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

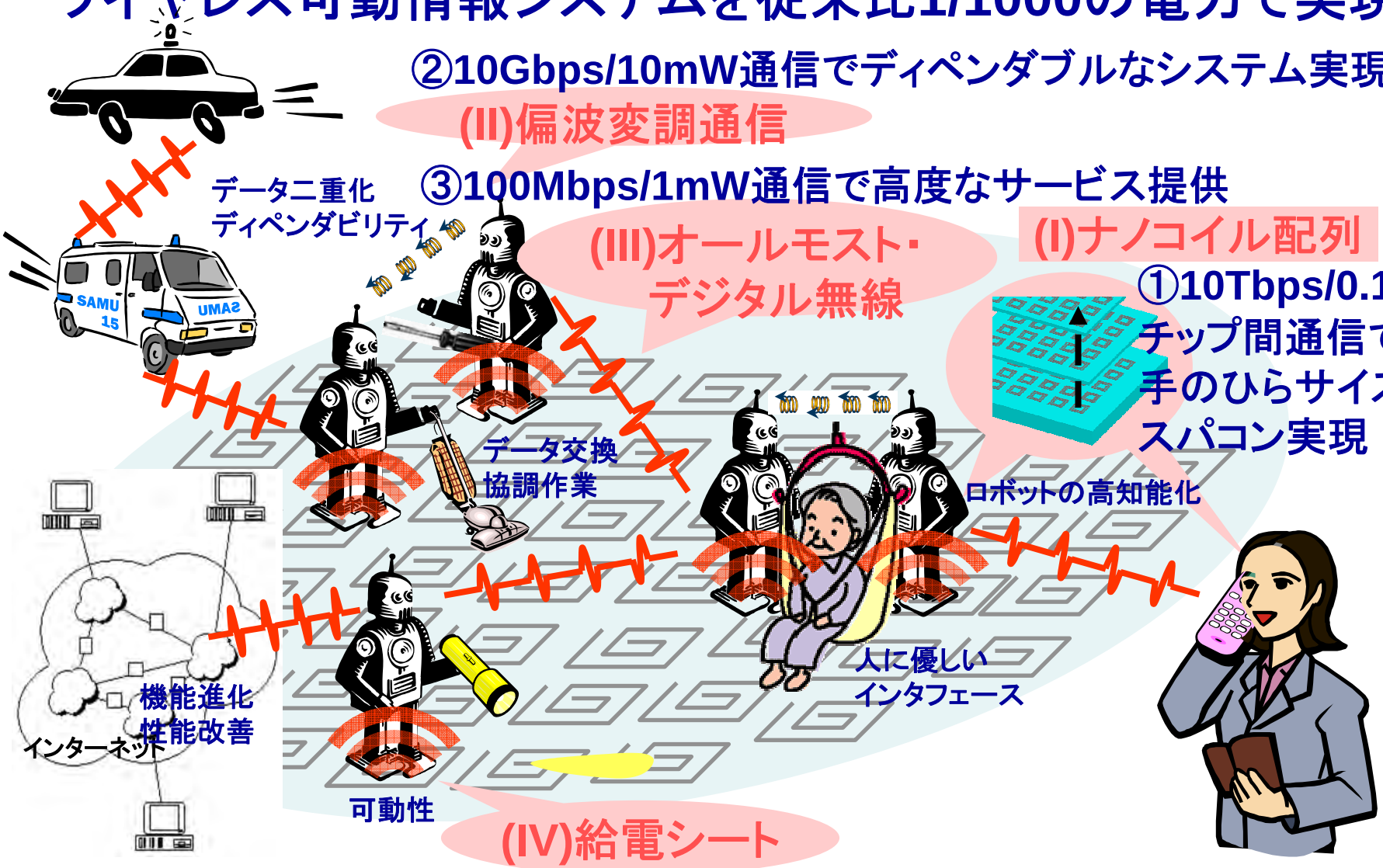
- 時空間の適応制御による電力の1/1000化 -

黒田 忠広（慶應義塾大学理工学部教授）
藤島 実　（東京大学大学院工学系研究科准教授）
染谷 隆夫（東京大学大学院工学系研究科准教授）
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）研究目標（数値）に対するこれまでの進捗および成果
2）最終目標達成の見通しと期待される社会的貢献

アプリケーションから見た研究俯瞰図（'05）

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（'05）

エネルギー給電　　データ通信

距離

m

mm

μm

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

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（'05）

項目	2年度 （2006年度）	3年度 （2007年度）	4年度 （2008年度）	最終年度 （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

これまでの成果

原著論文	24件 (H17:5件, H18:8件, H19:11件)
国際学会発表(招待講演)	45件 (H17:9件, H18:14件, H19:22件)
国内学会発表(招待講演)	50件 (H17:5件, H18:18件, H19:27件)
国際学会発表(口頭講演)	42件 (H17:7件, H18:8件, H19:27件)
国内学会発表(口頭講演)	14件 (H17:1件, H18:5件, H19:8件)
国際学会発表(ポスター)	4件 (H17:0件, H18:1件, H19:2件)
国内学会発表(ポスター)	4件 (H17:1件, H18:0件, H19:3件)
新聞発表	4件 (H17:1件, H18:2件, H19:1件)
特許出願	2件 (H17:0件, H18:0件, H19:2件)
受賞	9件 (H17:2件, H18:4件, H19:3件)

原著論文（24件）

掲載誌名	掲載号	発表内容の概要
IEEE JSSC	Vol 43, No.1	世界最小電力(0.14pJ/bit)のチップ間インタフェース
IEEE JSSC	Vol 42, No.1	世界最高速(1Tbps)のチップ間インタフェース
IEEE JSSC	Vol 42, No.7	世界最小電力(1.4pJ/bit)の準ミリ波パルス生成回路
IET Elec Lett	Vol 43, No.2	世界最小電力(8pJ/bit)の60GHzパルス生成回路
Nature Materials	Vol 6	給電シートの試作に成功し、伝送効率80%を達成
Appl Phys Lett	Vol 92	プラスティックMEMSスイッチで駆動電圧を6Vに低減
Appl Phys Lett	Vol 91	スクリーン印刷で有機半導体のパターンを形成
Appl Phys Lett	Vol 90	有機CMOS回路の駆動電圧を10V以下に低減

JSSC : Journal of Solid-State Circuits

その他合計24件

国際会議（46件）

国際会議	発表内容の概要
ISSCC 2008	1chあたり世界最高速(11Gbps/ch)のチップ間通信
ISSCC 2008	無線/有線通信両方の利点を生かした通信シート用容量結合通信回路
ISSCC 2007	世界最小電力(0.14pJ/bit)のチップ間通信
ISSCC 2007	無線給電シート向け有機トランジスタとプラスチックMEMSの混在回路
ISSCC 2006	世界最高速(1Tbps),最小電力(3pJ/bit)のチップ間インタフェース
IEDM 2007	給電シートと整合するシート型通信システムに関するデバイス技術
IEDM 2006	給電シートの提案と有機トランジスタ/プラスチックMEMSデバイス技術
VLSI symp 2008	超高速(2Gbps)かつ低電力(19.2mW)のミリ波(60GHz)レシーバ
VLSI symp 2008	世界最小電力(0.41mW)の100MbpsインパルスUWBトランシーバ
VLSI symp 2007	（基調講演） 有機トランジスタ集積回路と低消費電力化

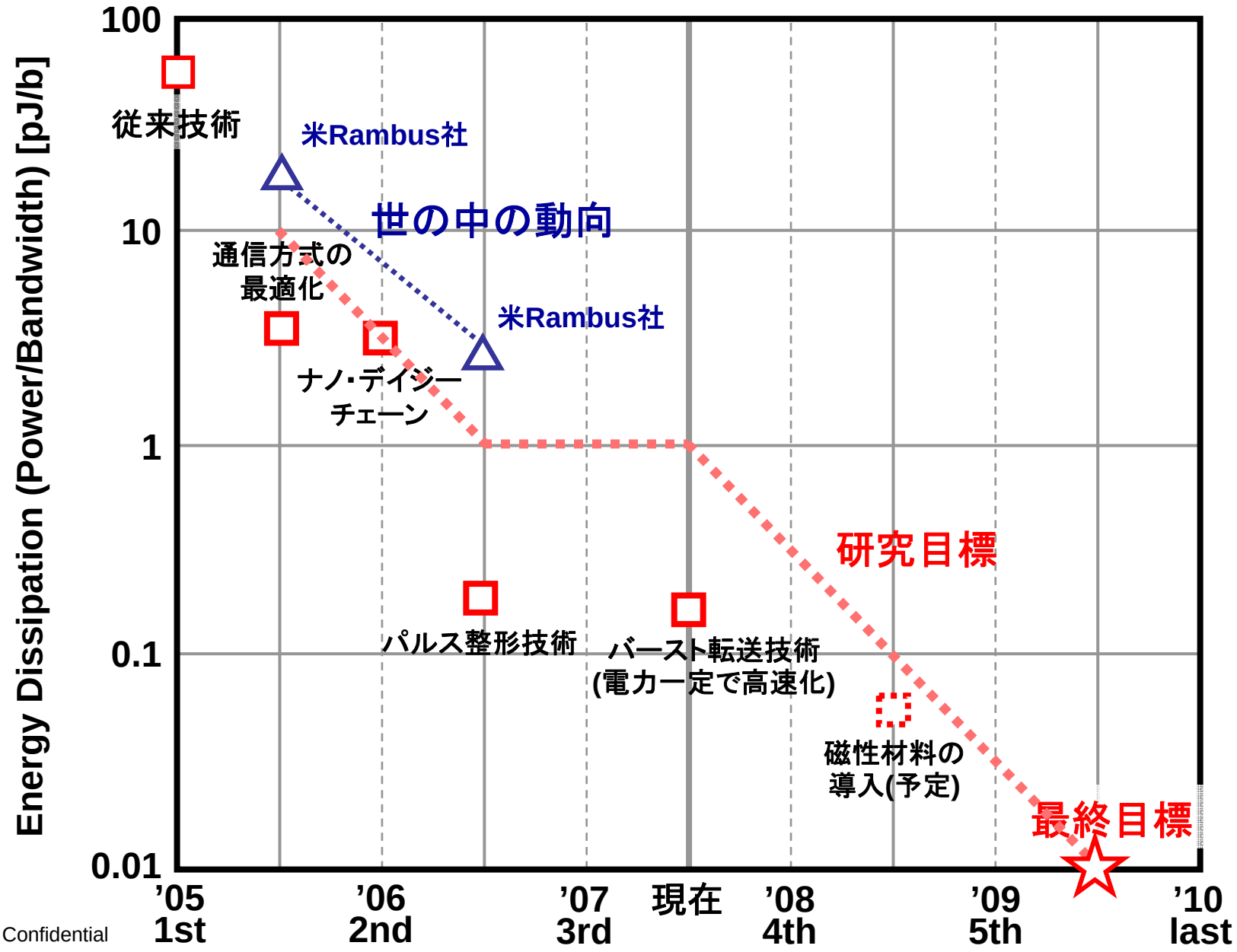
その他合計46件

ISSCC : Int'l Solid-State Circuits Conference
IEDM : Int'l Electron Devices Meeting

新聞（4件）・雑誌（5件）発表

掲載誌	掲載年月日	タイトル
日本経済新聞	2008/02/29	ハイビジョン用チップ、小型・高速化可能に、慶大が無線通信技術
日経産業新聞	2007/02/20	半導体チップ間 高速で無線通信 電力消費1/140
日本経済新聞	2007/02/16	ハイビジョン映画 1.2秒で無線転送 携帯など向け新技術
日本経済新聞	2006/02/10	半導体チップ 無線で連結
BBC Focus	2007/07/01	Forget cables: put it on your plastic
Business week	2007/05/21	Innovations of wired walls
New Scientist	2007/05/01	Power unplugged
Nature News	2007/04/29	Plastic sheet delivers wireless power
日経エレクトロニクス	2006/06/01	チップ間を1Tbpsで伝送できる無線通信技術を開発 磁界結合を利用

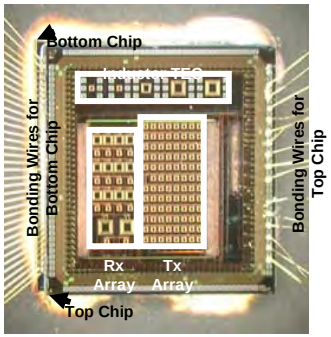
[1] チップ間通信：達成した性能と世の中の動向



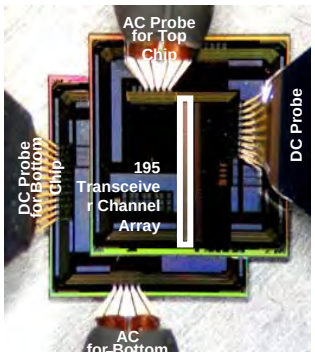
[1] チップ間通信：これまでの成果と今後の計画

	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度
目標	1Tbps/1W （1pJ/b）	10Tbps/10W （1pJ/b）	10Tbps/1W （100fJ/b）	10Tbps/0.1W （10fJ/b）
成果	1Gbps/ch x1000ch （1Tbps) 140fJ/b	11Gbps/ch		

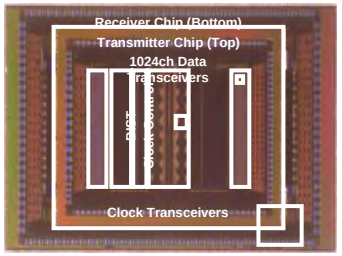
今後の計画：1）1/10の低電力化、磁性体材料活用の検討
2）実用化



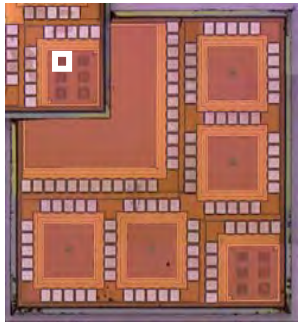
ISSCC 2004
(1Gbps)



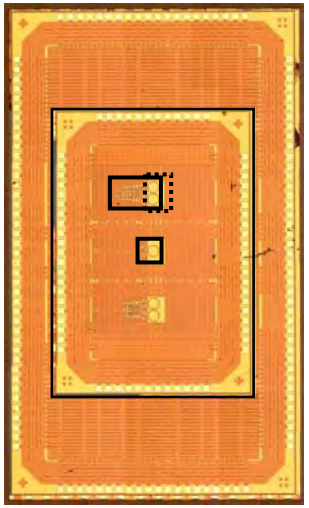
ISSCC 2005
(200Gbps)



ISSCC 2006
(1Tbps)



ISSCC 2007
(140fJ/b)

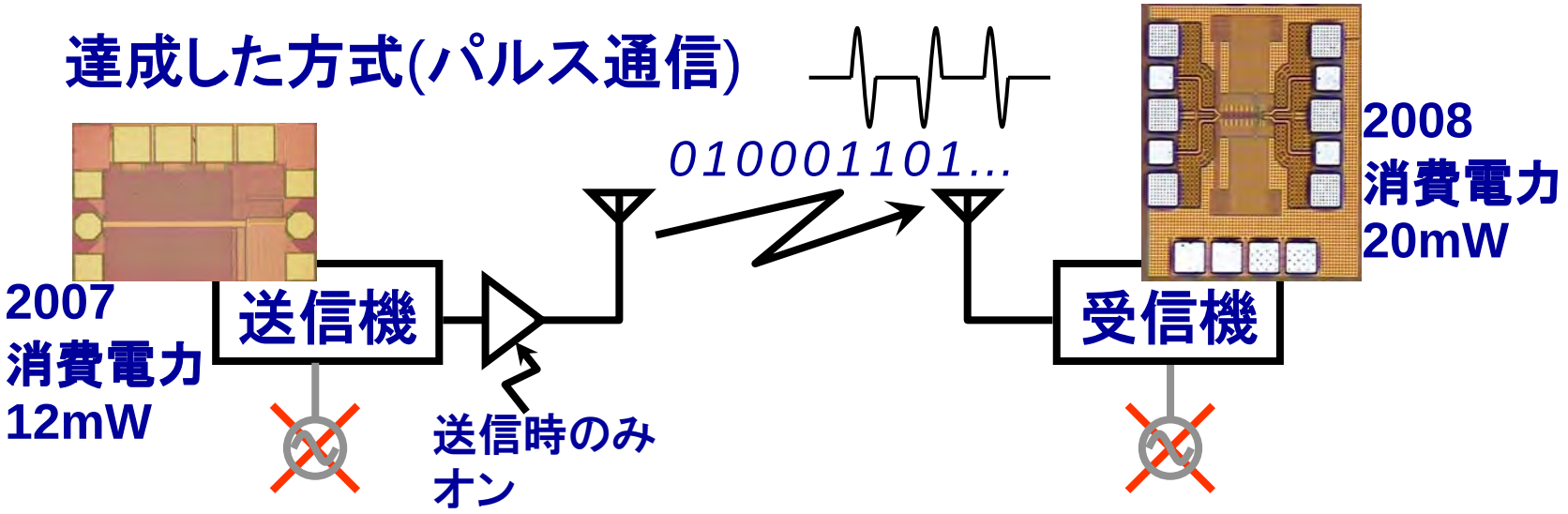


ISSCC 2008
(11Gbps/ch)

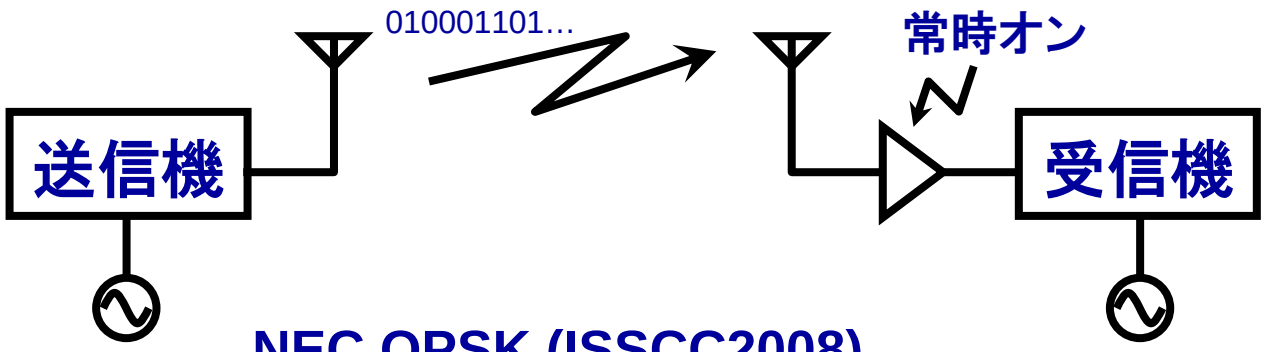
[2] ミリ波パルス通信：達成した性能と世の中の動向

60GHz帯CMOS無線回路

達成した方式(パルス通信)



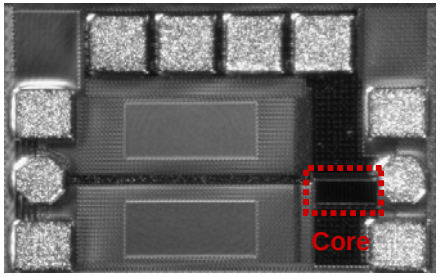
世の中の動向(キャリア通信)



NEC QPSK (ISSCC2008)
ジョージア工科大学 QPSK/16QAM (ISSCC2008)

[2] ミリ波パルス通信：これまでの成果と今後の計画

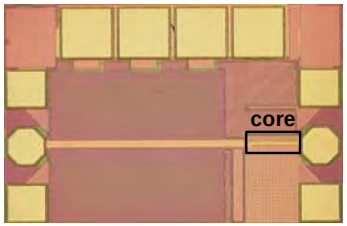
これまでの成果：1）ミリ波パルス受信回路
今後の計画：1）円偏波パルス無線通信システムの構築
2）高速化、実用化



Chip summary

Technology	90nm CMOS
Band	22-29GHz
Modulation	OOK
Supply Voltage	0.91V
Max Data Rate	1 Gbps
Power Consumption	1.4 mW
Core Size	90μm × 15μm

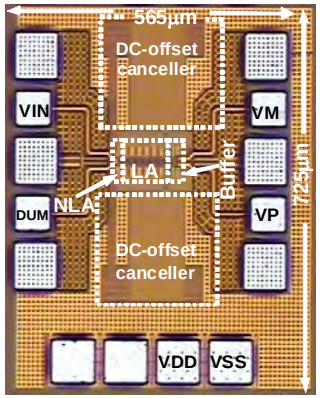
ESSCIRC2006
準ミリ波パルス生成回路

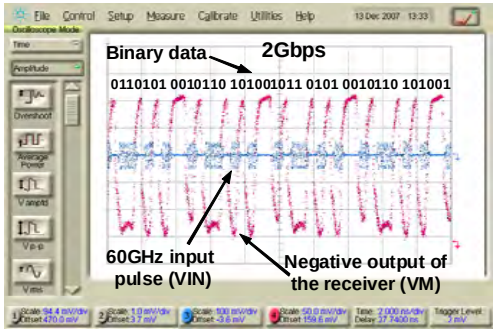


Chip micrograph CMOS 90nm
(nine metals one ploy)

Technology	90nm CMOS
Frequency Band	59-66GHz
Modulation	PPK
Supply Voltage	1.15V
Input Data Rate	1.5Gbps
Power Consumption	11mW@ 1.5Gbps
Core Size	90μm × 20μm

2007 Electronics Letters
60GHzパルス生成回路

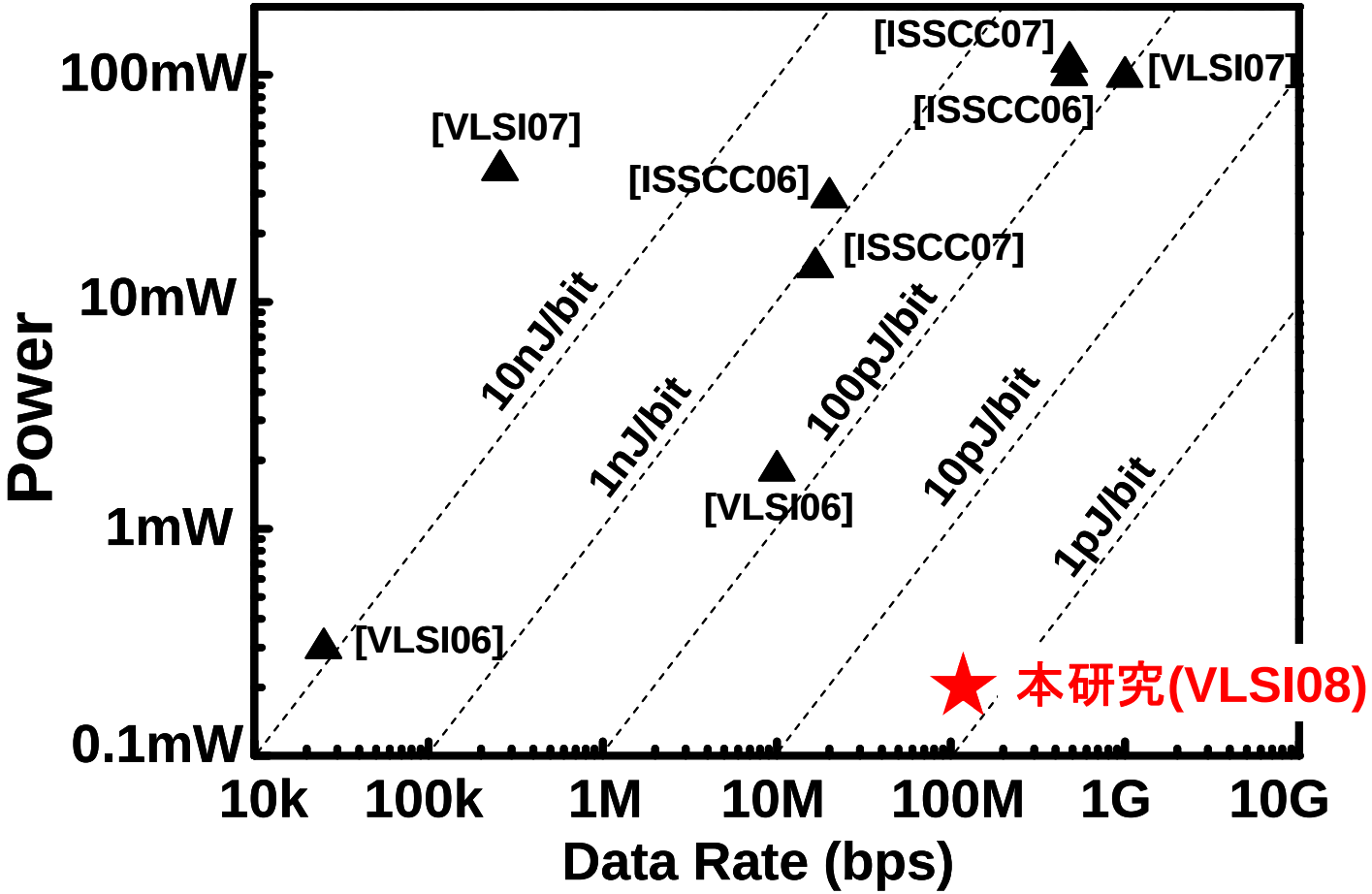




2008 VLSI Symposium
60GHz パルス受信回路

[3] オールモストデジタル：達成した性能と世の中の動向

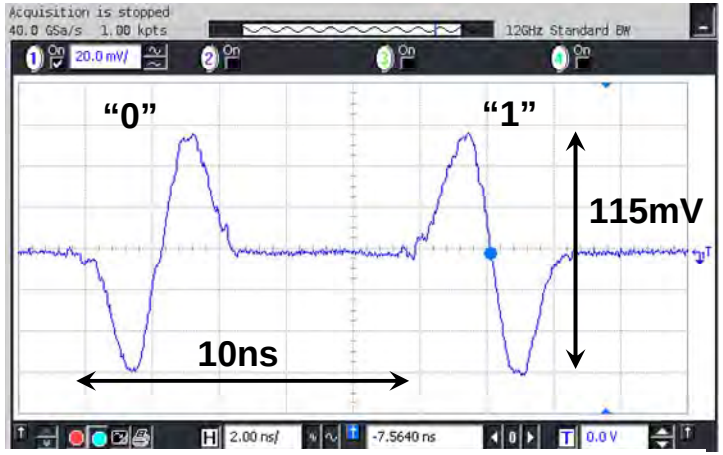
UWB受信回路の最新動向

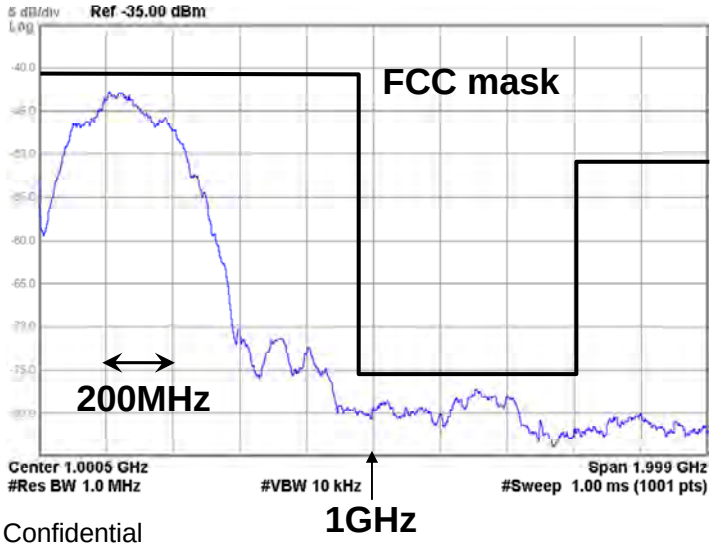


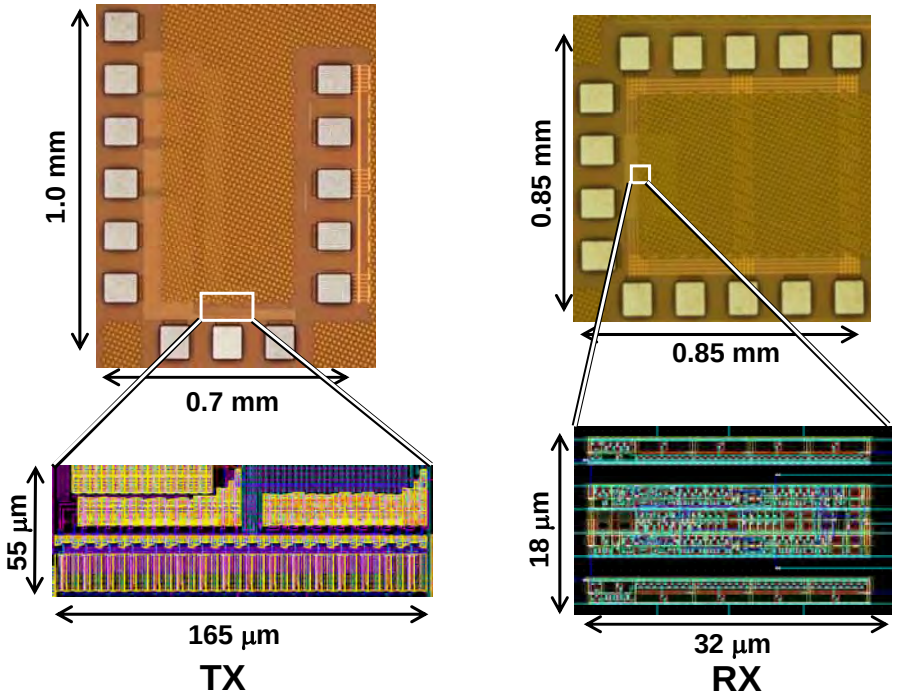
オールモスト・デジタル無線技術により、世界最小電力を達成

[3] オールモストデジタル：これまでの成果と今後の計画

これまでの成果：1）デジタル波形整形送信回路
2）DC電力を消費しないパルス検出回路
今後の計画：　通信のロバスト化に向けたトランシーバアーキテクチャの探索



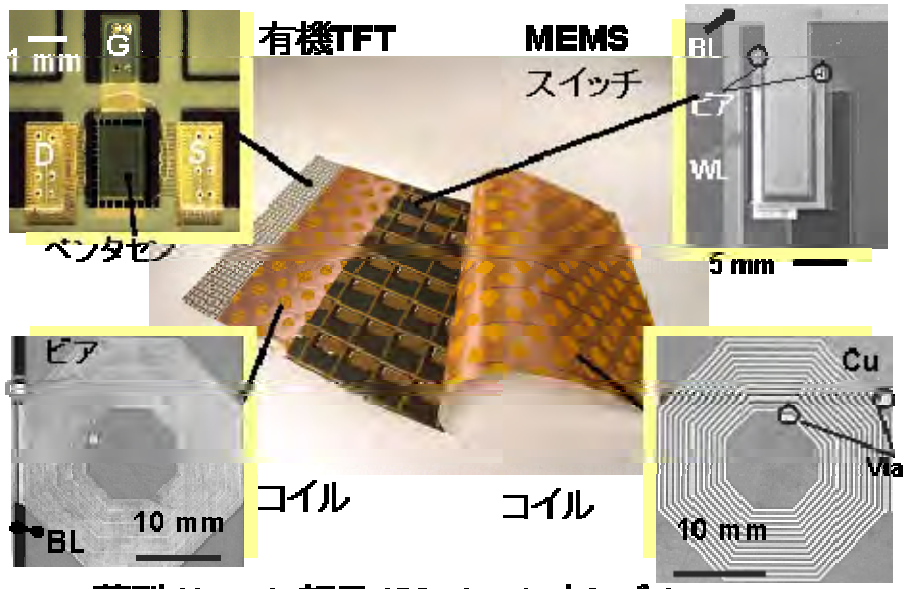




インパルスUWB, 100Mbps, 0.41mW
UWBトランシーバとしては世界最小電力
VLSI Symp. 2008

[4] 給電シート:これまでの成果

無線給電シート



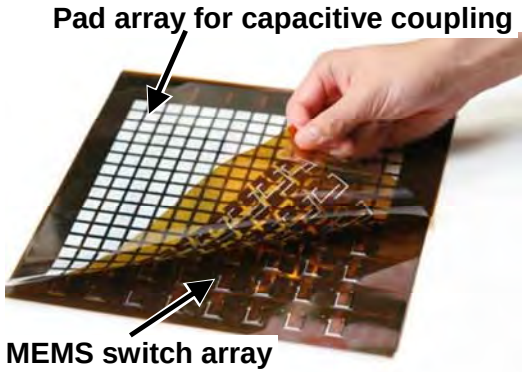
薄型 (1mm), 軽量 (50 g), フレキシブル

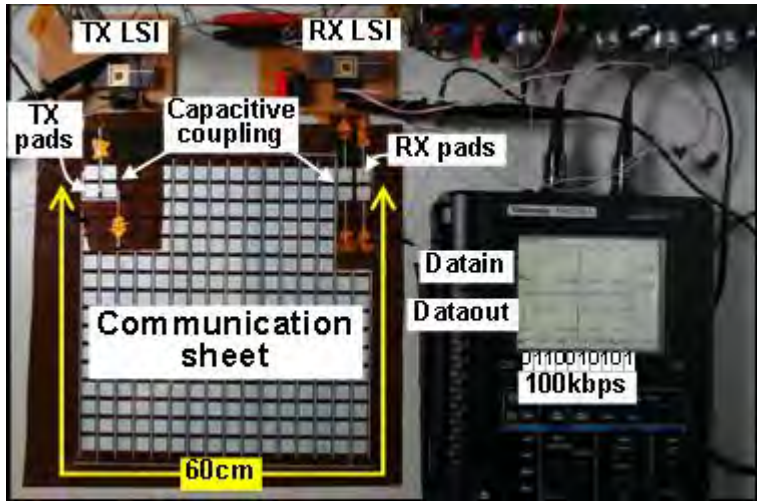
位置検出技術による
高効率化

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

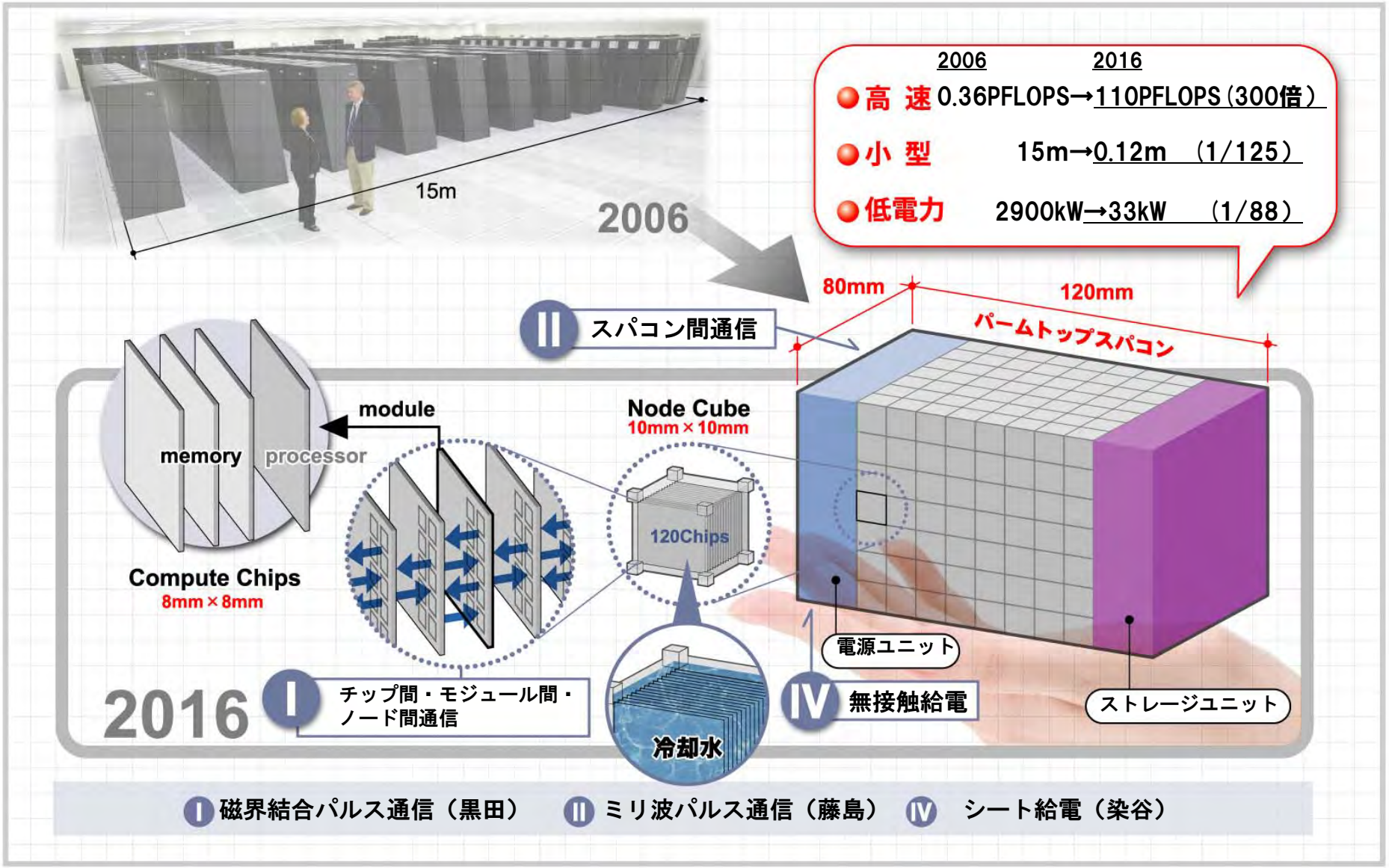




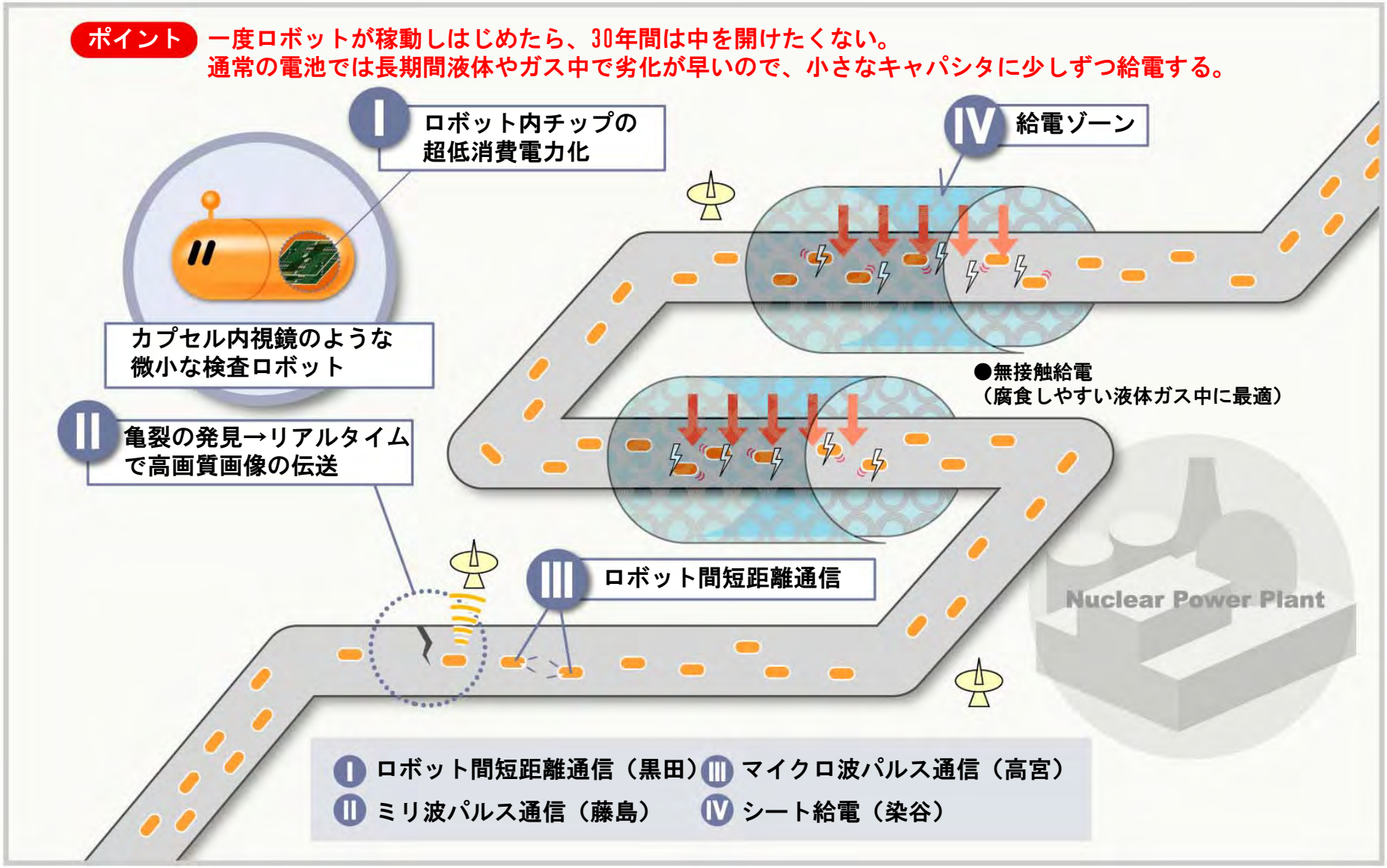
シリコン・有機メモリ・MEMSスイッチ
の協調動作により無線/有線通信を融合

IEDM 2007, ISSCC 2008

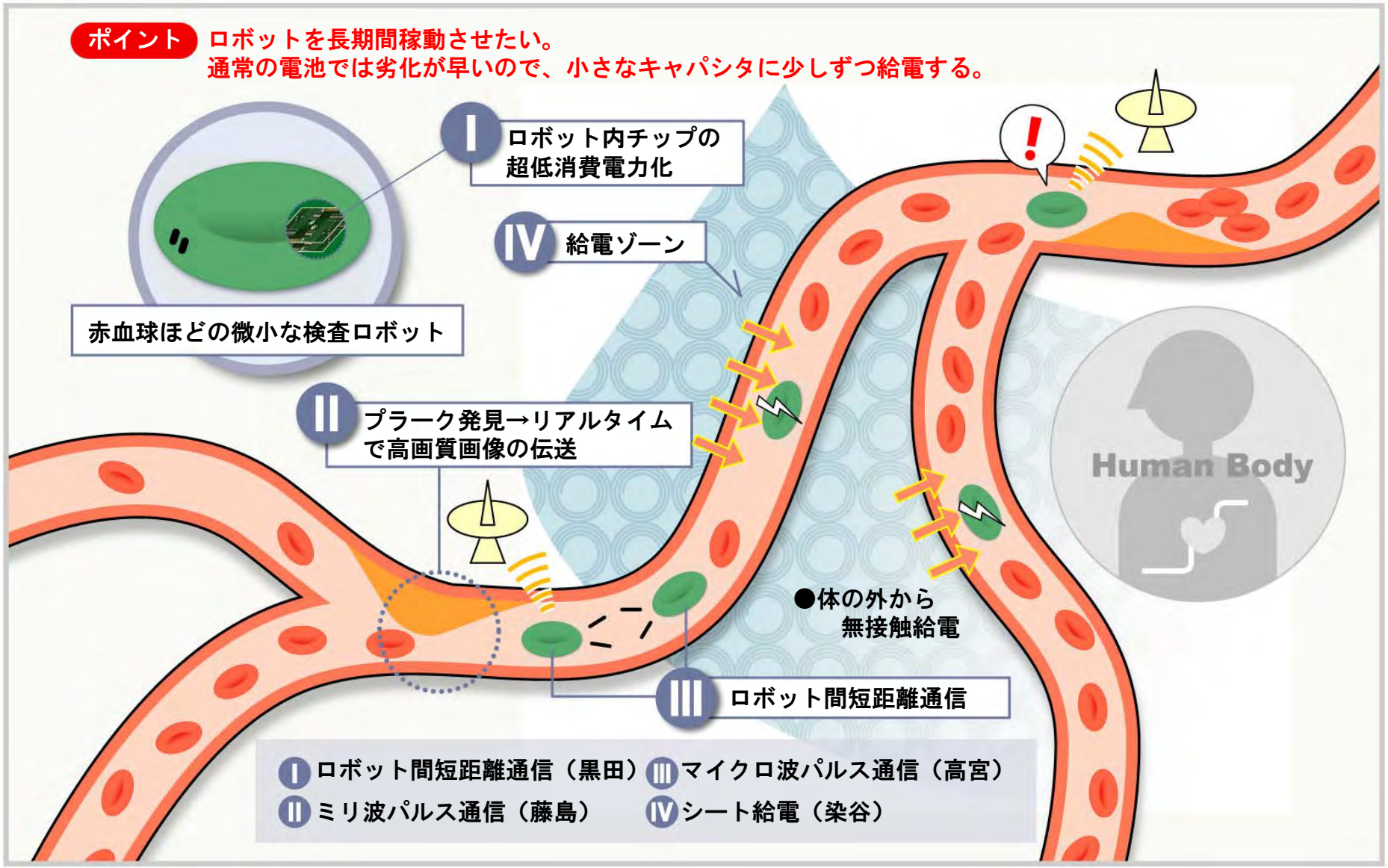
パームトップスパコンの実現



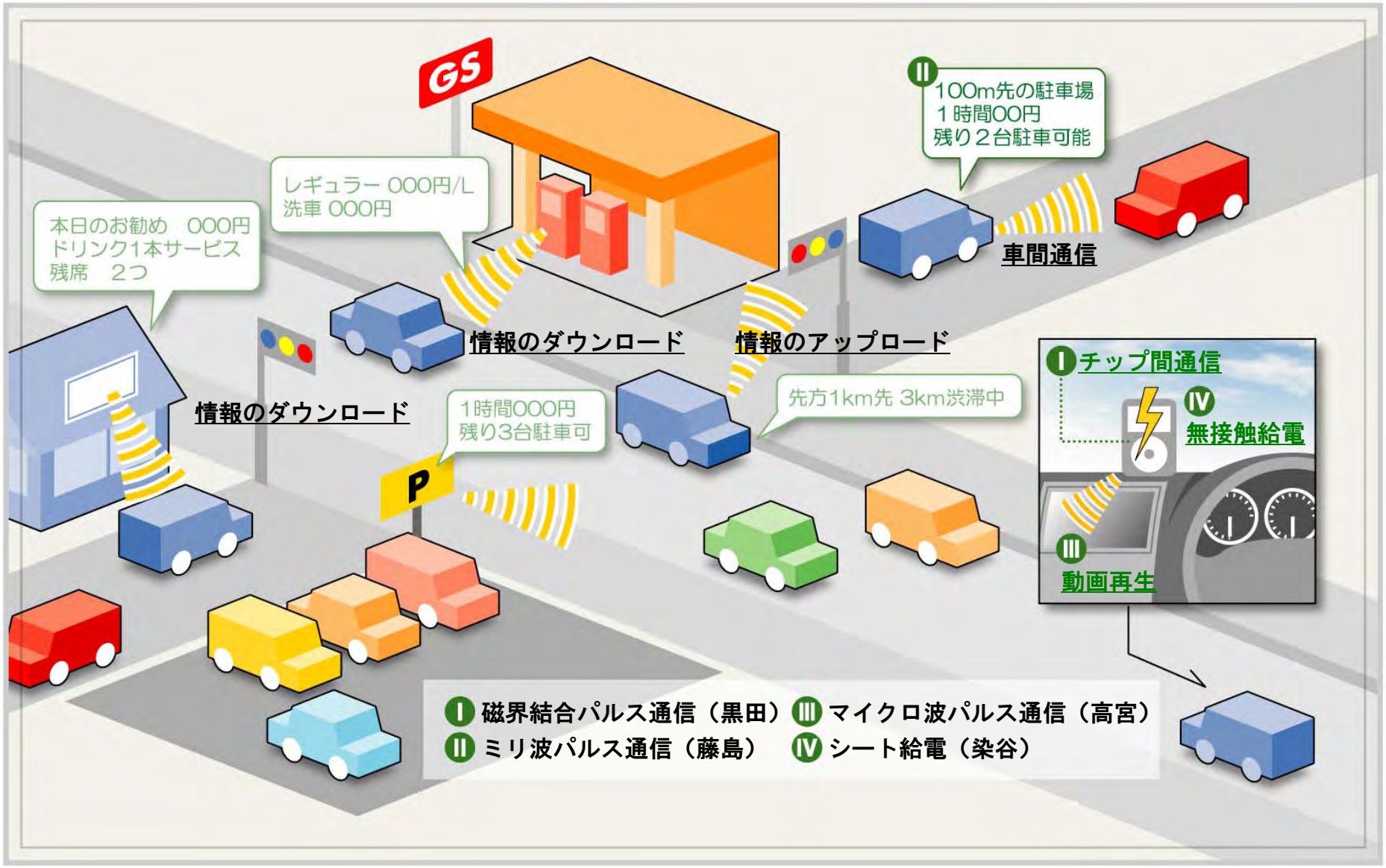
原子力発電所の配管検査



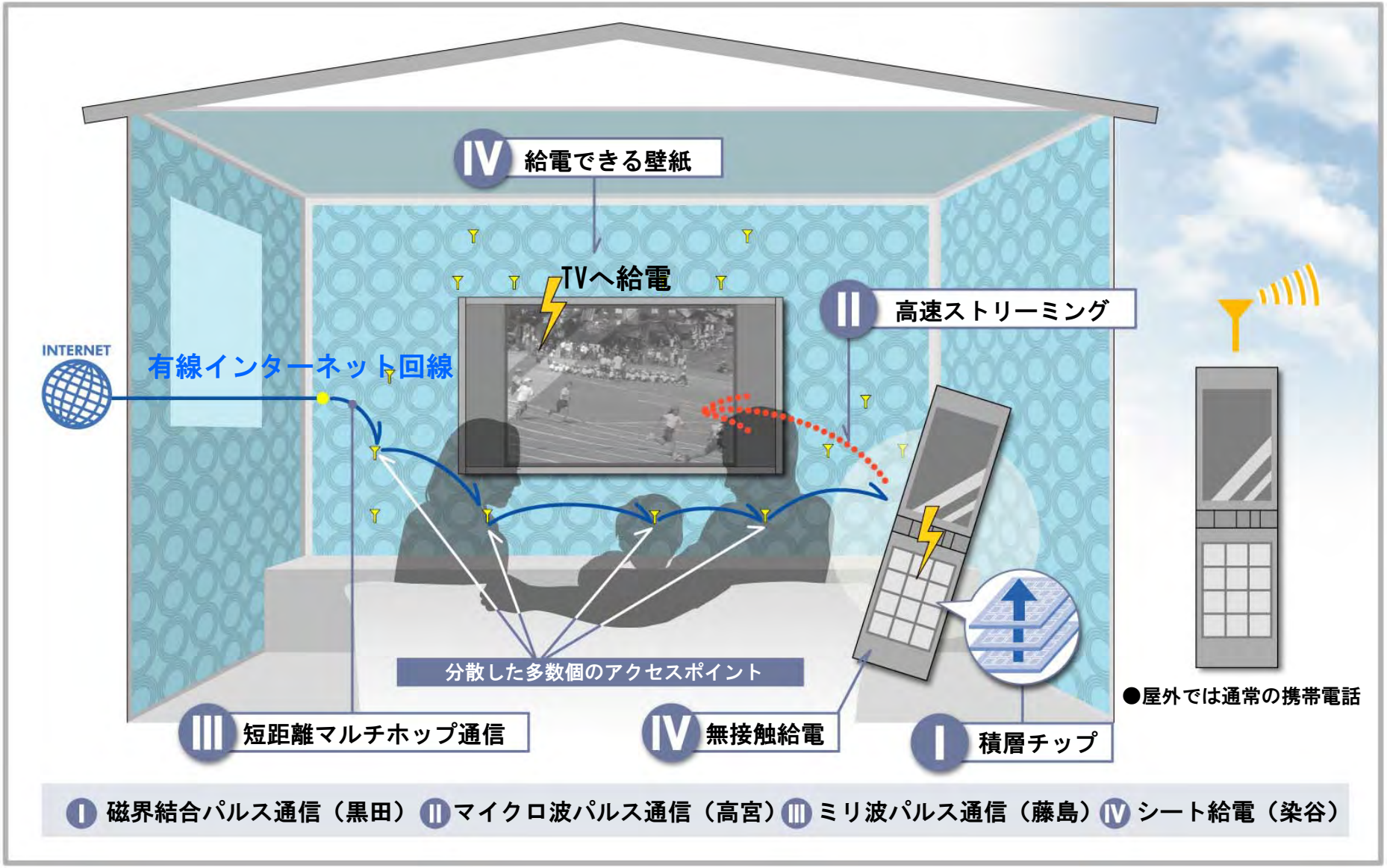
血管内のプラーク検診


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



携帯電話を中心とした室内でのアドホックネットワークの形成



まとめ

項目	成果	課題	ゴール
(I)チップ間 μm通信 黒田	1.4W, 10Tbps (140fJ/b)達成 バースト転送で省面積化	残り1/10の低電力化 磁性体材料の検討 実用化	100mW 10Tbps (10fJ/b)
(II)端末間 mm通信 藤島	準ミリ波レーダ用PG 60GHz帯2Gb通信可能なPG 60GHz帯2Gb通信可能なRx	高出力ミリ波PG 円偏波多重通信	10mW 10Gbps (1pJ/b)
(III)端末間 m通信 高宮	通信シート向け低電力容量結合通信回路 世界最小電力(0.41mW)の100Mbps UWBトランシーバ	更なる低電力化のためトランシーバアーキテクチャの探索	1mW 100Mbps (10pJ/b)
(IV)給電 シート 染谷	給電シートと整合するシート型通信システムの試作	有機トランジスタとMEMSスイッチの低電圧化による消費電力低減	1/1000

各研究成果のシステム全体へのインパクトを明確にする