・集積回路産業は、なぜ発展したか

- 電子、情報、通信機器、システムを構成するための重要部品。
- 微細化とともに、高集積が実現され、システムが半導体に載るようになった。
- 自動車、医療機器、産業機器などの産業分野にも使用されるようになってきている。
- 継続的な**経済性向上**と**性能向上**が同時に実現されている。

スケーリング側

- 成長の源泉は、スケーリング則に沿って微細化を推進すること。
- 寸法を $1/2$ にすると、動作速度は**2倍**になり、消費電力は $1/4$ になる。



- スケーリング則にしたがい、微細化を行うと、性能を示す指標である電力・遅延時間積 (PD積) はスケーリング係数の3乗に比例して小さくなる。
- デザインルールが同一の場合、電力遅延時間積 (PD積) は $PD=CV^2$ で表されるので、面積が小さくなると一般に容量 (C) が小さくなり、PD積は少なくなる。

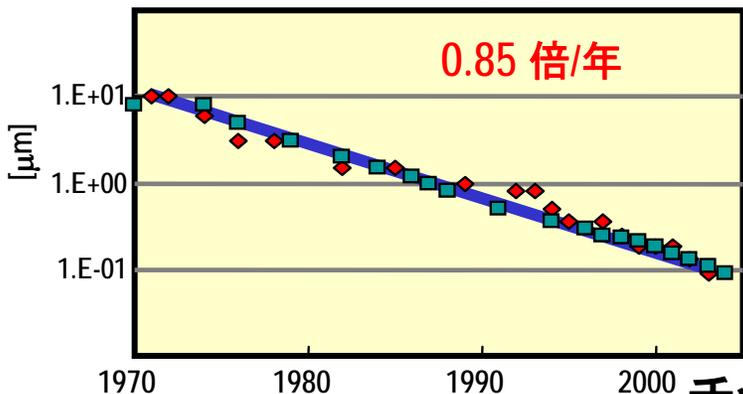
ムーアの法則

- インテルの創業者の一人であるゴードン・ムーアが提唱。
- 「半導体の集積度が18ヶ月で倍になる。」と言ったこと。
 - 18ヶ月で倍、3年で4倍、5年で10倍
 - 過去40年間、ほぼこのペースで集積規模増大
 - **8桁、集積度が高まった**
- 初期は単なる集積度拡大の現象を述べたものであったが、近年は、半導体産業界の目標指数として、機能している。
- 近年、各種限界が議論され、「ムーアの法則」が従来どおり、進むか、不透明。

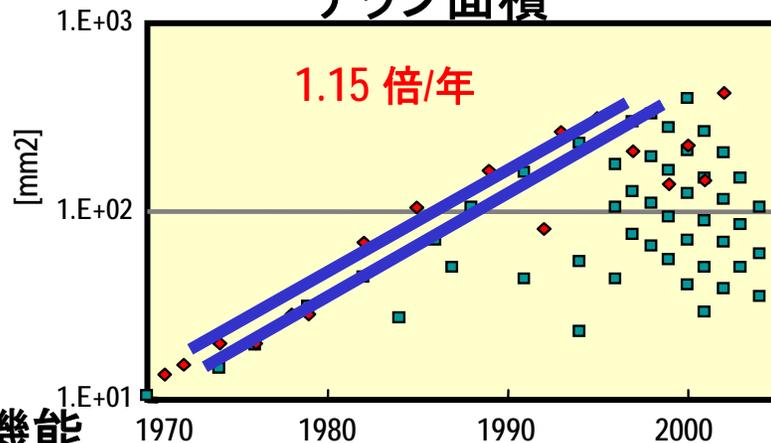
微細化と大面積化による高集積化の実現

■ 「プロセスの微細化」と「チップ面積の拡大」により、チップ当たりの機能は指数関数的に増加

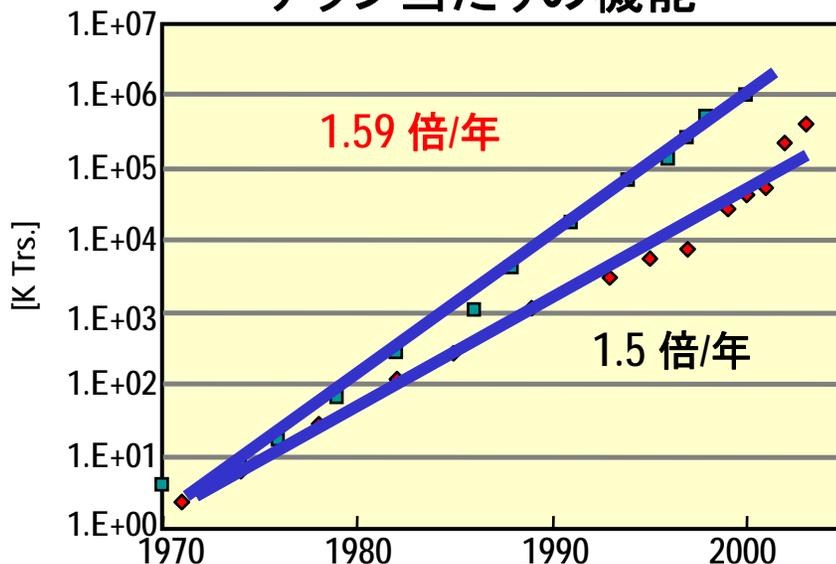
プロセスの微細化



チップ面積



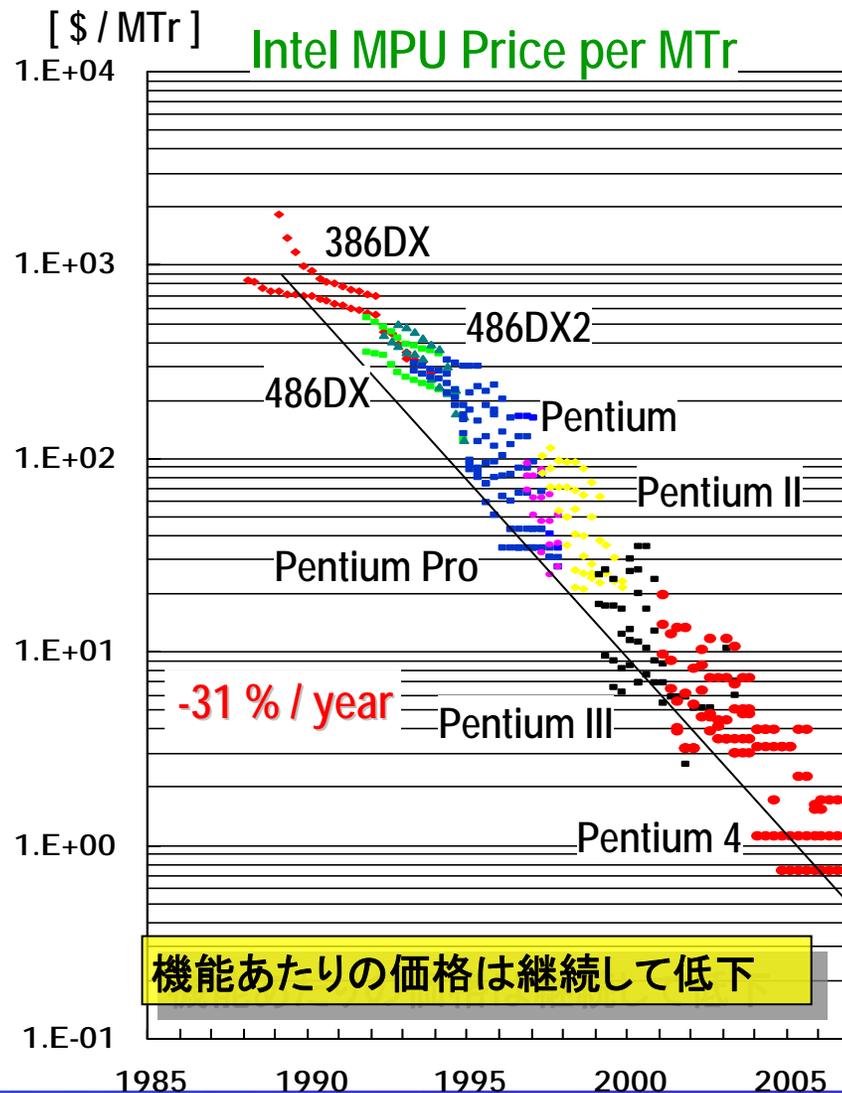
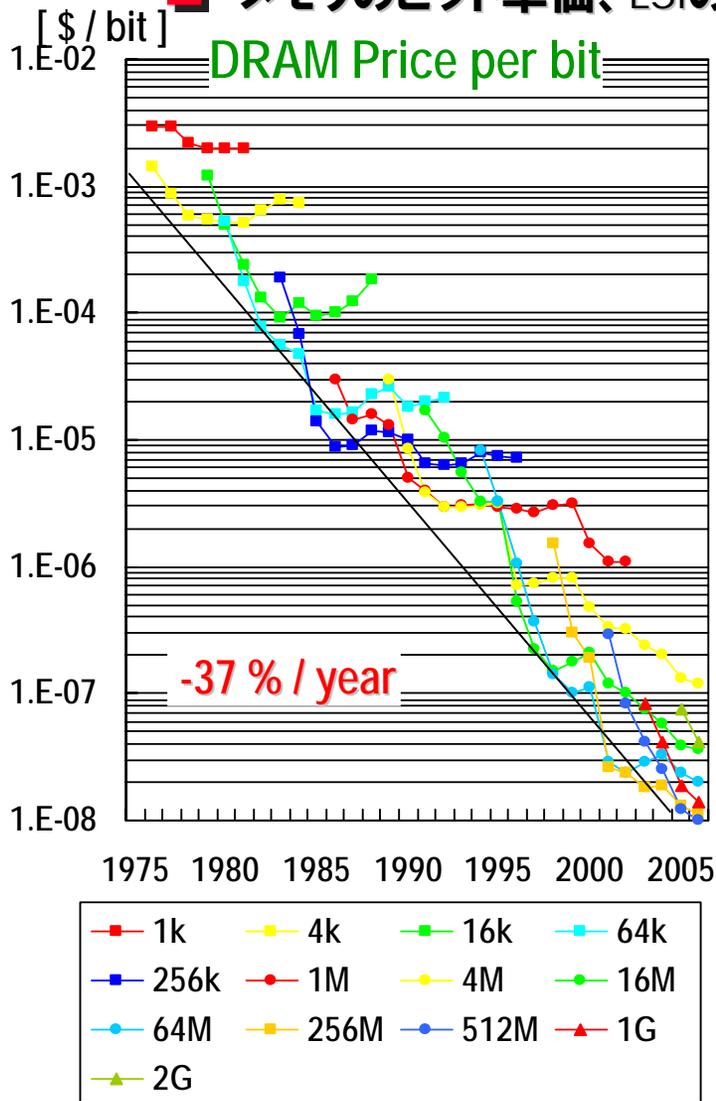
チップ当たりの機能



■ : DRAM
◆ : Intel MPU

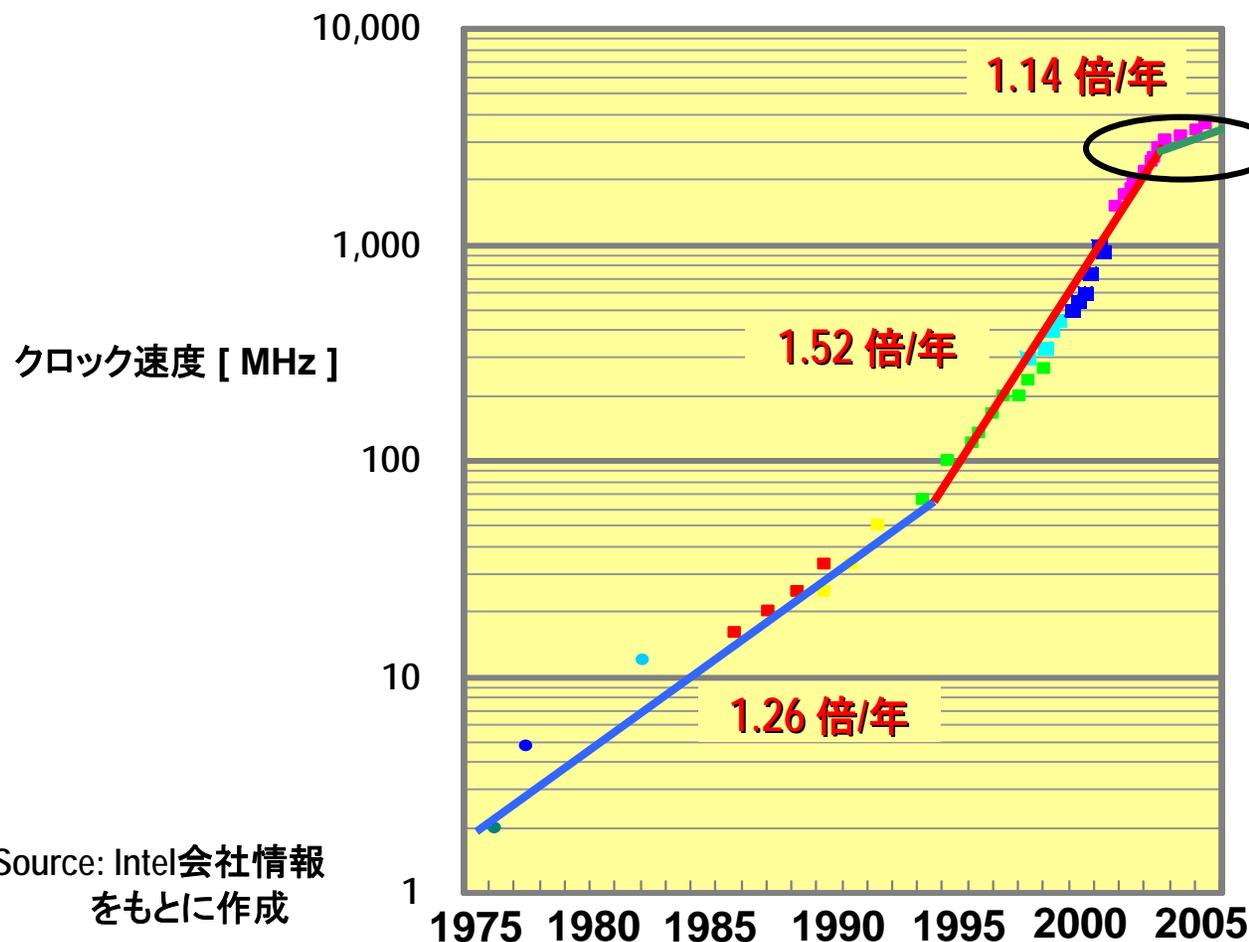
経済性向上：ビット単価、トランジスタ単価

■ メモリのビット単価、LSIのトランジスタ単価は、**年率30%以上**で低下



性能向上： クロック速度

- 微細化でのクロック速度(性能)の向上
- 2002年までクロック速度が向上。特に、1995年以降は年率1.52倍で向上。
- 2004年以降は鈍化し、アーキテクチャやシステム全体でのイノベーションが必要



Intel は 4GHz Pentium4 の
プロジェクトキャンセルを
2004年11月に公表

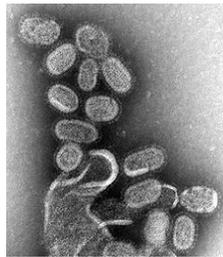
Intel MPUの例

Source: Intel会社情報
をもとに作成

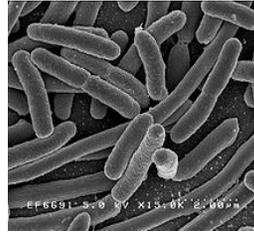
半導体産業が直面する課題

- **微細化の物理的限界が近づく：
プロセスデバイスを開発するのが難しくなっている。**
- **製造も難しくなって、製造装置のコストが非常に高くなっ
てきている。製造ラインの投資に巨額な費用が必要になり、1社では負担できなくなっている。**
- **集積度が上がり、設計開発費用が巨額になってきている。**

近づく物理的限界



ウイルス
20nm~450nm



バクテリア
1μm~10μm

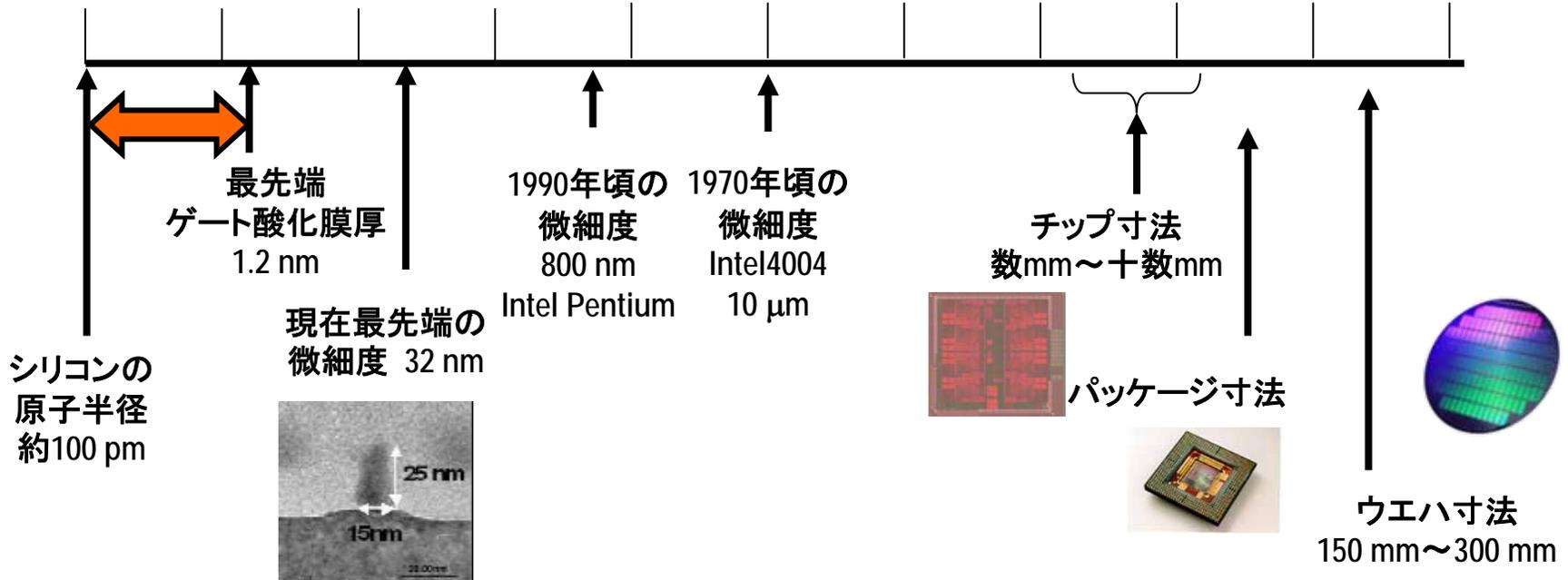


人の髪の毛の太さ
18μm~180μm

原子12個
程度の厚さ
リーク

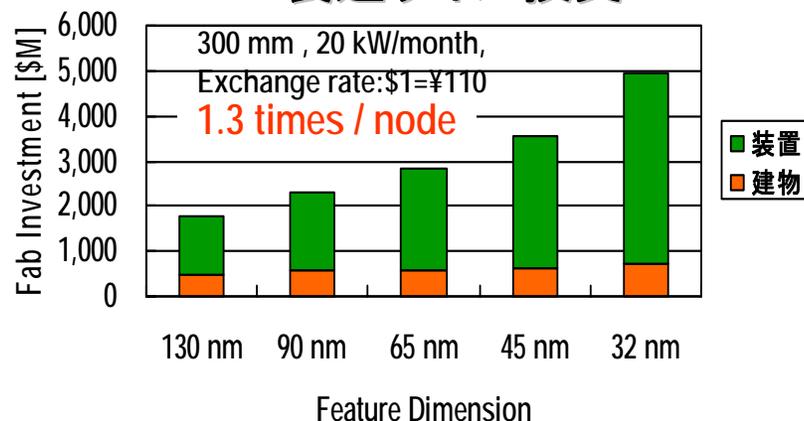
mm = 10^{-3} m
μm = 10^{-6} m
nm = 10^{-9} m
pm = 10^{-12} m

100 pm 1 nm 10 nm 100 nm 1 μm 10 μm 100 μm 1 mm 10 mm 100 mm 1 m

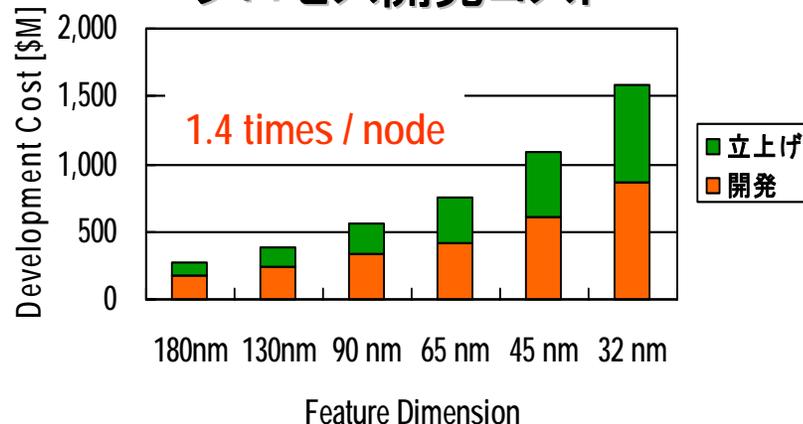


高騰する投資、開発費

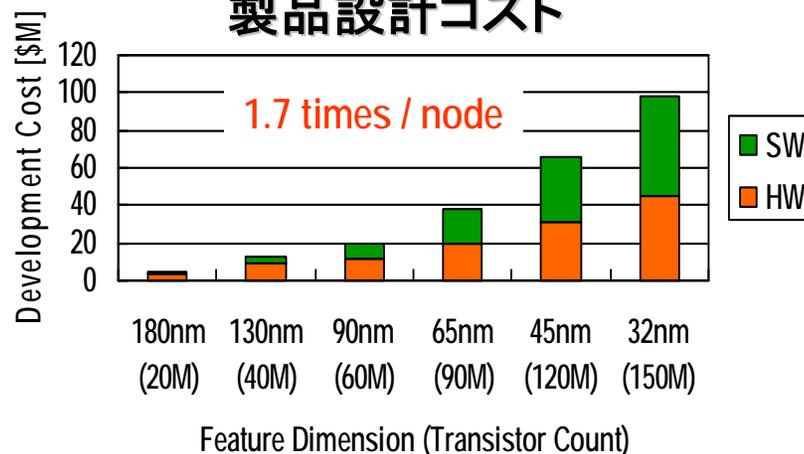
製造ライン投資



プロセス開発コスト



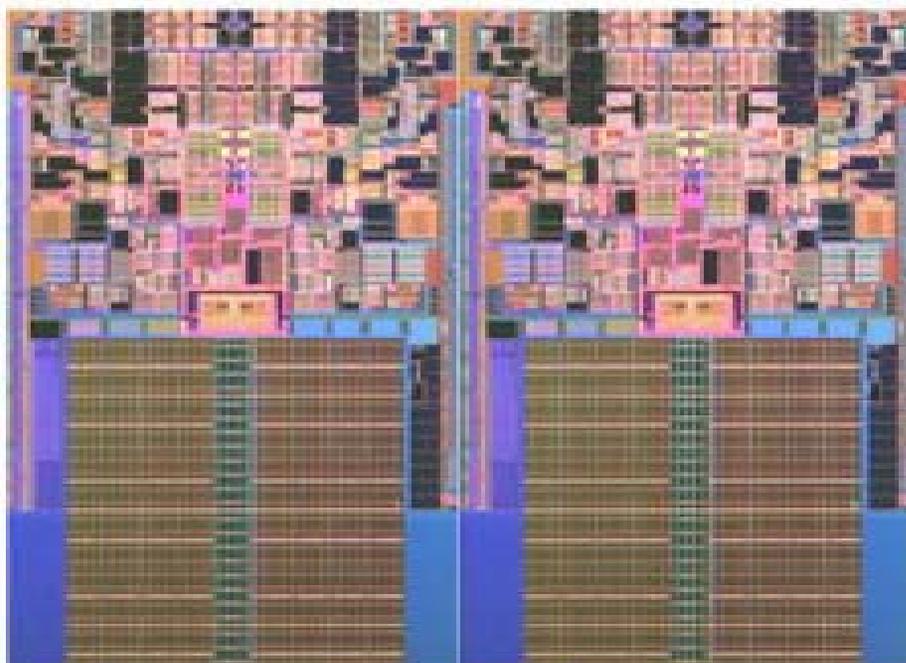
製品設計コスト



- 微細化の進展に伴い、装置の費用が巨額になる。
- 微細化はいつまでも続かない。
- 全体コストに占める製品設計コストは上昇し、今後は製品設計効率向上が重要な競争優位条件になる

最先端LSIの例： Quad-Core Intel Xeon Processor

Quad-core Intel[®] Xeon[®] 5400 Processor



出荷：2007年

クロック速度：>3GHz

トランジスタ数：820,000,000

製造技術：45 nm CMOS

Hi-K Metal gate

チップ面積：107 mm² x 2

Source: Intel Webサイトよりデータ入手

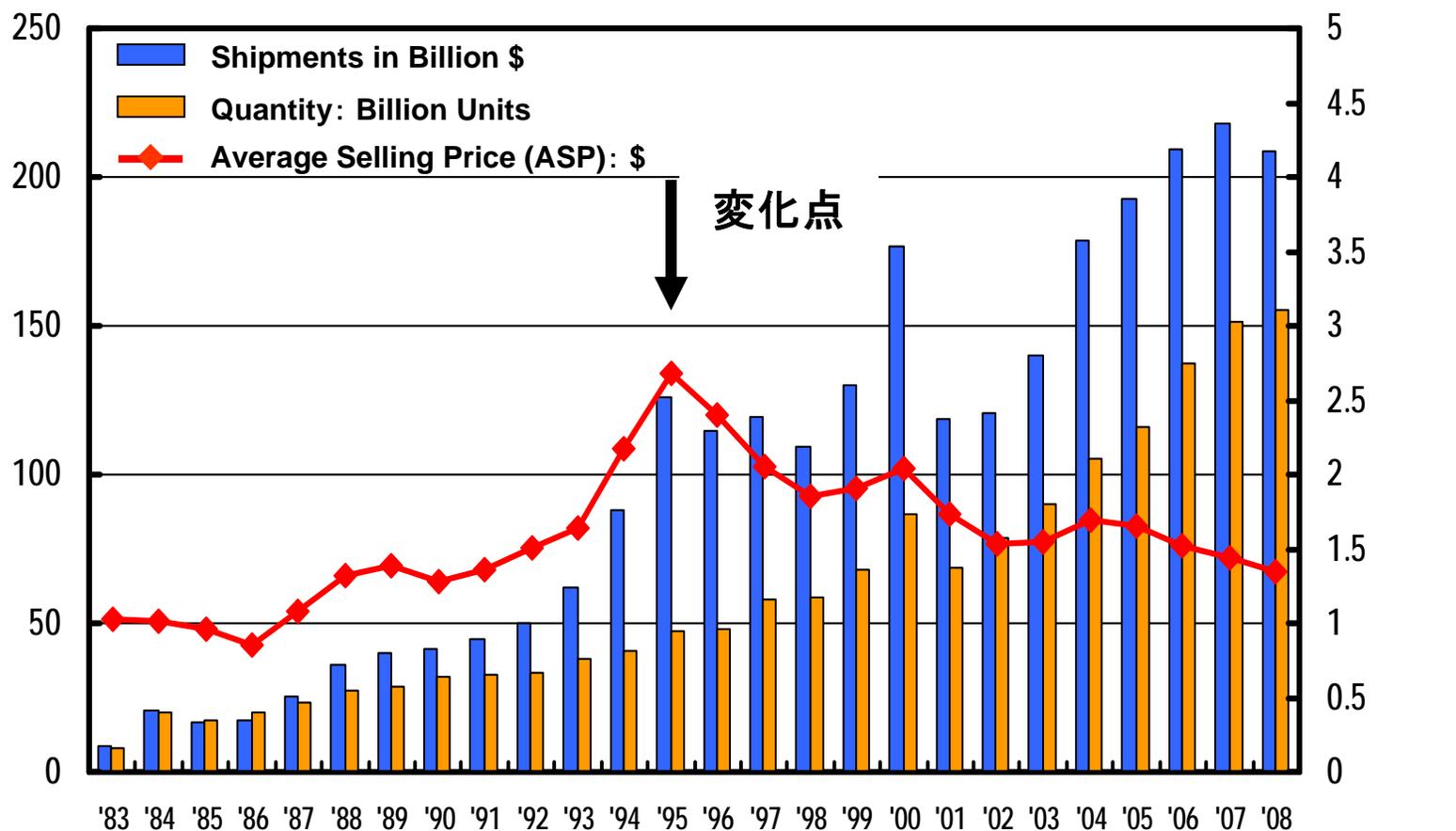
半導体業界の将来は？

- **微細化の限界が近づくと半導体産業はどうなるのか？**
- **顧客に提供する付加価値は、以前は微細化によって増大させていたが、いまは機能の多様化が付加価値増大の源泉。**
- **時代が変わり、時代の要請が変わってきている。**

世界集積回路出荷額、数量と平均単価

- 半導体市場はビジネスむけコンピュータを中心とした用途から民生機器向けの広い用途へ。

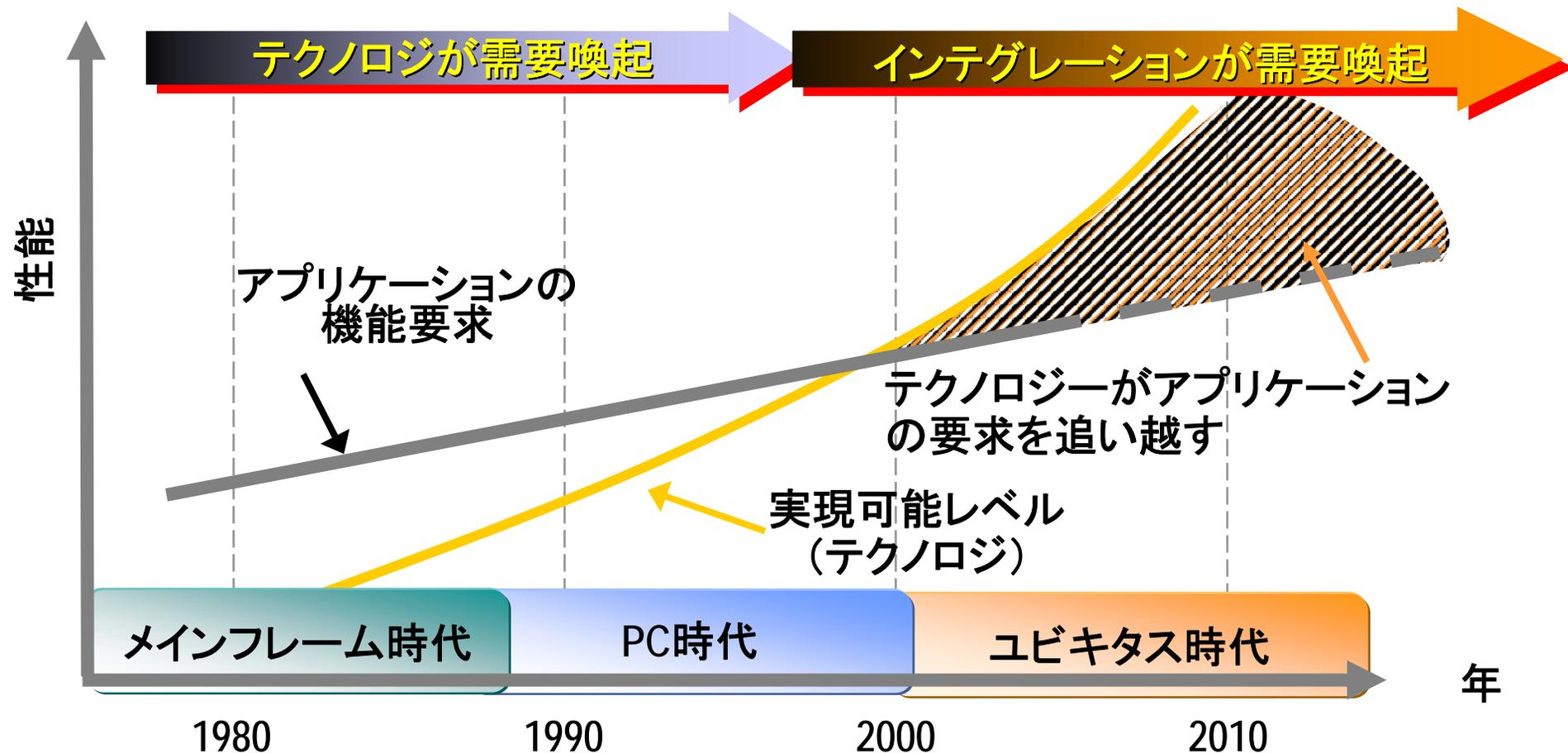
Shipments [\$B] and Quantity [B]



Source: SIA, WSTSのデータをもとに作成

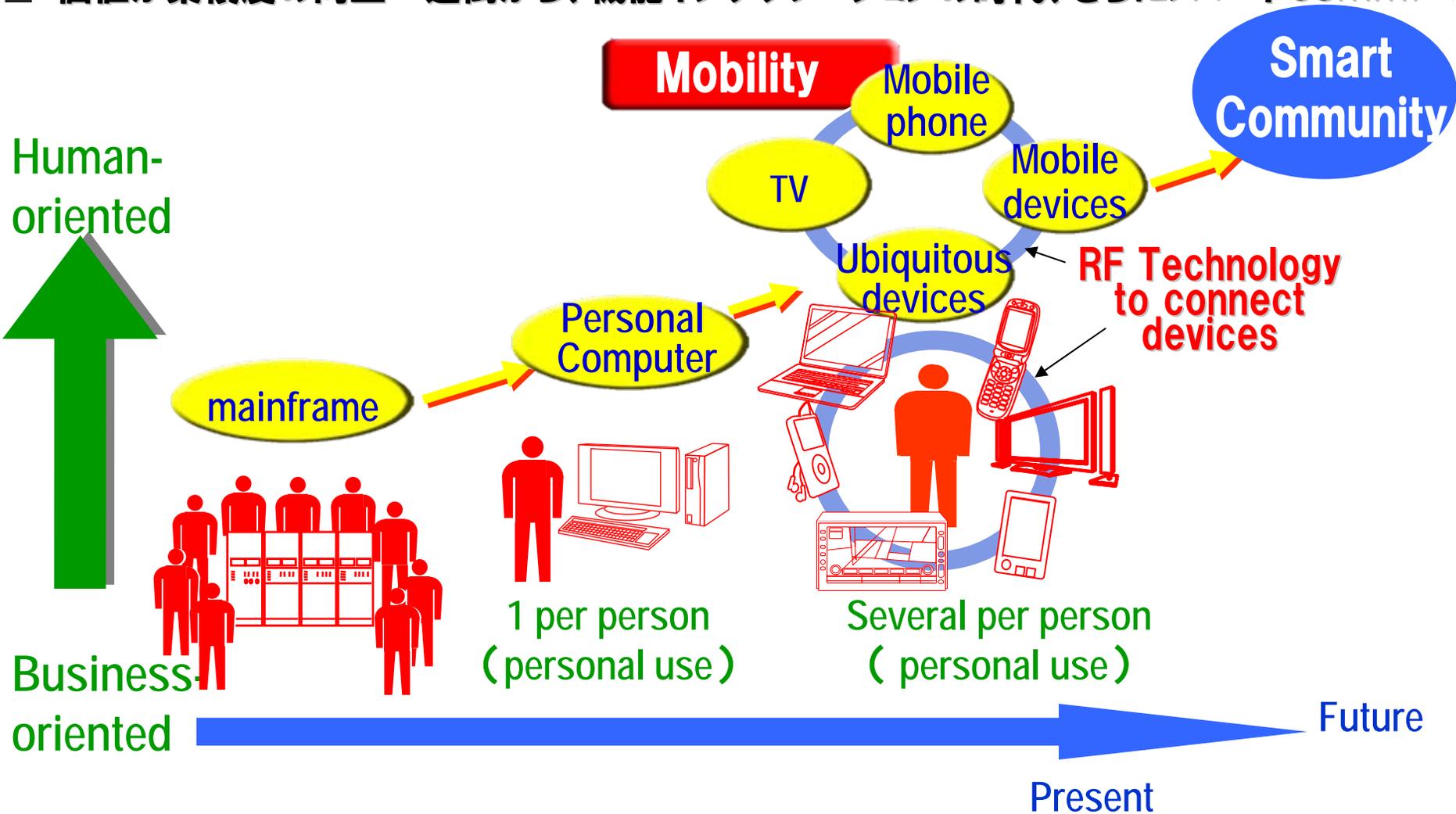
テクノロジーからインテグレーションへ

- テクノロジによる需要喚起の時代からLSIをベースとしたシステムインテグレーションの時代へ
- 機能インテグレーションが今後の成長のカギに



コンピュータ性能向上の時代から、 ユビキタス時代、さらにスマートコミュニティの時代へ

■ 価値が集積度の向上一辺倒から、機能インテグレーションの時代、さらにスマートComm.へ



ユビキタス時代のRF技術

Wireless Applications

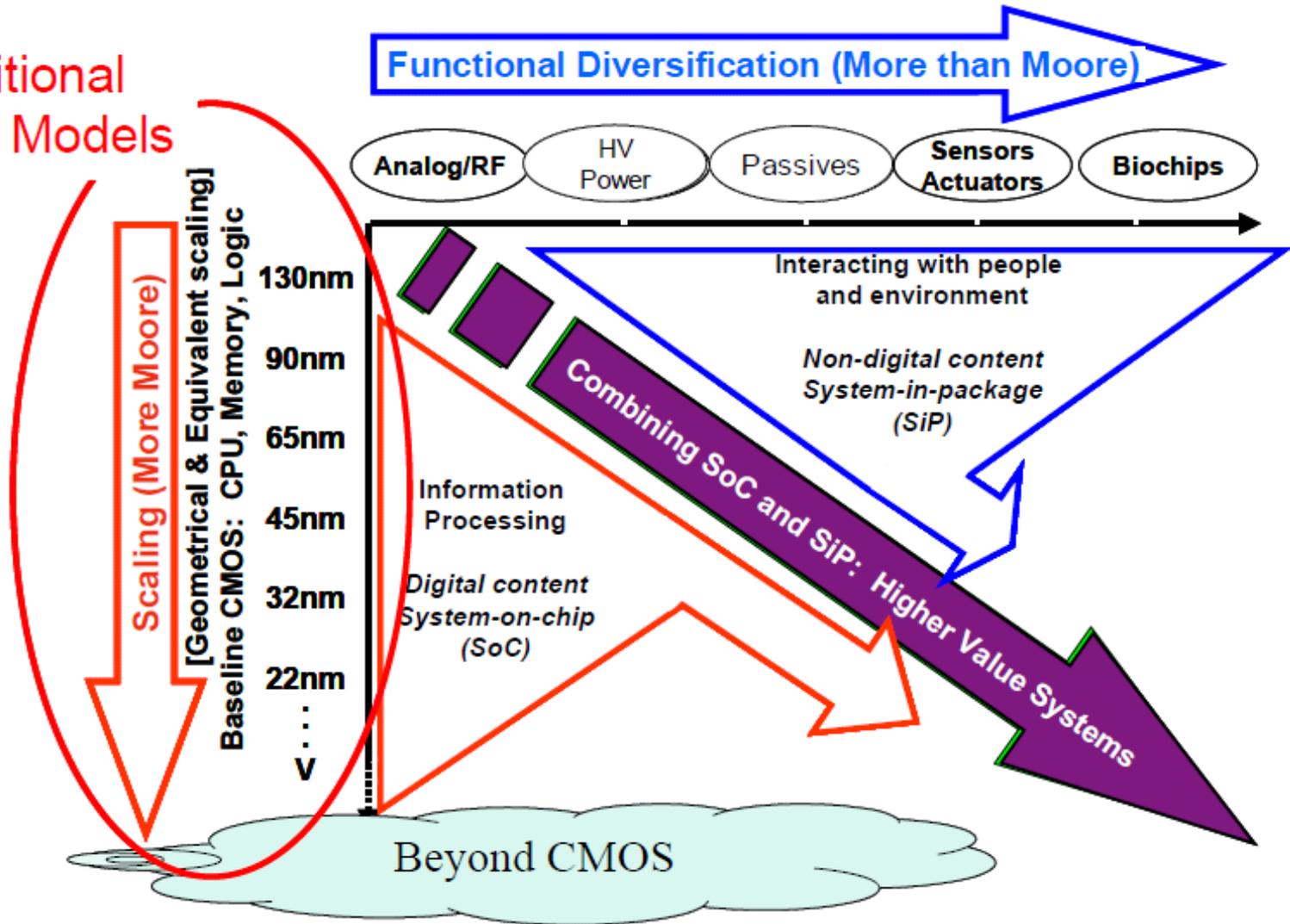


Technologies

- (1) *High Power Amp*
- (2) *RF transceiver IC for Cellular (GPRS/EDGE/WCDMA)*
- (3) *RF transceiver IC for WLAN (IEEE.11a/b/g)*
- (4) *RF IP core for ZigBee*
- (5) *Wireless IP for contact less card*

ITRSロードマップ： モーアの法則とそれ以上

Traditional
ORTC Models



ITRSロードマップ

Table B ITRS Table Structure—Key Lithography-related Characteristics by Product

Near-term Years

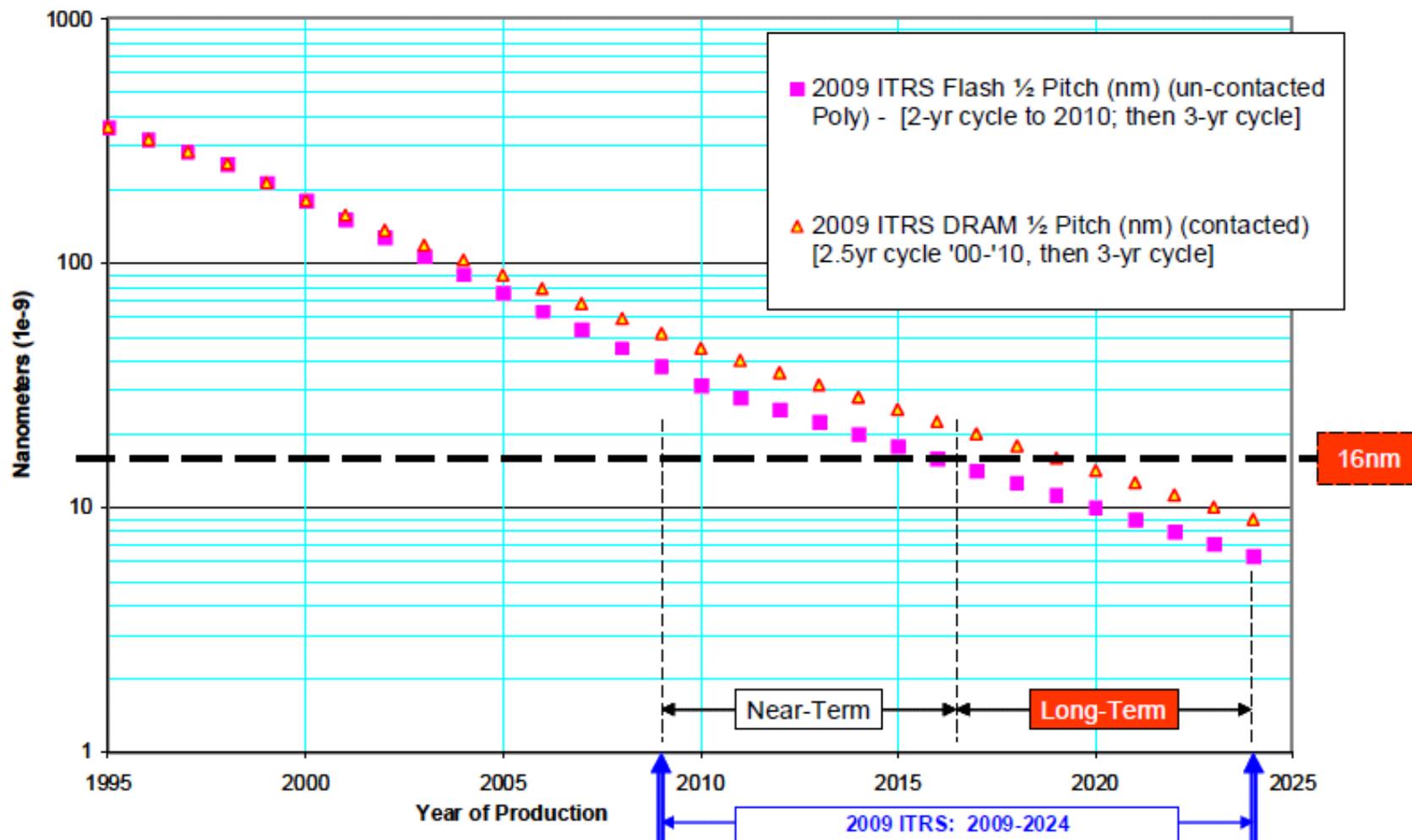
YEAR OF PRODUCTION	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Flash Uncontacted Poly Si $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	38	32	28	25	23	20	18	15.9
DRAM stagger-contacted Metal 1 (M1) $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	52	45	40	36	32	28	25	22.5
MPU/ASIC stagger-contacted Metal 1 (M1) $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	54	45	38	32	27	24	21	18.9
MPU Printed Gate Length (nm)	47	41	35	31	28	25	22	19.8
MPU Physical Gate Length (nm)	29	27	24	22	20	18	17	15.3

Long-term Years

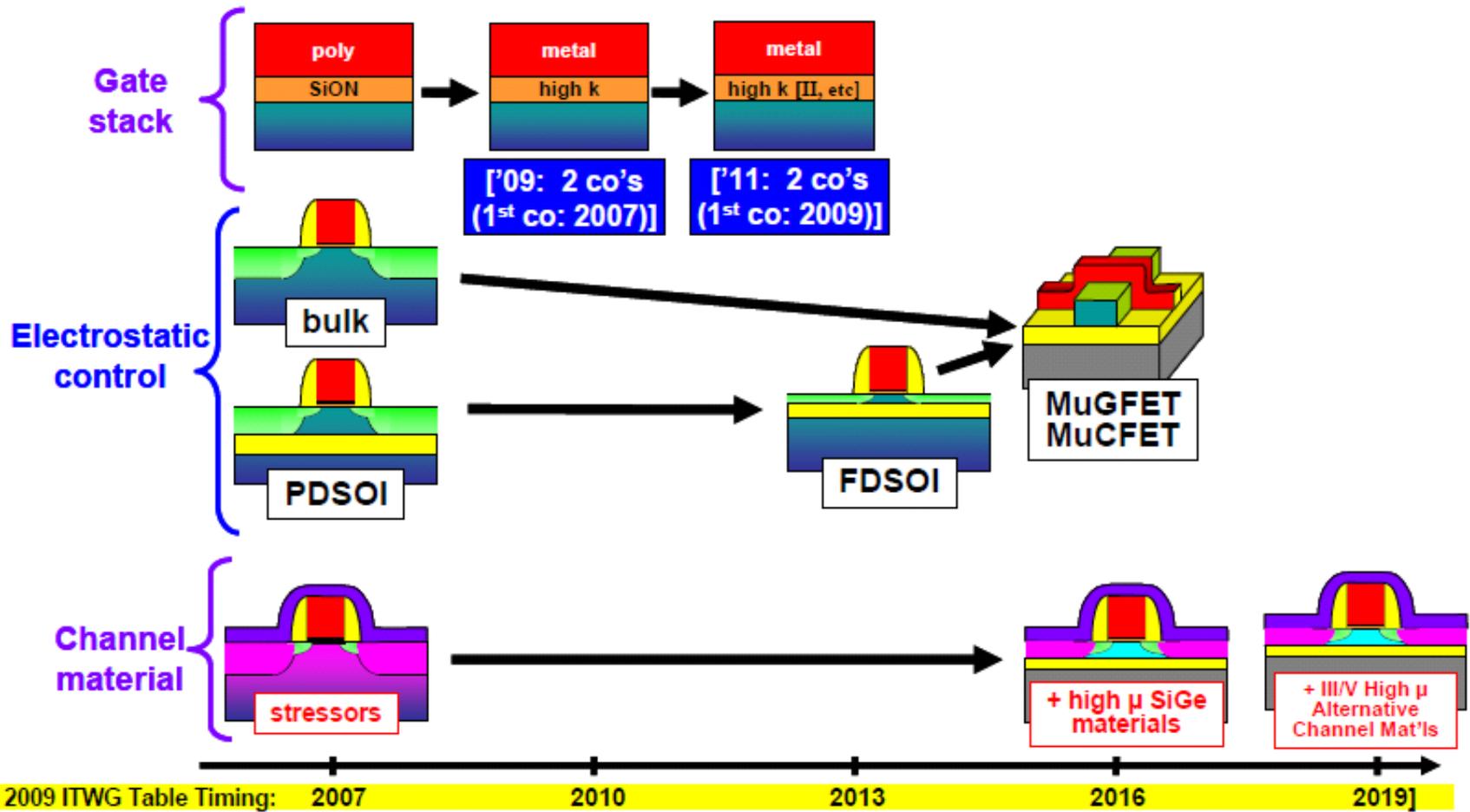
YEAR OF PRODUCTION	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Flash Uncontacted Poly Si $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	14.2	12.6	11.3	10.0	8.9	8.0	7.1	6.3
DRAM stagger-contacted Metal 1 (M1) $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	20.0	17.9	15.9	14.2	12.6	11.3	10.0	8.9
MPU/ASIC stagger-contacted Metal 1 (M1) $\frac{1}{2}$ Pitch (nm)	16.9	15.0	13.4	11.9	10.6	9.5	8.4	7.5
MPU Printed Gate Length (nm)	17.7	15.7	14.0	12.5	11.1	9.9	8.8	7.9
MPU Physical Gate Length (nm)	14.0	12.8	11.7	10.7	9.7	8.9	8.1	7.4

DRAMとFlashメモリのITRSロードマップ

2009 ITRS - Technology Trends



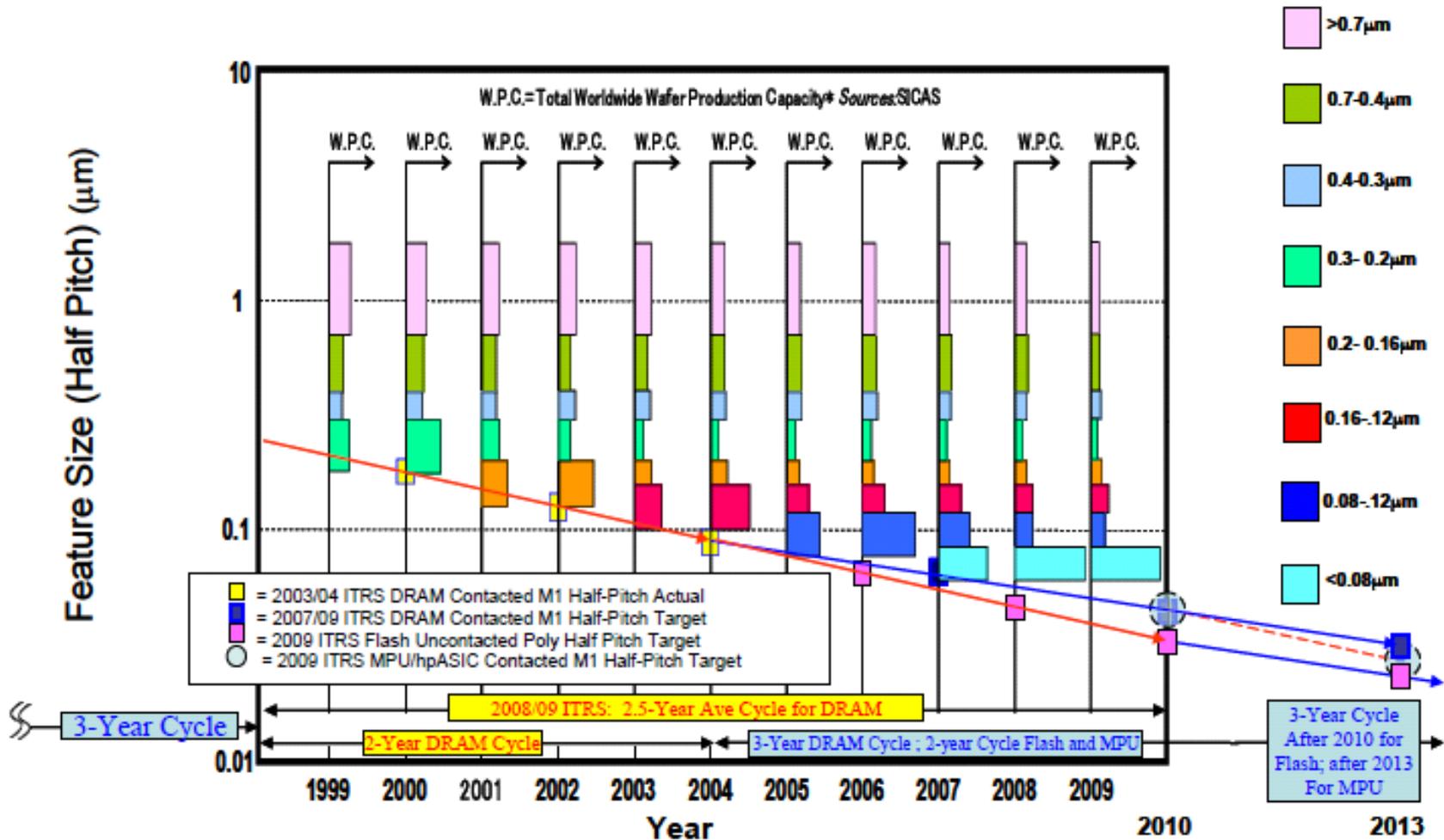
モア・モーア (等価スケールリング)



モアザン・ムーア (機能的多様化)

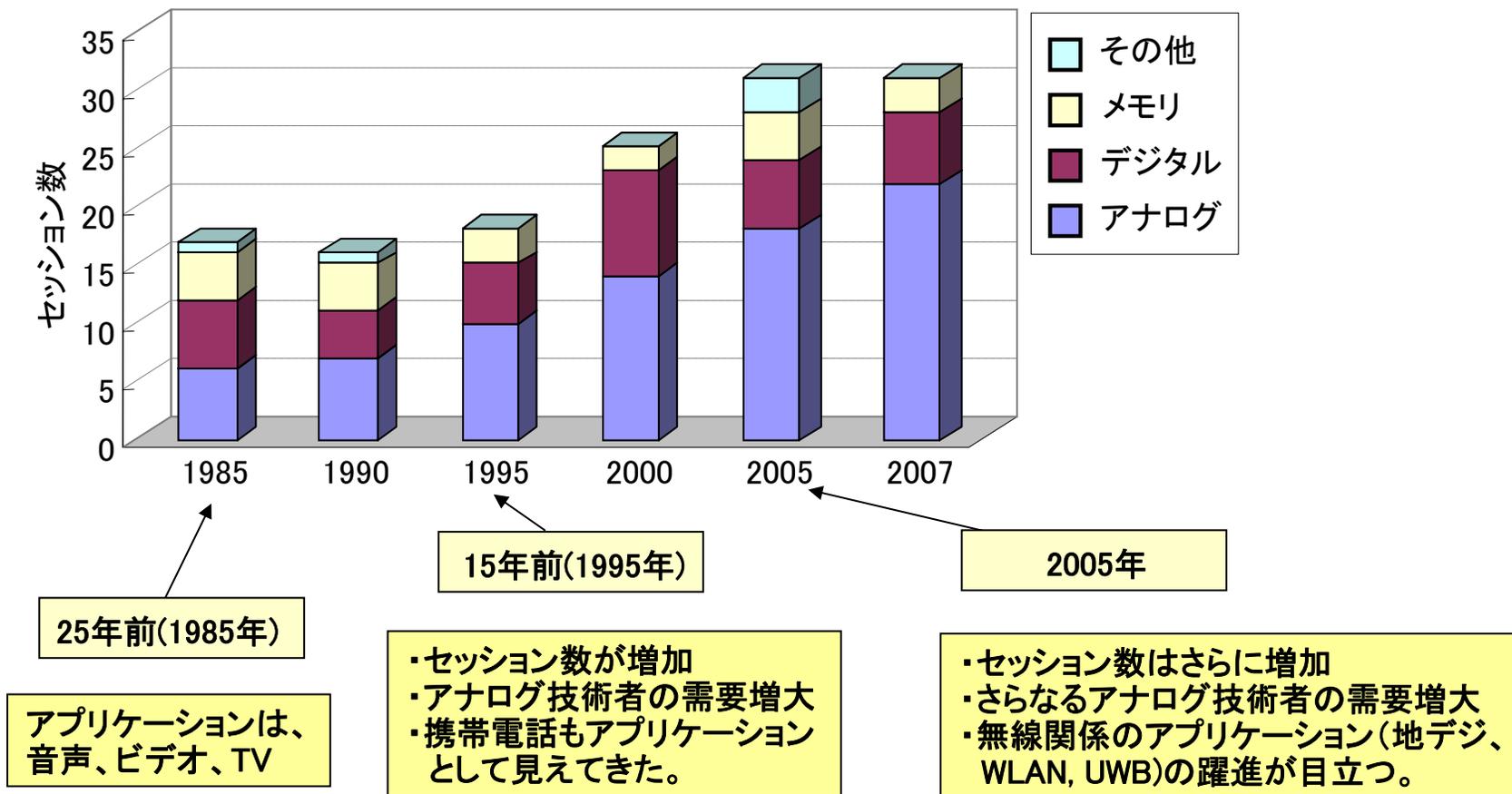
- **機能的多様化: 微細化とは異なる方法で、最終顧客に付加価値を提供する機能をデバイスに組み込むこと。**
- **非デジタル機能(無線通信、アナログ、高耐圧、電力制御、受動素子、センサ、アクチュエータ等)をSiPやSoCで搭載する。**
- **3Dインテグレーション**
- **RF/アナログ等 コネクティビティ機能拡張**
- **MEMS (加速度など各種センサ)**
- **バイオチップ**

プロセス世代の同時存在傾向(多様性拡大)



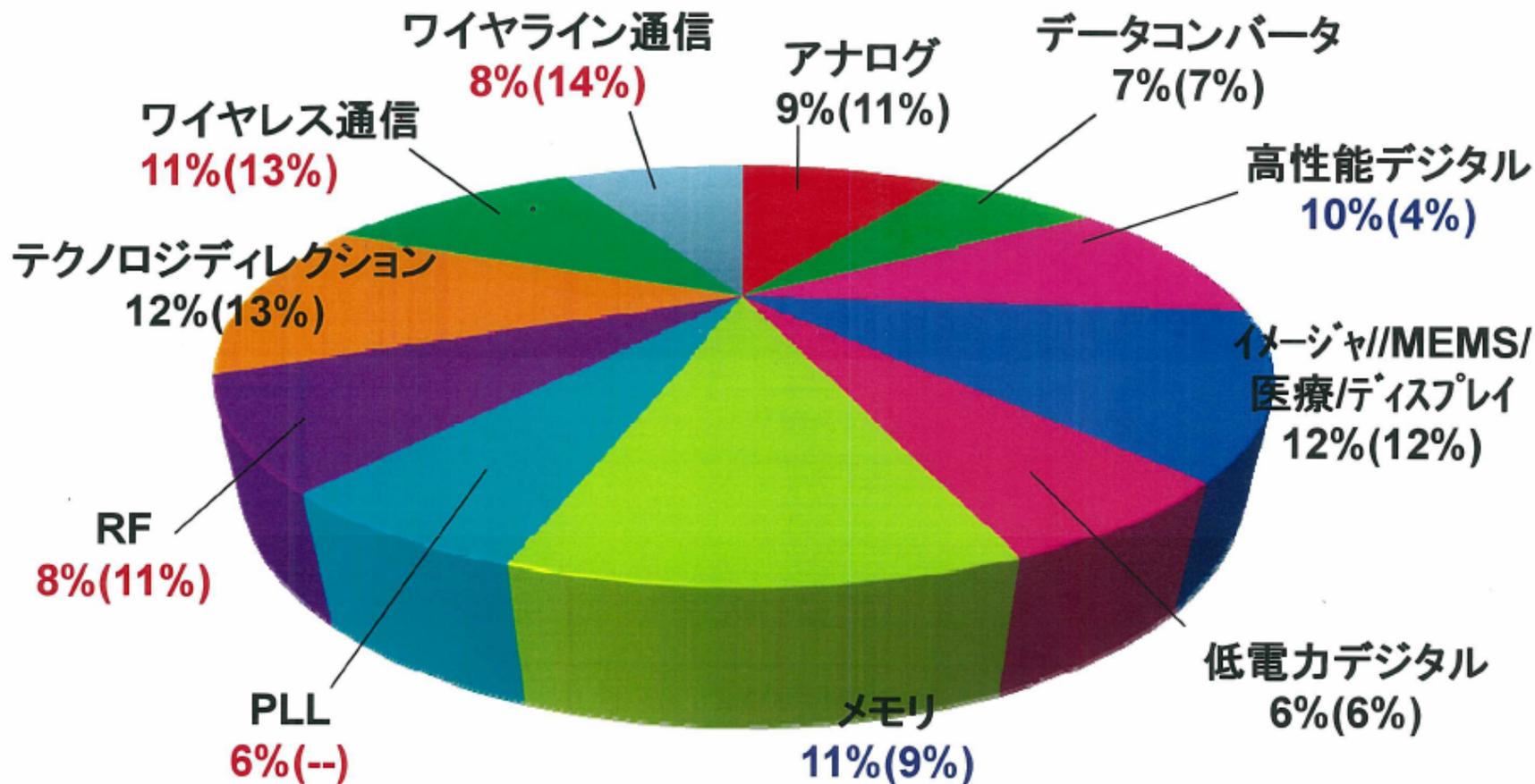
学会動向： ISSCC分野別発表の推移

アナログ関係のセッション数は増加の一途



ISSCC 2010分野別採択論文数

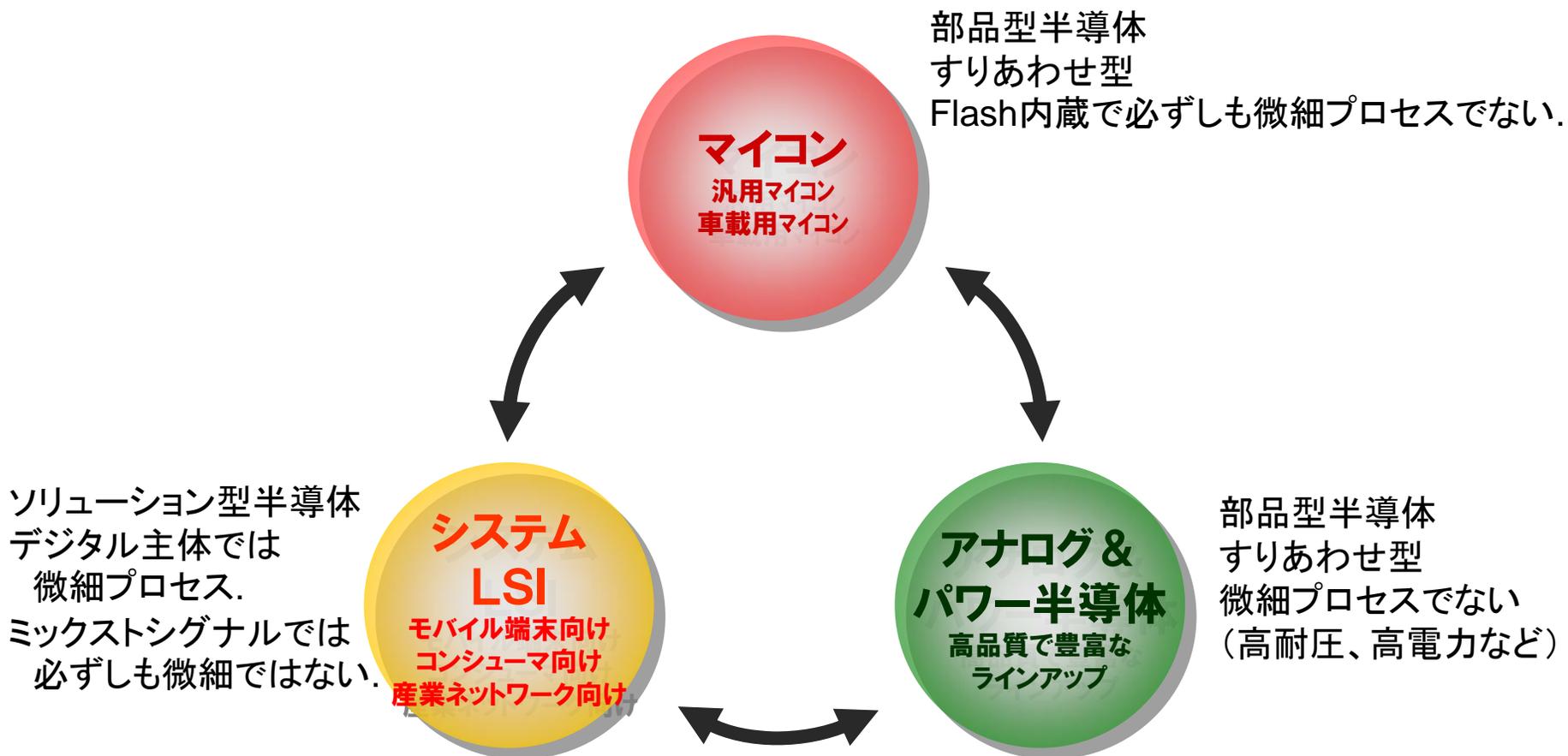
2010年では、アナログ関係（デジタル、メモリ以外）は 73%(81%)



ISSCC 2010(2009)

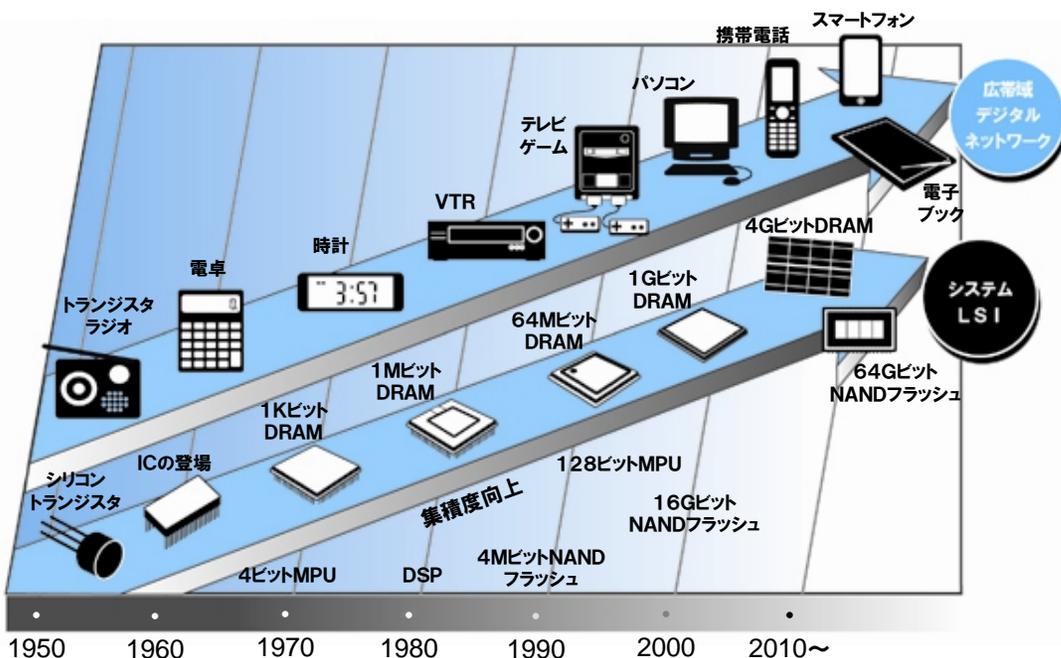
主要半導体の分類と性格

マイコン、アナログ&パワー半導体、システムLSIの3本柱



社会と半導体産業の関わり

半導体の技術進歩により、電子機器が進化、安全で便利な社会構築へ寄与。
 今後も半導体は産業発展を支え、地球環境に配慮した社会構築へ貢献。



半導体デバイスの技術進歩にともなって、新たな電子機器が生まれ、またそれが半導体の進歩を促します。

機器の進化

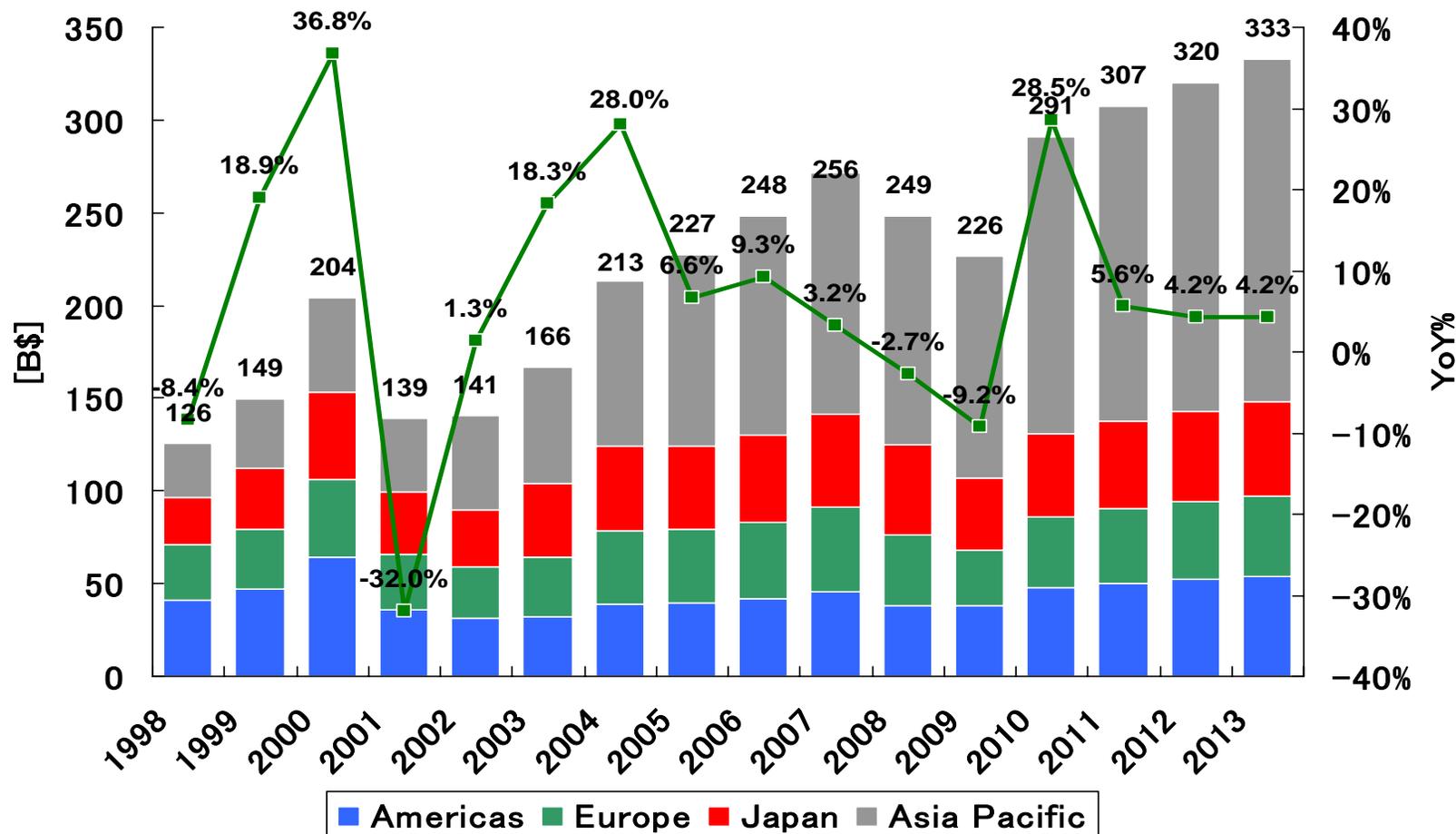
- 小型化
- 機能向上
- 低消費電力化
- エレクトロニクス化の進展
- 低価格化
- 快適性向上
- 多機能化
- デジタル化
- ネットワーク化

半導体デバイスの技術進歩

- 大集積化
(1チップに搭載する素子数の拡大)
- チップ面積縮小
- 高速化
- 多機能化
- 低消費電力
- メカ制御の電子化
- 微細化
(加工寸法の微細化)
- コネクティビティ

世界の半導体需要見通し

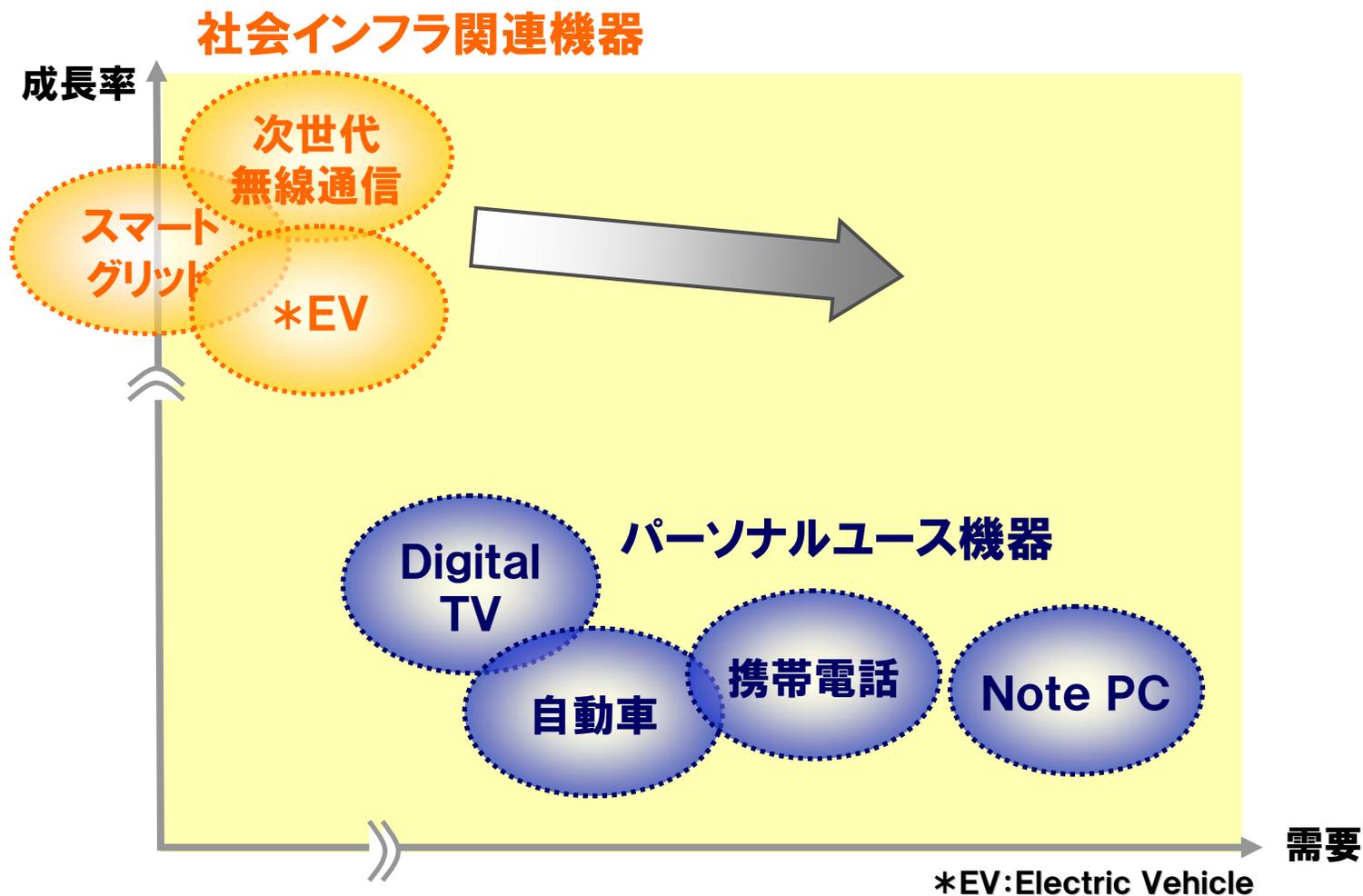
2008、2009年とマイナス成長だったが、2010年以降回復、成長率は鈍化するも安定成長継続。アジア他地域の拡大続く。



(Source:WSTS 2010春)

半導体産業を牽引する新規アプリケーション

次世代無線通信、スマートグリッド、EV等社会インフラ関連機器が新たな牽引アプリケーションとして台頭



ルネサスエレクトロニクス(株)が描く、

スマートコミュニティの世界

活躍するアナログ・RF・パワーデバイス機能

CEATEC 2010 キーノートスピーチ：
ルネサスエレクトロニクス(株)赤尾 泰社長、から

時代はユビキタス社会からスマートコミュニティへ

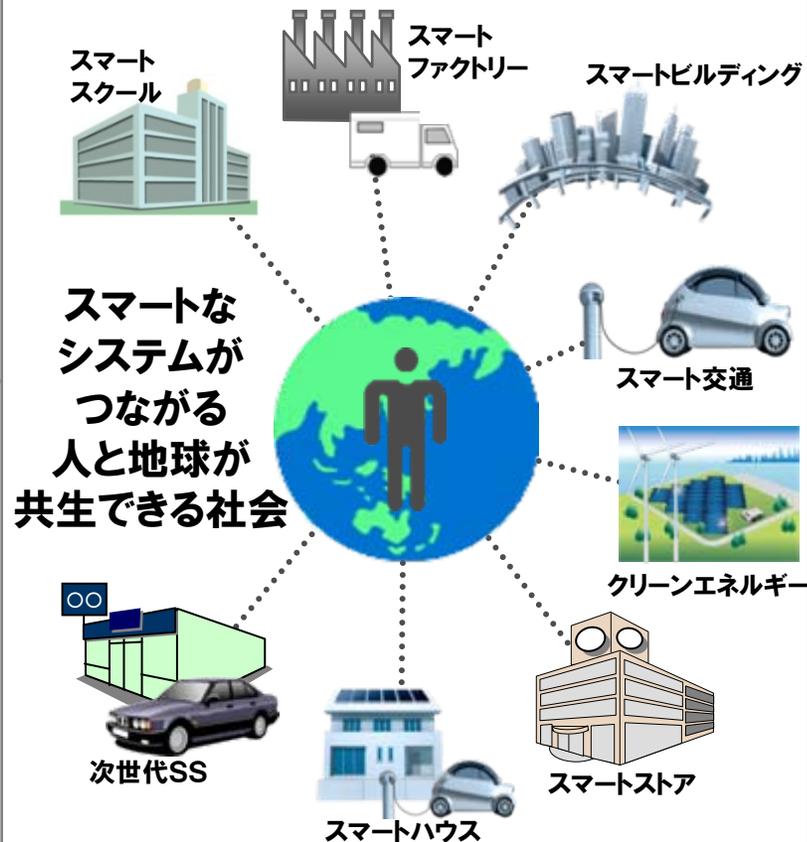
ユビキタス社会

「いつでも、どこでも、誰でも」がコンピュータネットワークを初めとしたネットワークにつながることで、様々なサービスが提供され、人々の生活をより豊かにする社会。



スマートコミュニティ

人と地球が共生して人々が豊かに暮らすために、新しい情報ネットワーク、エネルギーシステム、交通システムにより快適性向上と省エネを両立する社会へ。



スマートコミュニティ実現に必要な主要半導体技術

- (1) 高速無線通信(LTE)
- (2) 次世代自動車・交通システム
- (3) スマートメータ、無線／PLC

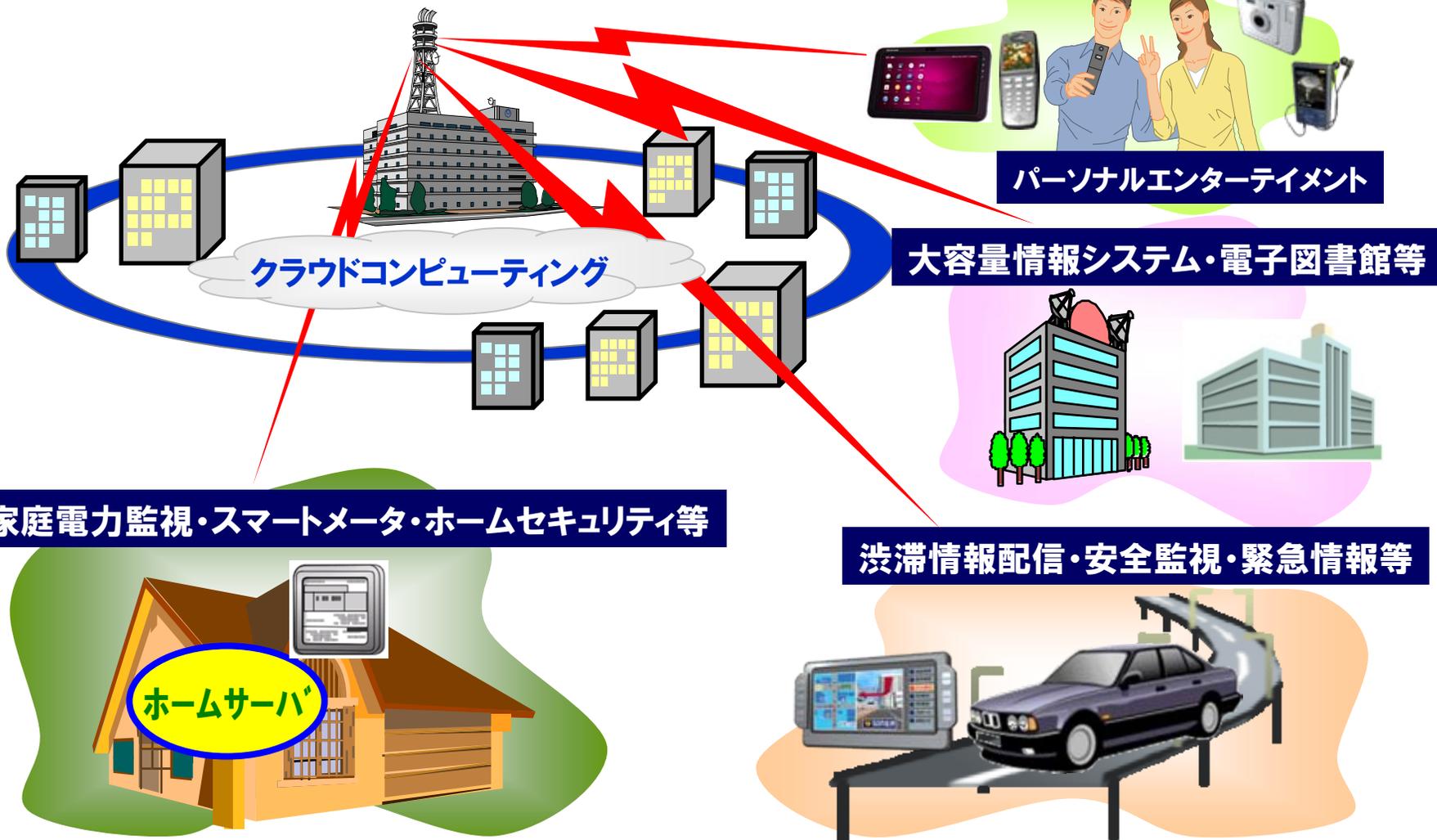
活躍するアナログ・RF・パワーデバイス機能

スマートコミュニティ実現に必要な半導体技術

(1) 高速無線通信(LTE)

大容量無線通信の必要性

スマートグリッド化に伴い全ての物がネットワークに接続またクラウド化が進む



大容量無線通信の進化 3Gから3.9G/4Gの世界へ

2G	2.5G	2.75G	3G	3.5G	3.9G	4G
GSM 56kbps	GPRS 56kbps	EDGE 180kbps	W-CDMA 384kbps	HSPA 3.6M~7.2Mbps	LTE U/L50Mbps、 D/L100Mbps	LTE-Advanced

ユビキタス社会
携帯電話が無線データ通信を牽引

スマートコミュニティー社会
クラウド化がデータ通信を牽引

無線サービスとデータ速度



音声通話



SMS
(数kB~)



長文メール
(数10kB)



着メロ
(数100kB~)



写真配信
(数100kB~)

音楽配信
(数MB~)



ニュース配信
(数10kB~)



動画配信
(~数
10MB)



GPS連動-地図配信
(数100kB~)

スマートコミュニティーへ
Pull型からPush型サービス
常時接続環境



家庭電力監視
スマートメータ
ホームセキュリティ等

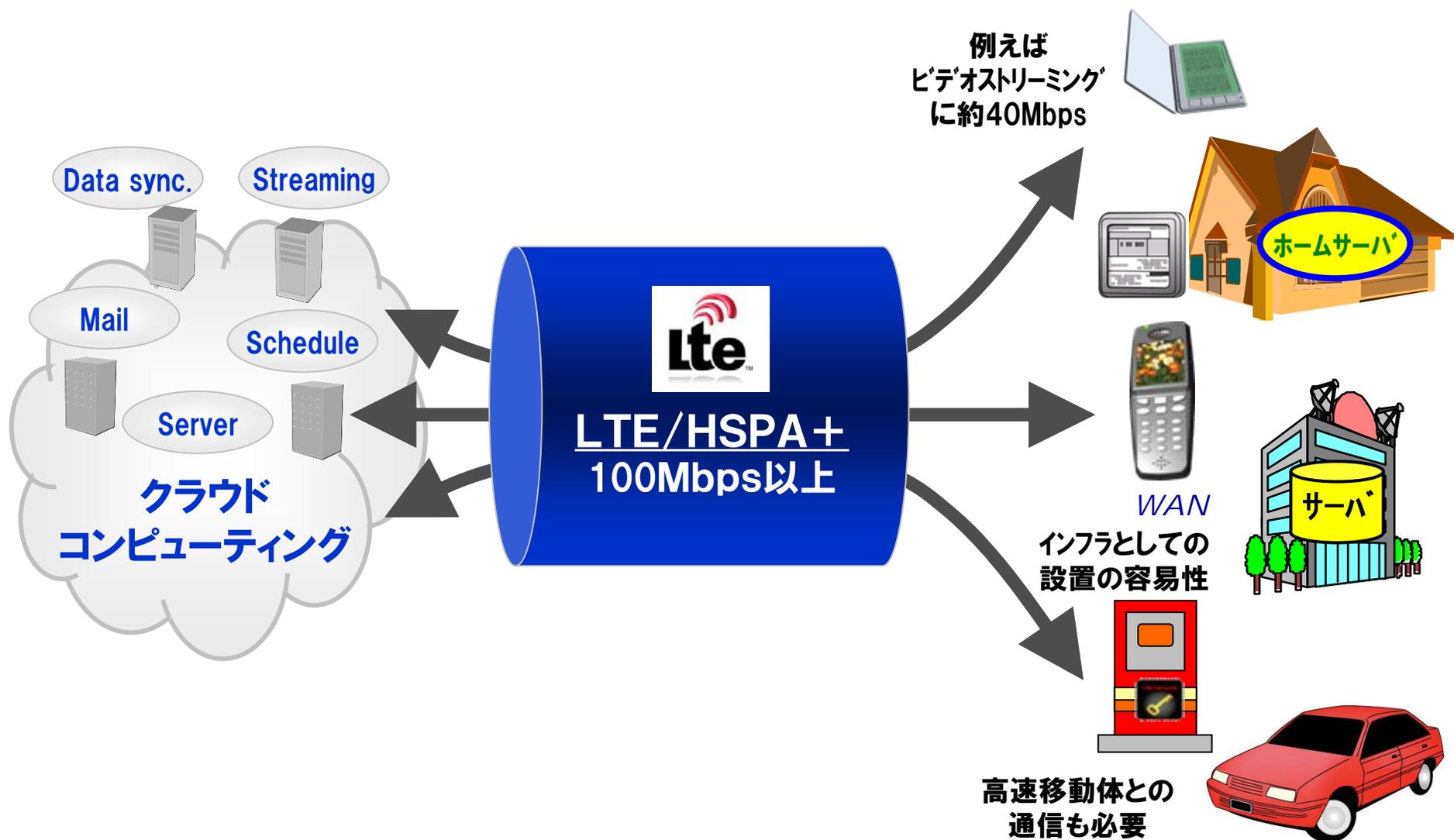


自動車社会インフラ



スマートグリッド

社会インフラ・クラウド化には高速データ通信が不可欠



高速無線通信ニーズとソリューション

LTE技術がクラウド化、スマートグリッド社会の基幹インフラ技術。**アナログ/RFが活躍。**

市場ニーズ

高速・大容量

Internet・クラウドとの親和性

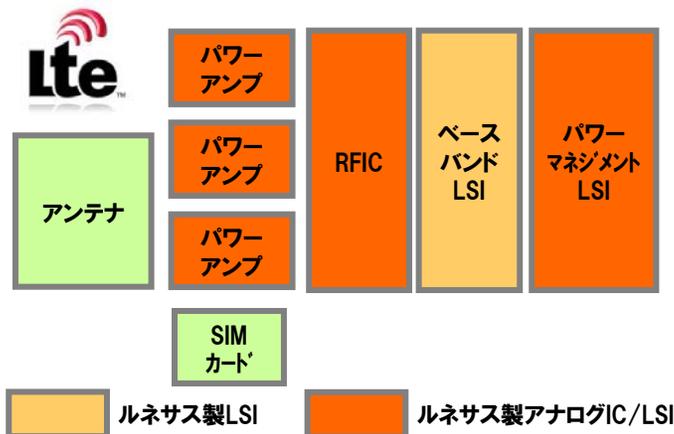
常時接続・低遅延性

利便性(世界中どこでも)

他のアプリとの親和性
M2M、ITS、スマートメーター

ソリューション

MAX100Mbpsの通信システムの主要部品
全てをルネサスから提供。**アナログ/RFがメイン**



PC等に内蔵



USB型



携帯電話に

(2) 次世代自動車・交通システム

スマートコミュニティとスマートカー： 無線通信の活躍

低炭素で安全・快適な移動手段の実現

■ゼロエミッションの実現

- ・EV, PHEV

■エネルギー消費量の削減

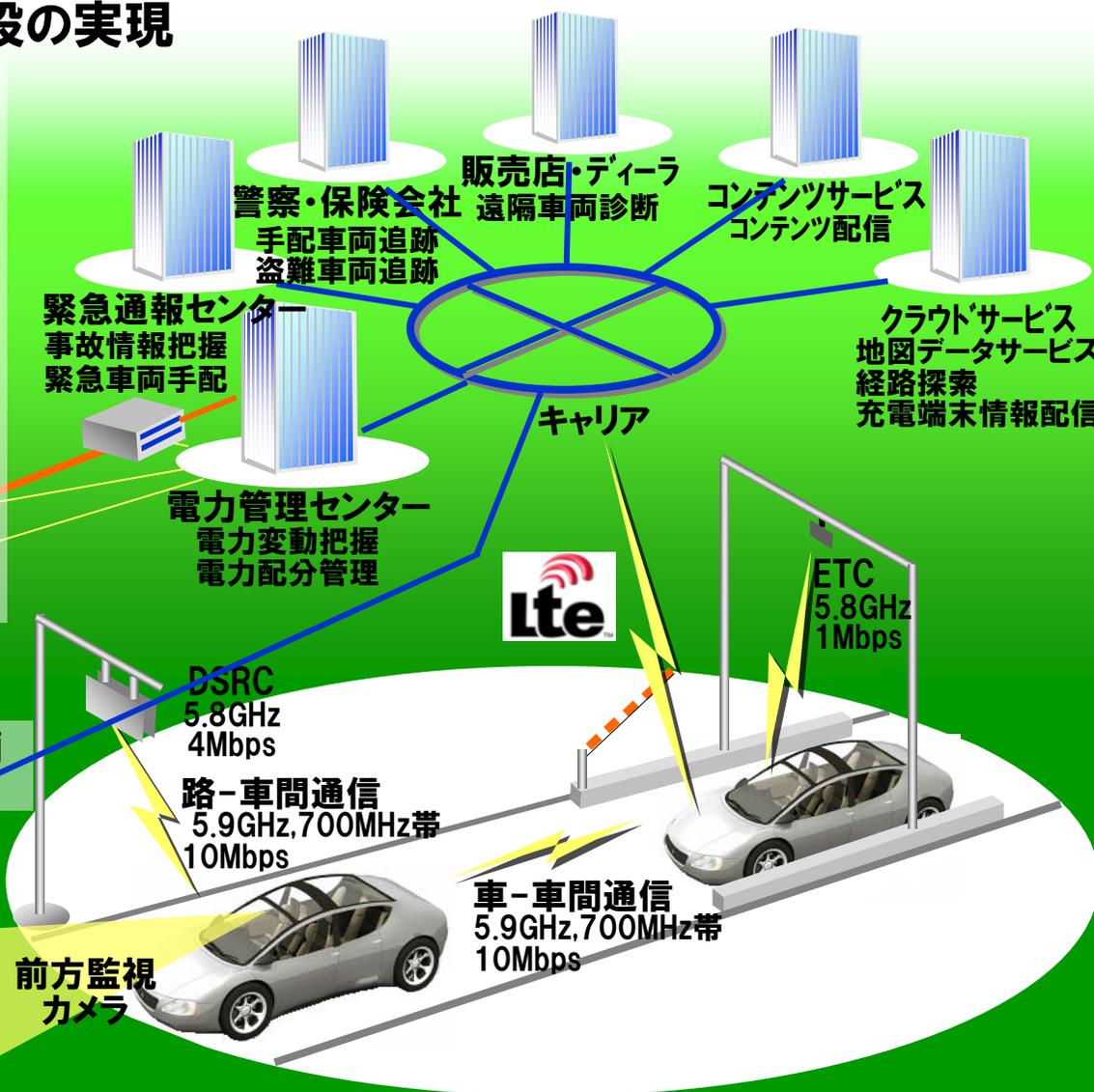
- ・ECO・安全運転支援
- ・渋滞抑制、回避
- ・車輛の軽量化

■需要、発電変動の吸収

- ・電力負荷の平準化
- ・電力蓄積機能の活用

・Home-車輛
情報共有

・夜間充電
・発電変動吸収



電池制御/セキュア用半導体

■制御の高精度化による充電時間の短縮と安全性向上

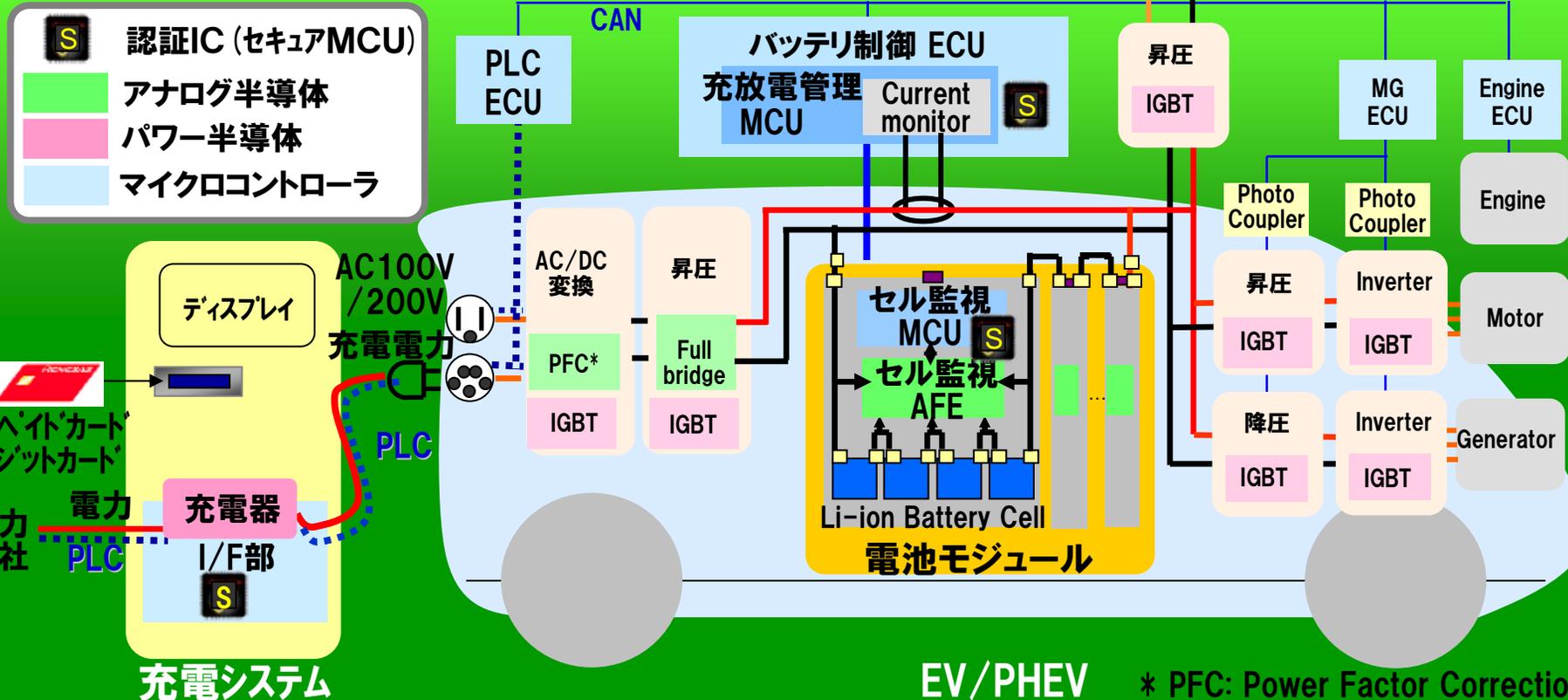
- ・セル監視AFE+MCUによるセル電圧・電流・温度管理

■課金情報および認定バッテリー認識による安全性確保

- ・認証ICによる電池&車両認証

■充電情報通信

- ・PLC通信による充電、課金情報授受容易化



S 認証IC (セキュアMCU)

アナログ半導体

パワー半導体

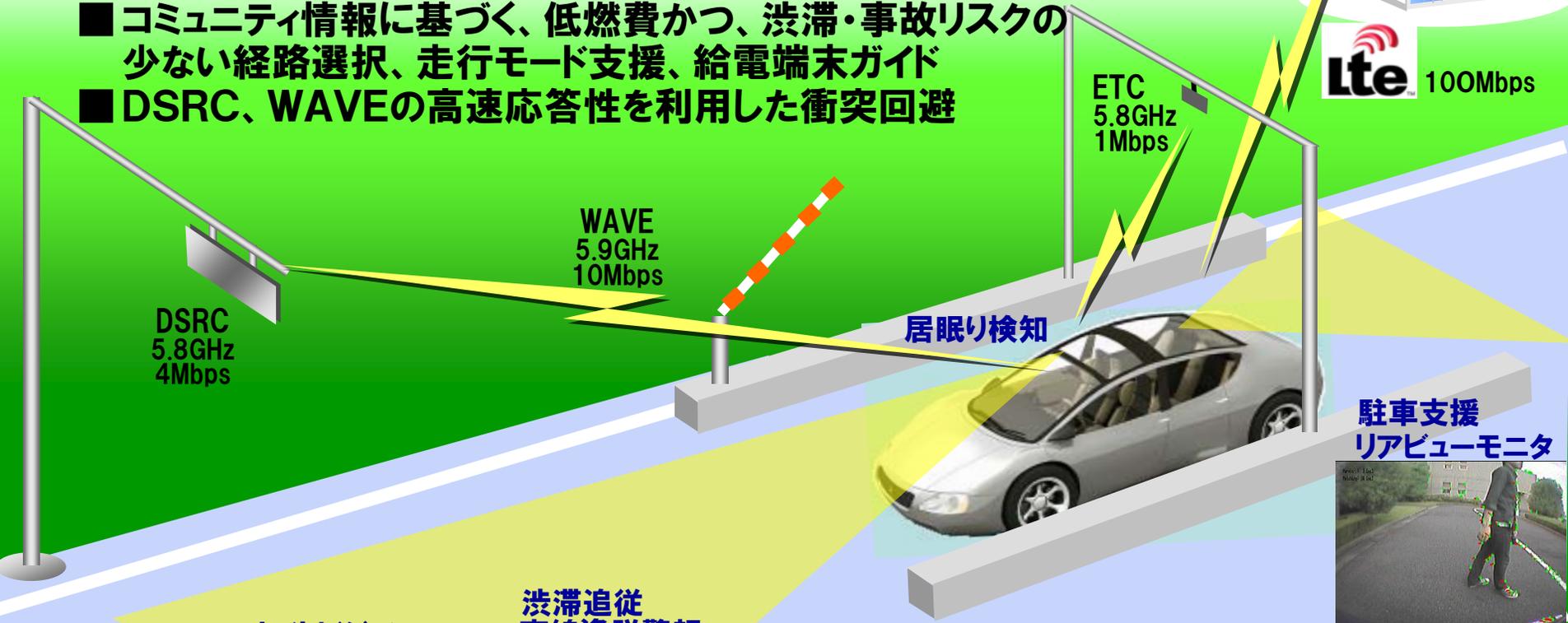
マイクロコントローラ

プライベートカード
クレジットカード

電力会社

ECO運転・安全運転支援デバイス

- カメラ、レーダ+画像認識デバイスによる交通環境、天候環境認識
- LTEによる常時接続機能を利用したコミュニティとの情報共有
- コミュニティ情報に基づく、低燃費かつ、渋滞・事故リスクの少ない経路選択、走行モード支援、給電端末ガイド
- DSRC、WAVEの高速応答性を利用した衝突回避



歩行者認識

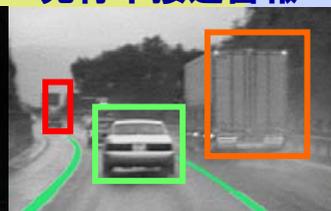
ナイトビジョン
ハイビームアシスト

渋滞追従
車線逸脱警報
先行車接近警報

標識認識

雨滴検知

日射検知



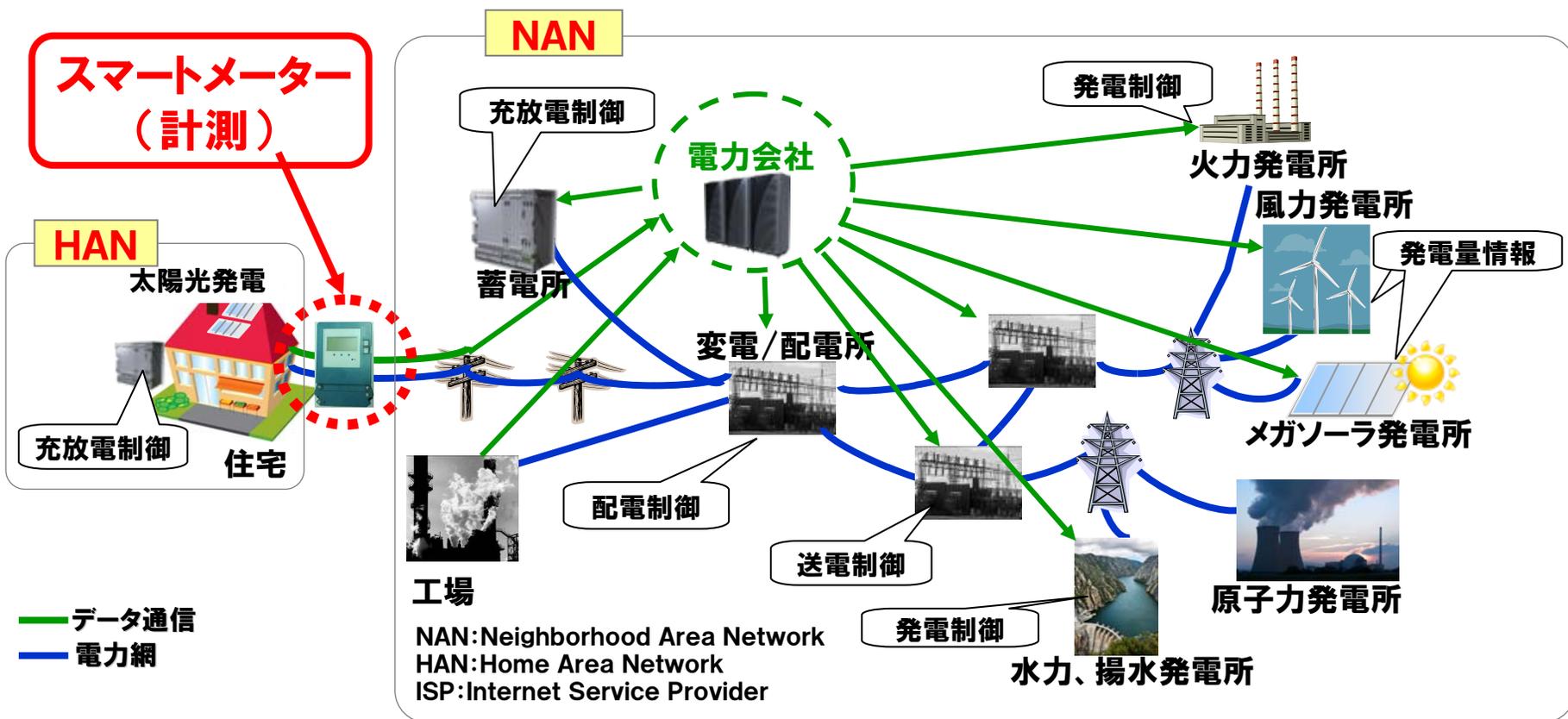
スマートコミュニティ実現に必要な半導体技術

(3)スマートメータ及び無線、PLC

スマートメーターとは

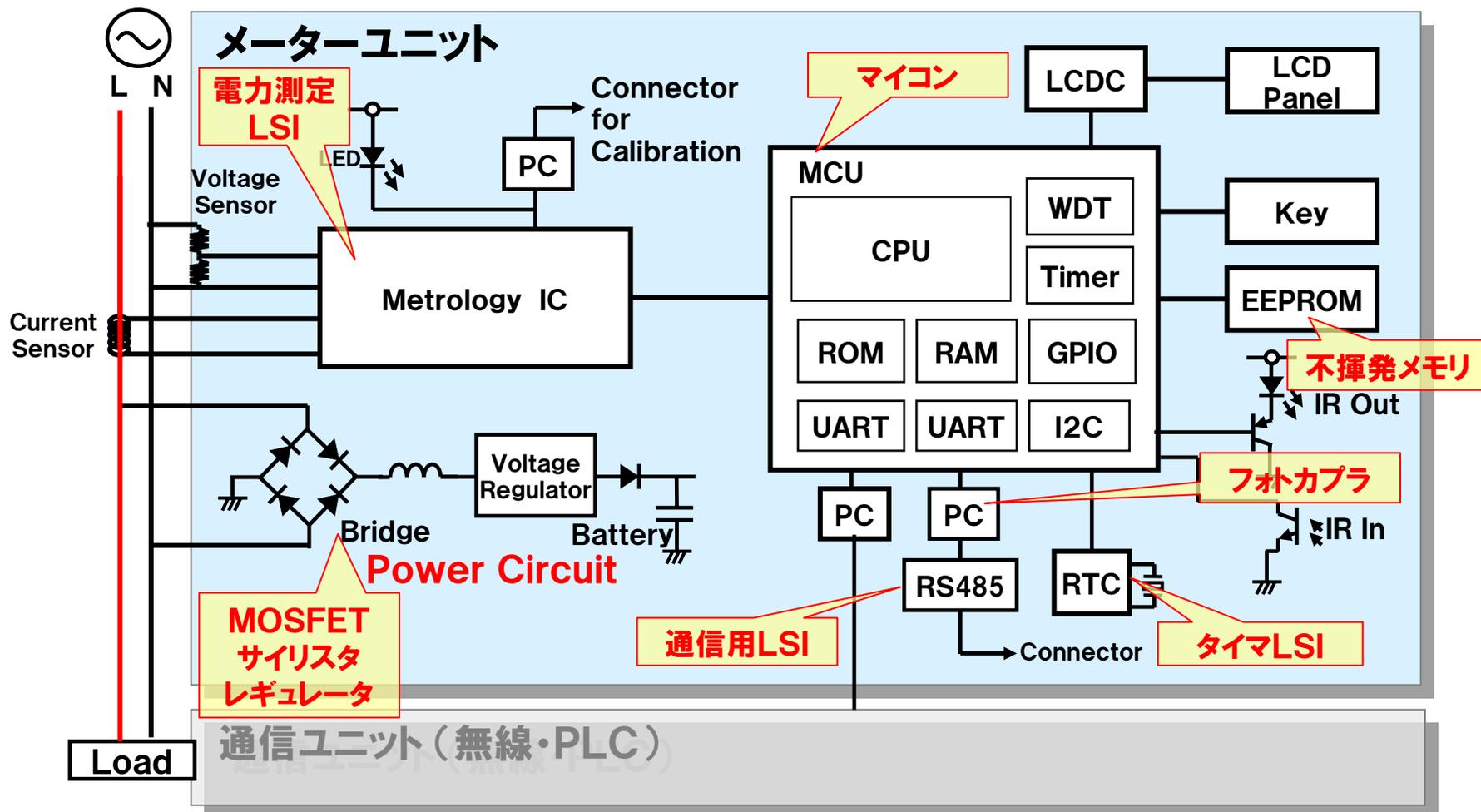
■通信機能を搭載した各種メーター

- ・電力メータ、ガスメーター、水道メーターなど
- ・通信機能搭載で自動検針など付加価値を創造



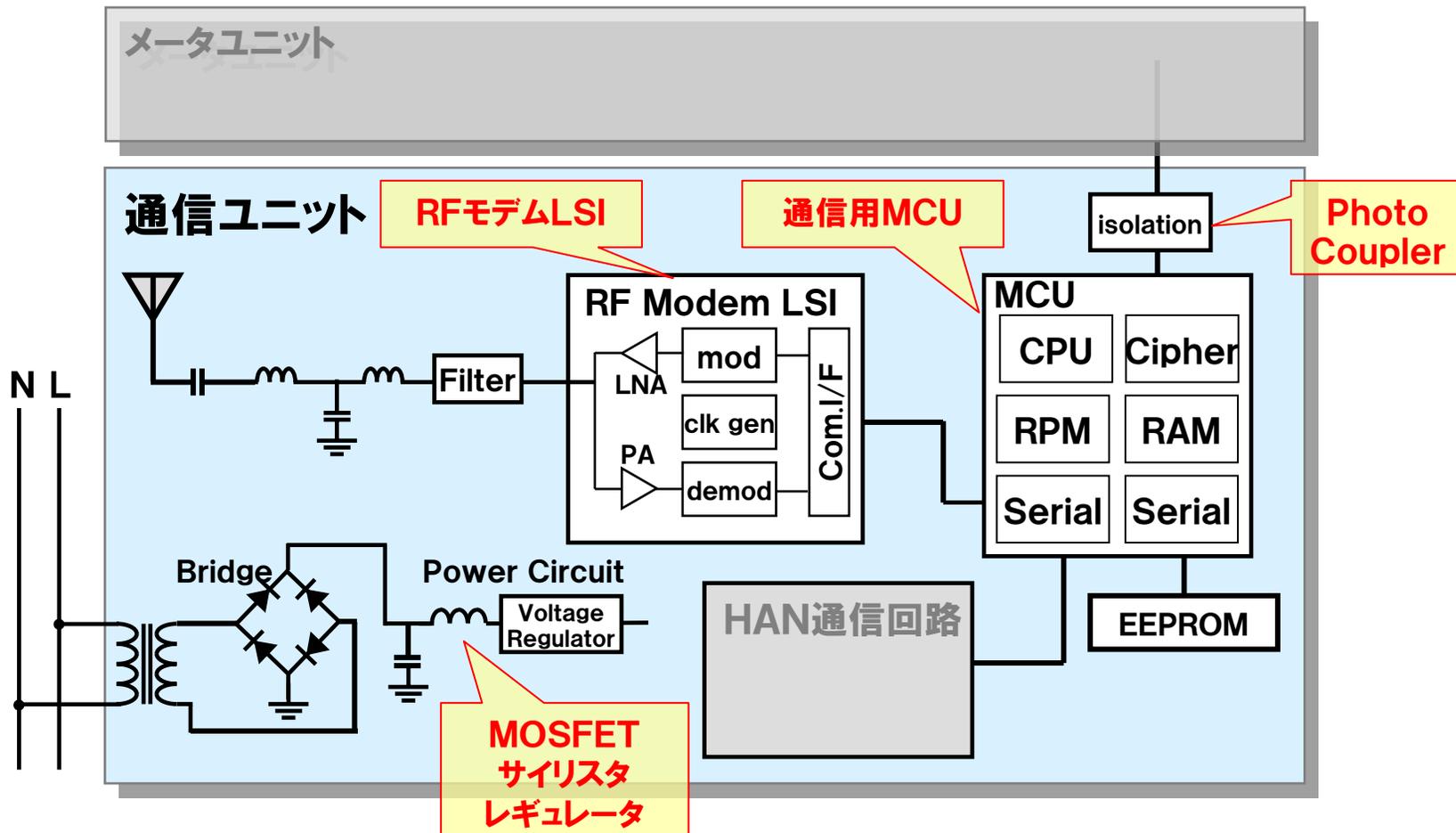
ブロック図(単層2線メータ)

電子化、スマート化により、多数の半導体部品を搭載。高性能化、高集積化に加え、**低消費電力化が重要に。** **アナログのMetrology IC & パワー**



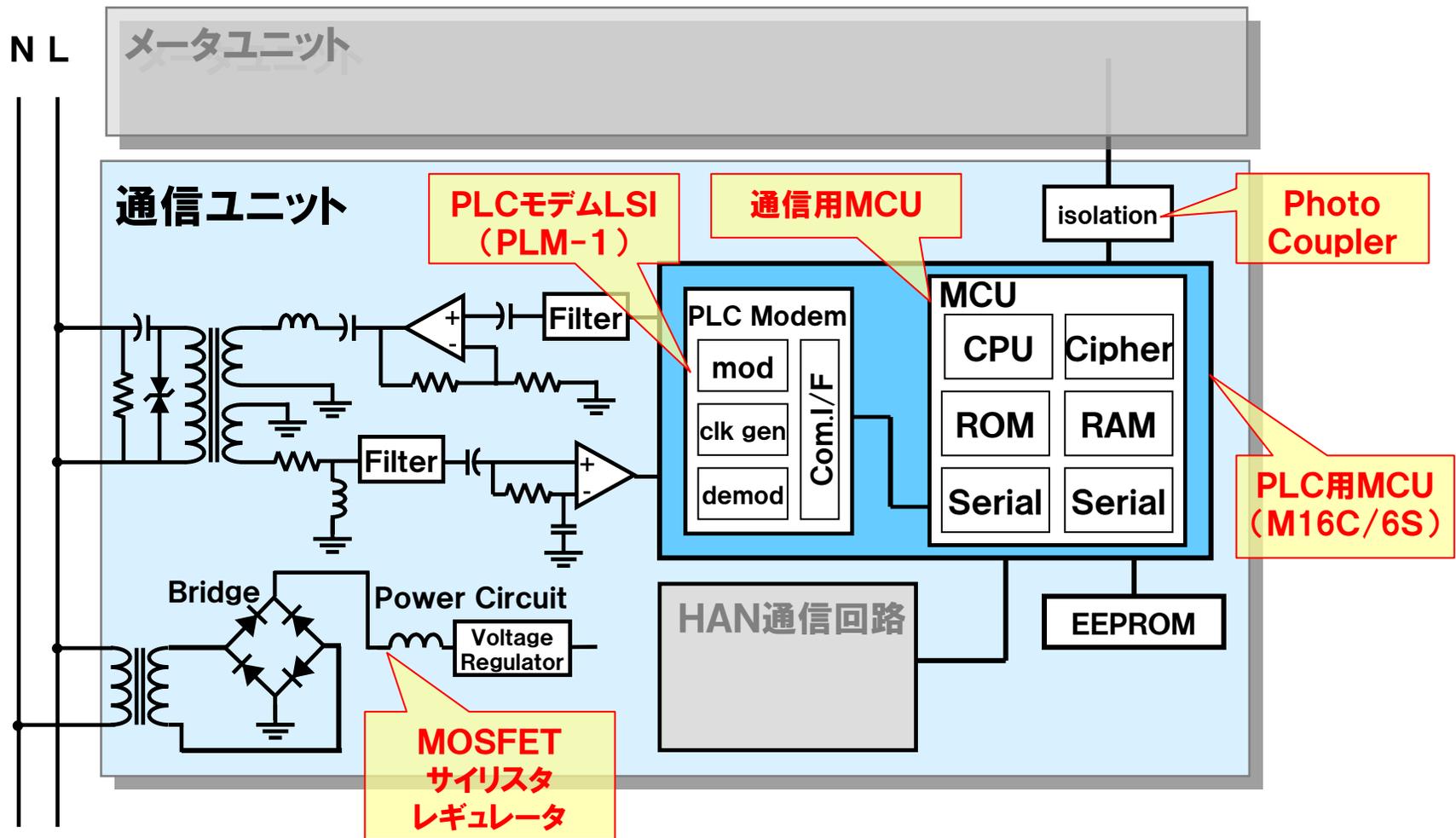
スマートメーターの通信ユニットブロック図(無線通信)

地域毎にRF Modem方式(周波数帯)が異なり、低消費電力化、通信性能に加え、セキュリティが重要。



スマートメーターの通信ユニットブロック図(PLC通信)

地域毎にPLC変調方式が異なるが、低速PLCが主流。ノイズ耐性、低消費電力化、セキュリティが重要。 **PLCミックストシグナルモデム**



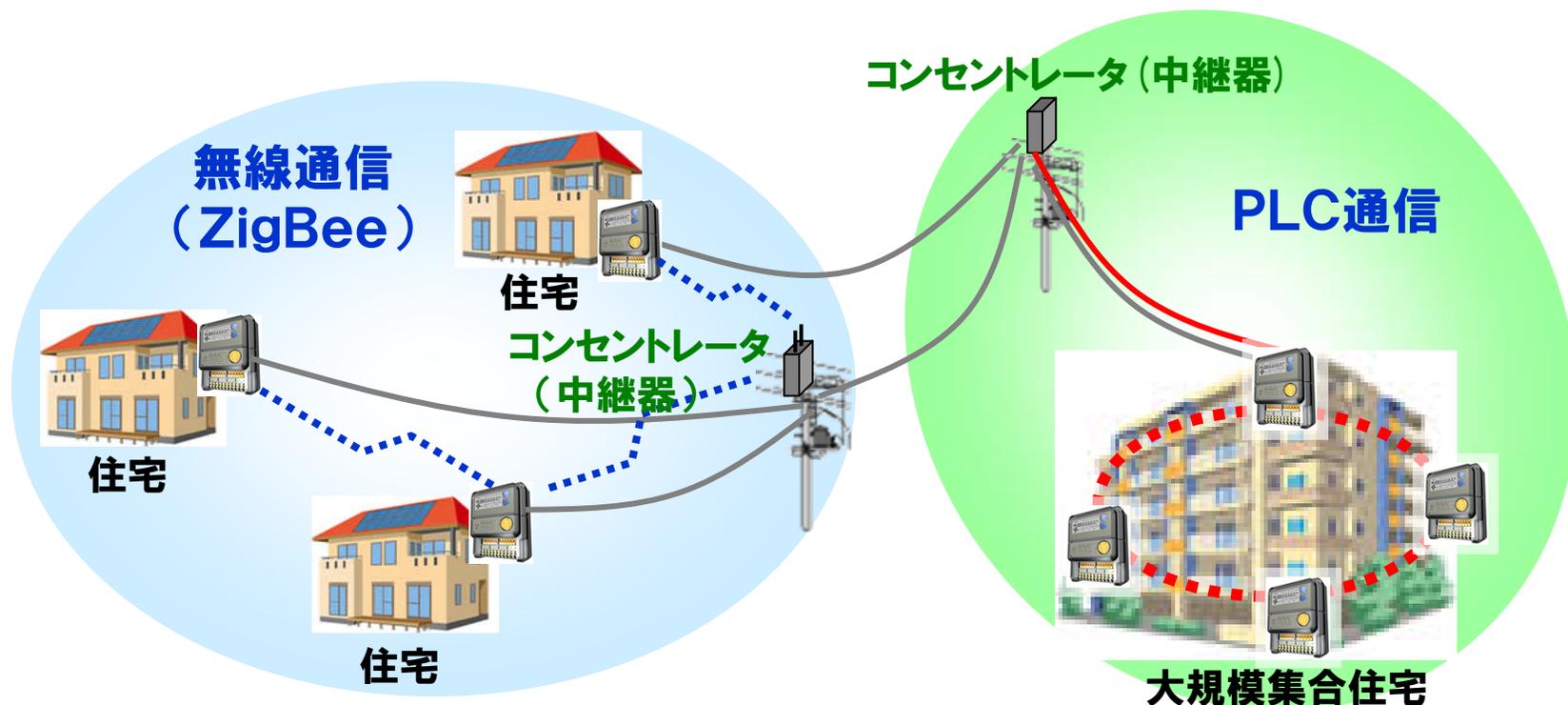
無線・PLC通信方式

住宅構造、設置環境により複数方式を採用

■住宅構造、電力メーター設置場所に合せ、様々な通信方式を利用

- ・一般住宅は無線通信(Zigbee)
- ・一方、大規模集合住宅等はPLC通信が主流

■マルチホップ技術によりコンセントレータのカバー範囲を拡大



スマートコミュニティ実現に必要な アナログ & パワー半導体製品

スマートコミュニティ実現に必要なアナログ & パワー半導体製品

低消費電力化、高効率化を実現した豊富な製品群

自動車(EV/HEV)



パワーMOSFET

世界トップの低電力特性を追求



車載用
40V/180A



600V/20A

IGBT+FRD

600V、1200Vラインナップ拡張



太陽光発電



白物家電(インバータ)



サイリスタ/トライアック

150°C保証品もラインナップ



T0220
絶縁形



T0220

IPD (Intelligent Power Device)

車載用途のラインナップ拡張



スマート電力メータ



デジタル家電(電源)



アナログ製品

低消費電力の豊富な
ラインナップ拡張



LED
ドライバ



PFC

フォトカプラ

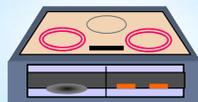
ラインナップ充実



通信機器



オール家電機器



白物家電

LED照明



FRD: 高速Recoveryダイオード

まとめ

1. 過去40年間、半導体はムーアの法則に従った微細化の進展で、性能向上、低価格化を図って、繁栄したが、微細化は物理的限界が近づき、経済的にも製造コスト、開発コストが上がるため、投資効率が悪くなってきている。
2. しかしながら電子産業の中で半導体の重要性は継続する。微細化以外の付加価値向上手段はさまざまあり、その一つは機能多様化(モアザンムーア)である。
3. ユビキタス時代の、どこでも通信ができ、コネクティビティが成り立っているという世界では、アナログやミックスドシグナル、RF関連は機能多様化として、重要性が増した。
4. さらに便利で安全・豊かなスマート・コミュニティ実現には、インフラ、社会システム構築が必要であり、その実現にはアナログ/RF/パワーを含む多様な機能を持つ最新の半導体技術が必要。
5. 等価的な微細化の研究開発はこれからも継続されるが、半導体事業は微細化以外の機能多様化による顧客価値創造や、IDM(垂直統合型半導体製造メーカー)としての特色の出せる半導体を開発して、これからも成長を続けることは間違いない。

参考文献

- 1) 佐野 昌: 岐路に立つ半導体産業 -激変する海外メーカーの戦略と日本メーカーの取るべき選択-, B&Tブックス、日刊工業新聞社
- 2) ITRSロードマップ 2009年版: Web: <http://strj-jeita.elisasp.net/strj/ITRS09/Roadmap-2009.htm>
- 3) 中屋雅夫 「ここまで来ている先端システムLSIと社会への貢献」 東京都市大学 渋谷コロキウム アナログとデジタルで作る豊かな世界、 2009/4/30
- 4) 赤尾 泰 「スマートコミュニティの実現を支える半導体技術」 CEATEC キーノートスピーチ 2010/10/06



ルネサス エレクトロニクス株式会社