高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムの創出

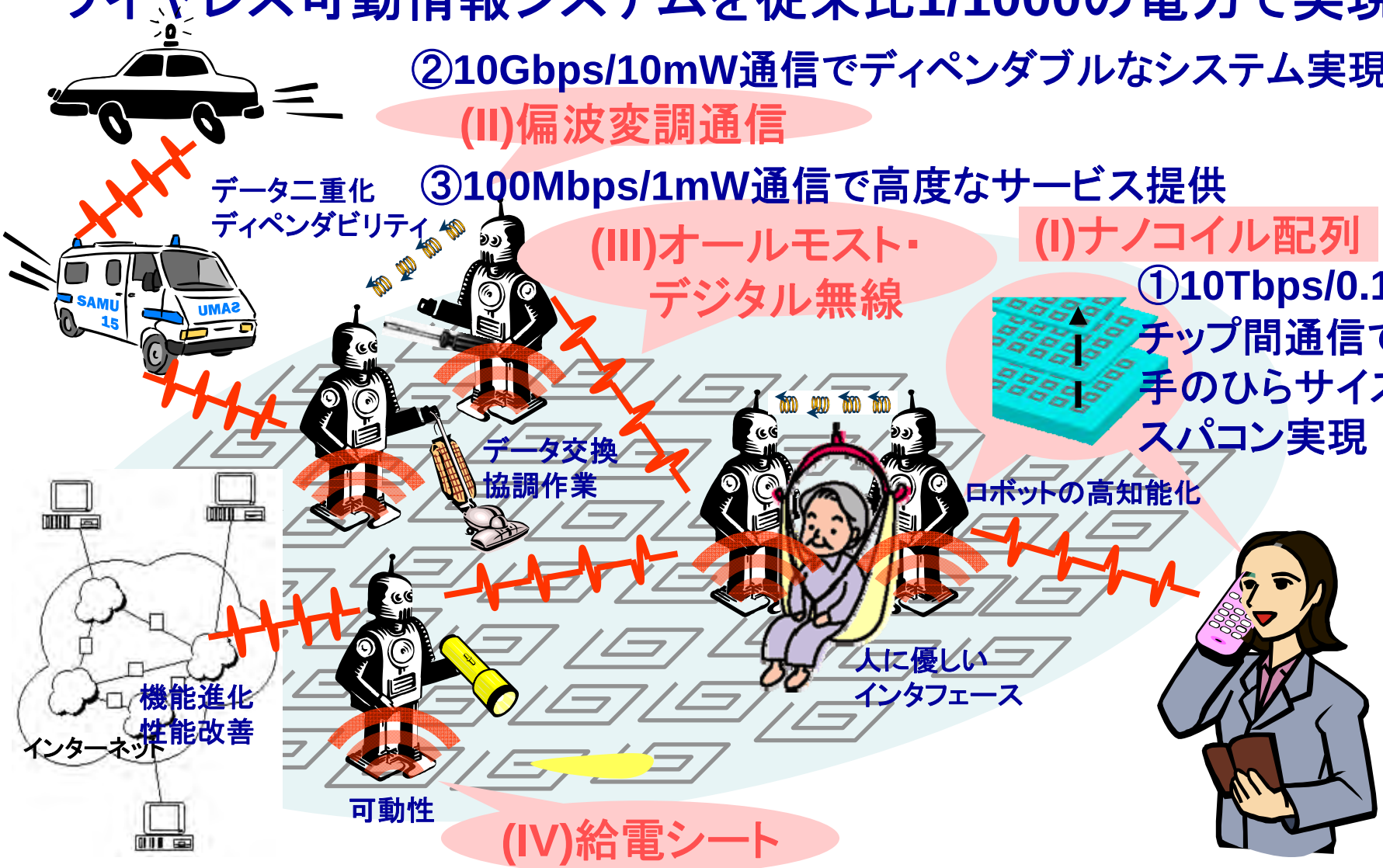
- 時空間の適応制御による電力の1/1000化 -

黒田 忠広（慶應義塾大学理工学部教授）
藤島 実　（広島大学大学院先端物質科学研究科教授）
染谷 隆夫（東京大学大学院工学系研究科教授）
高宮 真　（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター准教授）

1）最終目標達成の報告
2）学術・技術への波及効果

アプリケーションから見た研究俯瞰図

ワイヤレス可動情報システムを従来比1/1000の電力で実現



技術から見た研究俯瞰図

エネルギー給電　　データ通信

距離

環境からの給電

(Ⅳ) 給電シート
大面積スイッチ
有機トランジスタ
染谷

m

cm

μm

端末間通信

(Ⅲ) オールモスト・デジタル無線
100Mbps/1mW
高宮

(Ⅱ) 偏波変調通信
10Gbps/10mW
藤島

チップ間通信

(Ⅰ) ナノコイル配列
10Tbps/100mW
黒田

新技術の創出（速度と電力の時空間的な最適化と適応制御）

時間的選択（離散時間、デジタル）
- ・オールモスト・デジタル無線
- ・フラッシング動作アナログ
- ・しきい値適応制御
- ・スイッチアンテナ

- ・集束パルス
- ・偏波変調
- ・高指向性構造
- ・アクティブ・クロストーク・キャンセル
- ・ナノデイジー・チェーン
- ・直交磁界分割多重

空間的選択
（極短距離、高密度、超並列）

現在の技術よりも2桁高速で3桁低電力

研究マイルストーン

項目	2年度 （2006年度）	3年度 （2007年度）	4年度 （2008年度）	5年度 （2009年度）
(I)チップ間 ナノコイル 黒田	1Tbps/1W 電子と磁界の総合設計理論	10Tbps/10W 電子や磁界の利用効率改善	10Tbps/1W 速度と電力の最適化	10Tbps/100mW （10fJ/b） QoS適応制御
(II)端末間 至近距離 藤島	1Gbps/1W 偏波変調検証	1Gbps/10mW 待機電力ゼロ化	10Gbps/100mW 16偏波変調QAM	10Gbps/10mW （1pJ/b） アンテナ指向性
(III)端末間 短距離 高宮	1Mbps/1mW 通信方式の原理実証	100Mbps/100mW しきい値適応制御技術の適用	100Mbps/10mW フラッシング技術の適用	100Mbps/1mW （10pJ/b） バランス最適化
(IV)給電 シート 染谷	アンテナアレイ最適化により1/10に低減	30x30cm^{2}プロトタイプの試作	1x1m^{2}大面積プロトタイプの試作	システム最適化により消費電力を1/1000に低減

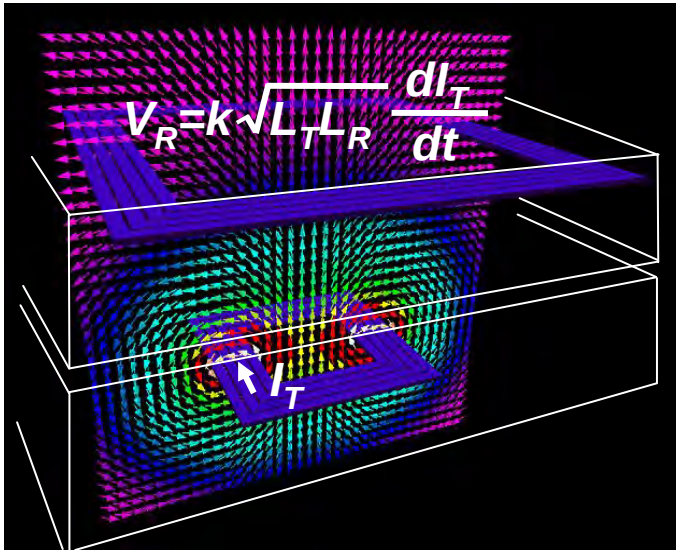
最終年度（2010年度）：総仕上げ（成果報告）

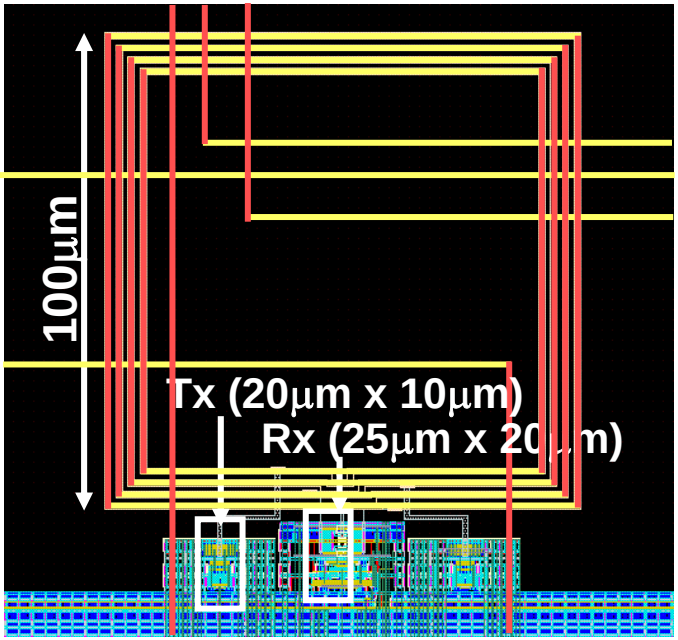
成果

成果	件数	インパクトの大きな業績	件数
原著論文	51 (2.6)	IEEE JSSC	9 (0.5)
		Appl. Phys. Lett.	13 (0.7)
		Nature Materials	2 (0.1)
国際学会発表	184 (9.2)	ISSCC	10 (0.5)
招待講演	87 (4.4)	IEDM	4 (0.2)
口頭講演	88 (4.4)	Symp. on VLSI Circ./Tech.	15 (0.8)
ポスター	9 (0.5)	CICC	3 (0.2)
		A-SSCC	11 (0.6)
国内学会発表	145 (7.3)		
新聞発表	28 (1.4)	日本経済新聞/日経産業新聞	13 (0.7)
		日経エレクトロニクス	1 (0.1)
		BBC Focus	1 (0.1)
		Business Week	1 (0.1)
		Forbes	1 (0.1)
		Nature News	1 (0.1)
		IEEE Spectrum	1 (0.1)
特許出願	1 (0.1)	積層チップ選択回路	
受賞	25 (1.3)	2009年IEEE T-EDベストペーパー賞	

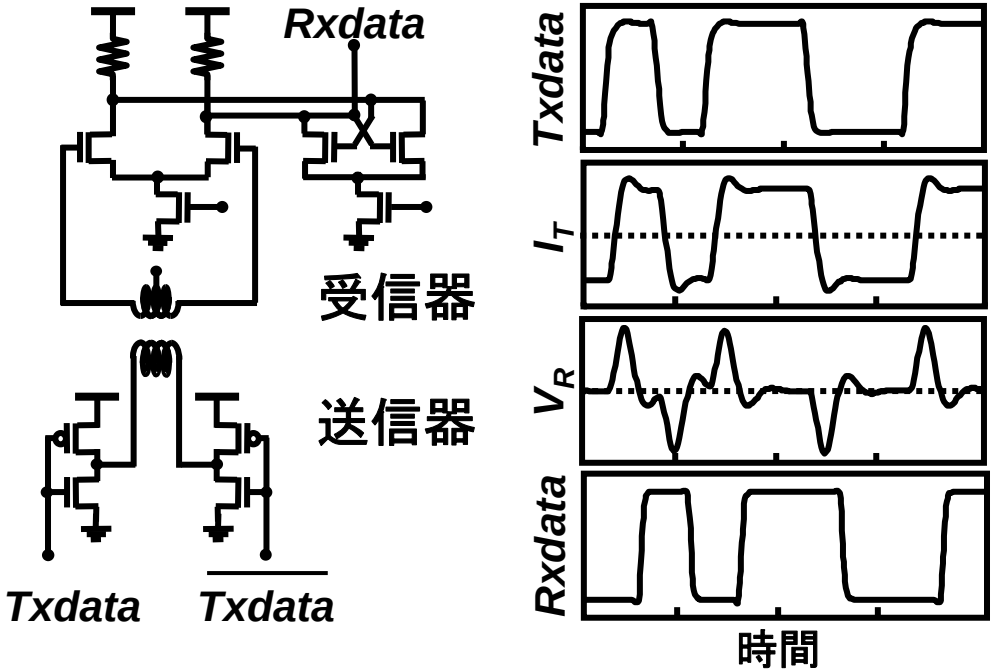
※件数欄括弧内の数値は、年間一人当たりの発表件数

[1] チップ間通信 ThruChip Interface



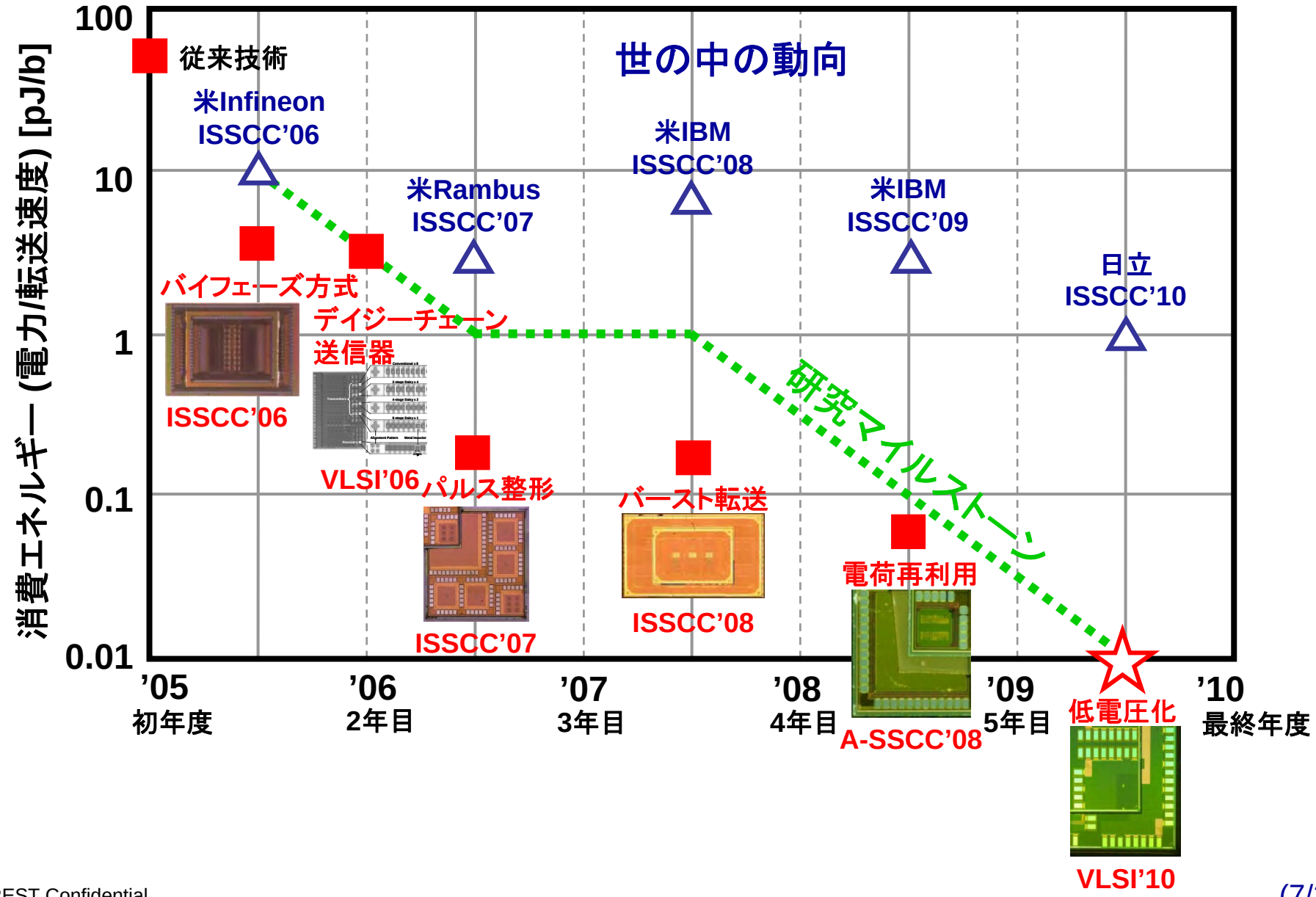


- 誘導結合通信
- デジタルCMOS回路

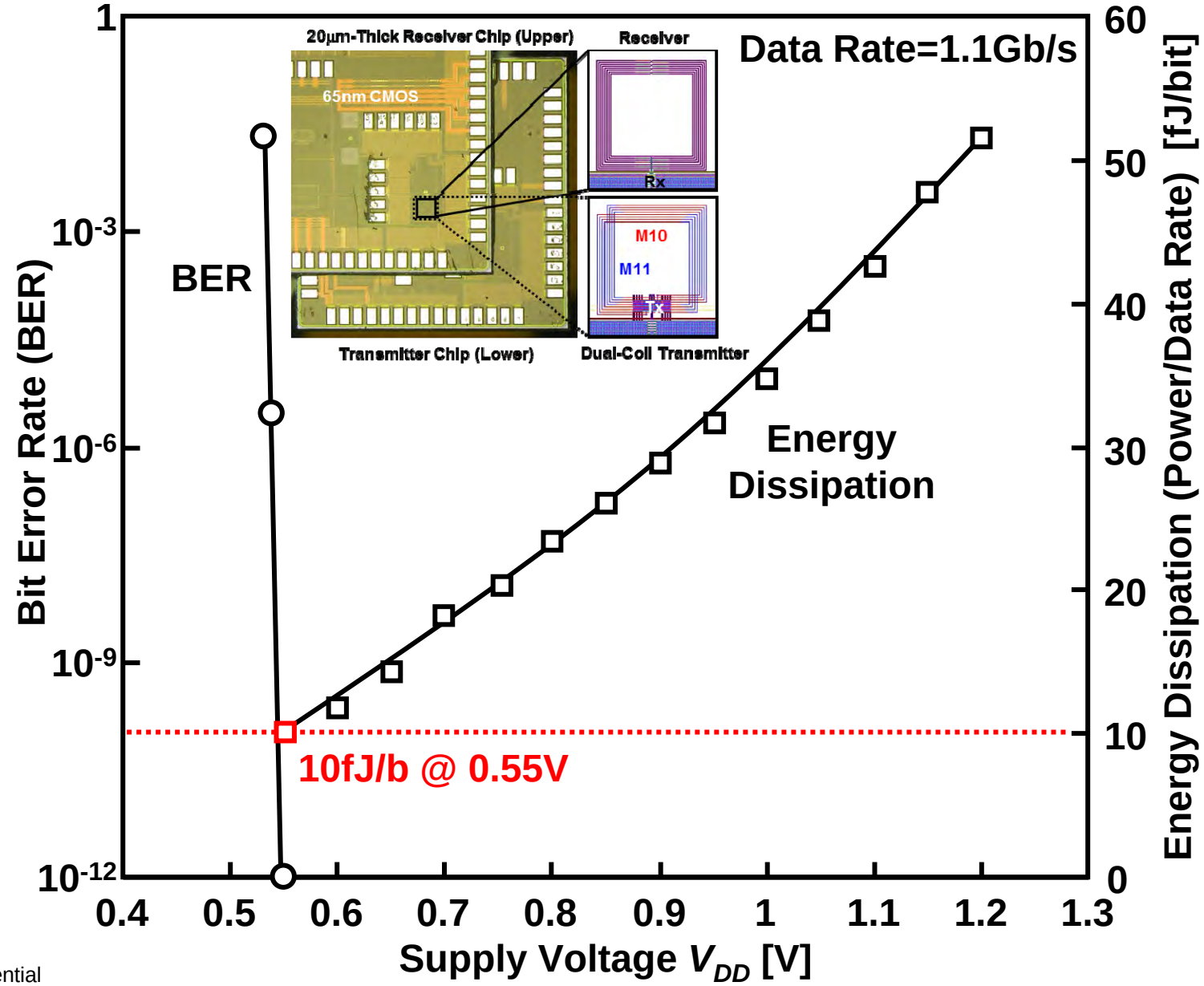


- 多層配線で巻いたコイル
  - ロジック配線がコイルを通過できる
  - コイルはチップのどこにでも配置できる（SRAMセル上でも構わない）

マイルストーン

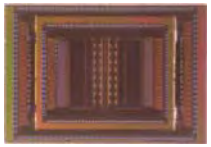

消費エネルギー (電力/転送速度) [pJ/b]
100
10
1
0.1
0.01
従来技術
世の中の動向
米Infineon
ISSCC'06
米Rambus
ISSCC'07
米IBM
ISSCC'08
米IBM
ISSCC'09
日立
ISSCC'10
バイフェーズ方式
ISSCC'06
デイジーチェーン
送信器
VLSI'06
パルス整形
ISSCC'07
バースト転送
ISSCC'08
電荷再利用
A-SSCC'08
低電圧化
VLSI'10
研究マイルストーン
'05
初年度
'06
2年目
'07
3年目
'08
4年目
'09
5年目
'10
最終年度

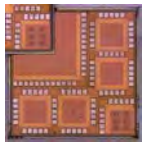
目標（10fJ/b）達成


Data Rate=1.1Gb/s
20μm-Thick Receiver Chip (Upper)
Receiver
65nm CMOS
Rx
M10
M11
Tx
Transmitter Chip (Lower)
Dual-Coil Transmitter
BER
Energy Dissipation
10fJ/b @ 0.55V
Bit Error Rate (BER)
Energy Dissipation (Power/Data Rate) [fJ/bit]
Supply Voltage V_{DD} [V]
1
10^{-3}
10^{-6}
10^{-9}
10^{-12}
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
60
50
40
30
20
10
0

論文発表

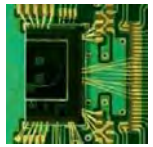
■ ISSCC で10件発表

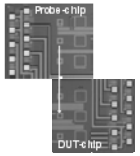

ISSCC’06


ISSCC’07

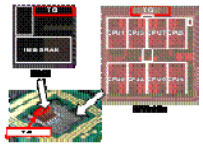
ISSCC’07

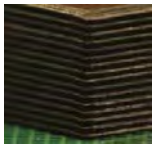
ISSCC’08


ISSCC’09

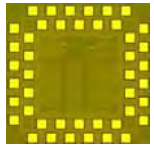


ISSCC’09

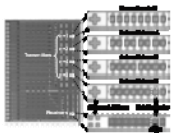

ISSCC’09

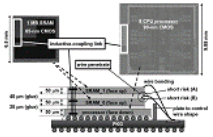

ISSCC’10

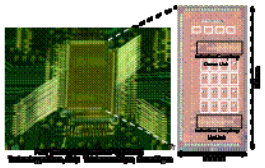
ISSCC’10

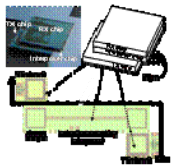

ISSCC’10

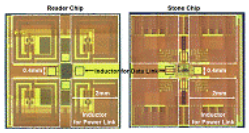
■ VLSI 回路シンポジウムで7件発表


SOVC’06

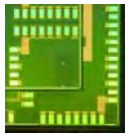

SOVC’09


SOVC’09


SOVC’09


SOVC’09

SOVC’10

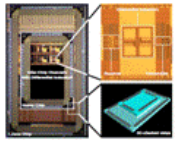

SOVC’10

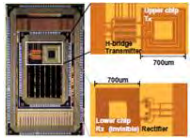
■ CICCで2件発表

CICC’07

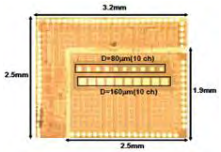
CICC’09

■ A-SSCCで9件発表


A-SSCC’07

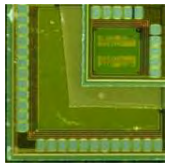


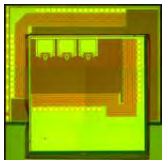
A-SSCC’07

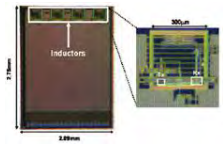


A-SSCC’07

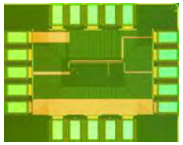
A-SSCC’08

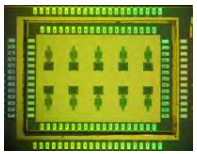

A-SSCC’08


A-SSCC’09



A-SSCC’09

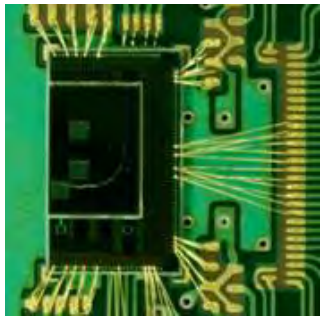

A-SSCC’10


A-SSCC’10

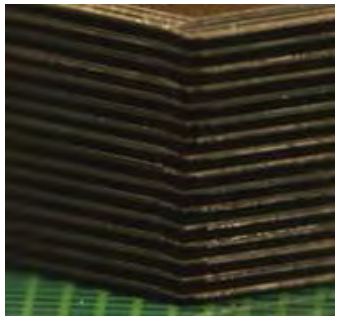
■ JSSC で8編、IEICEで3編の論文発表

実用化研究

■ 基礎研究を終え実用段階

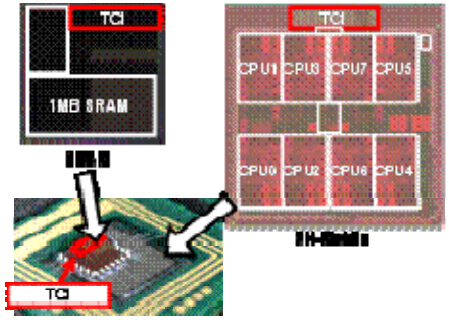


ISSCC’09

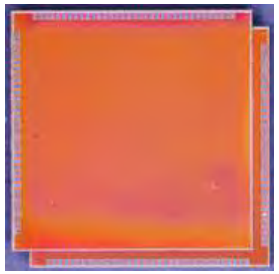


ISSCC’10

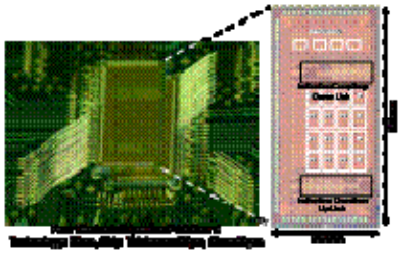
積層メモリ



ISSCC’09, VLSI’09

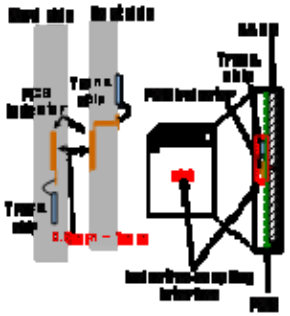


ISSCC’10



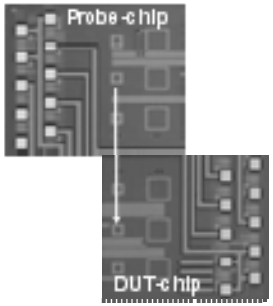
VLSI’09

プロセッサ・メモリ高速リンク　積層プロセッサ



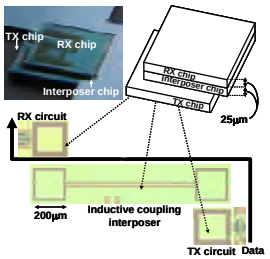
ISSCC’10

VLSI’09



ISSCC’09

ISSCC’07, A-SSCC’08

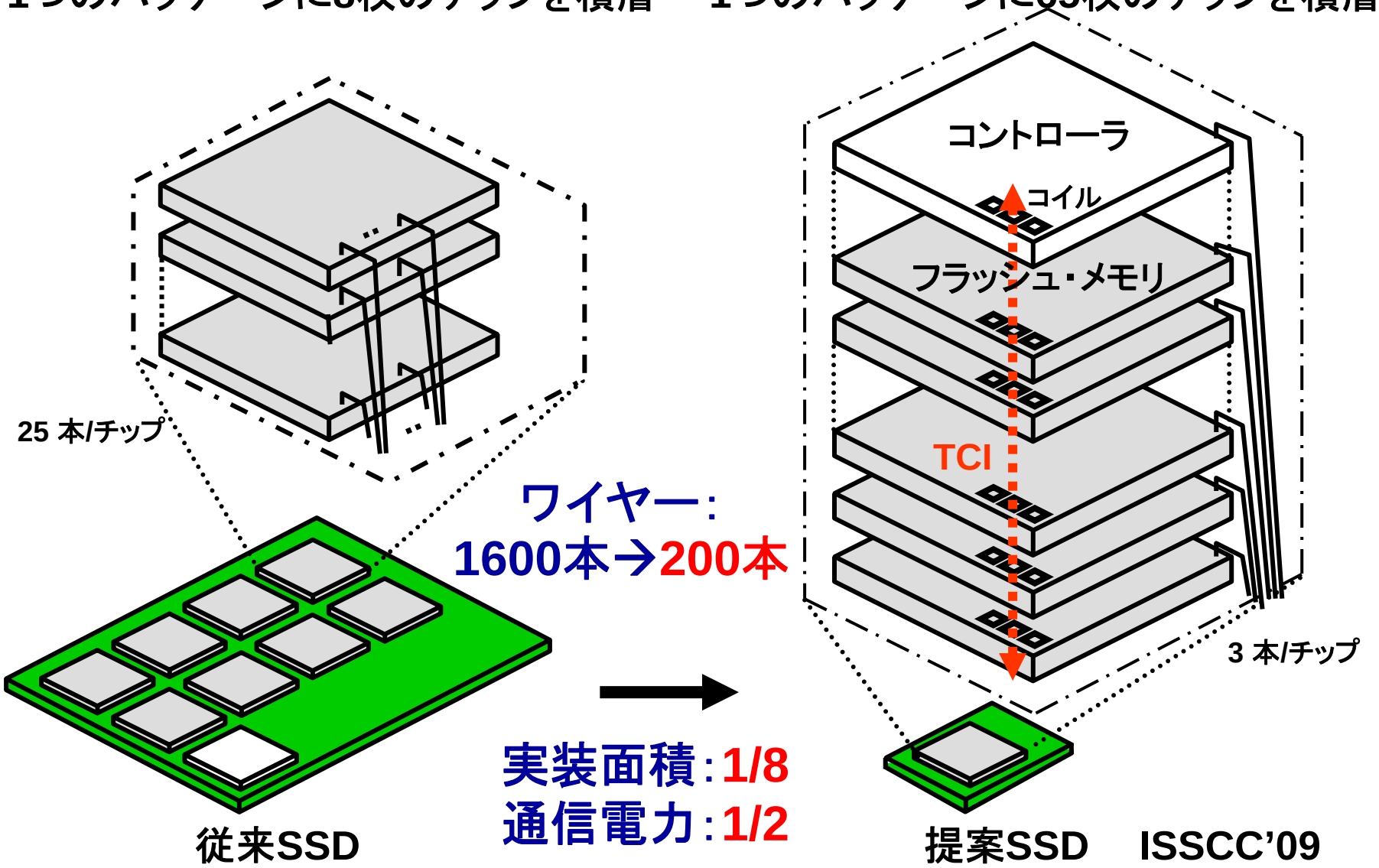


VLSI’09

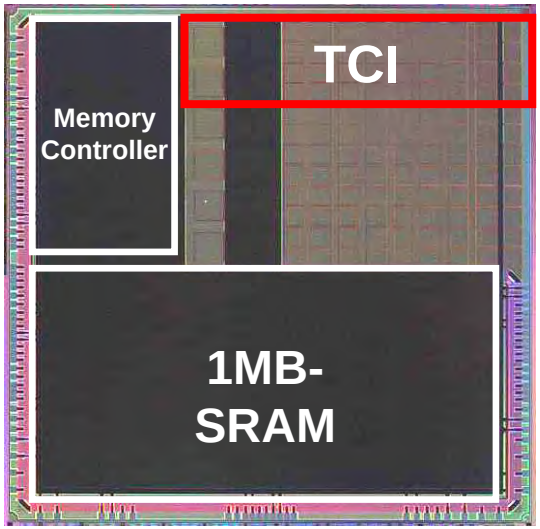
非接触メモリ　非接触ウェハテスト　バスプローブ　インタポーザ

メモリの積層：SSD

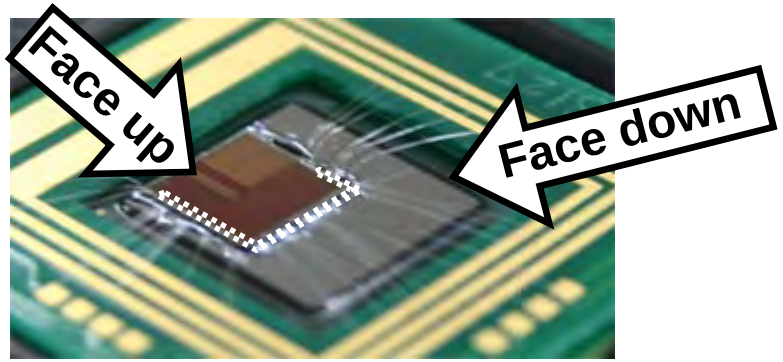
1つのパッケージに8枚のチップを積層　　1つのパッケージに65枚のチップを積層

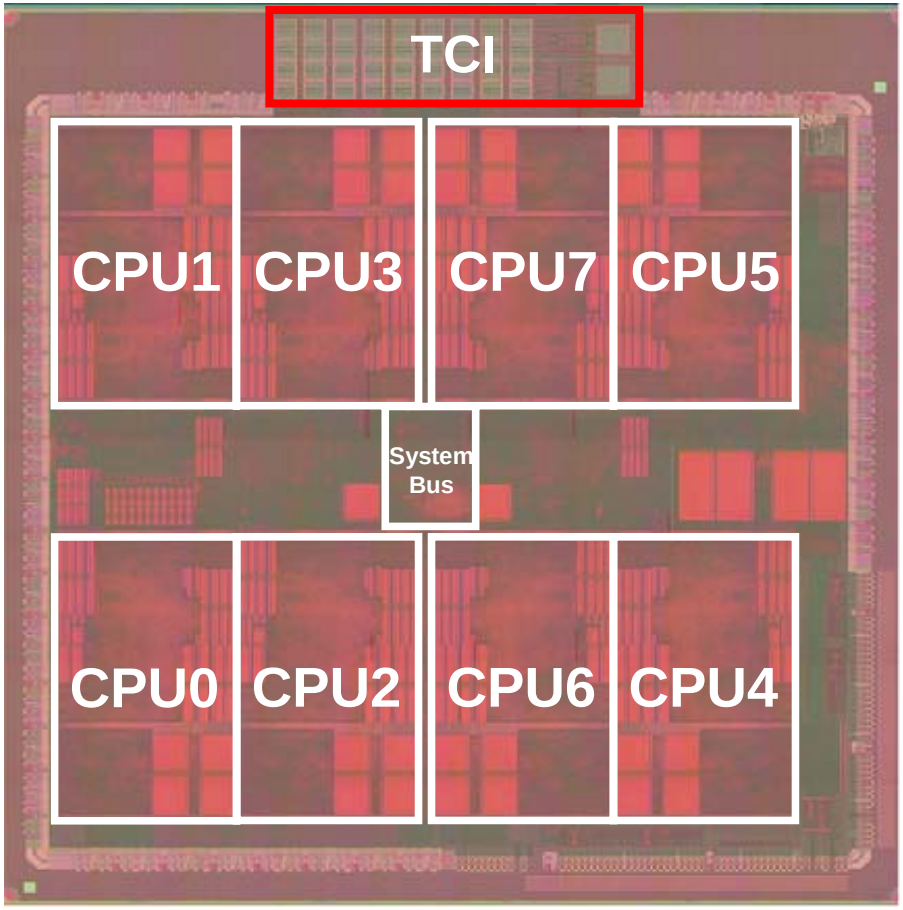


プロセッサとメモリの結合



SRAM in 65nm CMOS at 1.2V



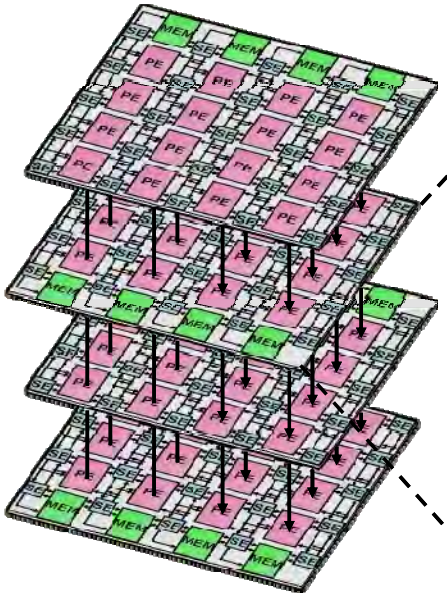


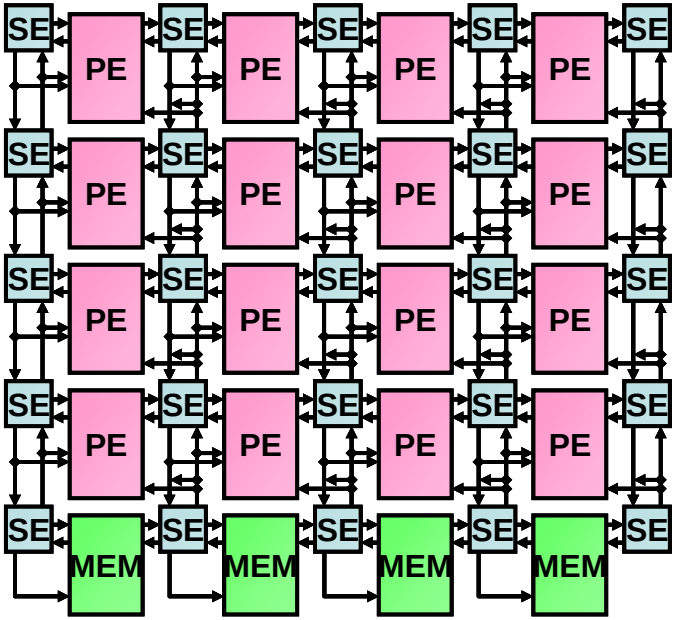
Processor in 90nm CMOS at 1.0V

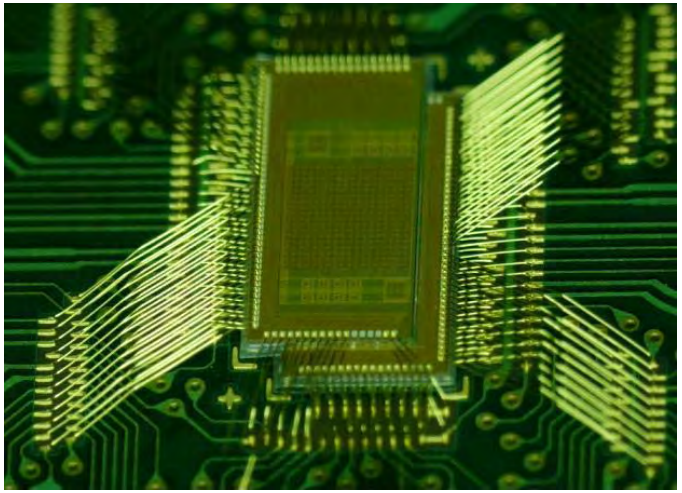
エネルギー消費: 1pJ/b (1/30 of DDR2)
レイアウト面積: 0.15mm^2/Gps (1/3 of DDR2)

ISSCC'09
VLSI'09

プロセッサの積層：動的再構成プロセッサ

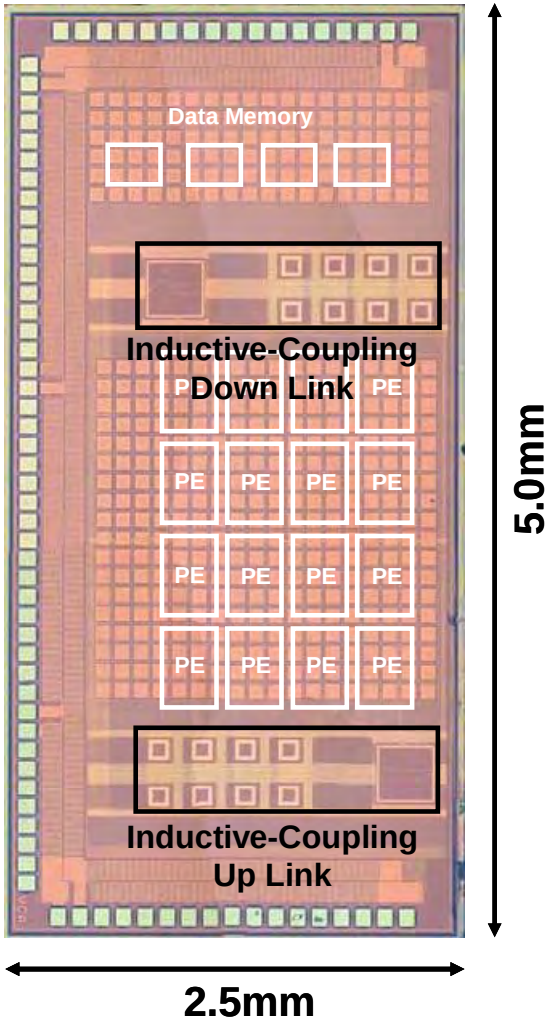






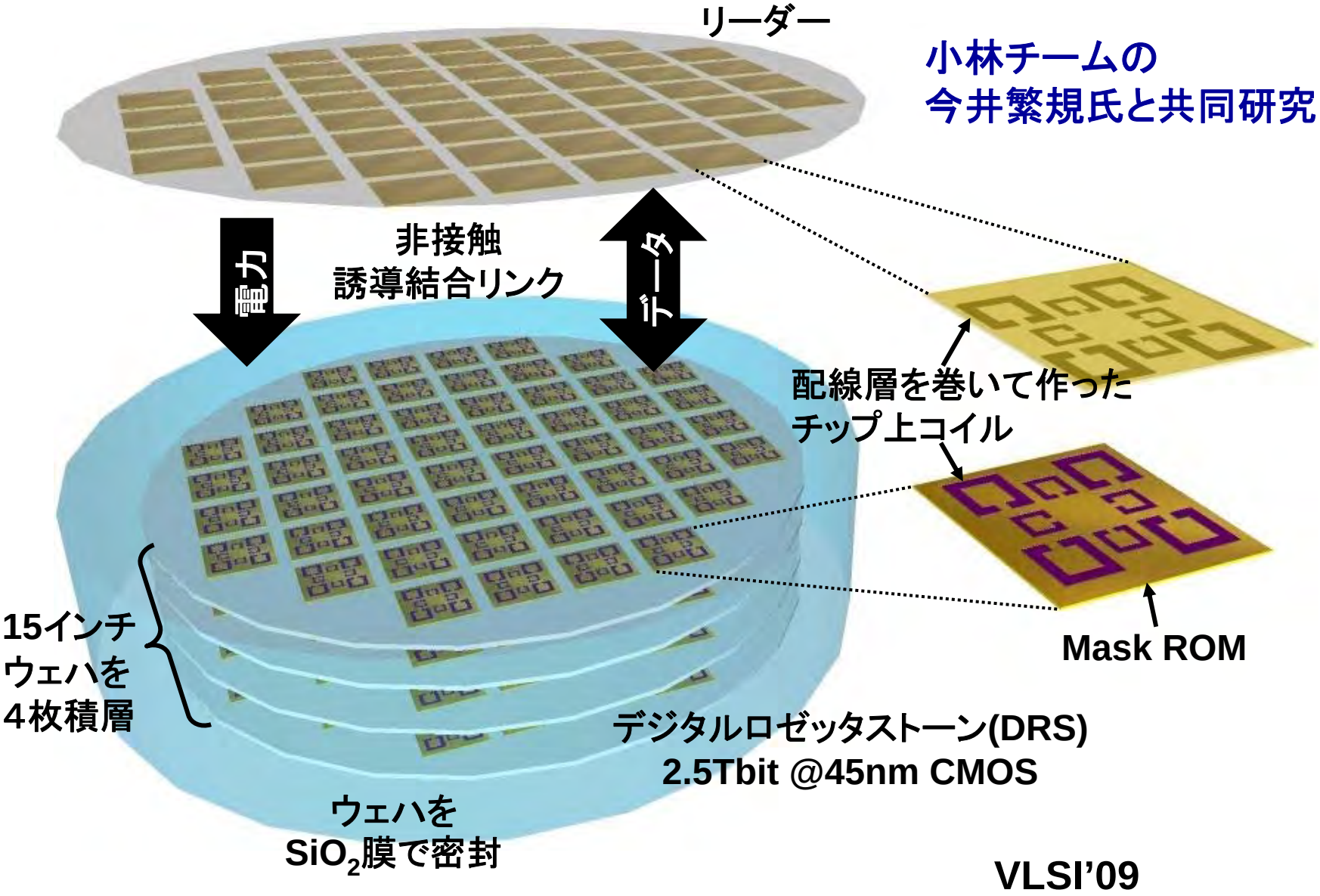
中村チームの
天野教授と共同研究

中村チームとの
連携シナジー効果



VLSI'09

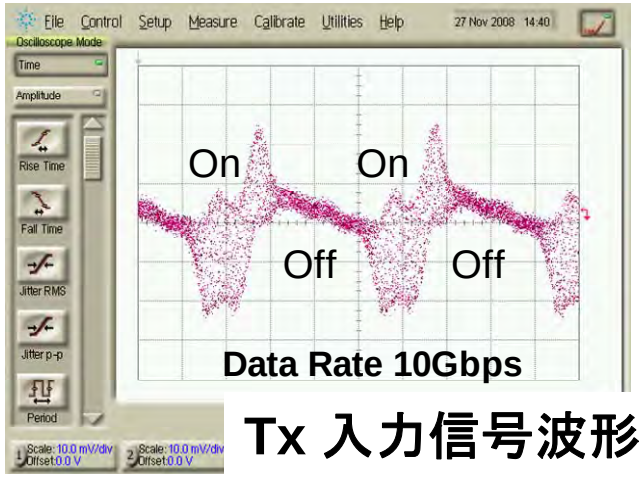
デジタルロゼッタストーン



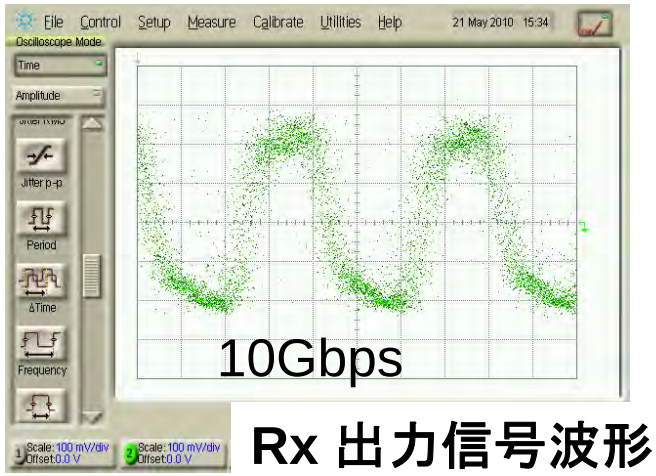
VLSI'09

[2] ミリ波パルス通信：概要と成果例

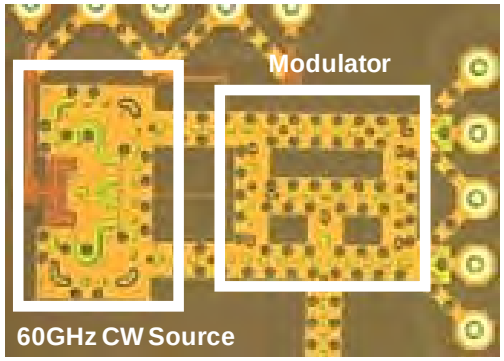
ミリ波パルス通信のキーコンセプト：ミリ波パルス通信を用いて高速・低電力化
➔（例）送信回路のミリ波スイッチング技術、受信回路のパルス検出技術



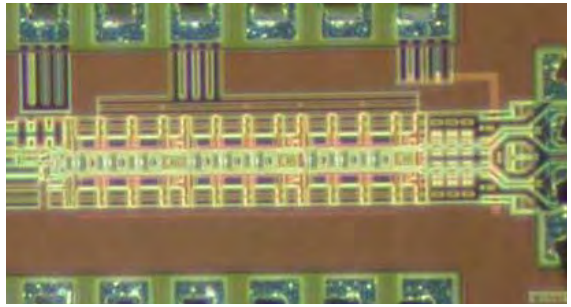
Tx 入力信号波形



Rx 出力信号波形



送信回路
チップ写真
(GSMM2009)

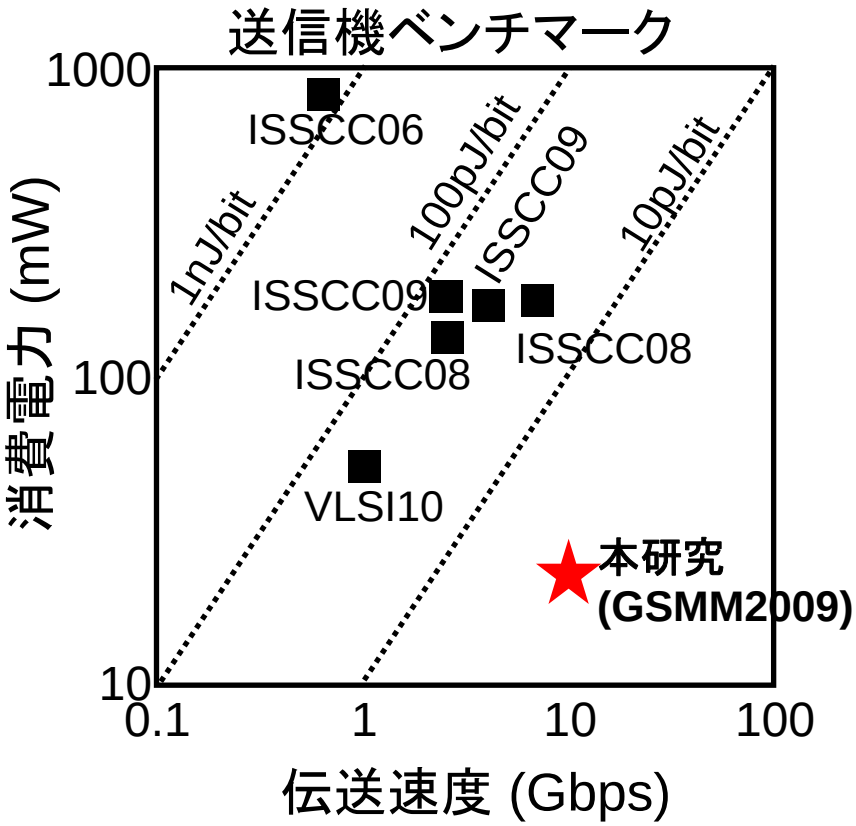


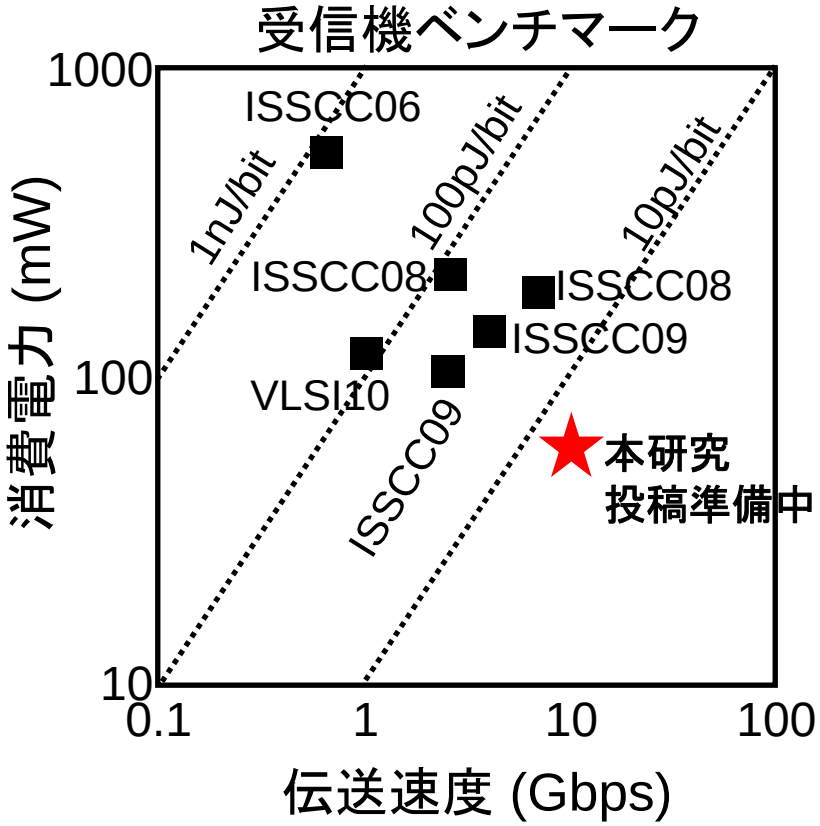
受信回路
チップ写真
(投稿準備中)

10Gbps, 81mW (23mW(Tx)/58mW(Rx))
ミリ波帯送受信機としては世界最小電力

10Gbps/10mWのCREST当初目標をほぼ達成

[2] ミリ波パルス通信：ベンチマーキング

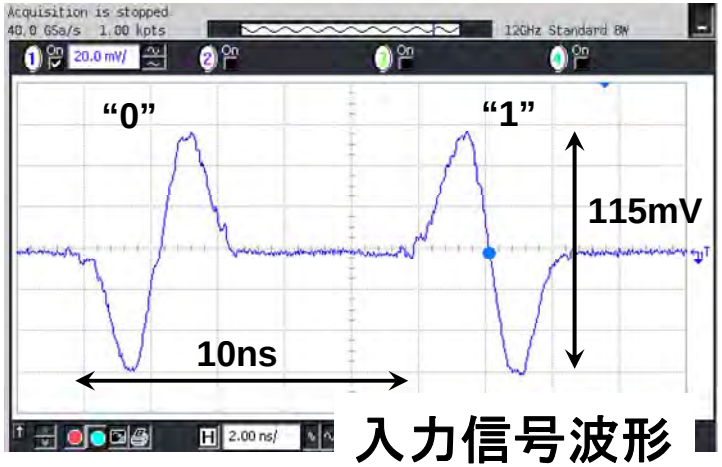




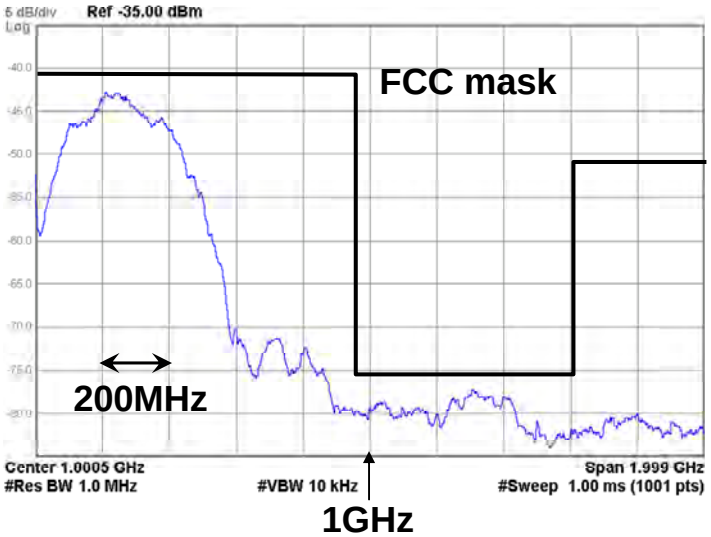
ミリ波パルス無線技術による低電力化を実証

[3] オールモストデジタル：概要と成果例

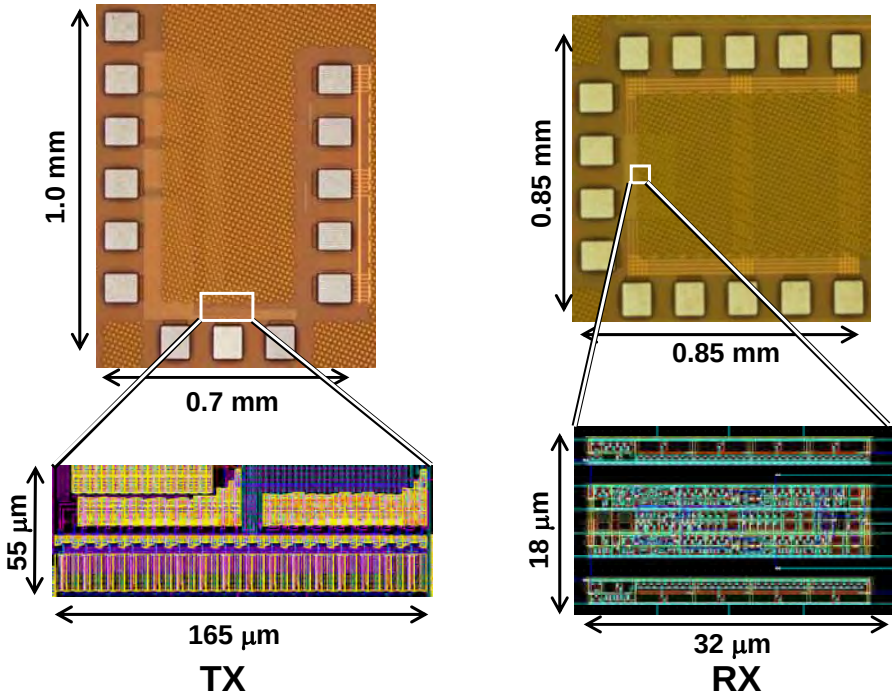
オールモストデジタル無線のキーコンセプト：無線回路をデジタル化して低電力化
➔（例）送信回路のデジタル波形整形技術、受信回路のサンプリング相関技術



入力信号波形



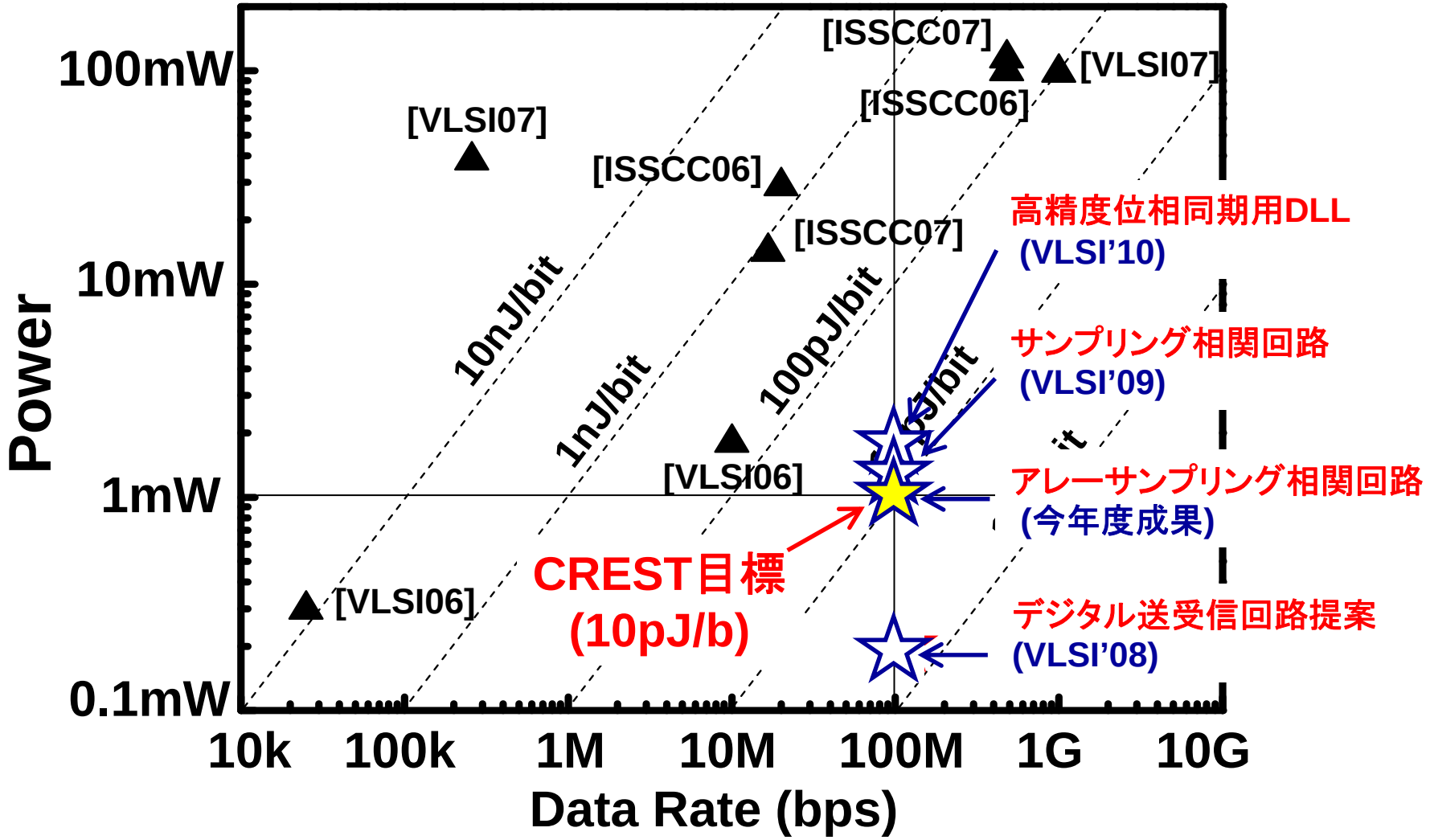
入力信号スペクトラム



90nm, インパルスUWB, 100Mbps, 0.41mW
UWBトランシーバとしては世界最小電力

[3] オールモストデジタル：ベンチマーキング

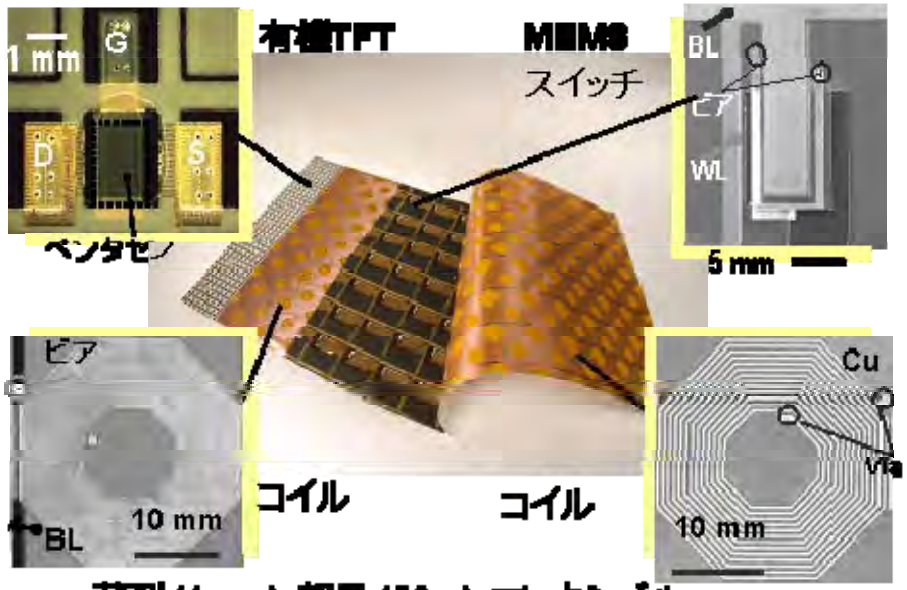
オールモスト･デジタル無線技術による低電力化を実証



UWB受信回路の比較

[4] 給電シート:これまでの成果

無線給電シート



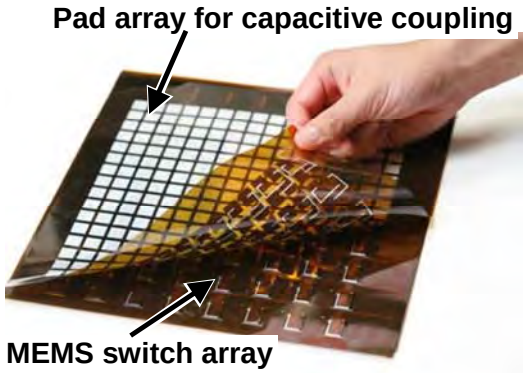
薄型 (1mm), 軽量 (50 g), フレキシブル

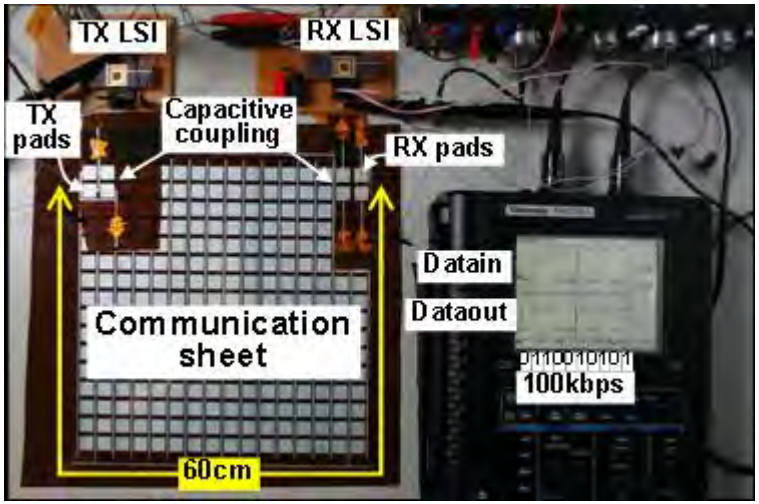
位置検出技術による
高効率化

効率80%、最大40W

IEDM 2006
ISSCC 2007

給電シートと整合する通信シート





シリコン・有機メモリ・MEMSスイッチ
の協調動作により無線/有線通信を融合

IEDM 2007, ISSCC 2008

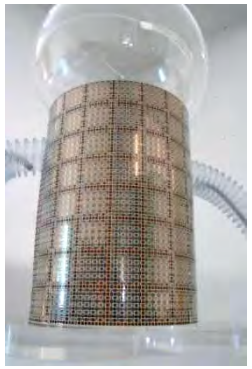
[4] シリコンと有機のコラボによる低消費電力化

有機トランジスタの特性

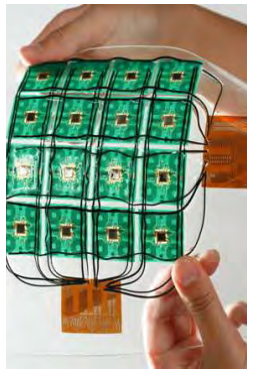
	駆動電圧	移動度	チャネル長	消費電力比
プロジェクト開始時	40V	0.5cm^2/Vs	20μm	1
プロジェクト終了時	2V	2cm^2/Vs	1μm	1/1600

Power sheet

Comm sheet



Ultrasonic sheet



EMI sheet

Logic paper

Power Monitor

IEDM'06
ISSCC'07

IEDM'07
ISSCC'08

IEDM'08

ISSCC'09

ISSCC'10

ISSCC'11
(Accepted)

CREST期間中、ISSCCに毎年採択

情報処理学会誌

4. 高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムの創出

黒田忠広（慶應義塾大学）

ワイヤレス可動情報システム

ユビキタスとは，それが何であるかを意識させず，いつでも，どこでも，だれでもが恩恵を受けることができるインタフェースや環境のことを意味する．最近では，「いつでも，どこでも，だれでも」という点が強調されるが，元来は「意識させず」に重点があった．

ユビキタスという言葉がこの意味に使われたのは，1991 年に Scientific American に掲載された Mark Weiser の論文，The Computer for the 21st Century に遡る[1]．副題には，"Specialized elements of hardware and software, connected by wires, radio waves and infrared, will be so ubiquitous that no one will notice their presence." とある．すなわち，「(未来のコンピュータは) 私たちがその存在を意識しないような形で，日常生活の中にとけ込んでいるだろう．」この解釈は，論文の書き出しできちに明らかになる．"The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it." 「完成度の高い技術とは表に現れないものである．日常生活という織物の中に織り込まれてしまって見えなくなっているものだ．」

情報処理技術を生活の中にとけ込ませるためには，ダウンサイジングとワイヤレス接続が特に欠かせない．コンピュータは，集積回路技術の進展とともにダウンサイジングを続けてきた．文字通りサイズが小さくなるとともに，ビットあたりの消費エネルギーも飛躍的に小さくなり，製造コストもこの 40 年間で 4 桁安くなった．やがて 1cc の小さなコンピュータが 100 円程度で製造され，生活空間の隅々に埋め込まれるようになるだろう．無数の小さなコンピュータが無線で相互接続されてネットワークを形成し，あるいは広帯域なインターネットを介して高性能なサーバに接続されると，情報処理デバイスは正に日常生活からその姿を消しユビキタスになる．2025 年に人々は，1000 個のプロセッサと 1000 本のワイヤレス通信を無意識のうちに用いているであろう．

しかし，通信のエネルギー消費が急増している．計算は仮想空間でディジタル処理できるので，ダウンサイジングによりエネルギー消費を低減できるが，通信は現実空間でのアナログ処理なので，計算のようにはいかない．デバイスが生活の中にとけ込むためには，邪魔な電源線を必要とせず小さな電池で半永久的に動作することが望ましい．電磁波や光，熱，振動などの環境エネルギーだけで動作できれば，さらに良い．あるいは，エネルギーの補給が必要でもそれがワイヤレスでできれば，システムに可動性を与えることができる．モノが考え，話し，動くことで，日常生活にとけ込んだ高度な情報処理空間を構築できるのである．

こうした背景から，(独) 科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 (CREST) における研究領域「情報システムの超低消費電力化を目指した技術革新と統合化技術（研究総括：南谷 崇）」において，「高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムの創出」を目指した研究プロジェクトが，東京大学の藤島実 (現在は広島大学)，染谷隆夫，高宮真の 3 氏と著者による共同研究として平成 17 年 9 月にスタートした（図-1）[2]．動くスーパーコンピュータの実現を目指して，現在よりも 2 桁高速かつ 3 桁小さなエネルギー消費で短距離無線データ通信と無線エネルギー給電を実現することが研究の目標である．以下の 4 つの研究プログラムが進行している．

(1) 1mm以内の磁界結合を用いたチップ間通信(黒田)：0.01pJ/b（100mW, 10Tb/s）
(2) 1m 以内の偏波変調を用いた端末間通信(藤島)：1pJ/b（10mW, 10Gb/s）
(3) 10m 以内のオールモスト・デジタル無線(高宮)：10pJ/b（1mW, 100Mb/s）
(4) 10mm 以内のワイヤレス給電シート（染谷）：給電効率を 1000 倍に向上

通信エネルギーの削減の基本方策は，速度と電力の時空間的な最適化と適応制御である．時間的な観点からは，従来の連続波ではなく，データ転送のときだけ発信されるパルス通信を用いる．送信側では，パルス幅を短くすることで送信エネルギーを低減する．受信側では，次のパルスが来るまでの間電源を遮断することで受信エネルギーを削減する．回路は，動作時だけ電力を消費する CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）デジタル回路で構成する．そのために，受信側で信号増幅が要らないように送信電力を最適化する．増幅回路などのアナログ回路が必要な場合でも，必要なときだけ電力を素早く供給できるように工夫して，電源を小まめに遮断する．

空間的な観点からは，通信距離を極力短くして空間指向性を高め，エネルギーの拡散やクロストークを抑える．至近距離の端末間通信では，指向性の高いミリ波帯の波束を偏波変調する．また，大面積給電シートを印刷技術で低コストに作成し，給電すべき空間を走査検出し選択することで給電効率を高める．

本稿では，磁界結合を用いたチップ間通信について，研究成果を紹介し今後の展望を示す．

3次元集積

半導体集積回路の集積度は，デバイスを微細化することで 3 年で 4 倍ずつ増大してきた．しかし，ゲ

小特集　未来を切り拓く 最先端VLSIテクノロジー

図-1　ワイヤレス可動情報システム
携帯機器やロボットや自動車は可動端末になる．これらにワイヤレス接続機能を付加することで，1) システムのディペンダビリティ向上(データバックアップ)，2)協調作業，3)機能進化(プログラムやデータのダウンロード)や性能改善(ネットワーク上の演算・記憶能力の利用)などが可能になる．さらにエネルギー給電もワイヤレスでできればシステムの可動性が得られる．

情報報処理,Vol.51, No.7, pp.861−869, Jul 2010.

JST News

ワイヤレス積層チップで消費電力1000分の1を実現!

1000分の1というハードルをすでにクリアしてしまったチーム

南谷氏が総括する研究チームのなかで、消費電力を1000分の1に減らすという「高すぎるハードル」をすでにクリアしたチームが1組存在する。それが慶應義塾大学理工学部の黒田忠広教授を中心とする「高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムの創出」チームだ。

チームの目標は「ワイヤレスネットワーク接続による可動情報システムの構築に向け、短距離データ無線通信技術とエネルギー無線給電技術を従来の1000分の1の電力で実現」(公式資料より)することだが、今回成功したのは前者の「短距離データ無線通信技術」。大規模集積回路(LSI)内に積み重ねられたチップ間のやりとりを無線(ワイヤレス)で行うことで、データ通信にかかる電力を、従来の1000分の1まで減らすことを可能にしたのである(具体的にはボタン電池1個分の電力で、2時間の映画600万本分のデータをチップ間で伝送することができる)。

ユビキタスにはワイヤレス ワイヤレスにはローパワー

黒田教授は、もともと企業の研究者だった。企業で研究に携わっていた頃から低電力技術には大きな関心を寄せていたが、残念ながら当時、その技術は研究開発の主流ではなかった。

「低消費電力化はいつもオマケで、その頃は、情報処理速度のほうが重要だったのです。インテルが1ギガのプロセッサを出した、2ギガのプロセッサを出したというと、みんな高いお金を出してそれを買うのですが、20%のローパワーになったといっても誰も購入してくれなかったのです」

だが現実には、デバイスの世界では、早くから低電力化が大きな鍵を握っていた。現在のLSIでは、CMOSという回路が主に使われているが、これは先行するバイポーラやNMOSという回路よりも通信のスピードが遅い。それなのになぜ使用されているのかというと、低電力だからということに尽きる。

「集積回路というのは、ちっちゃいチップの中にたくさんトランジスタを集積することに意味があります。今、何十億、何百億個というレベルになっていますが、これが集積できなくなるときはいつも電力が原因なのです。電力消費量が増えて熱が発生し、これ以上集積すると冷却が追いつかなくなってしまう。平常時はスピードが重要といわれますけど、壁に当たるときにはいつも電力が問題となっているのです」

そこで2000年に慶應大学に移ったのを機に、黒田教授は「生活に溶け込むエレクトロニクスを目指す」というテーマを掲げ、低電力化とワイヤレスの研究に力を注いできた。

「ユビキタス(＊)という言葉を最初に使ったマーク・ワイザーは、完璧な技術は目に見えない技術だと書いています。日常生活という織物のなかに完全に織りこまれていて、わたしたちの目には見えない、と。でも、そのためにはワイヤレスであることが必須です。機器をいちいちAC電源につないでいるようでは全然ダメですよね。となると、電池を使うにせよ、無線給電を使うにせよ、低電力であることが重要になってくるのです」

＊ ユビキタス
それが何であるかを意識させず、いつでも、どこでも、誰でもが恩恵を受けるインターフェイスや環境のこと。

つまり、ユビキタスなエレクトロニクス社会にはワイヤレスが必須だし、ワイヤレスには低電力が必須だということだ。なかでも、黒田教授は至近距離での無線通信を専門としている。

「昔だったら、短い距離ならばコードでつないでいました。でも今はさまざまな情報機器が身のまわりにある。それがバラバラにあっても意味がないので、ネットワークにすることが重要なのですが、そうなったときコードで機器がつながっていたらわずらわしいでしょう?

生活に溶けこまないでしょう? ですから、通信はどんどん無線になってつながっていくものになるだろうと思うのです」

「辺」だけではなく「面」を効率よく使うためには

その極めつけともいえるのが、今回のワイヤレス積層チップだろう。先述のパワーの問題もあるが、この30～40年、人類が経験したことがないほどのスピードで、半導体を成長させてきたムーアの法則にも、鈍化の傾向が見えてきた。これまでは1つのチップにどれだけトランジスタを載せられるかの勝負だったが、それが頭打ちになってくると、当然のように、平面のチップを積み上げ、それによって性能を上げようとする考えが生まれてくる。

「現にもうチップは重ねる時代に入っています。ただ問題は、積み上げたチップをチップの周辺だけを利用してワイヤボンディングという技術で結んでいること。いくらチップの性能が上がっても、そこに出入りする情報速度が上がらなかったら、性能を持てあましてしまう。チップの性能が面積に応じて向上するのに対して、情報は辺だけからしか通信されないので、速度が上がる余地が少ないうえに、無理に増やすと電力も余計に消費してしまうのです」

では、辺だけでなく面を使う方法は?

「あります。縦に穴を開けて通信できる信号の通り道をつくる。これが貫通シリコンビアという技術です。この技術が15年以上前から研究開発されていて、いまだにかたちになっていない。なぜか? コストが高いのです。1チップ当たり20円。メモリなどのチップは今300円ぐらいで販売されています。コストは200円ぐらいでしょう。ということは貫通シリコンビアにするだけで製造コストが10%も上がるわけで、薄利多売のこの世界ではとても許されることではありません」

だったら物理的に穴を開ける代わりに、回路技術でやってしまおうという発想で開発されたのが、チップを通り抜けるインターフェイス、スルーチップインターフェイス(TCI)だった。

「これは非常に単純で、まずはコイルを作ります。チップにはトランジスタを結線して回路を作るための配線がたくさん用意されているので、その配線を使ってコイルにするだけです。コイルが2つ重なるとトランスのように結合してくれるんですね。片方に流れる電気が変化すると磁界が変化して、磁界が変化するともう片方のコイルに電圧が発生して、データの通信ができる。これはもう非常に単純な理屈です。新しい原理や技術を追加するだけがテクノロジーではありません。回路は、みなさんがよく知っているデジタルCMOS回路。これもなにも変える必要がない。ただ新しいのは、磁界結合をデジタルデータ転送に使うという発想。これはどこにもなかったことなんですよ」

まさにコロンブスの卵。これについて黒田教授は、「大学という環境が幸いしました。電磁気学の初心者ともいえる学生たちに囲まれていたおかげで、新鮮な発想ができたのです」と語る。

ビジネスの壁を乗り越えればいつでも実用化が可能な技術

それにしても1000分の1まで消費電力量を下げるというのは、並み大抵の苦労ではなかったはずだが……。

「最初は口をすべらせてしまったようなものです(笑)。南谷先生のプロジェクトに参加したくて。ですから、あとでしまったと思いましたが、なんとか実現させるべく考えました。究極的には回路をできるだけ削ぐ。トランジスタをできるだけ使わない。でも、回路というのは工夫すればするほどトランジスタを使うものです。ここがジレンマで、むずかしいところでした。本当の工夫ですよね、いかにして余分な物を削ぎ落とすか。目標達成まで最後の3分の1とか2分の1にするあたりは本当に辛かった。でも、目標があるとなんだかんだで頑張ってしまうものですね」

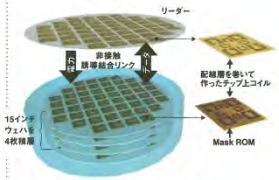
技術的な問題はすべてクリアしている、あとはビジネスの壁だけだと語る教授。「メモリというのは競争が激烈な業界で、非常に保守的な部分もありますからね。でも一点突破できたら、みんなバタバタバタとついてくると思いますよ。もし10年経ってもまだ実用化されていなかったら、あいつは嘘ついたなと思ってください(笑)」■

ワイヤレス通信の実用例

デジタルロゼッタストーン

ナポレオンがエジプト遠征で発見し、古代エジプト語解読のきっかけとなったロゼッタストーン。それと同様に、現在の文化を未来に伝えるためのメディアとして開発されたのが、このデジタルロゼッタストーンだ。

「現行のDVDやブルーレイは数十年しか持ちません。しかし、これはメモリに情報を書きこんだら完全に密閉してしまいますから、一切外部の影響を受けません。半導体というのは基本的に石ですから、配線さえ酸化しなければいくらでも長持ちするものなのです。では、密閉してしまって情報の読み取りはどうするのかというと、ワイヤレスでデータ通信をするのです。これで1000年は持つという研究レポートもあります」

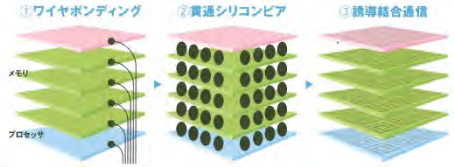


黒田忠広 くろだ・ただひろ

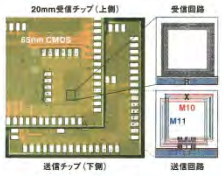
1959年生まれ。1982年に東京大学工学部電気工学科卒業。同年、東芝に入社し半導体の研究に携わる。1988年から90年にかけてはカリフォルニア大学バークレイ校にて客員研究員。1999年に工学博士号取得。2000年に慶應義塾大学に移り、2002年より教授。

積層チップ間の通信技術は周辺から面へ、機械式から電子式へ

ワイヤボンディングは安価な技術ですでに実用化もされているが、チップの周辺部分でしか情報のやりとりができないため、処理速度が上がらない。その欠点を解消した貫通シリコンビアは製造コストが高い。しかし、誘導結合によるワイヤレス通信なら、スピード、コストの両面で、チップの性能を格段に上げることができる。

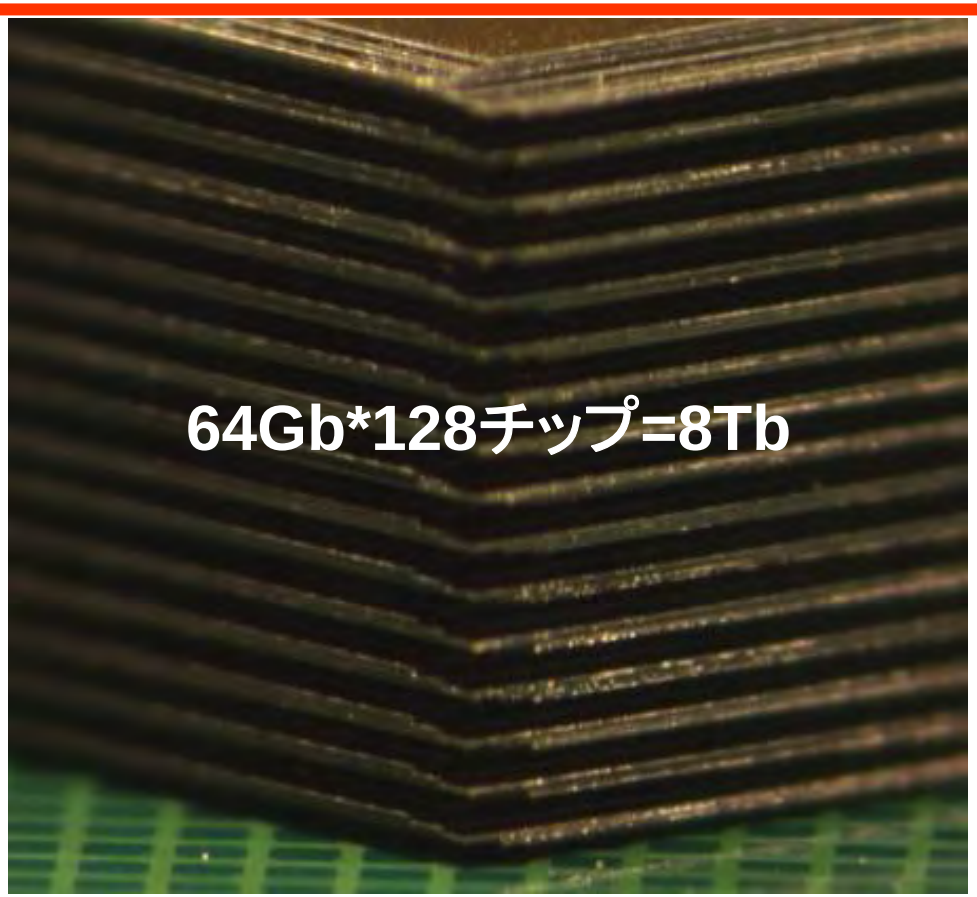


今回開発した電力量削減効果実証用の試作チップ



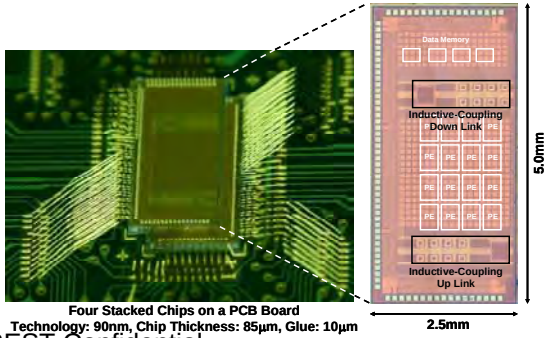
巻き方向が逆向きのコイルを2つ重ね合わせた2層のコイルを開発し、0と1のデジタルデータを別々のコイルで送ることで、電力の使用効率を向上。消費電力量は1ビット当たり100兆分の1ジュールで、従来方式に比べると1000分の1に減った。通信速度は毎秒1キガビット。写真下は、試作チップの性能等を確認するための計測器。

集積回路:2D から 3Dへ

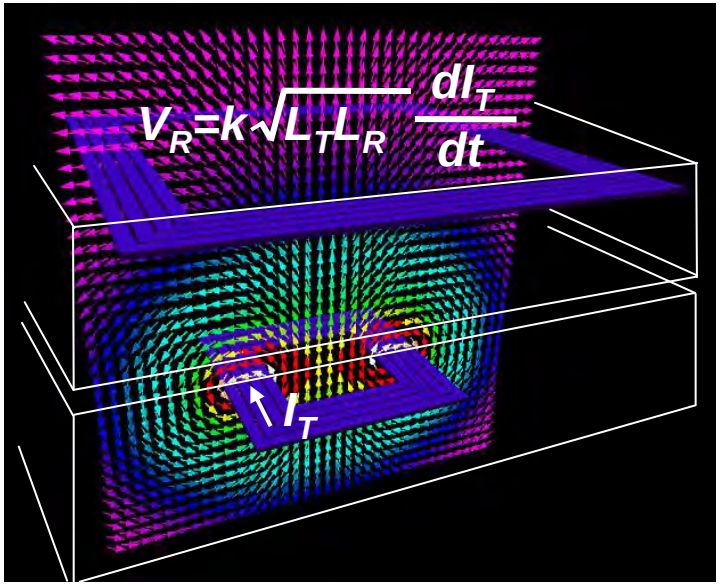


129
121
113
105
97
89
81
73
65
57
49
41
33
25
17
9
1

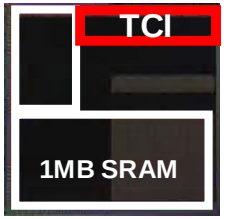
メモリの積層
ISSCC'10



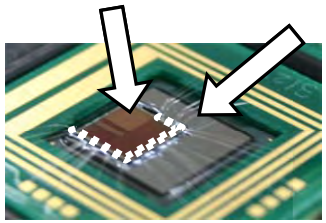
プロセッサの積層
VLSI Symp.'09

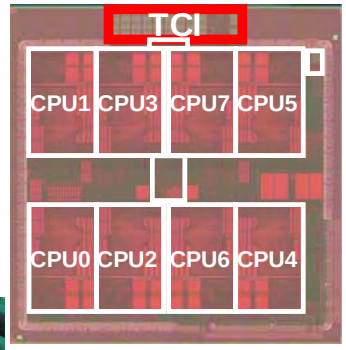


TCI（ThruChip Interface）



SRAM

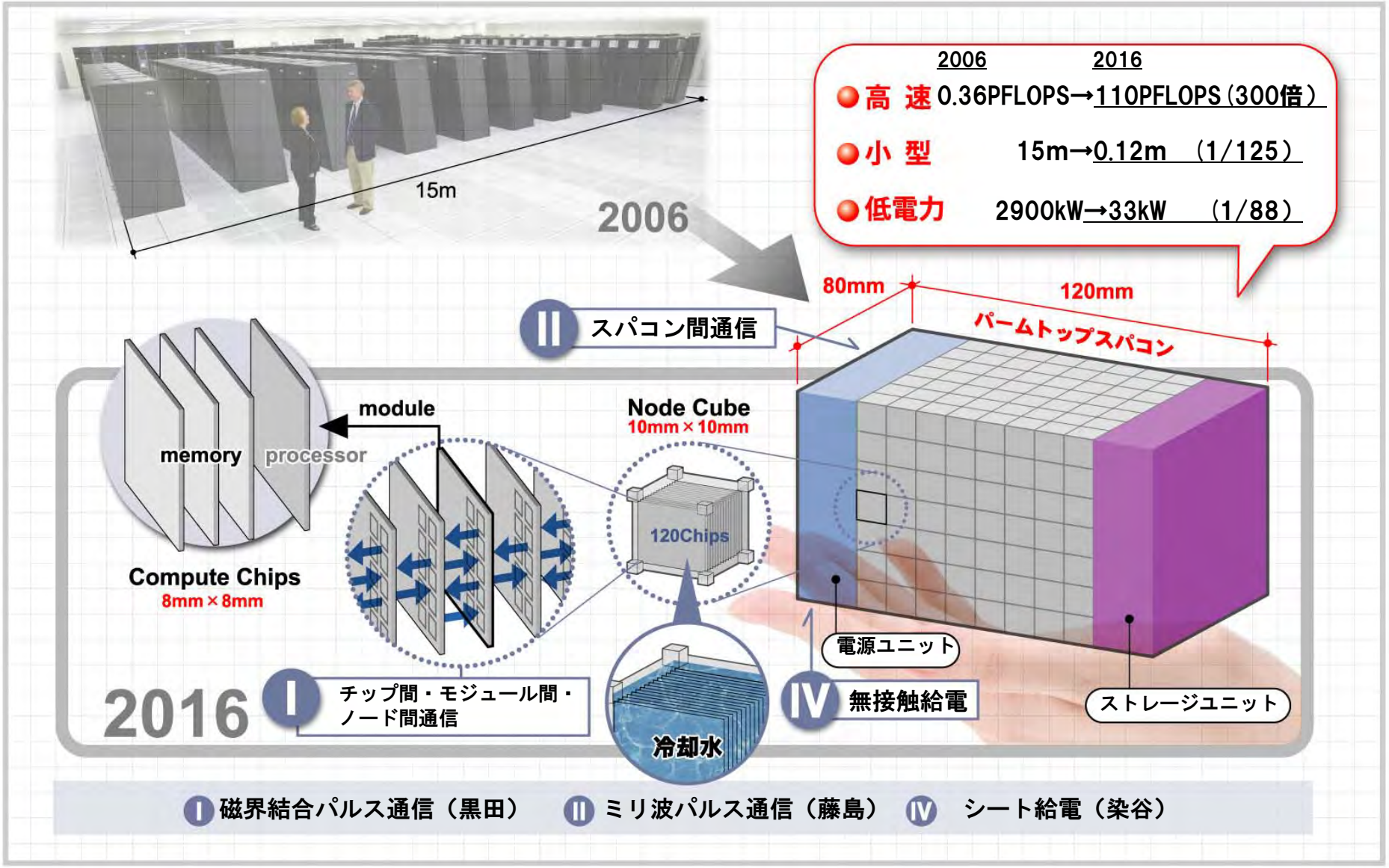




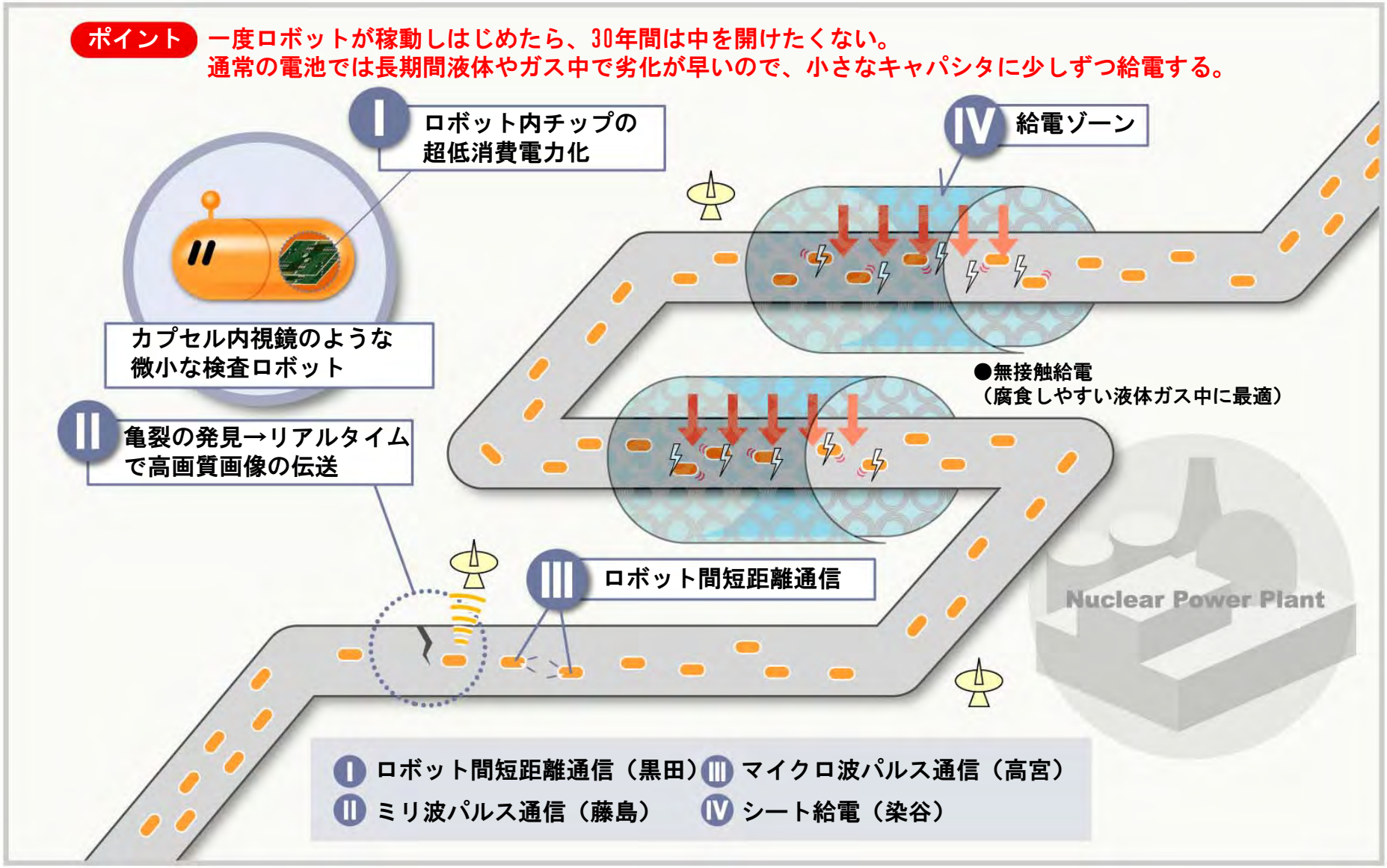
SH-Mobile

プロセッサとメモリの積層
ISSCC'09

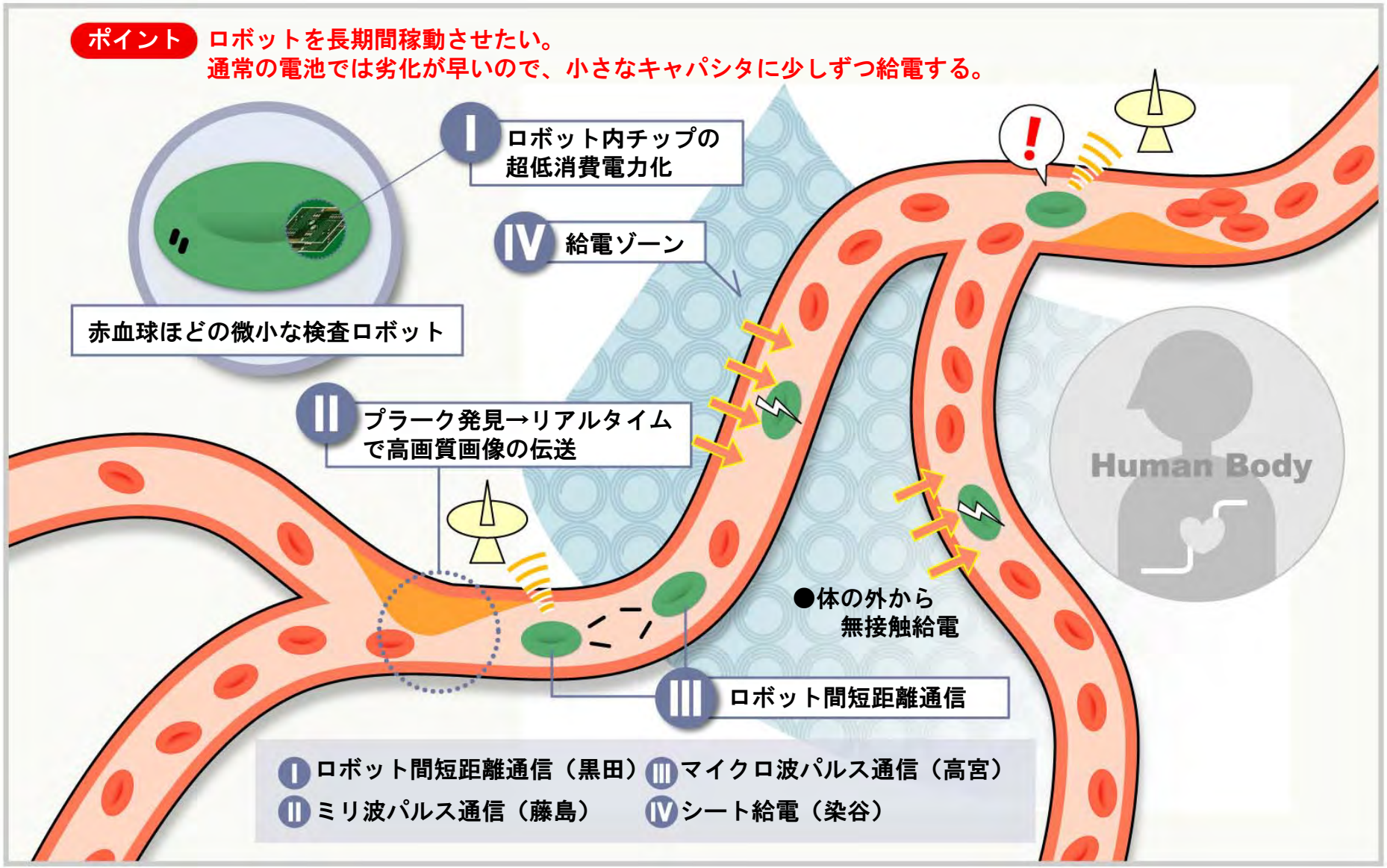
パームトップスパコンの実現



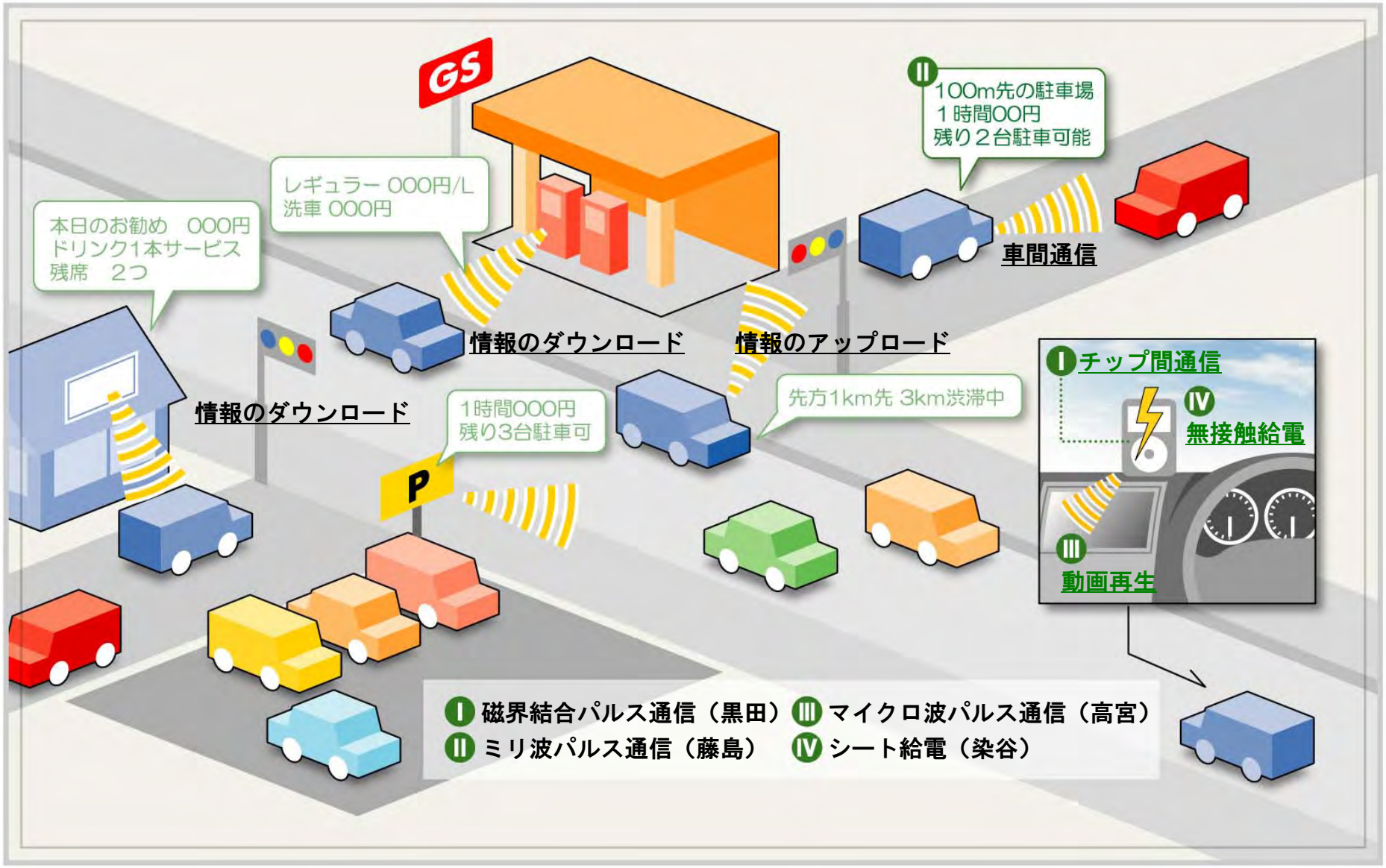
原子力発電所の配管検査



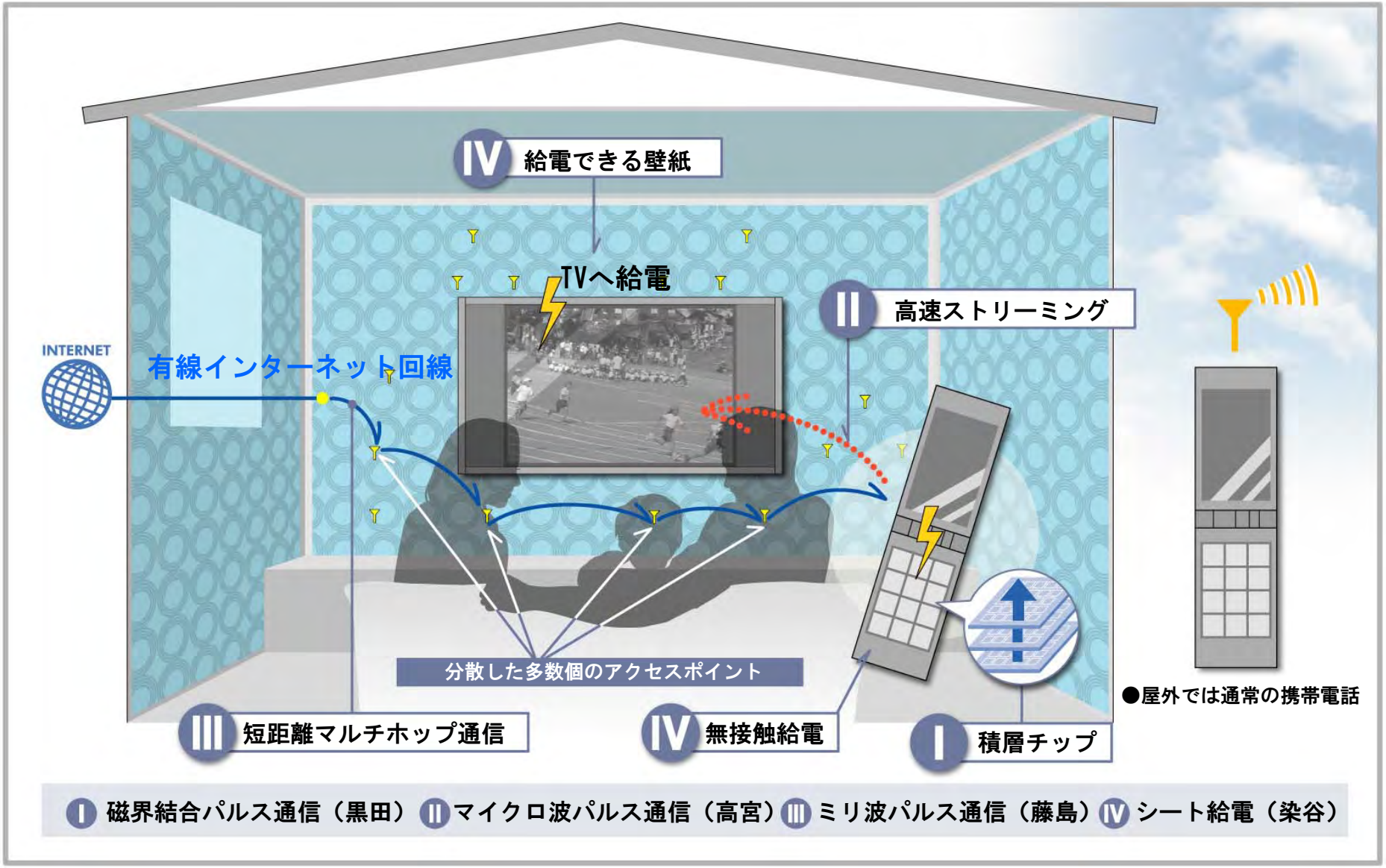
血管内のプラーク検診


ポイント
ロボットを長期間稼動させたい。
通常の電池では劣化が早いので、小さなキャパシタに少しずつ給電する。
I ロボット内チップの超低消費電力化
IV 給電ゾーン
赤血球ほどの微小な検査ロボット
II プラーク発見→リアルタイムで高画質画像の伝送
Human Body
●体の外から無接触給電
III ロボット間短距離通信
I ロボット間短距離通信（黒田）
III マイクロ波パルス通信（高宮）
II ミリ波パルス通信（藤島）
IV シート給電（染谷）

車両を中心とした分散情報処理



家庭内アドホックネットワークの形成



まとめ

項目	2010年度の成果	最終目標	学術・技術への波及効果
(I)チップ間μm通信 黒田	2つのコイルを使う0.55V送受信器を提案・実証（10fJ/b）	達成 10fJ/b	3D集積回路のチップ間通信の学問基盤を確立、実用レベルの技術にした
(II)端末間cm通信 藤島	ミリ波パルス通信によりPLL、同期検波器不要の送受信回路を提案・実証（10Gbps, 81mW)	ほぼ達成 1pJ/b	ミリ波パルス通信を探究した
(III)端末間10m通信 高宮	4×4のアレーサンプリング相関回路によりDLL不要の位相同期を提案・実証（100Mbps, 0.96mW）	達成 10pJ/b	無線をほとんどデジタルで実装する技術を探究した
(IV)給電シート 染谷	有機TFT集積回路により100VのAC電力メーターシステムをプラスティックフィルム上に実現・実証	達成 1/1600	有機トランジスタの性能を大幅に改善し大面積エレクトロニクスの学問基盤を確立、多様な応用を示した