

ICTイノベーションフォーラム2012
SCOPE第8回成果発表会 C2-2
平成24年10月2日

ICT機器内ハーネスの ワイヤレス化の研究開発 (095107003)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)
沖電気工業株式会社(OKI)
日本電信電話株式会社(NTT)

研究開発の目的

- 地球温暖化防止・CO2排出量削減に資するICT機器内ハーネスのワイヤレス化技術の確立 (Green of ICT技術)
 - 機器内センサの情報を収集する低遅延多元接続無線通信システム
 - CO2排出量削減の目標値＝国内で34万1千トン-CO2/年以上
 - 省資源・省エネルギーの推進
- 本技術のCO2排出量削減効果の明確化



評価対象としたICT機器

- 内部に通信用ハーネスが多く使用される、メカトロニクス技術を用いたICT機器（以後、ICT機器と略す）
- 台数やハーネス長などから、ATM、券売機、自動販売機、プリンタ、遊技機を事例検討対象として選定（※遊技機はCO2評価のみ実施）
- 初期の試算ではCO2排出量削減ポテンシャルを34万1千トン-CO2/年と算出

対象としたICT機器の国内設置台数等、検討初期段階の推計値（※）

ICT機器		設置台数 (国内)	センサ数 (typ)	総ハーネス長 (一部推計)
ATM		20万台	200個	2.4～3km
券売機	一般切符	10万台	120個	1.8km
	大型切符	0.6万台	200個	2.4km
自動販売機		550万台	60個	0.9km
プリンタ		1600万台	4～10個	0.1km
遊技機		450万台	50個	0.8km

※出典： 設置台数等の数値は各業界の統計資料、及び聞き込み等による推計

技術課題の所在

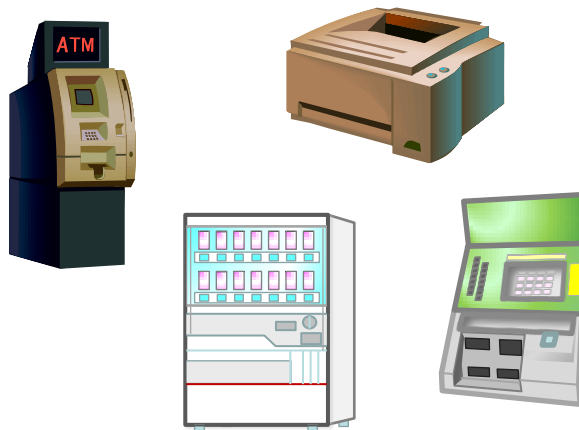
- **伝搬環境**: 非常に狭小な筐体内での無線通信
 - 伝搬損失大、多重反射環境、隙間(伝搬空間)は典型的には波長の $1/2 \sim 1/10$
- **低遅延(1ms以内)・多元接続(max.200個)**はZigBeeやBluetooth等の汎用の近距離無線通信の仕様そのままでは達成できない。新たな開発が必要
- 環境負荷の予測的手法の確立、及び装置の**環境配慮型設計手法**

金属筐体

- 電波の多重反射
- 遅延

狭小で密な内部空間

- 伝搬ロス
- 近傍界の影響
- 小型通信モジュール
- 小型アンテナ



設計段階におけるCO2排出削減量の評価手法

- 評価の枠組み
- 基礎データの収集

EMC、干渉

- 外部からの被干渉
- 隣接機器への与干渉

多量のセンサのリアルタイムモニタリング

- 多元接続(max.200個)
- 低遅延(1ms以内)
- 省エネ化

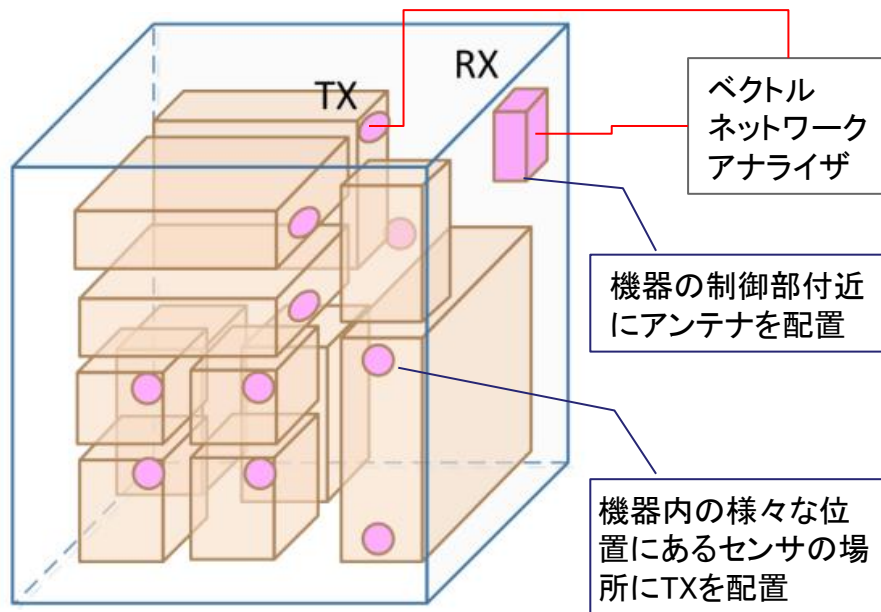
研究開発の実施体制

- 5課題、8項目に細分化してATR、OKI、NTTの3者で分担
- 定期的に会議を行い、技術整合をとりつつ一体となって取組みを実施

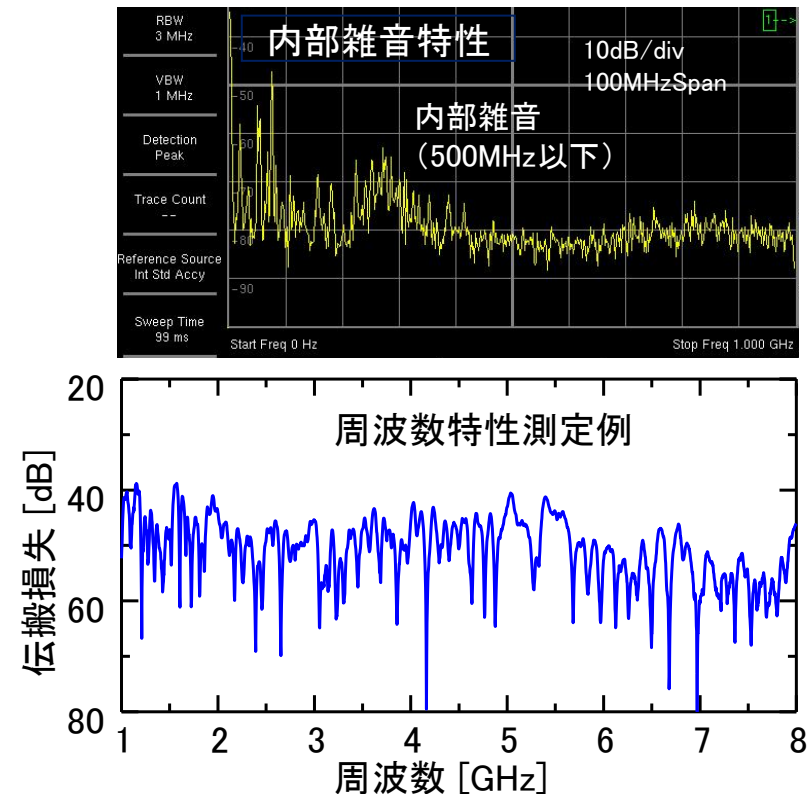
詳細な研究課題	具体的実施内容／到達目標	担当機関
(a)機器内無線通信システム設計	多数のセンサ情報を収集する無線通信システムの設計	ATR
(b)高信頼性無線通信方式	b-1) 環境適応型干渉抑圧技術 機器内環境の伝搬路特性を把握・解明し、適応型の干渉抑圧技術を確立	ATR
	b-2) 高密度・低遅延多元接続技術 適応型に干渉抑圧を行い、遅延を補償する送受信回路を開発	OKI
(c)小型・低消費電力化	c-1) 超小型アンテナ開発 VSWRが2以下、サイズ $\lambda/15$ 以下の超小型アンテナを開発	ATR
	c-2) 小型省電力ウェイクアップ無線モジュールの開発 切手サイズの小型省電力ウェイクアップ無線モジュールを開発する	OKI
(d)実証用実機システム構築と評価	d-1) 実機システム構築 実証実験用のプラットフォームを構築・評価する	OKI
	d-2) 実証実験の実施 ATM、券売機、自販機、プリンタの4機種で実機検証	ATR, OKI, NTT
(e) CO2削減効果評価技術	設計段階においてライフサイクル的な環境負荷を予測的に評価する手法の開発、ICT機器のワイヤレスハーネス技術の評価	NTT

機器内の伝搬特性の把握

- 機器内に小型チップアンテナを挿入し、電波伝搬特性を測定
- 機器内ノイズが1GHz以下に現れたことから、対象を1～8GHzとして評価
- 4機器の内部の各々40-70箇所[※]の位置で測定
- 周波数特性、伝搬モデル、遅延特性、漏洩等を詳細に解析

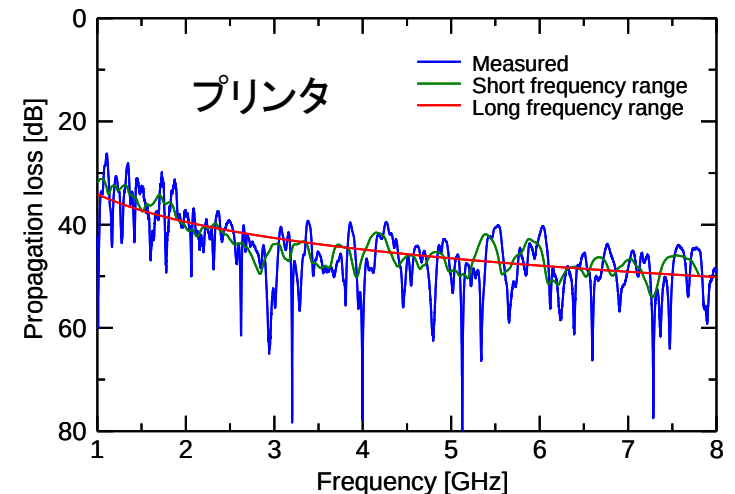
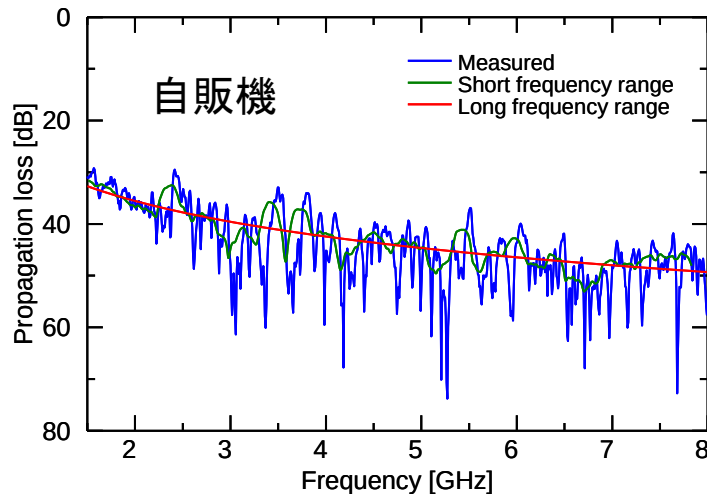
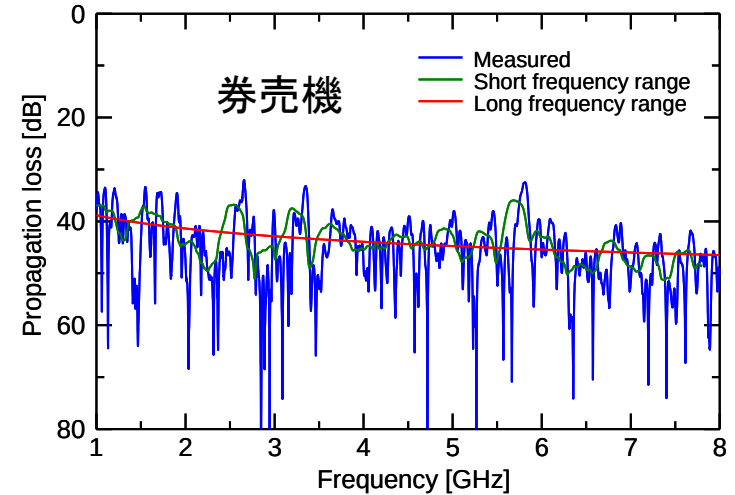
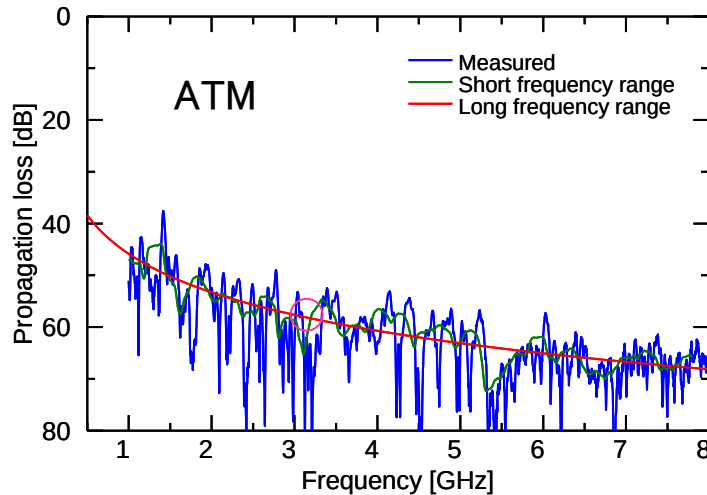


測定系のイメージ図



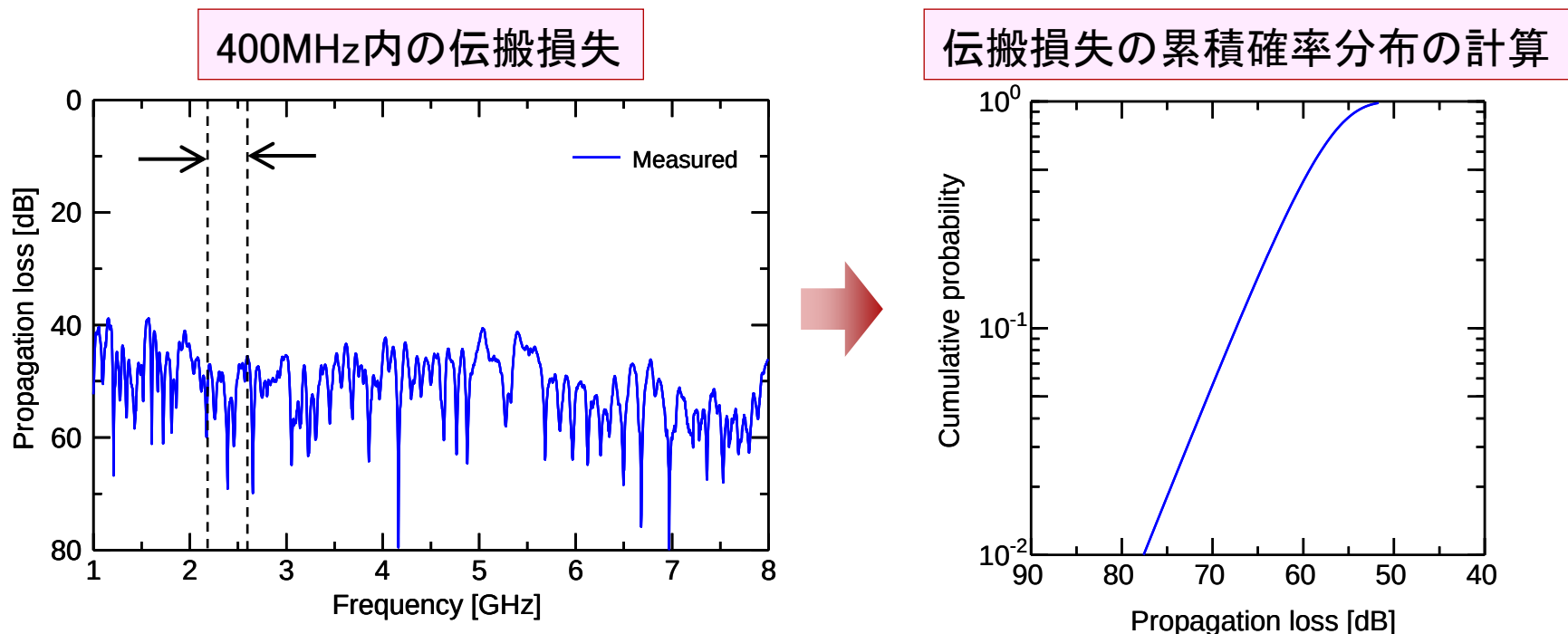
周波数特性の事例

- 受信電力の落ち込み(ディップ)が多数発生、アンテナ位置のずれで変化
- 伝搬損失は距離と周波数により減衰



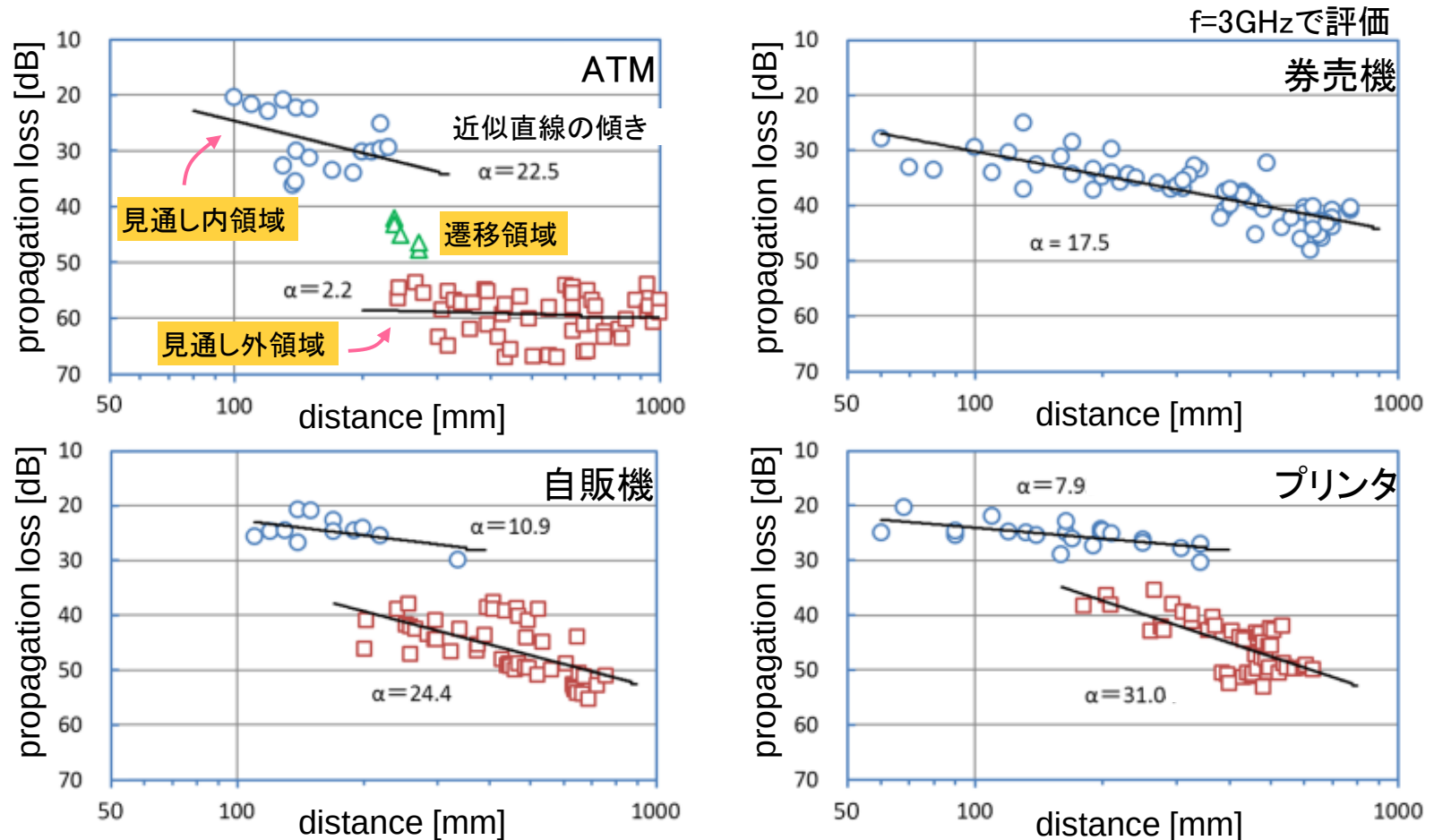
狭帯域での累積確率分布評価

- ディップの発生原因の検討のために伝搬損失の累積確率分布を計算
- 機器内は多重伝搬環境であることが判明
 - 多くの位置ではNakagami-Riceモデルがフィット
 - 部品が密に実装された機器深部ではRayleighモデルがフィット



平均伝搬損失のアンテナ間距離依存性

- 機器内部の遮蔽構造に起因してバイモーダル分布を示した
- 密に実装されたシーンの最悪値でも70dB程度に留まり、無線通信が可能と判明。今回の評価外の機器でも1m程度の大きさなら無線通信可能と推論。

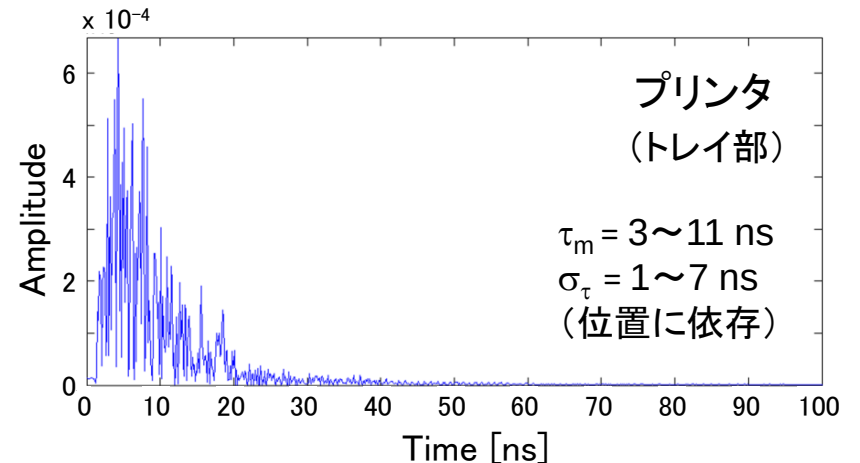
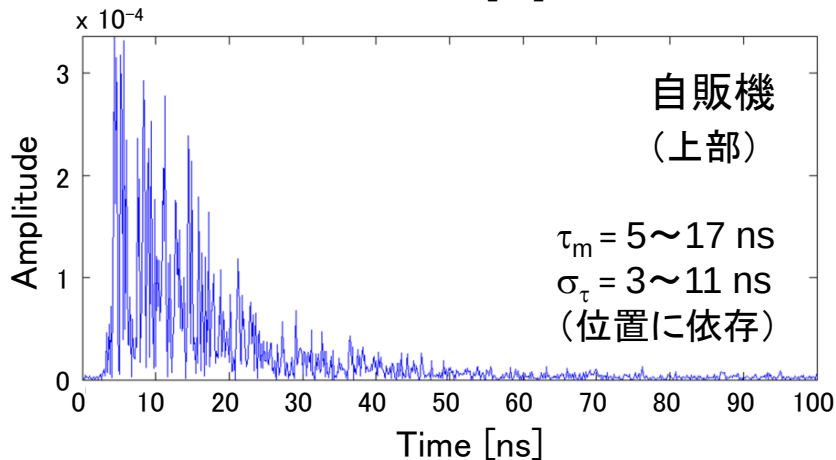
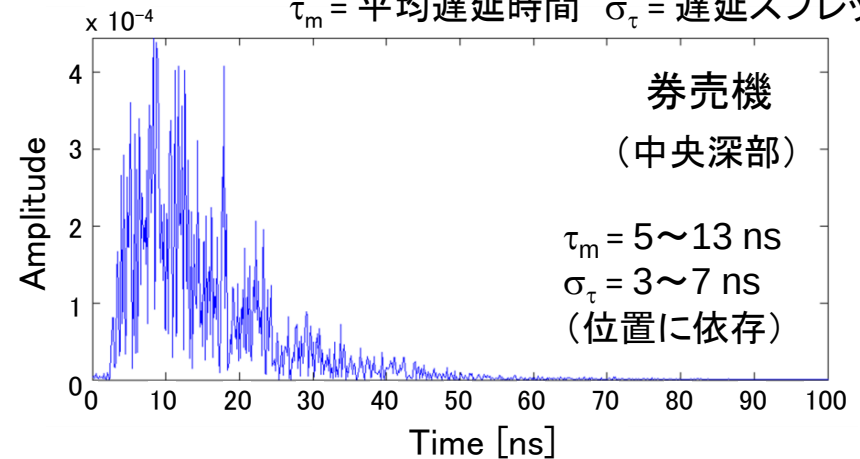
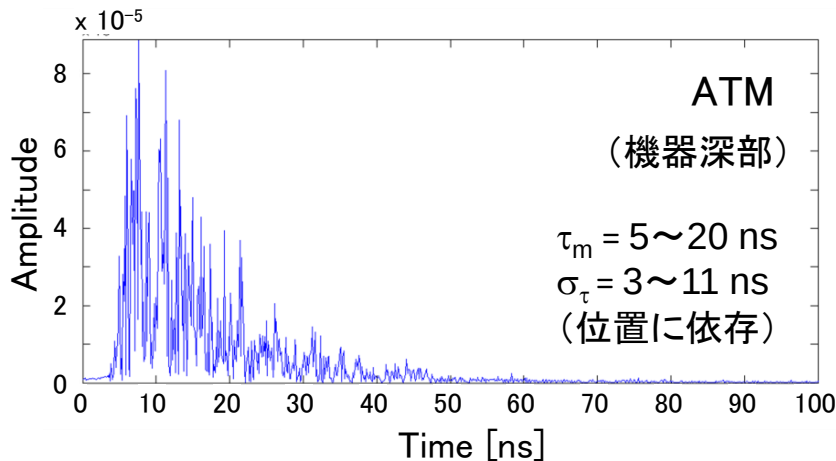


遅延特性

- 遅延は金属筐体の機器で50ns程度内、プラ筐体のプリンタは30ns程度内
- 遅延スプレッドから、通信速度は最大10Msps程度まで可能と推論

1-8GHzの測定をFFTして得た。

τ_m = 平均遅延時間 σ_τ = 遅延スプレッド

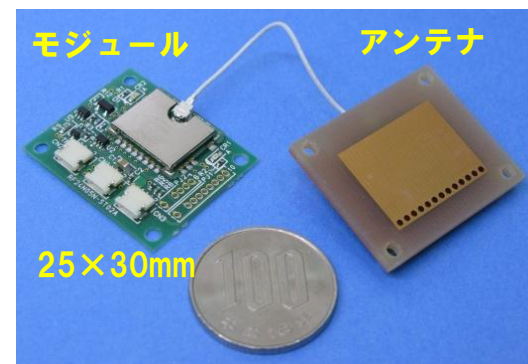


通信方式策定・無線通信モジュールの開発

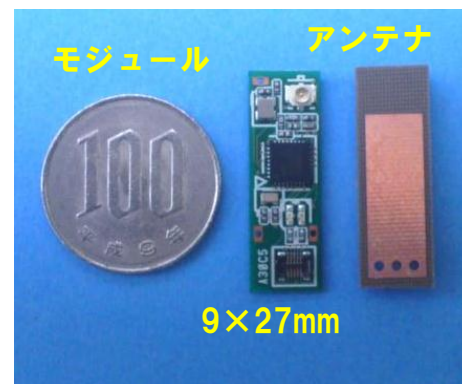
- 伝搬特性の知見とシステム要件を踏まえ、通信諸元を策定
- 仕様に沿った無線通信モジュールを開発、『**切手サイズ以下**』の小型化を達成
- ウェイクアップ機能により平均消費電力は31mW(@200個)に留まる見込み、当初目標の50mW以下をクリアし、**省電力仕様を達成**

システム諸元

収容センサ数	最大 200個
ペイロードデータサイズ	数ビット
センサデータ更新周期	1 kHz
搬送周波数	2.4 GHz ISM帯
変調	GFSK
プロトコル	FTDMA
通信速度 (各モジュール)	1 Mbps (op. 250 kbps, 2 Mbps)
channels	1 MHz x 73 ch



小型無線通信モジュール



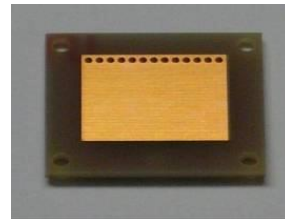
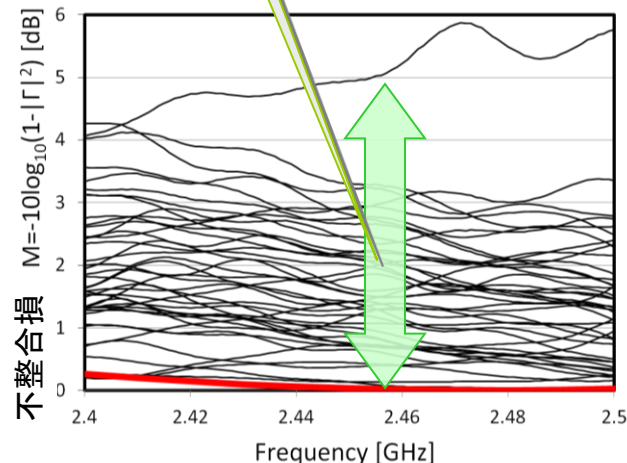
超小型無線通信モジュール

小型アンテナの開発

- 機器内設置により生じる、**金属部品の近接による特性劣化**(不整合損の増加)の問題を見出し、改善するアンテナ設計法を確立
- **自由空間～機器内空間において安定な特性を発揮**する小型アンテナを開発

従来の汎用アンテナは機器内で大きな特性変化を呈示

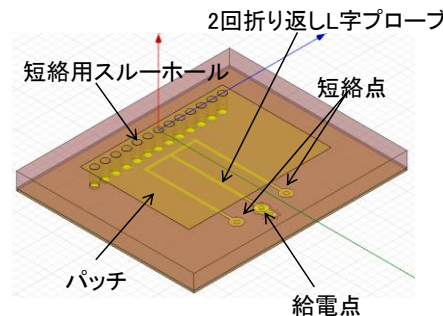
設計開発



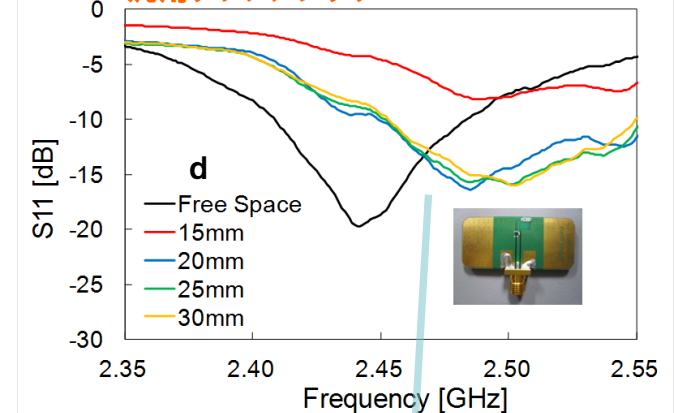
25x30mm



9x27mm

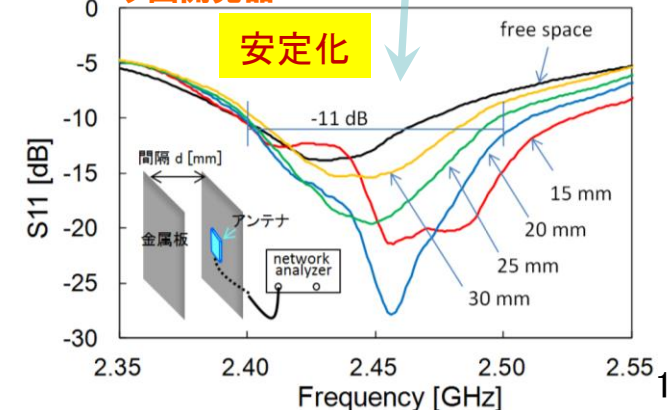


汎用チップアンテナ



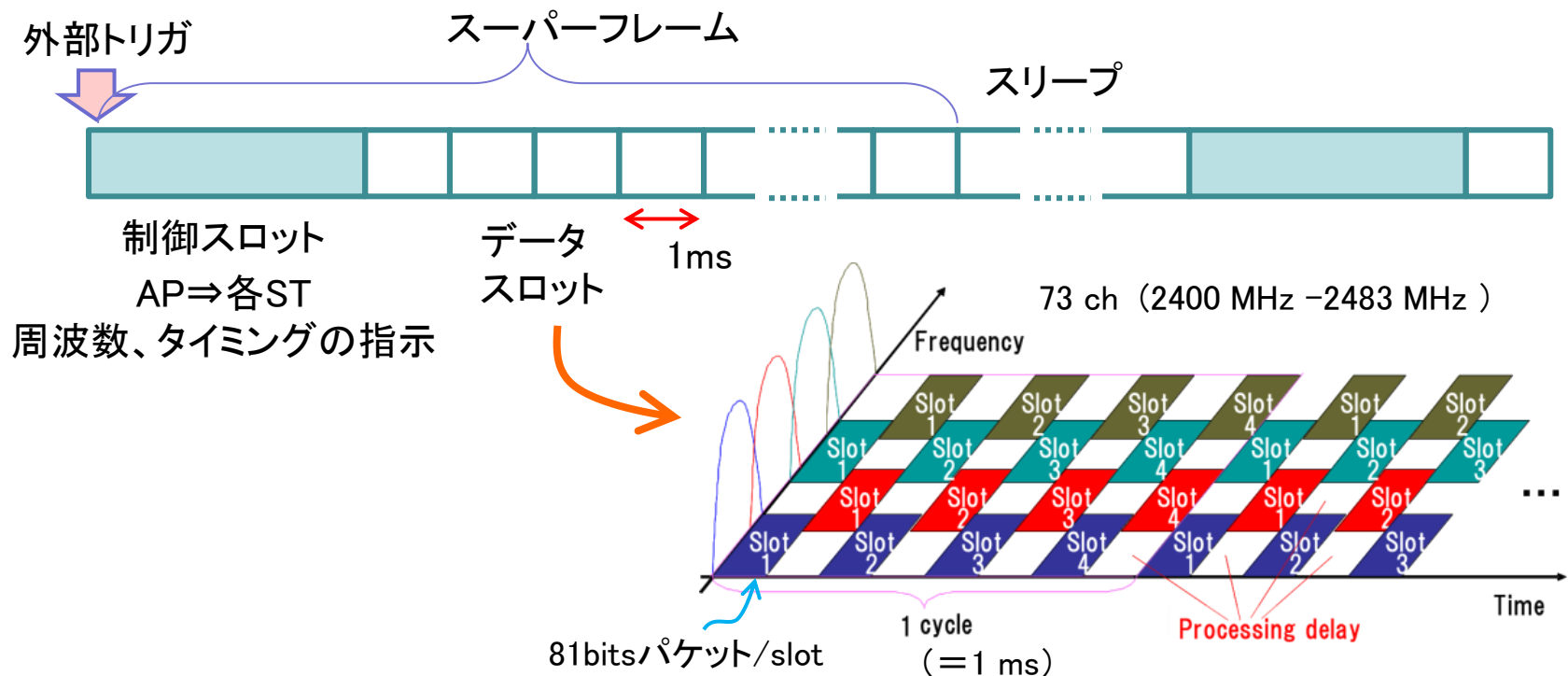
今回開発品

安定化



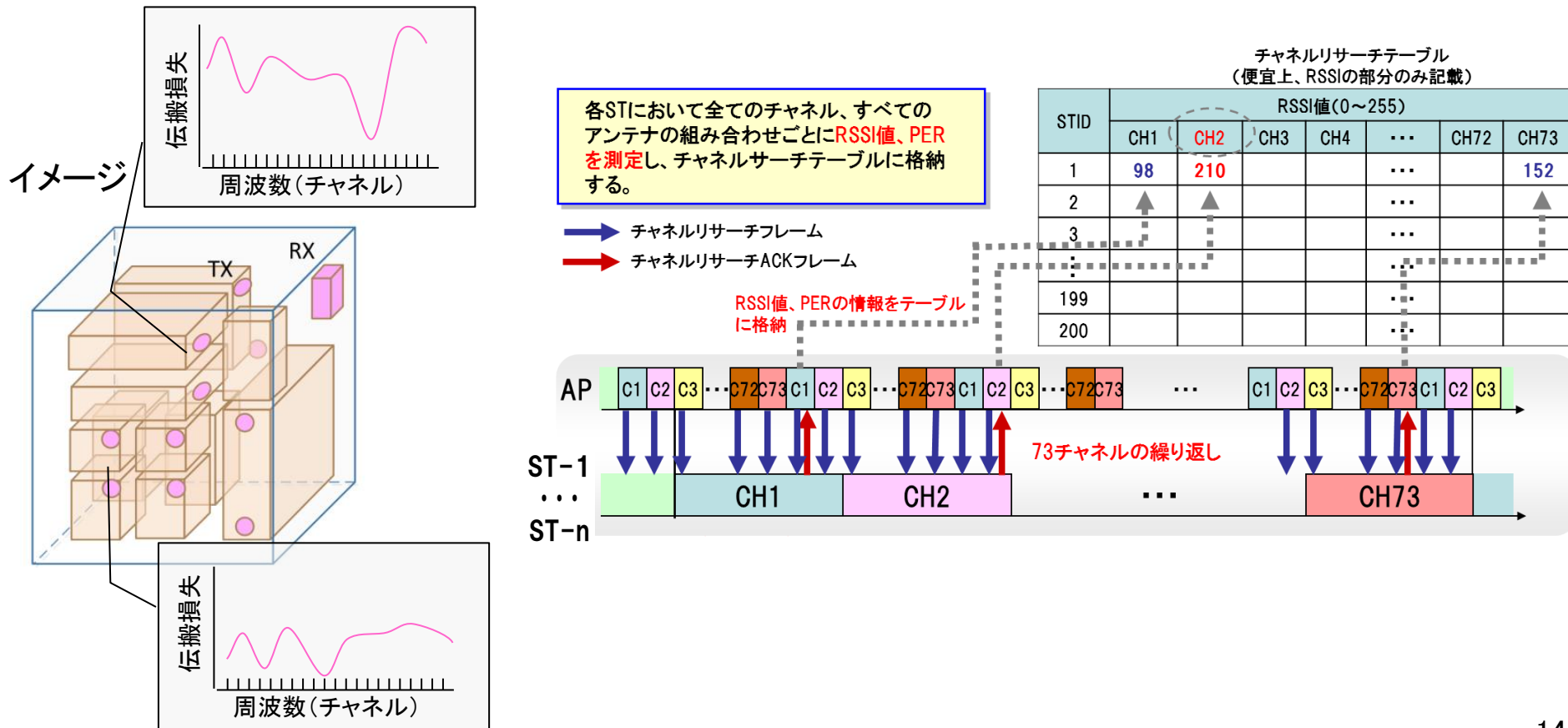
専用プロトコルの開発1: FTDMA

- 200個のセンサデータを1ms以内の遅延で送受信する**適応型の周波数時分割多重方式**(FTDMA)
- 隣接間干渉を抑制するためのスロット配置とタイミング制御
- スリープ／アクティブのモード制御による省電力化



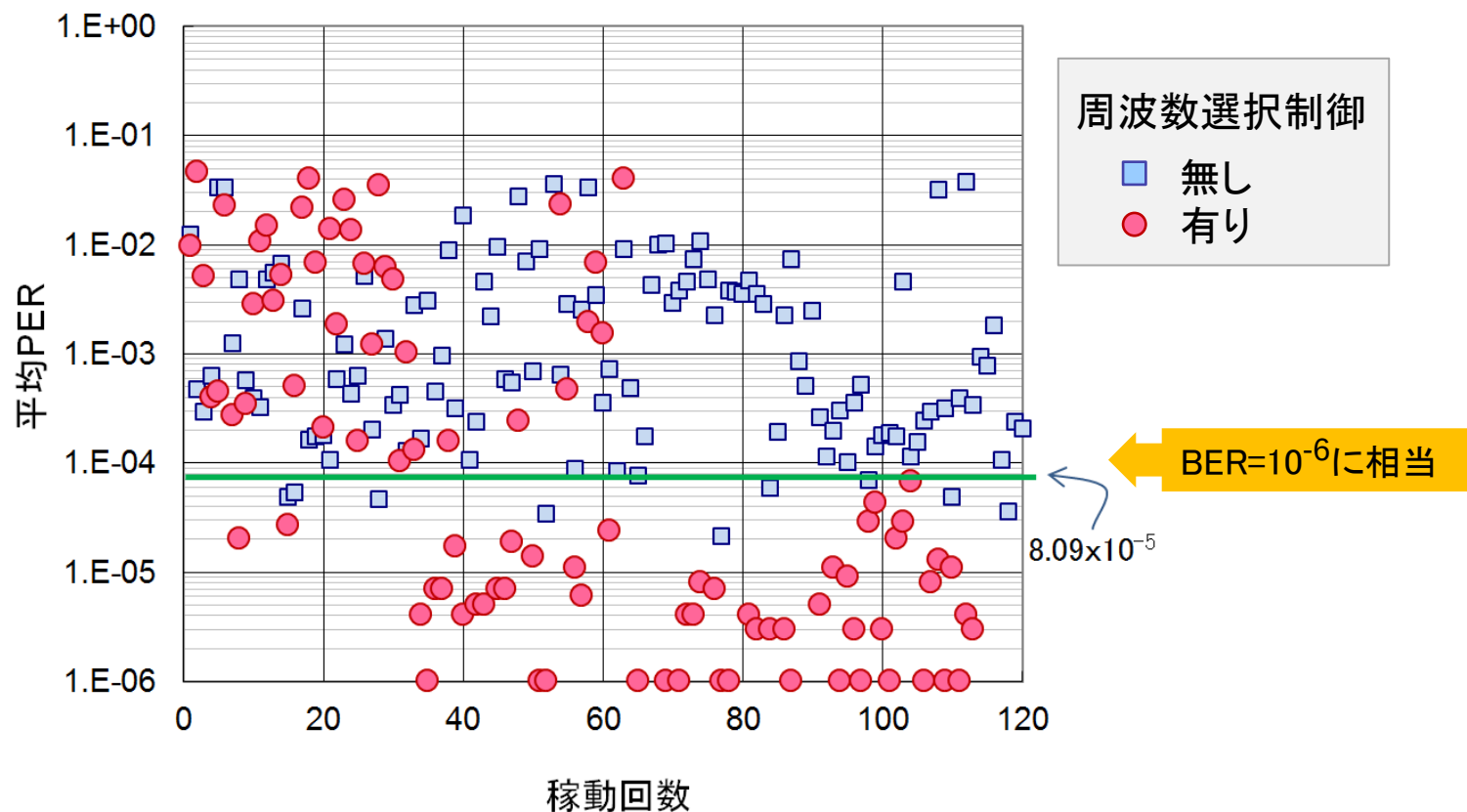
専用プロトコルの開発2: 周波数選択

- 機器内における各無線モジュールの**チャンネル別受信強度とパケット誤り率をテーブル化し、通信品質の良い周波数を選択して割当**
- 受信側では複数アンテナを使用して空間ダイバーシチも活用



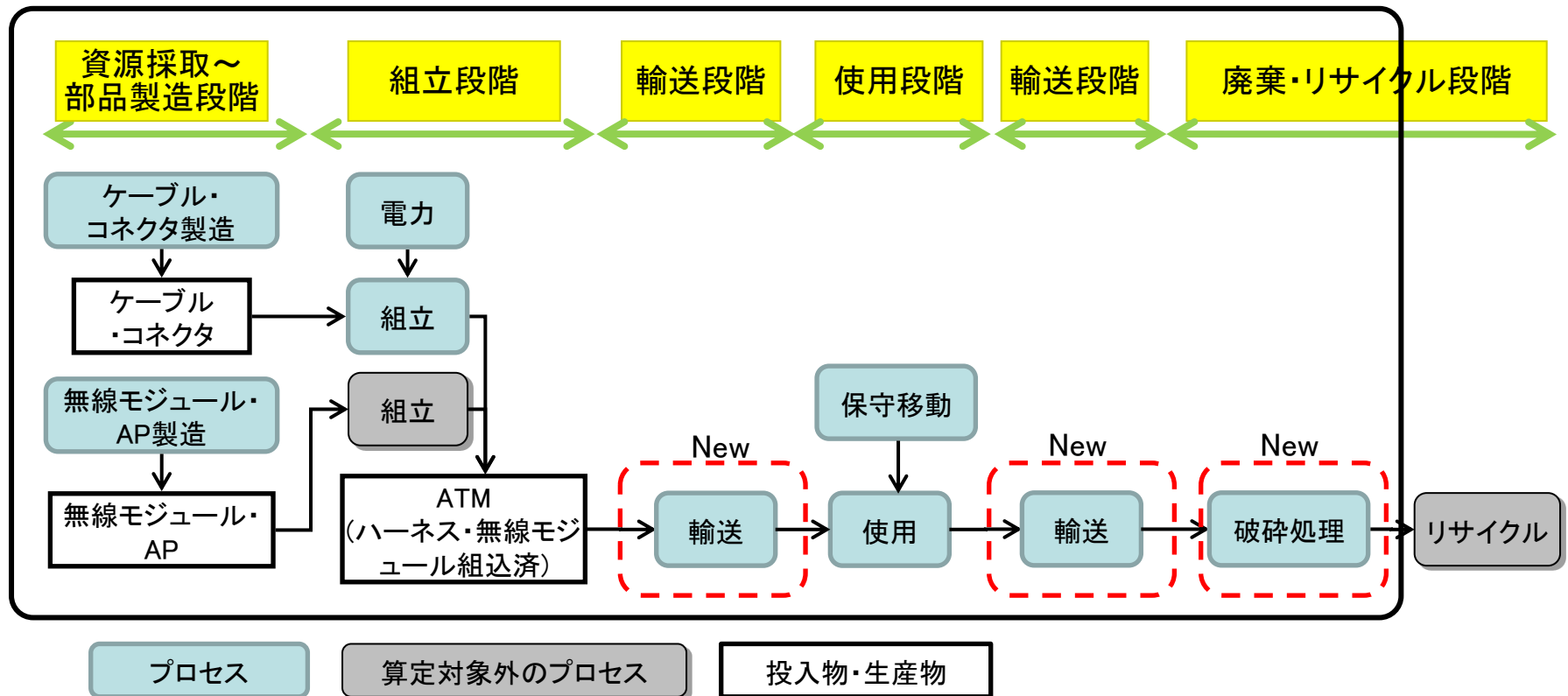
実機実験における通信品質の検証

- ATM実機内に25個の無線通信モジュールを設置して通信品質を総合評価
- 周波数選択プロトコルにより平均パケット誤り率は低下し、ビット誤り率換算で 10^{-6} 以下を達成、高い通信品質が確保できることを実証



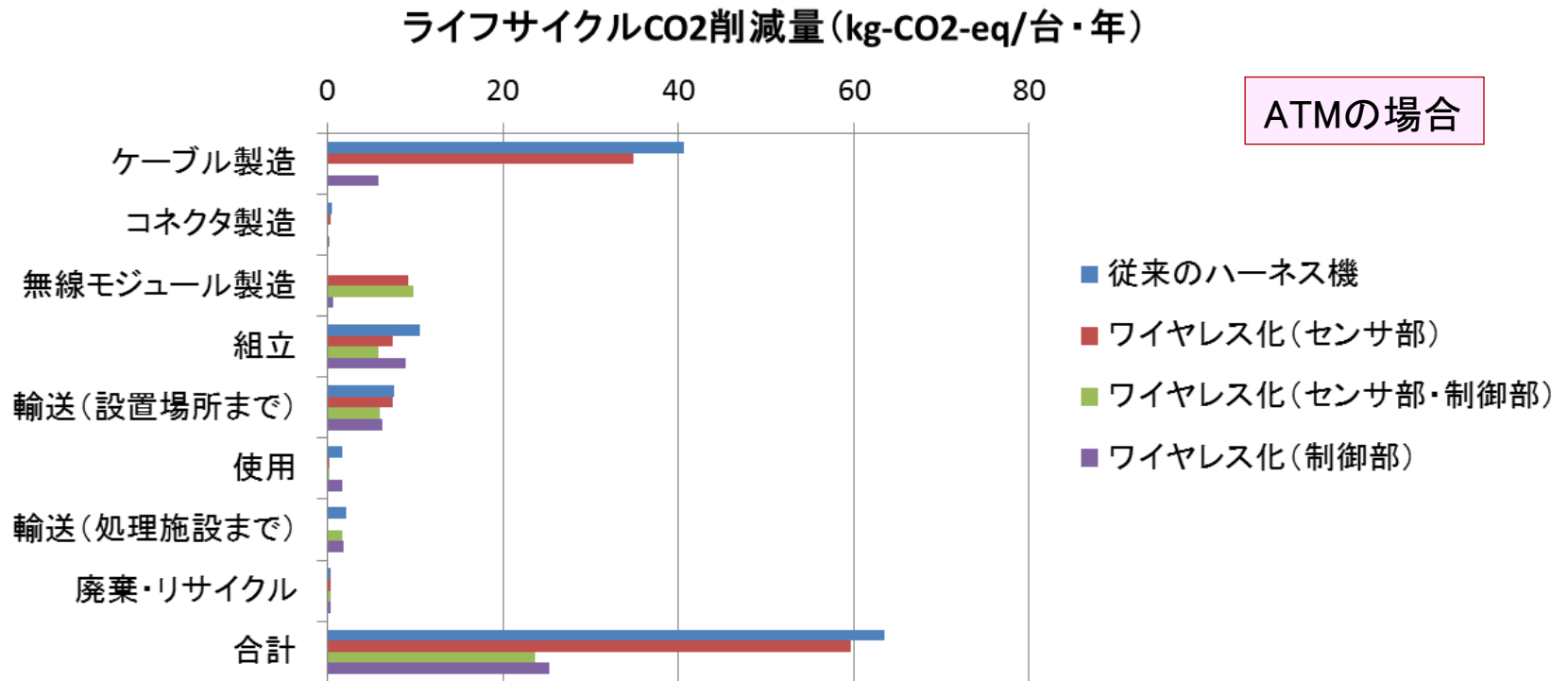
CO2排出量に関わるライフサイクル評価法

- ハーネスのワイヤレス化に関わる部分のみ着目
- 部品製造段階～組立～使用～廃棄の一部までを含む評価範囲を設定



工程別のCO2排出量予測、環境配慮型設計

- ワイヤレス化に関わる部品、使用量、消費エネルギー等を工程別に精査し、製造工程でのフロン排出も含めた**温暖化ガスの排出量として数量化(CO2eq)**
- 機器内のネットワークポロジを踏まえて導入シナリオを考え、CO2排出量を最小化するシナリオを各機器毎に策定**(環境配慮型設計)**



CO2排出量削減の予測値

- 各機器の精査結果を総合し、評価対象とした5機器の総量を計算
- CO2排出量削減のポテンシャルは**2.6万トン-CO2eq／年(国内)**となり、当初目標から**大幅な下方修正**
- 原因は遊技機への適合性や削減ケーブル量の過大評価等

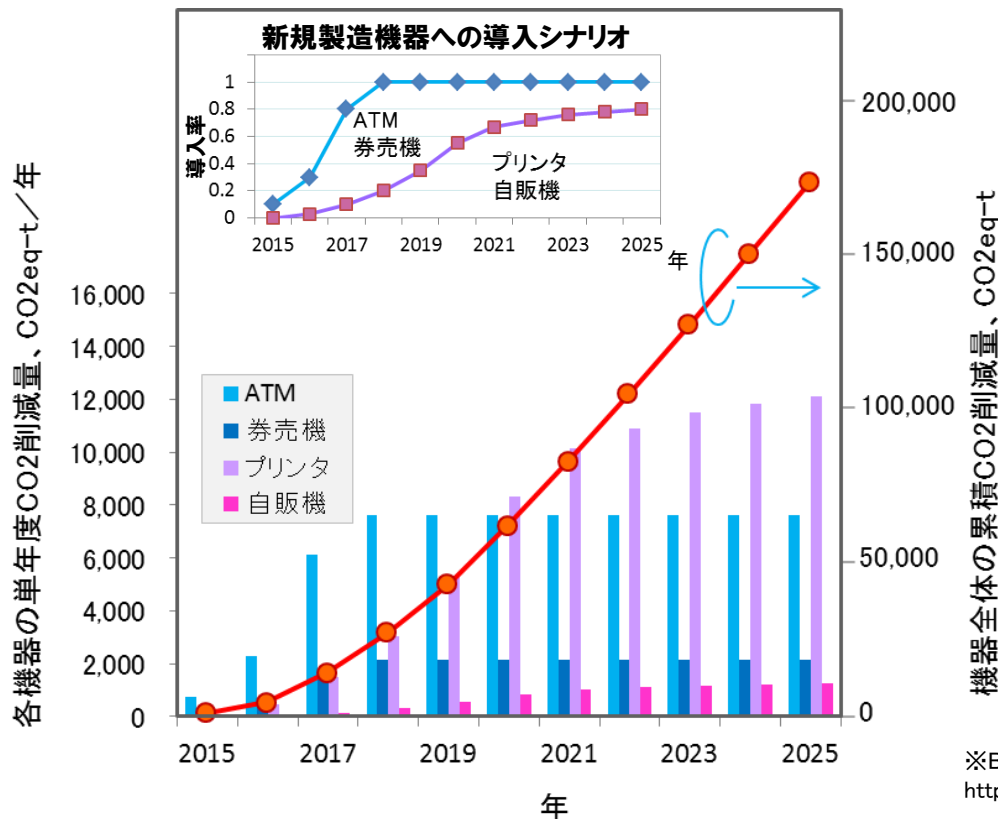
※カッコ内は
初期の推定値

項目		ATM	券売機	プリンタ	自販機	遊技機
最適シナリオ		全置換	全置換	部分置換	部分置換	有線のまま
国内設置台数[万台]		20 (20)	10.6 (10.6)	1600 (1600)	550 (550)	440 (450)
センサ数[個／台]		200 (200)	100/200 (120/200)	19 (4)	67 (60)	13～22 (50)
ケーブル長[km／台]		54.3 (3)	27.1/54.3 (2/3)	0.02 (0.1)	0.03 (0.9)	0.01 (0.8)
ケーブル重量[kg／台]		65.3 (126)	32.6/65.3 (76/126)	0.1 (4.2)	0.2 (39)	0.1 (33.6)
CO ₂ eq 削減 効果 (t/年)	ケーブル製造	6,976	1,953	22,508	2,960	0
	コネクタ製造	74	21	416	57	0
	無線モジュール製造	△116	△41	△7,647	△1,443	0
	組立	316	88	—	—	—
	輸送(設置場所まで)	285	80	—	—	—
	使用	△1	0	△134	△17	0
	輸送(処理施設まで)	82	23	—	—	—
	廃棄・リサイクル	15	4	—	—	—
	小計	7,630 (12,400)	2,128 (7,800)	15,143 (58,200)	1,557 (72,600)	0 (190,100)
	総計	26,458(341,100)				

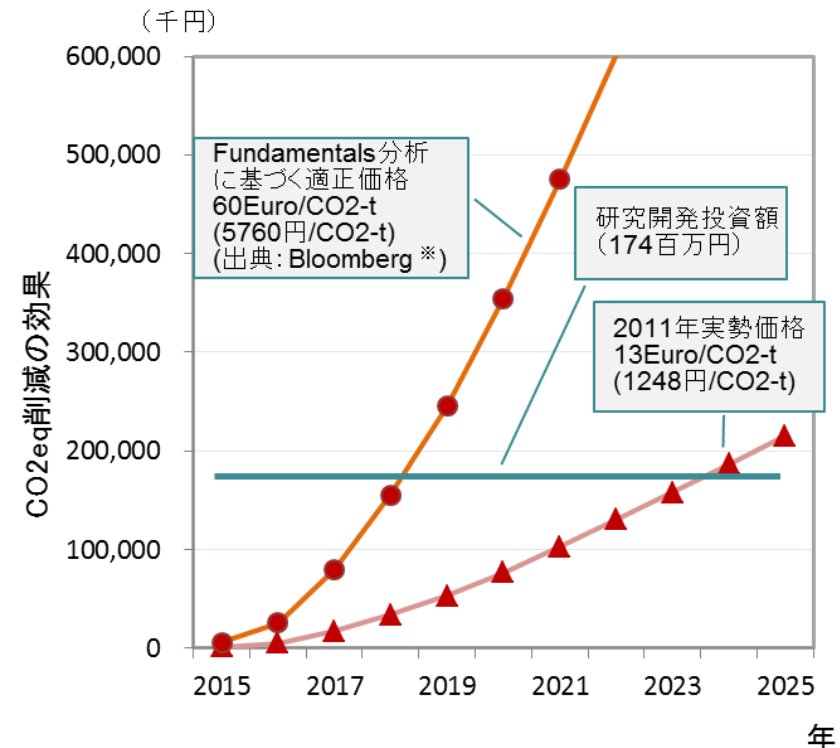
CO2排出量削減の累積効果

- 2015年から導入されるシナリオを仮定して試算
- 10年後の2025年までに累積で17万2千トン-CO2eq(@国内)の削減に貢献
- 排出権取引を参考に費用対効果を算定、研究開発投資は回収可能

CO2排出削減への寄与



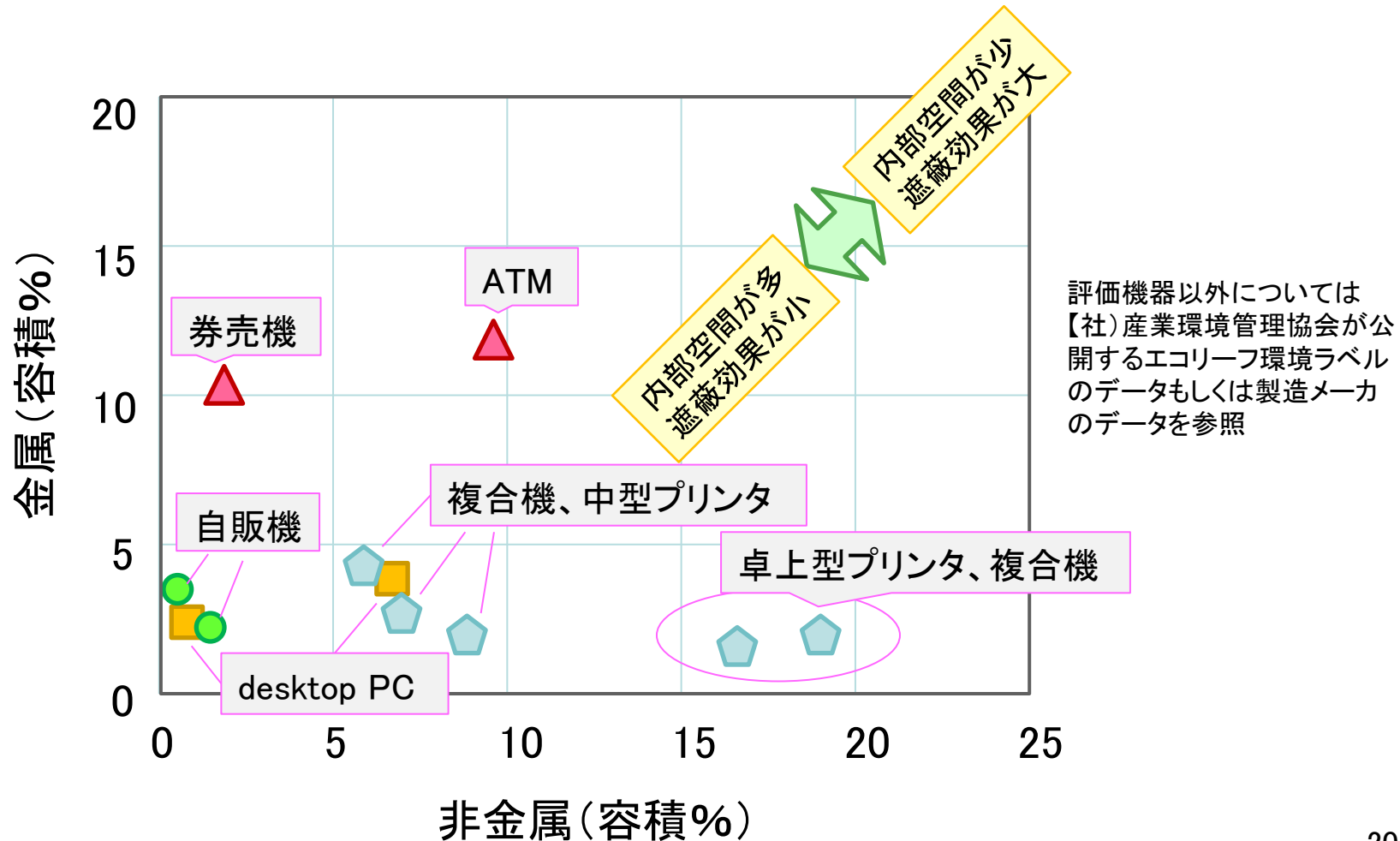
費用対効果



※Bloomberg、「安すぎる欧州排出権取引価格」、2011年9月
http://www.bnef.com/assets/pdfs/press-releases/bnef_press_release_9_13_2011_jp.pdf

実用化の取組み及び水平展開

- CO2排出量削減の貢献を目指して、実用化の検討中
- 他の機器への水平展開についても機器構造の類型化を通して一定の目途



まとめ

- 個別課題の目標は達成
 - 機器内伝搬環境の把握
 - 低遅延・多元接続無線通信モジュールの開発
 - 切手サイズ大の無線通信モジュール
 - 機器内で安定な特性を維持する小型アンテナ
 - プロトコル(周波数時分割多重方式、周波数選択プロトコル)
 - CO2排出量の設計段階における予測的評価手法、環境配慮型設計手法
- CO2排出削減の期待値については大幅な下方修正
 - 精査の結果は2.6万トン-CO2eq／年
 - ATM等では一定の効果があることは明らかとなった
- 今後の実用化
 - Green of ICT技術として実用化を検討中
 - CO2排出権取引をもとにして費用対効果の算定、研究開発の投資回収は成立可能
 - 類型化の考察から、複合機等の他の機器への展開も期待
 - 機器内通信は、内部設計の自由度拡大等の他の利点もあり、面白い存在