

NICTにおける電波の利活用に関する 研究開発について

独立行政法人 情報通信研究機構
ワイヤレスネットワーク研究所長
矢野 博之



独立行政法人通信総合研究所(CRL)

- 1896年 逋信省電気試験所において無線電信の研究を開始
- 1915年 電気試験所平磯出張所設立
- 1948年 文部省電波物理研究所を統合
- 1952年 郵政省電波研究所発足

- 1988年 通信総合研究所に名称変更
- 1989年 関西支所の開設
- 1997年 横須賀無線通信研究センターの発足
- 2000年 けいはんな情報通信融合研究センター開設
- 2001年1月 総務省通信総合研究所
- 2001年4月 独立行政法人通信総合研究所発足



通信・放送機構(TAO)

- 1979年 通信・放送衛星機構設立
- 1982年 君津衛星管制センター開所

- 1992年 通信・放送機構に名称変更

- 2000年 衛星所有業務終了

- 2001年 民間基盤技術研究促進業務開始
- 2002年 衛星管制業務終了
- 2003年 基盤技術研究促進センターの権利業務を一部承継

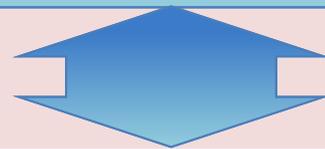
2004(平成16)年4月1日



独立行政法人情報通信研究機構(NICT)

情報通信分野を専門とする唯一の公的研究機関として、最先端の研究開発を実施し、成果を社会へ還元。

産学官連携



公的業務として
標準時供給・
宇宙天気予報提供等





平成26年度予算: 約296.8億円
要員: 937名 (2014年4月1日現在)

自主研究開発

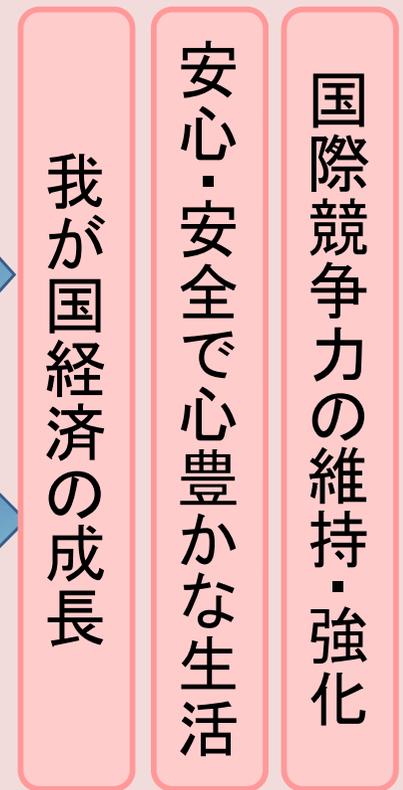
産学の研究開発
支援・事業の振興



我が国経済の成長

安心・安全で心豊かな生活

国際競争力の維持・強化

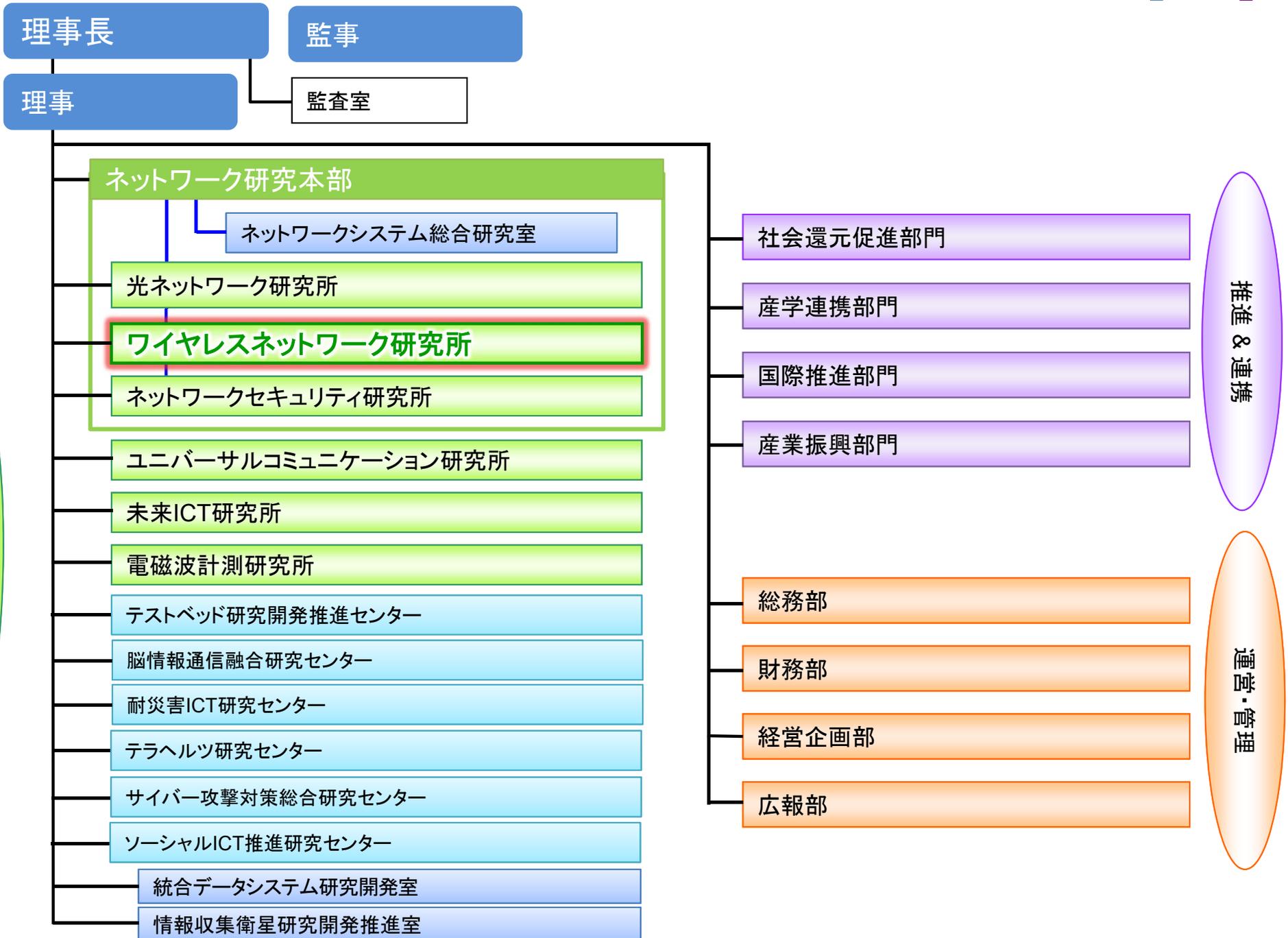


国の情報通信政策

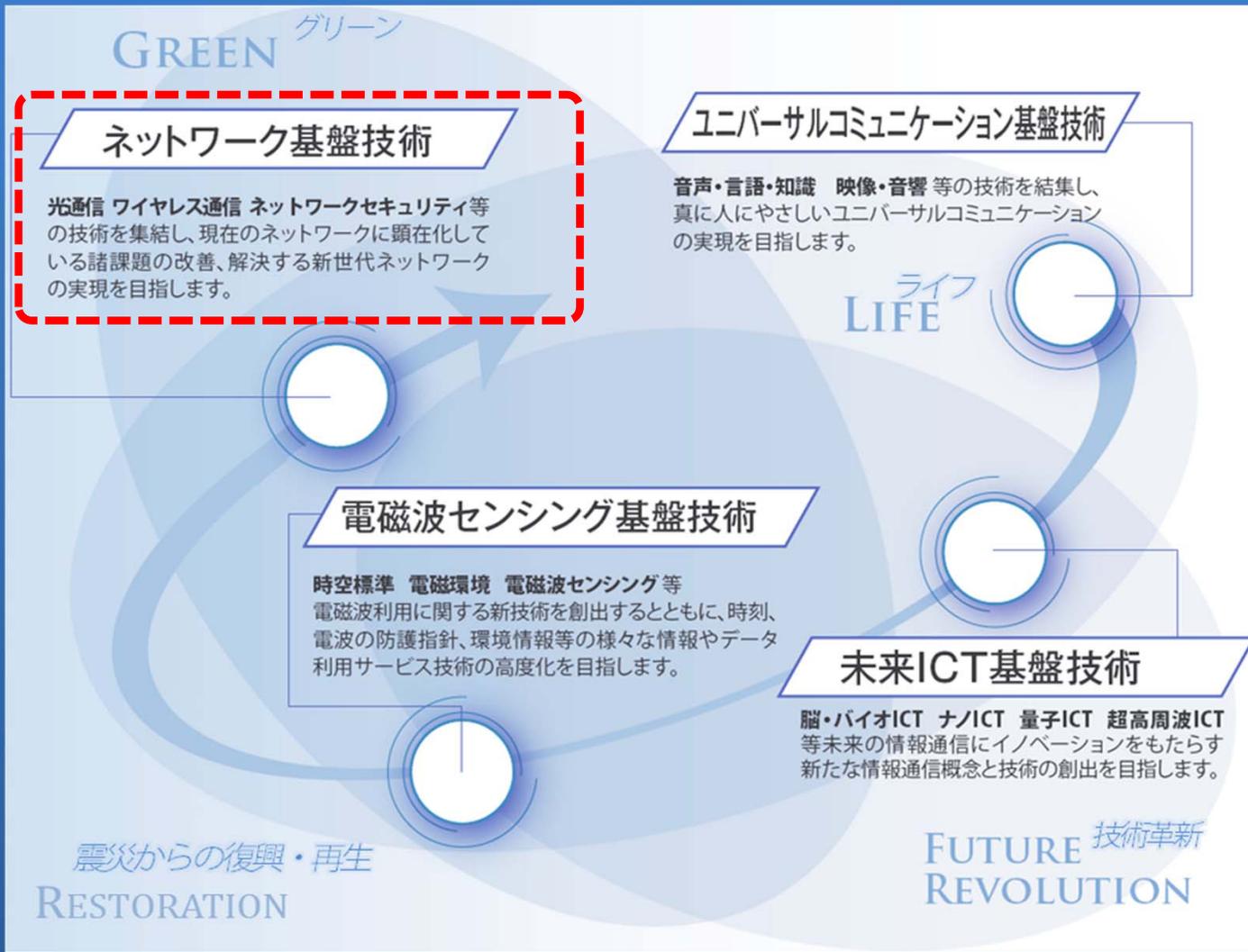




理事長:坂内 正夫



NICTが目指す研究開発



成果の社会還元の促進

◇NICTの研究成果の社会還元

産学連携の推進

◇外部との研究連携の推進
◇委託研究・共同研究の活用

国際連携の推進

◇国外との研究連携の推進

情報通信産業の振興

◇情報通信分野の事業の振興

連携プロジェクトによる分野横断的な取組の推進

将来のICTを支える人材の育成



ワイヤレスネットワーク研究所に おける取り組み

移動環境、災害等の非常時、有線によるアクセスが困難な領域などで、周波数資源やエネルギー資源を有効利用しつつ、人やモノが柔軟且つ確実に繋がるワイヤレスネットワークの研究開発



研究室

- 
スマートワイヤレス研究室
 (横須賀リサーチパーク)
- 
ディペンダブルワイヤレス研究室
 (横須賀リサーチパーク)
- 
宇宙通信システム研究室
 (本部、鹿島宇宙技術センター)

研究拠点



ワイヤレスネットワーク研究所

研究開発(R&D)

スマートワイヤレス研究室

- TVホワイトスペース通信技術
- スマートメータを用いたワイヤレスグリッド技術
- ワイヤレスウルトラブロードバンド無線通信技術
- 地域無線ネットワーク、公共ブロードバンド移動通信システム、等

ディペンダブルワイヤレス研究室

- 移動ノード対応マルチホップメッシュ型自律分散無線通信システム
- ショートレンジ対象ボディアエリアネットワークおよびシート媒体通信
- UWB無線技術の応用
- 高効率画像符号化技術、等

宇宙通信システム研究室

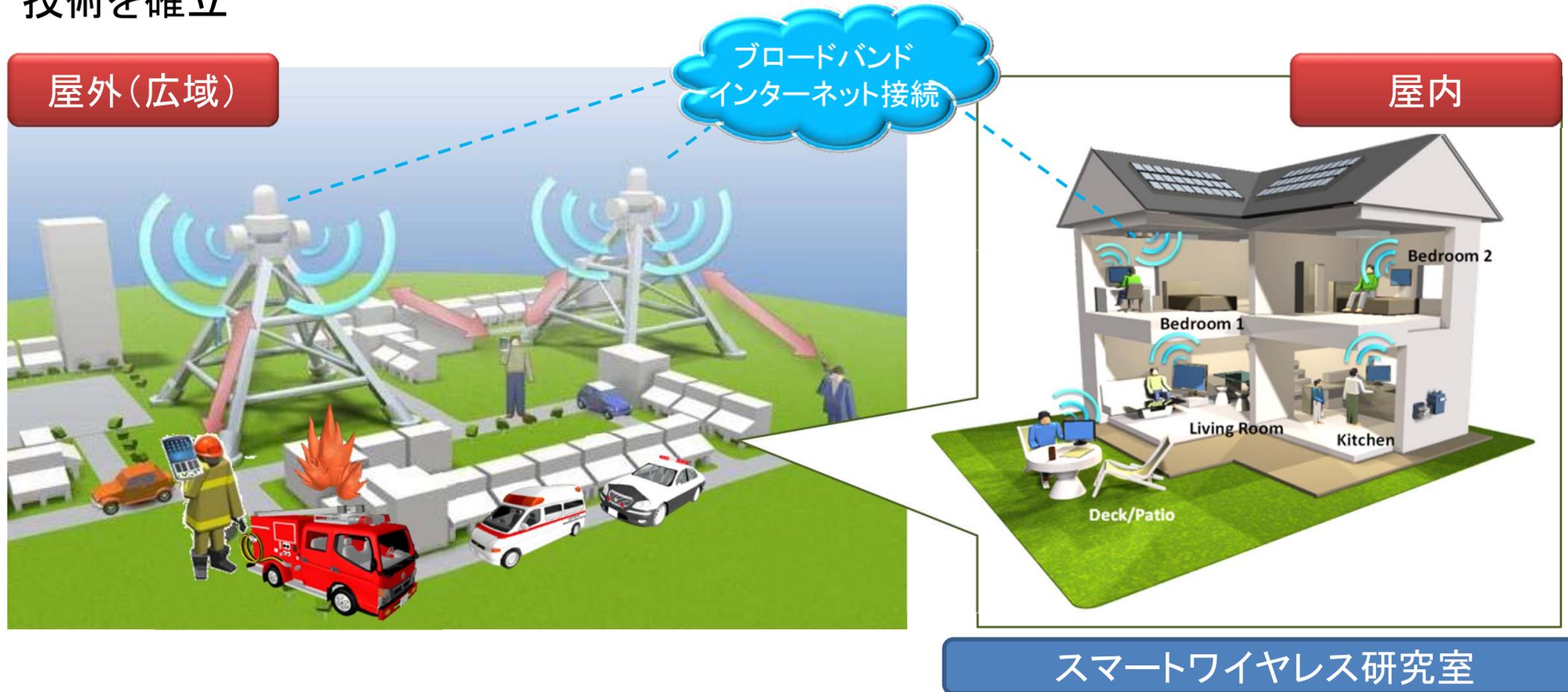
- ブロードバンドモバイル衛星通信
- 光衛星/光地上通信
- 地上衛星共用携帯電話システム
- マルチフィーダリンク
- 軌道管理技術、等

研究支援・推進

企画室

- 広報・成果発信
- 管理・成果マネジメント
- 研究環境整備

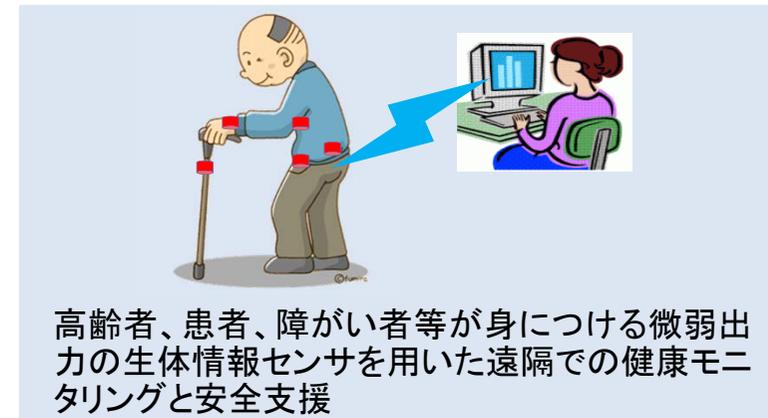
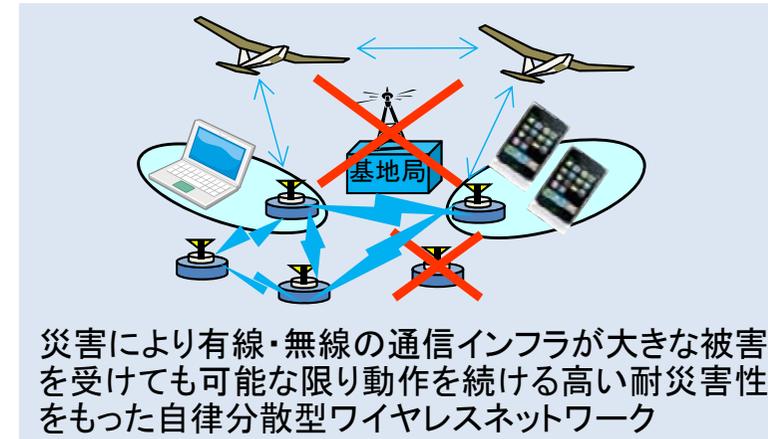
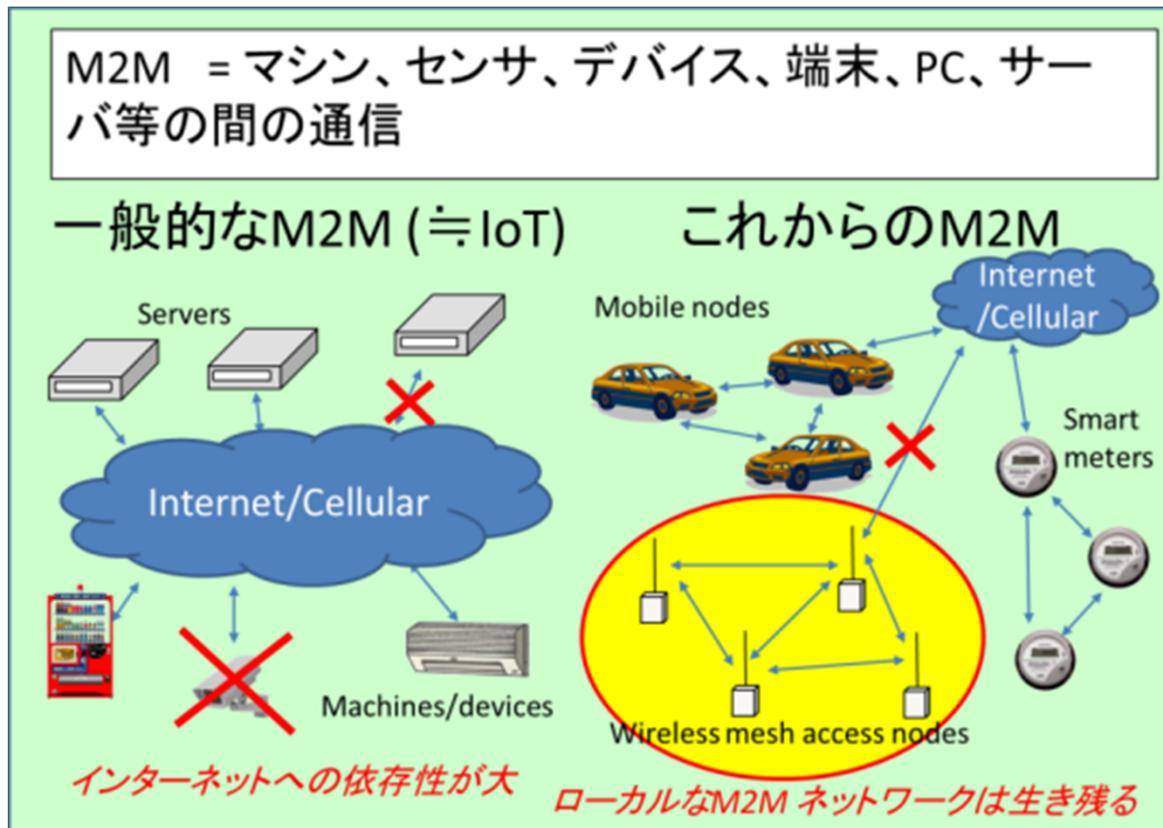
- 生活を守る公共的な通信システムにも利用可能となるよう、アナログTV放送終了後のVHFやUHFを用いて基地局1基で広域の通信エリア(数10km)を実現し、最大100Mbps程度の伝送を可能とするシステムの基礎技術を確立
- ミリ波・サブミリ波・テラヘルツ帯を用いて屋内で10Gbps以上の速度で3Dハイビジョンテレビ映像などを伝送可能とするワイヤレスパーソナルエリアネットワーク(WPAN)技術を確立



NICT 非常時等にも適用できるワイヤレスネットワークの実現

- 数10mの領域から数100kmの広域まで適用可能で、地上や上空を移動する多数のモノが周囲環境等の状況に対して柔軟に相互につながり、ネットワークを構成する技術を確立
- 人体内外に配置された小型センサのテレメトリ技術など、超小型のモノを含むマシンやデバイスの間の近距離における高信頼な通信技術を確立

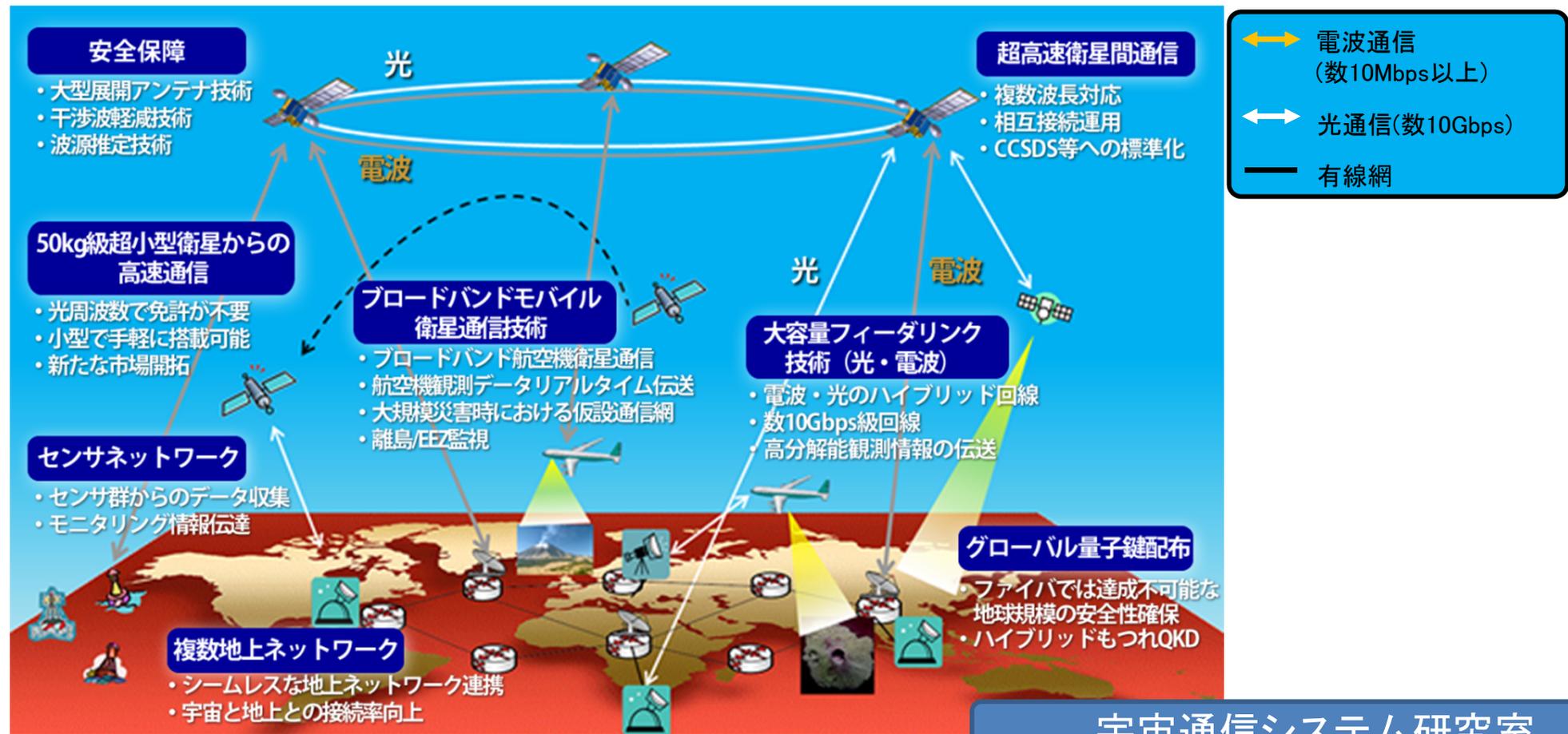
ディペンダビリティを有するM2Mネットワーク



ディペンダブルワイヤレス研究室

NICT 地上から宇宙空間まで広がるネットワーク環境の実現

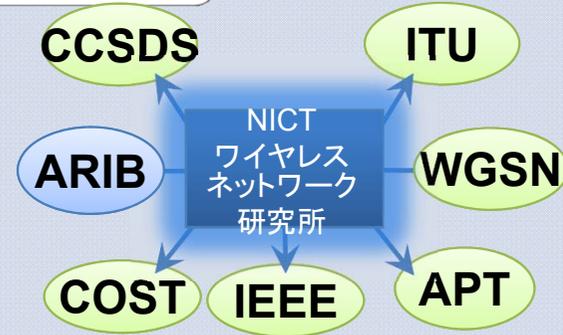
- 災害時など緊急時にも展開可能で、地上から宇宙空間までをカバーするブロードバンドモバイル衛星通信システムを構築
- 大容量化する観測衛星のデータ伝送を支える数10Gbpsクラスの光衛星通信技術を確立させ、空間量子鍵配布技術や電波と光を用いた超高速データ中継・超高速フィーダリンク技術を構築



宇宙通信システム研究室

1. 標準化戦略の推進

- ITU-R (SG4、5) 等への寄与文書・勧告案提出
- IEEE (802、1900) における標準化提案の「選択と集中」
- ARIB 公共ブロードバンド移動通信システム開発部会、ITS情報通信システム推進会議への参画
- 標準化活動の中心的な役割を担う人材を着実に育成



2. 国際連携・産学連携の推進

- 我が国における無線システム研究開発のメッカであるYRPの立地条件を最大限に活用し、学と連携するとともに、計画段階からメーカー・キャリア等、産との連携に基づく、アウトカムを見据えた研究開発の推進



ワイヤレス・テクノロジー・パーク

3. 研究開発プラットフォームの形成

- YRPの地理的条件(電波的に閉鎖的な空間)を活かした無線テストベッド構築により、実用化を加速化
- YRPとの連携による共同研究の機動的な推進



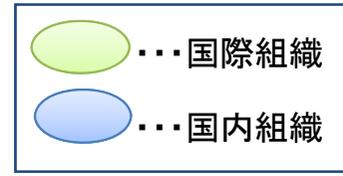
LTE接続評価装置



Wi-SUN研究実証基盤

社会の諸問題解決に向けて

4. 社会展開 技術移転



SLS-OCM: 衛星搭載用
光通信装置



SG4 (衛星系), SG5 (地上系)



ITS情報通信システム推進会議、
高度無線通信研究委員会、
公共ブロードバンド移動通信システム開発部会



スマートメータ



COST IC1004: BAN



IEEE802委員会
(802.11/19/22: ホワイトスペース通信、
802.15: 小電力無線ネットワーク、802.16: 大規模M2M)
IEEE DySPAN Standards Committee
(1900.4/6/7: コグニティブ無線)



AWG: 地上/衛星統合移動通信技術 (STICS)
ASTAP: ミリ波等の新周波数分野

スマートユーティリティネットワークにおける小電力マルチホップ通信技術

無線信号の到達距離を拡張し、遮蔽等による電波不感地帯を解消することを目的とする電波の多段中継(マルチホップ通信)を、低消費電力にて実現する技術です。

サービスエリア拡大、省電力、コスト削減による新たなサービス形態の創出

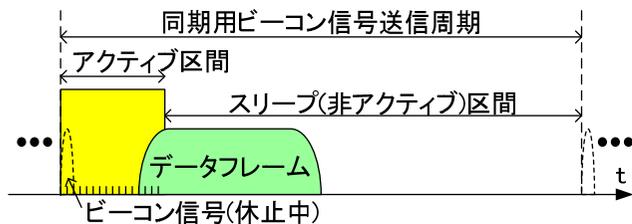
IEEE802.15.4g/4e標準化への反映

IEEE802委員会におけるタスクグループIEEE 802.15.4gおよび15.4eに、物理層とMAC層の仕様をそれぞれ提案し採用されました。

実績	IEEE 802.15.4g (PHY)	IEEE 802.15.4e (MAC)
レターパロッド	2010年9月	2010年9月
スポンサーパロッド	2011年7月	2011年7月
RevCom承認	2012年3月	2012年3月

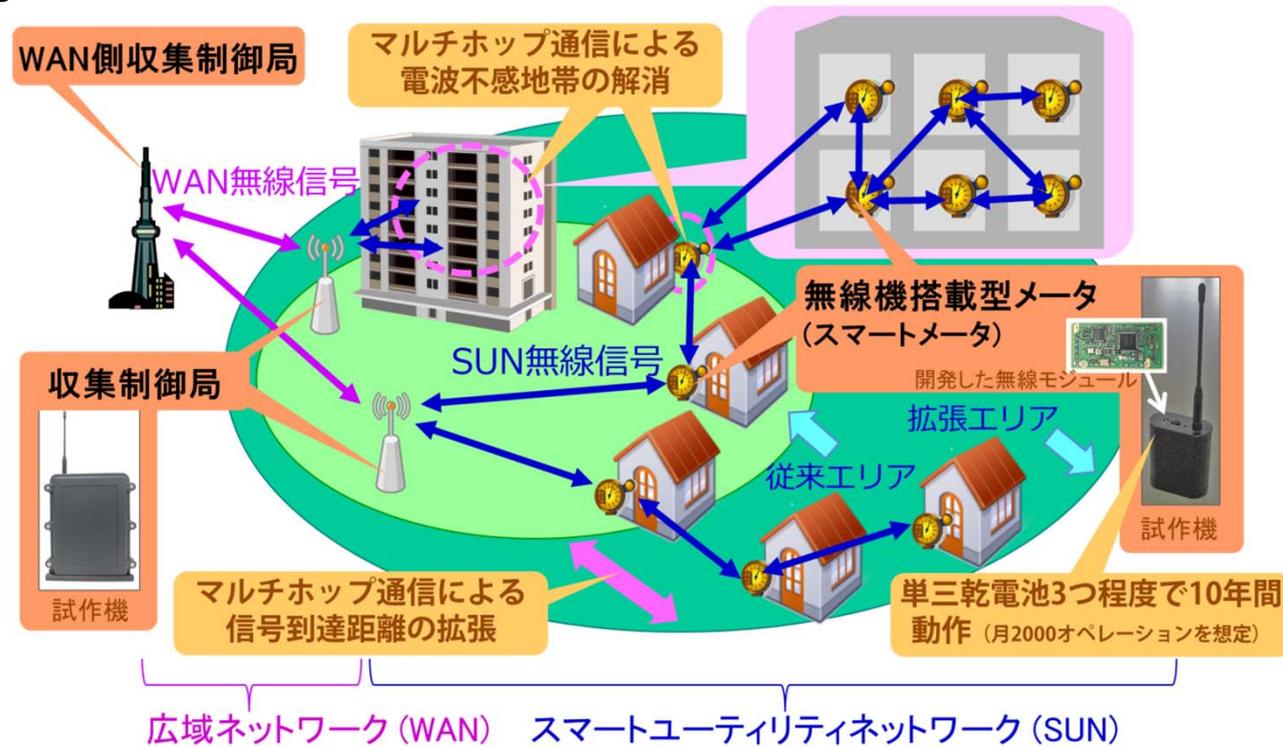
採用された物理層およびMAC層の仕様

物理層仕様	MAC仕様
1. 950MHz帯におけるFiltered-2/4FSK変調	1. 断続的なアクティブ区間を利用する低消費電力MAC
2. 伝送速度50kbps ~ 400kbps	2. マルチホップ通信のためのTree構造をサポート
3. ペイロード長に応じた誤り検出符号の切換え	



断続的なアクティブ区間におけるデータ送信のイメージ

※次世代ホームネットワークシステム(TTC JJ300.10)でも同仕様を採用



スマートユーティリティネットワーク(SUN)とは:

ガス・電気・水道の自動メータ検針等を効果的に実現するためのネットワーク。スマートグリッドにおける無線通信規格の候補として有望。狭域は小電力マルチホップ通信で接続およびデータ収集を行い、広域は携帯電話/広域移動無線アクセスシステムで収集。

□ 正式名称: Wi-SUN Alliance

□ 目的

IEEE802.15.4g/4/4eを利用したセンサー用無線規格を用いた無線機の相互互換性を担保し、市場拡大を目指す。



□ 創設メンバー(8団体) ※アルファベット順

Analog Devices, Inc. (米国チップベンダー)、富士電機(株)、ルネサス エレクトロニクス(株)、(株)村田製作所、(独)情報通信研究機構(NICT)、オムロン(株)、大崎電気工業(株)、Silver Spring Networks, Inc. (米国スマートグリッド構築のためのネットワークプラットフォームに関する技術およびソリューション提供企業)

□ メンバー(37社) ※アルファベット順、2014/3/28現在

(株)アクセス、アドソル日進(株)、アジレント・テクノロジー(株)、アンリツ(株)、シスコシステムズ(株)、CMエンジニアリング(株)、Discrete Time Communications (UK) Ltd.、(株)エディックシステムズ、Exegin Technologies Ltd.、(株)アイ・エス・ビー、Itron, Inc.、Landis+Gyr AG、ラピスセミコンダクタ(株)、(株)メガチップス、三菱電機(株)、日本電気(株)、NECアクセステクニカ株式会社、(株)日新システムズ、NTTコミュニケーションズ(株)、大阪ガス(株)、パナソニック(株)、Procubed Inc.、Rohde and Schwartz GmbH & Co. KG、佐鳥電機(株)、Semtech International AG、Silicon Laboratories, Inc.、(株)スカイリー・ネットワークス、太陽誘電(株)、立山科学工業(株)、(一財)テレコムエンジニアリングセンター、Texas Instruments Incorporated、テセラ・テクノロジー(株)、東京ガス(株)、(株)東芝、東光東芝メーターシステムズ(株)、TÜV Rheinland、ワールドピーコム(株)

□ 現在までの活動

- 東京ガスメータ用無線機の相互接続性規格策定を受託
- ECHONET Lite向け、ホームネットワーク通信インターフェースとしてWi-SUNアライアンス仕様を採用
- 東京電力スマートメータ用無線通信規格としてWi-SUN規格が正式に採用

超広帯域無線 (UWB: Ultra Wide Band) 技術

超広帯域無線(UWB)とは、非常に広い周波数帯域にわたり電力を拡散させ、低い電力密度で高速通信を実現する無線通信方式。

医療・ヘルスケア用生体内外通信
屋内での高精度ナビゲーション
災害時等における生存者探査

標準化の実績

標準規格名	発行年月	概要	NICTによる主な活動
ARIB STD-T91	1998年12月初版発行 (2010年11月1.2改定)	UWBを用いた高速通信のための標準規格。日本におけるUWB法制化に向けて作られた。	• MMACフォーラム(当時)のUWB-WG委員として標準化に寄与(UWB-WGが案を作成)
IEEE 802.15.4a	2007年7月発行	世界初となる、UWBを用いた低レートWPANの標準規格。センサーネットワークなどに利用される目的で作成。移動中の測距測位もサポート。	• NICT等提案が標準ベースライン案(基本骨子)に採用
IEEE 802.15.6	2012年2月発行	メディカルデータとメディカルイベントが優先アクセスできるように規定されている点が他の標準規格と異なる。共通のMAC層と3つのPHY(狭帯域、UWB、HBC)から構成。	• NICTは国内企業・大学と共に医療支援ICTコンソーシアムを設立し、戦略的な標準化を展開 • TGでは副議長、セクレタリとして貢献 • NICT提案による物理層およびMAC層の技術が採用

現在の取り組み

- UWB実用化に向けて法制度の技術的条件を見直すことを目的とした、総務省情報通信審議会UWB無線システム作業班に参画
- 高度無線通信研究委員会 MMAC部会 UWB-WGに特別委員として参加

UWBの特長:

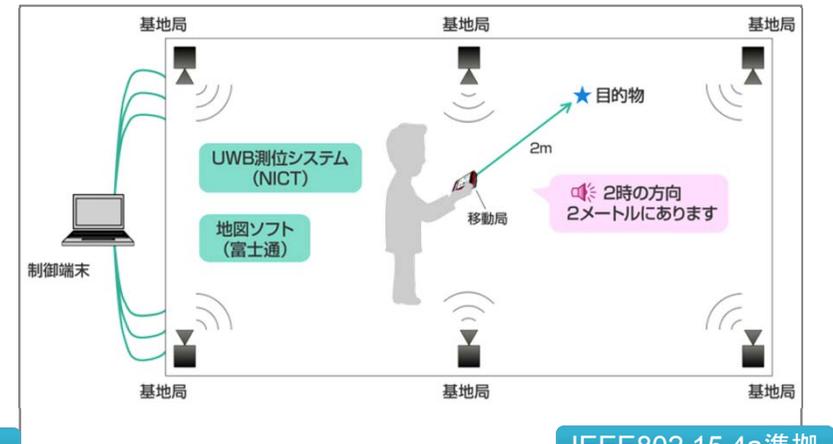
- 人体への影響が小さい(放射電力密度は携帯電話の数万~数十万分の1程度)
- 電波の伝搬距離が限定的であるため、システム間の共存が可能
- 低消費電力の実現
- 無免許での利用が可能

開発例1: UWBを用いた健康モニタリングシステム



IEEE802.15.6準拠

開発例2: UWB測位を用いた視覚障がい者歩行支援システム



IEEE802.15.4a準拠

欧米地域

- EU:** 欧州宇宙機関(ESA)
- イギリス:** 英国情報通信庁(Ofcom)
- カナダ:** カナダ宇宙庁(CSA)
- デンマーク:** オールボー大学通信基盤技術研究センター(AAU CTIF)
- ドイツ:** ドイツ航空宇宙センター(DLR)、
デュイスブルク・エッセン大学(UDE)
- ノルウェー:** オスロ大学病院(OUS)
- フィンランド:** フィンランド国立技術研究センター(VTT)
- フランス:** フランス国立宇宙研究センター(CNES)
- 米国:** ジェット推進研究所(JPL)、
NASAゴダード宇宙飛行センター

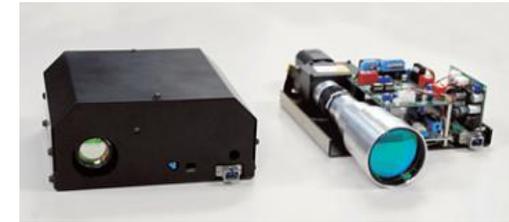
アジア・オセアニア地域

- 韓国:** 韓国科学技術院情報処理無線工学センター(IREC KAIST-ICC)
- シンガポール:** 情報通信開発庁(IDA)、国立情報通信研究院(I2R)
- タイ:** 泰日工業大学(TNI)
- 台湾:** 台湾工業技術研究院(ITRI)
- 中国:** 清華大学、中国工業・情報化部電信研究院(CATR)、北京郵電大学(BUPT)
- マレーシア:** マイクロ電子システム研究所(MIMOS)
- オーストラリア:** 西オーストラリア大学(UWA)

光無線通信装置

民間企業に技術移転

宇宙光通信の技術を応用し、広帯域精追尾技術の研究開発を進めた結果、シングルモードファイバと直結可能で、最高伝送速度 1.2Tbpsを実現する小型の光無線通信装置を開発。



光無線通信装置

コグニティブ無線ルータ

民間企業に技術移転

NICTの研究開発成果であるコグニティブ無線ネットワークアーキテクチャを採用した国際標準規格IEEE1900.4に準拠したコグニティブ無線ルータ。設置場所において最適な無線システムを自動で選択・接続することで電波の有効利用を実現する。端末に対しては無線LANのアクセスポイントとして機能。



コグニティブ無線ルータ

公共ブロードバンド移動通信システム

民間企業に技術移転

アナログTV終了後に利用可能となる200MHz帯を使用し、警察や消防、あるいは自治体等の公共用ブロードバンド通信システムを開発。可搬型基地局による機動的なシステム配備や、高精細映像伝送による被災状況の詳細かつ迅速な伝達を実現する。

※NICTの提案はARIB標準規格 (ARIB STD-T103 Ver.1.0) に採用。同規格はIEEE802.16nにも採用。IEEE 802.22bにも提案し、現在標準化中。



公共ブロードバンド移動通信システム

SUN無線機

民間企業に技術移転

無線通信機能を持つスマートメータを用いて、各メータの自動検針・状況把握・動作制御等を効果的に行う「スマートユーティリティネットワーク (SUN: Smart Utility Networks)」を実現するための省電力小型無線機を開発。国際標準規格IEEE802.15.4g (物理層) および15.4e (MAC層) に準拠。



極小無線モジュール

SUN無線機



東日本大震災後の対応実績 及び耐災害に関する研究開発

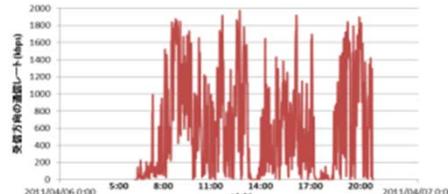
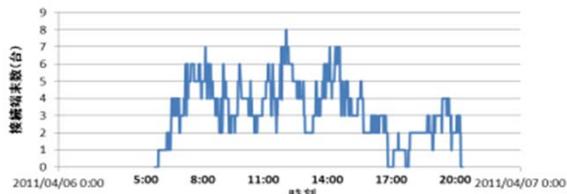
東日本大震災の被災地におけるインターネット無線LAN環境の構築

■ 概要

東日本大震災により被災した自治体からの要請を受け、当時、NICTが藤沢市などで運用していた「広域コグニティブ無線テストベッド」から一部のコグニティブ無線ルータを岩手県中部～南部や福島県内の災害対策本部や避難所に供出した。これにより、一般の被災者や自治体関係者などが利用可能なインターネット利用環境が構築され、安否情報の閲覧や入力、国や自治体などから発表される情報の参照、医療従事者や自治体への情報インフラ提供、震災コンテンツの閲覧等が可能となった。

■ 対応状況

- 岩手県、福島県、宮城県などから支援要請。
- 4月5日以来、計65台のルータを設置。

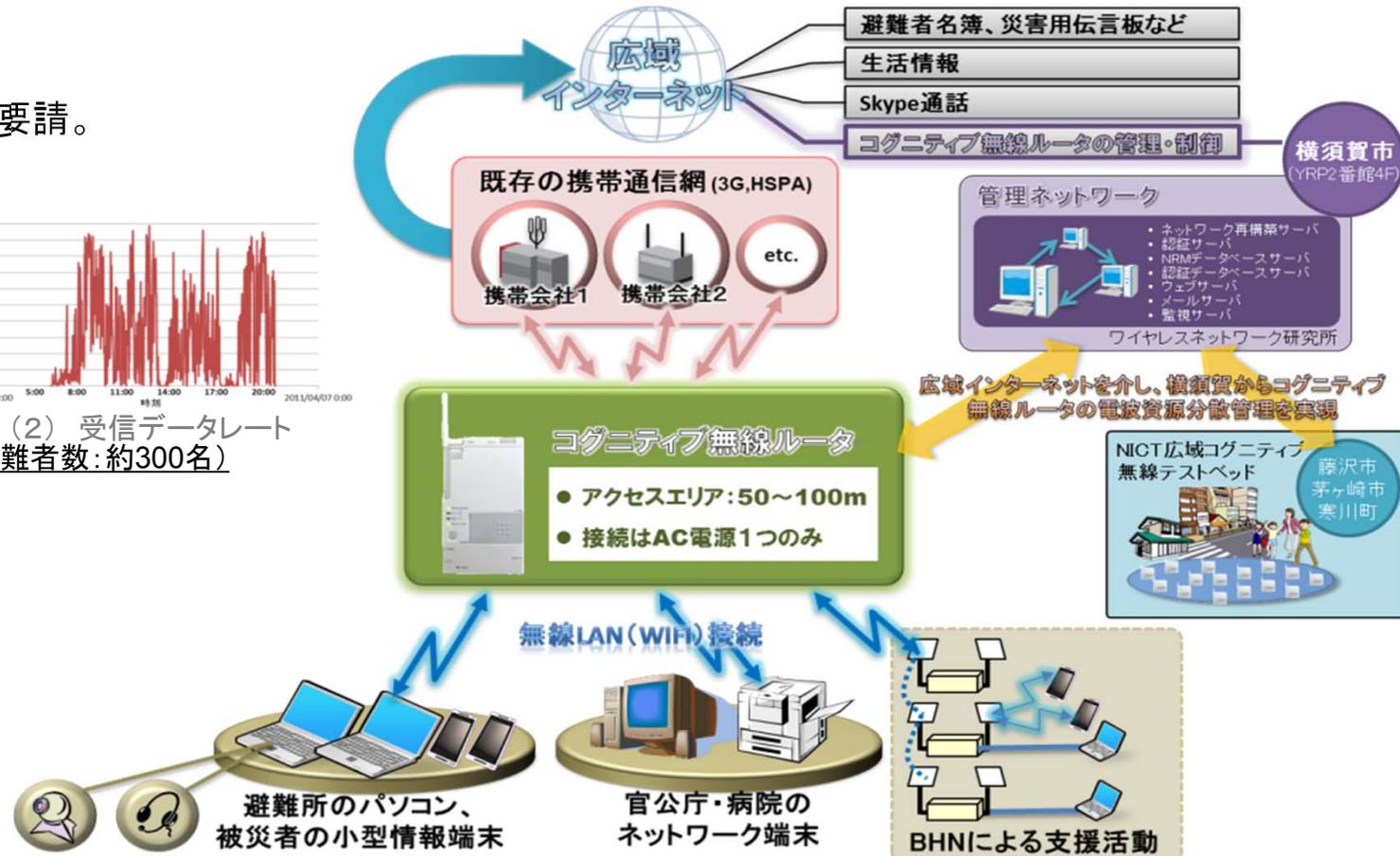


(1) 接続端末数
ルータの利用状況(大槌町安渡小学校、避難者数:約300名)

(2) 受信データレート



端末を操作して様々な情報を求める被災者の方々



東日本大震災における衛星通信回線の提供

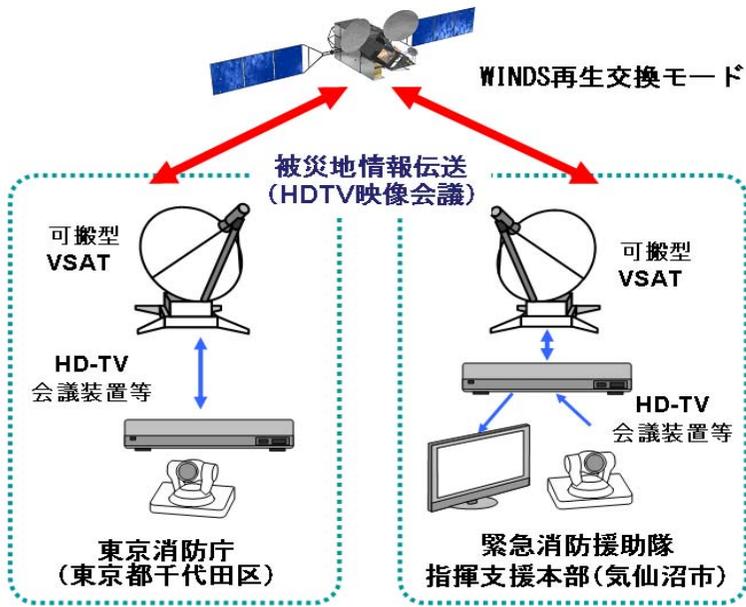
■ 概要

2011年3月11日に発生した東日本大震災において、東京消防庁および航空幕僚監部要請に基づき、WINDSを使用した通信回線を提供することにより、災害対策活動支援を行った。

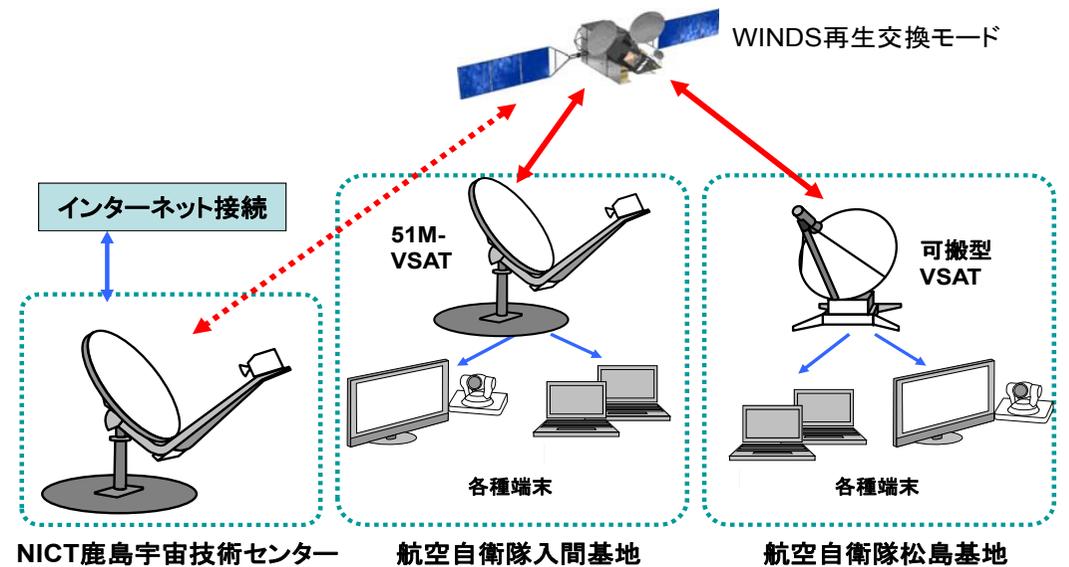
■ 対応状況

- 3月15日から19日まで、気仙沼市災害対策本部と東京消防庁に設置したVSATを使用して、両者間を衛星回線で結び、HDビデオ会議などの環境を提供した。
- 3月20日から4月5日まで、航空自衛隊松島基地と入間基地に設置したVSATを使用して両者間を衛星回線で結び、HDビデオ会議などの環境を提供した。また、これと並行して松島基地とNICT鹿島宇宙技術センター大型局を接続し、松島基地からインターネット接続できる環境を提供した。

1.WINDSを用いた災害対策活動支援システム

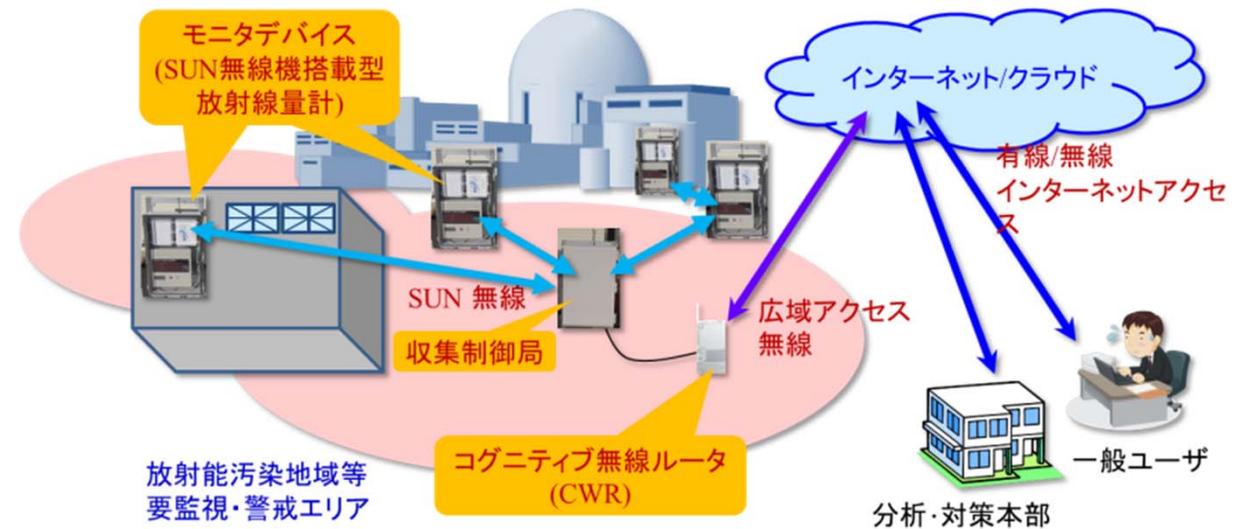


2.航空自衛隊基地間をつなぐ高速衛星通信システム



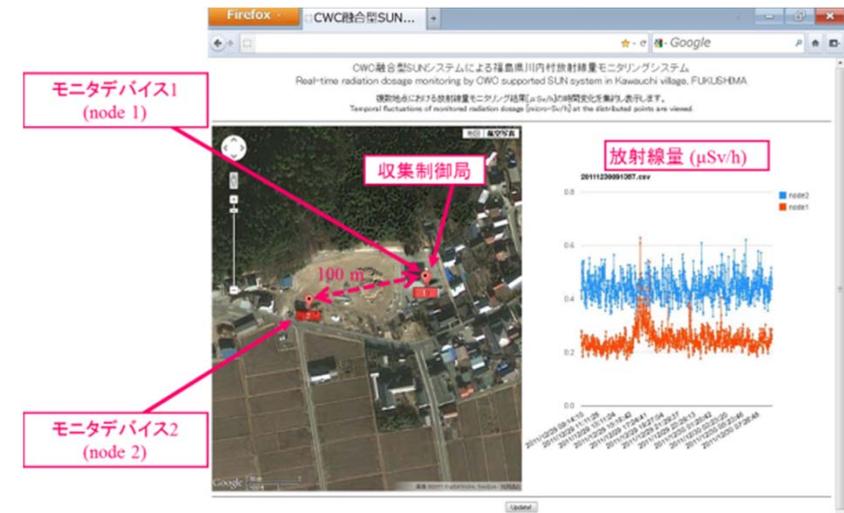
■ システム概要

- 要監視・警戒エリア内の放射線量計間をSUN無線で結び、全放射線量計の測定データをリアルタイムで収集
- 収集データは、インターネット等の広域ネットワーク上にアップロードされ、全世界からのアクセス・活用が可能



■ 設置状況

- 2011年12月22日、福島県川内村にモニタデバイス (SUN無線機搭載型放射線量計) 2台と、コグニティブ無線ルータ (CWR)と接続した収集制御局1台を設置
- 各モニタデバイスは、放射線量計の測定値データをSUN無線機を通じて定期的に発信
- 収集制御局は測定値データを収集し、コグニティブ無線ルータを通じてインターネット上にアップロード
- 放射線量測定値の地理的・時間的変動を、インターネットを介して確認



津波被害のない地域

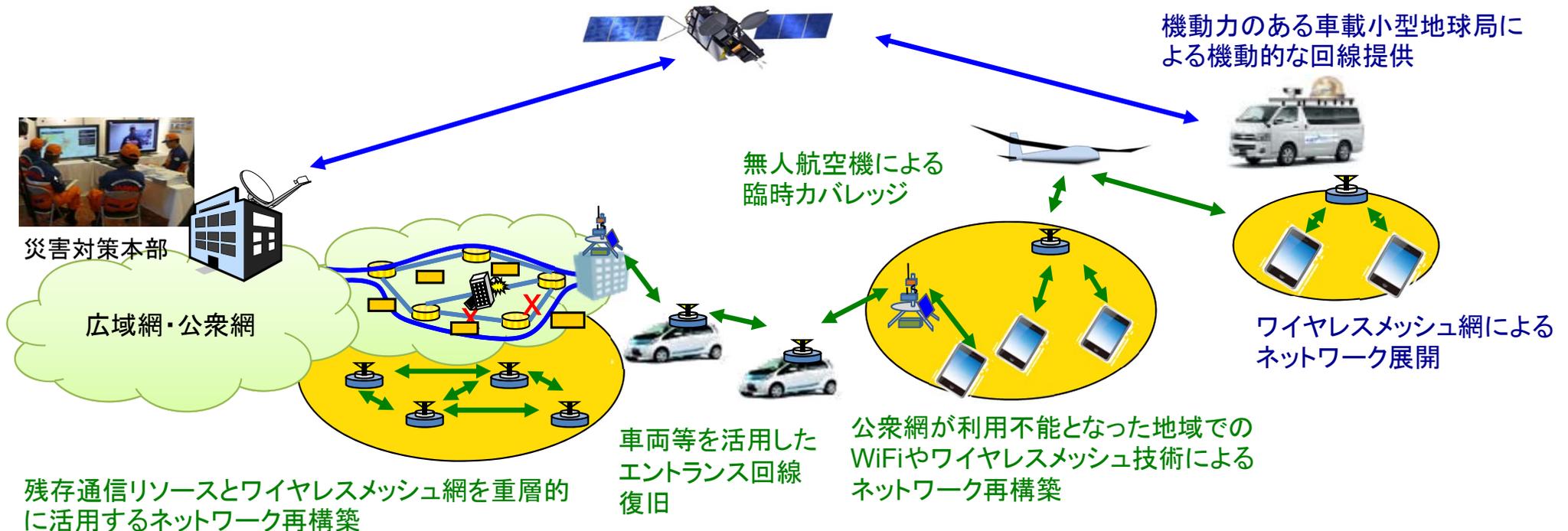
- 有線網、携帯電話網の部分的損壊
- 電源供給停止地域では、バッテリー枯渇による通信インフラ停止

- ◆ 残存通信リソースの検出とその有効活用による通信網の再構築技術
- ◆ 公衆網オフロードや地域自営網等の多重網連携技術とロバスト化(車両、無人航空機の利活用)
- ◆ 交換局や携帯基地局の電源強化、耐震性強化

大津波の被災地

- 有線網交換局、携帯電話基地局などの通信インフラが壊滅

- ◆ 地上インフラの被害に影響されない衛星通信用可搬／移動地球局を機動的に展開し、迅速な重要通信の確保、通信網を再構築
- ◆ 地球局周辺にワイヤレスメッシュ網を展開し、ネットワークを拡大



決められた経路を、コンピュータ制御で自律的に飛行可能な小型の無人飛行機を活用した“無線中継システム”により、大規模災害等の発生直後において、周囲から孤立した被災地域と被災を免れた地域との間の通信を迅速かつ簡便に確保します。

開発したシステム



地上局一式:
無線装置、モニタ端末、無停電電源、発動発電機で構成。乗用車に積載し、小型無人飛行機との中継可能な場所まで運搬することが可能。



搭載用無線中継装置

送信出力	2W
スループット (2機中継)	400kbps
周波数	2.3GHz帯
重量	500g

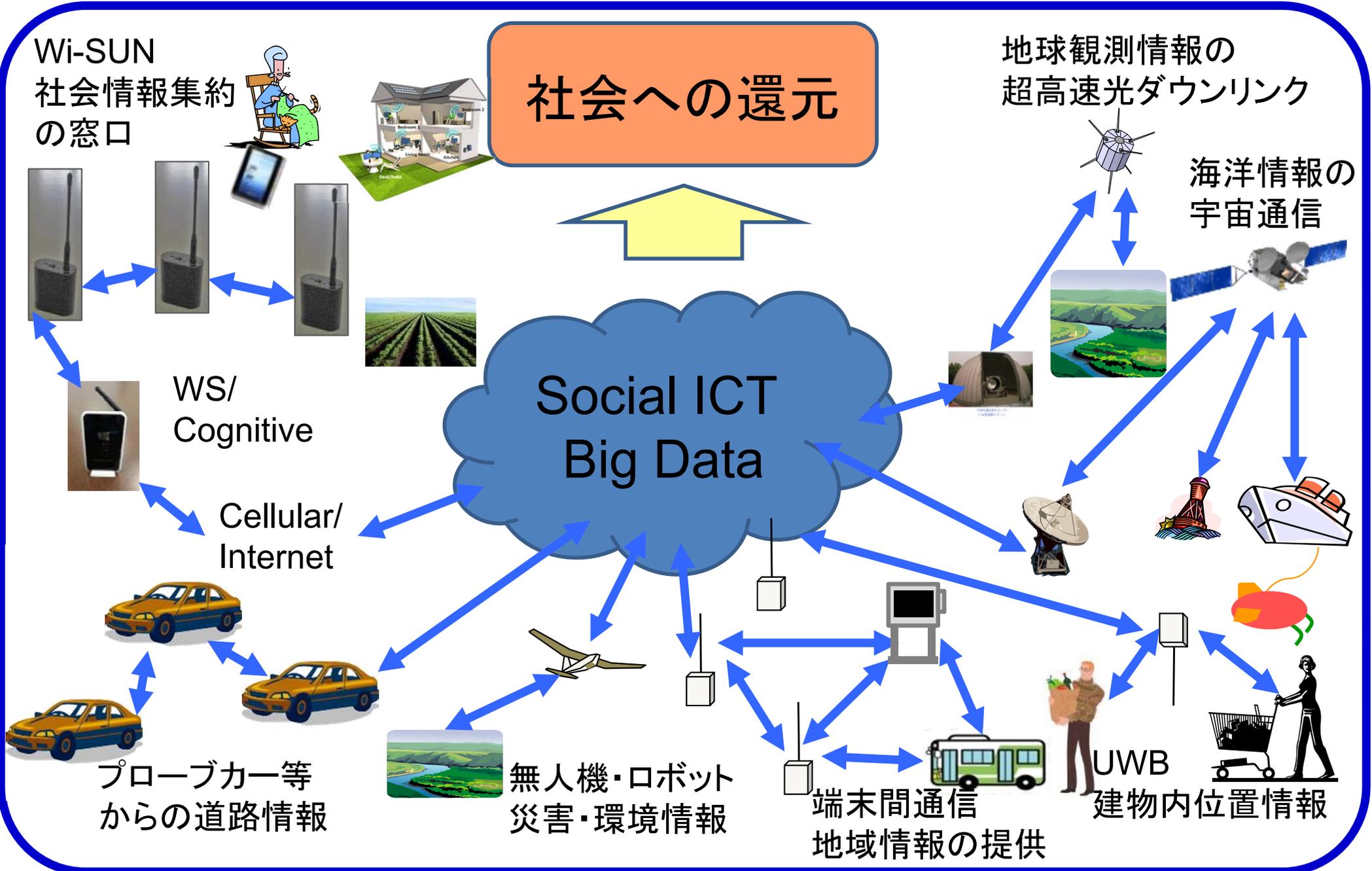
小型無人飛行機:
電動で、GPSによる自律飛行が可能。手投げ発進、失速回収、および防水仕様で雨中飛行や海上着水にも耐える。組み立て式可搬型。

翼長・機体重量	2.8 m, 5.9kg
ペイロード	0.5 kg
飛行時間・進出距離	2-4時間、15km
動力、運用方法	電動、手投げ発進 GPSによる自律飛行



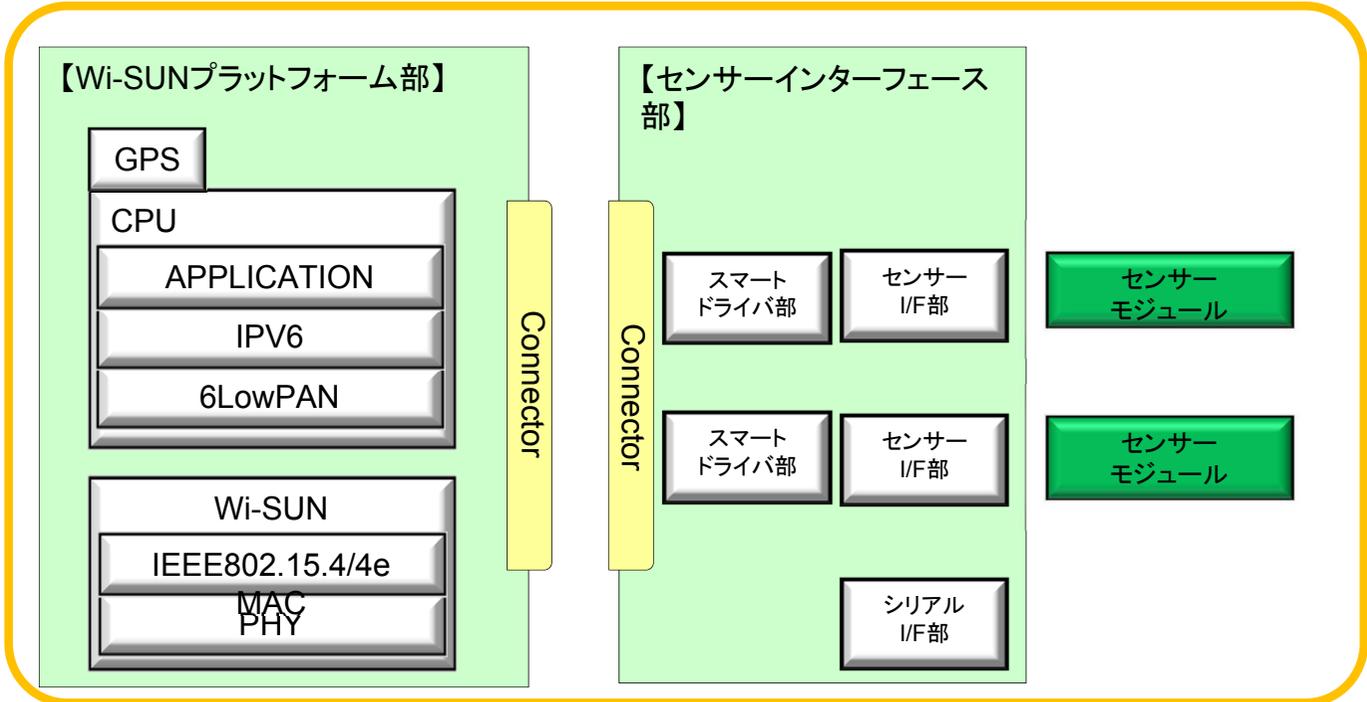
最近の取り組み





NICT Wi-SUNはWireless Sensor Platformへ

NICTが現在までに開発してきたWi-SUN通信モジュールとセンサーインターフェース部を汎用化し、また、共通インターフェースを持つセンサーモジュールも開発することにより、安価にワイヤレスセンサーモジュールを構築

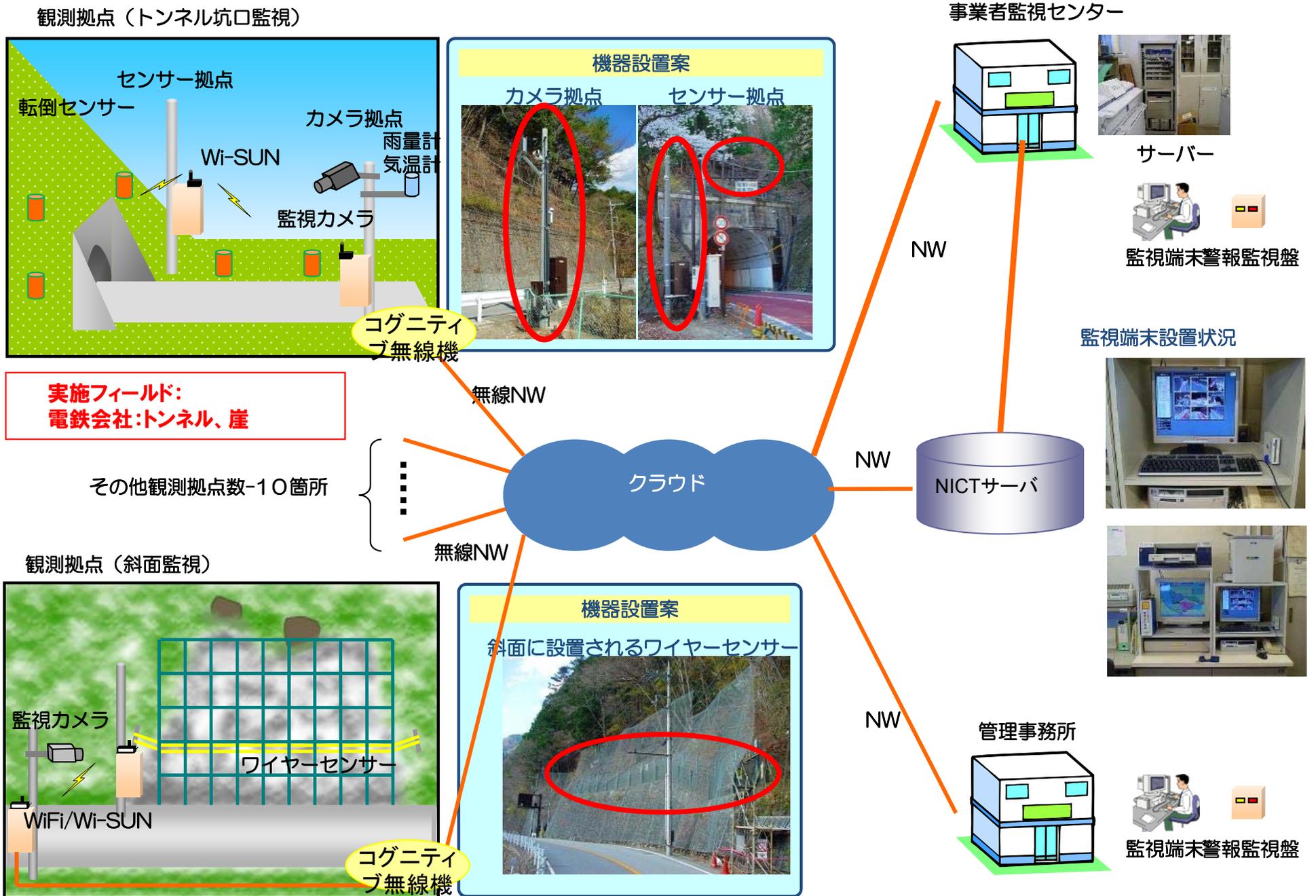


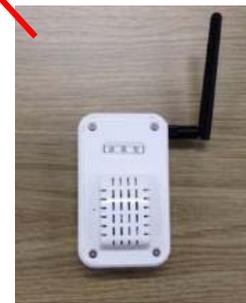
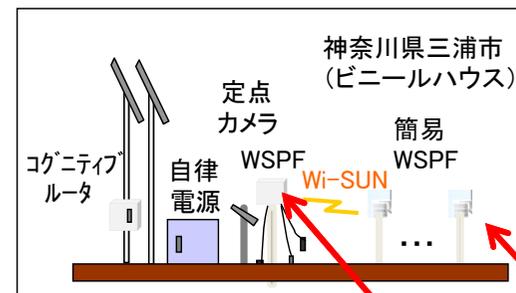
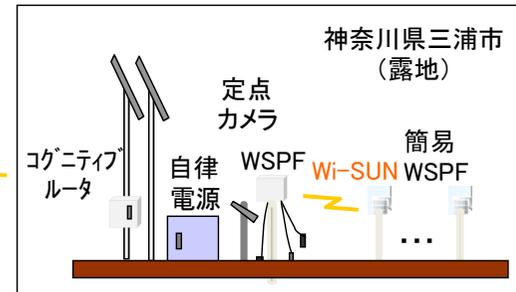
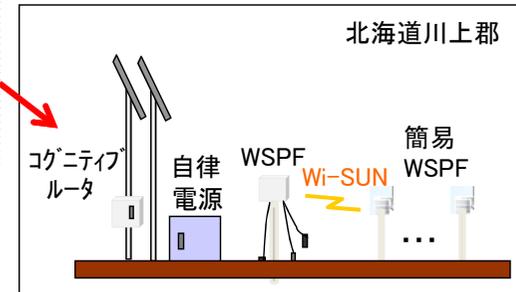
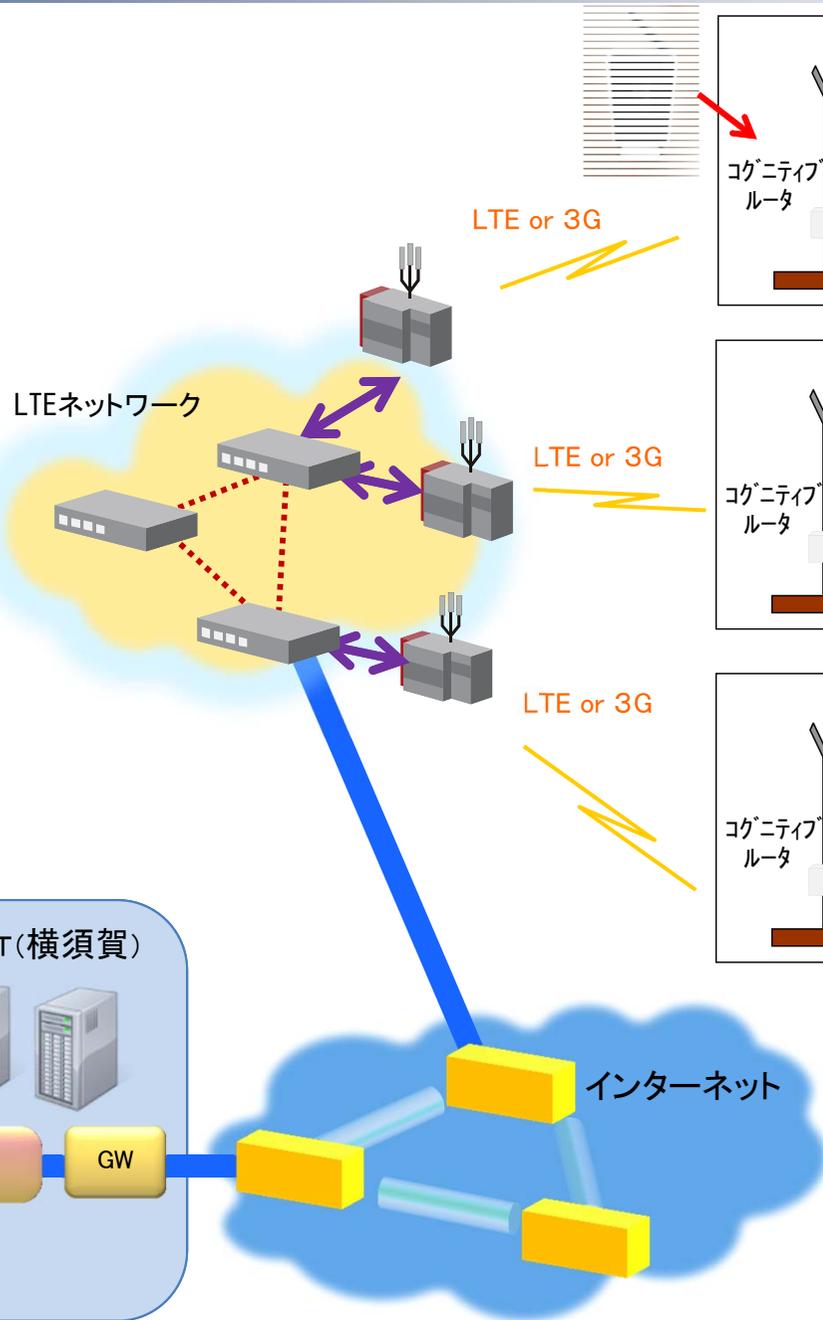
ワイヤレスセンサープラットフォームを利用して作られた簡易型WSPF(フィールドポイント用)、左からセンサ露出型、露出型、通風型A、通風型B



搭載されているWi-SUNモジュール 920MHz

フル機能搭載のフィールドサーバ用WSPF
 Wi-SUN通信機能だけでなく
 コグニティブ無線機能も搭載、
 センシング情報は携帯電話系
 ネットワークですぐにクラウド
 に伝送



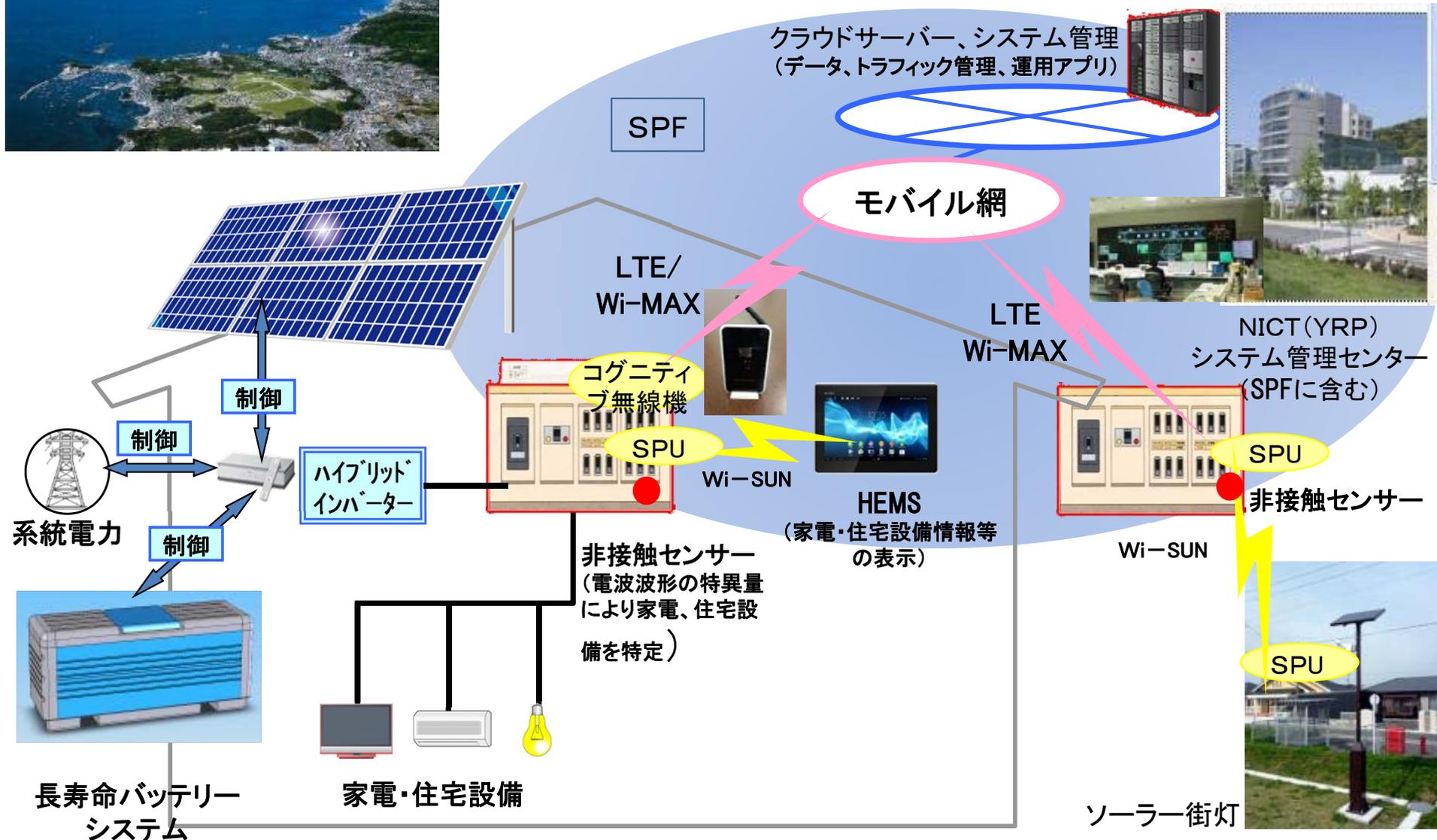


NICT Wi-SUNを利用したワイヤレステストベッド(エネルギー管理)



実施フィールド:
湘南地域 分譲住宅

センシング情報: ①蓄電池電圧 ②分電盤回路別電流
③個別家電消費電力



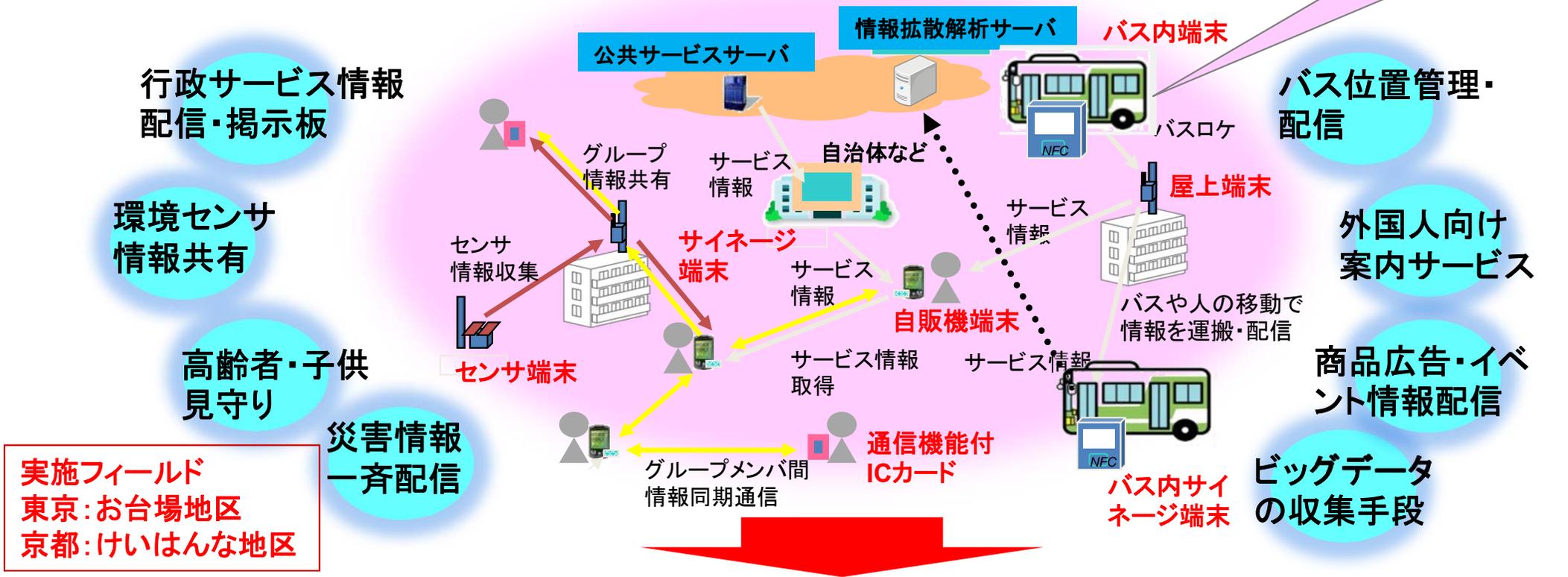
端末間通信によるまちづくり

固定局も移動局も携帯局もすべて同じ「端末」で構成され、相互に通信できる新しい技術。
IEEE802.15.8にて標準化推進中。(920MHz帯(特定小電力無線)を利用)

携帯電話ネットワークやインターネット網に頼らない独自の地域型無線ネットワークなので、構築も運用ともに低コスト。

利用者端末は、スマホと連動するタイプやICカードタイプがあり、子供からお年寄りまで扱いやすいものをめざす。(GPSを備え、位置情報と連動)

バスは人だけではなく、情報も運ぶ

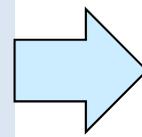


実施フィールド
東京:お台場地区
京都:けいはんな地区

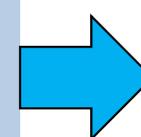
ICT技術を生かした...

災害に強いまちづくり	子供や高齢者に優しいまちづくり	外国人にも暮らしやすく、旅行者にも優しい	便利で快適に暮らせるまち
-------------------	------------------------	-----------------------------	---------------------

これまでGPS電波の届かない室内や地下での有効な高精度測位手段がなかった



WiFi利用やIMES等の提案・実装が活発化。しかし精度に限界があった。



IR-UWB方式は**低消費電力、低コストで約30cmの位置精度**を達成可能。

建物内・地下街・駅構内等でのナビゲーション

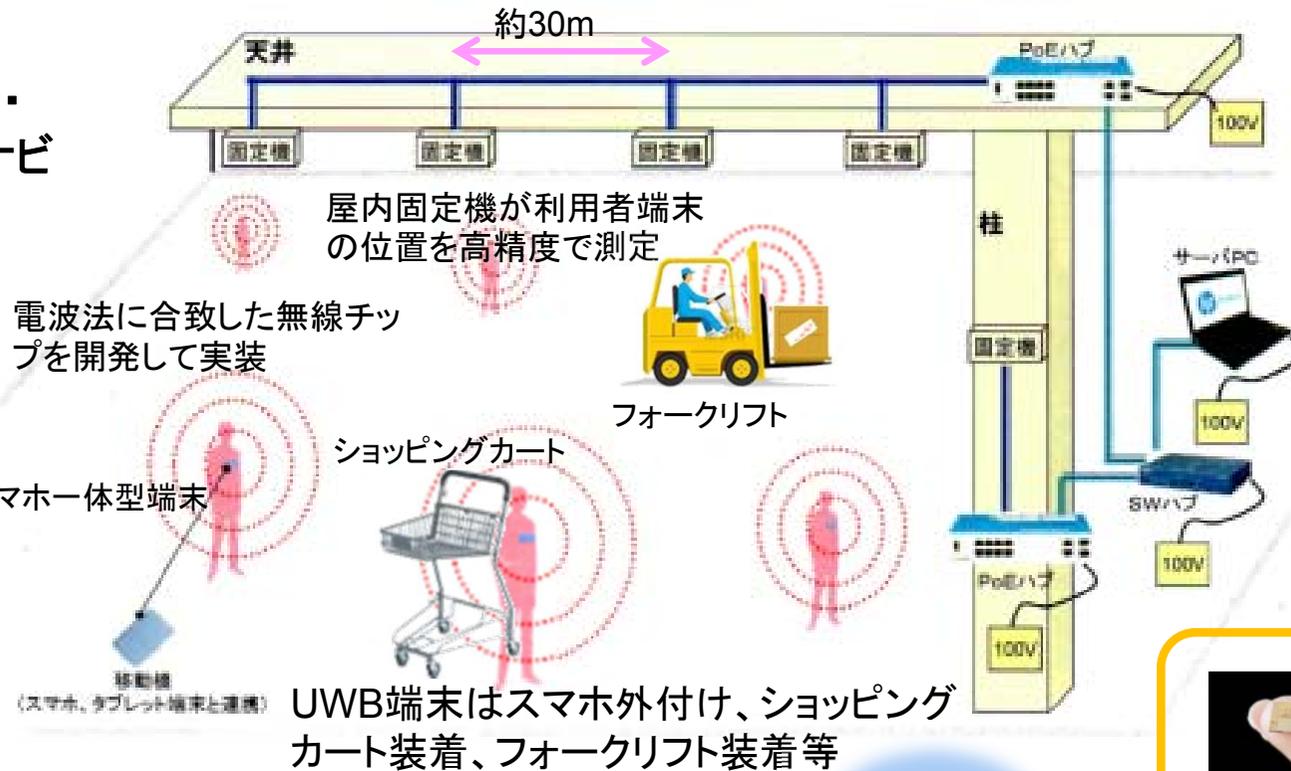
大型商業施設での客の誘導

店内位置と連動した広告配信

位置情報を利用したモバイル決済

災害時での建物内・地下街避難誘導

視覚・聴覚障がい者等への案内サービス



客の移動データ分析とマーケティングへの活用

工場や倉庫内での作業員や作業車の位置管理



8mm角チップ開発 (小型化・省電力化)



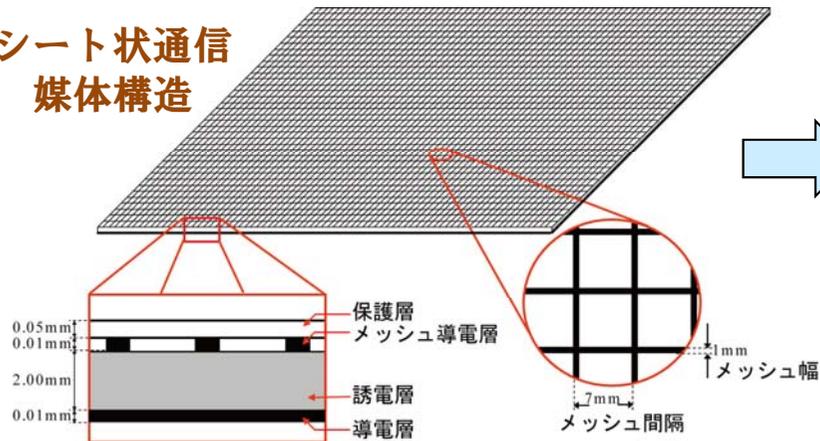
タブレット型ユーザ端末 (UWBデバイス外付け)

シート状通信媒体

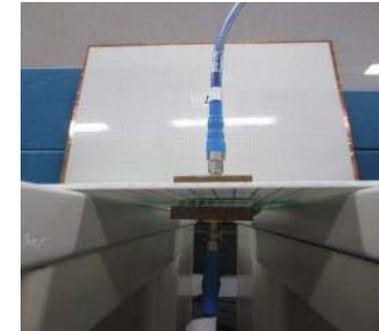
電磁波の近接場結合とシート内伝搬により、情報伝送とエネルギー伝送を同時に行え、電磁波の漏えいも少ない。

- 複数の超小型デバイスと柔軟なシート媒体との間でデータ読み出しと電力供給を行う生体内外通信技術を研究開発
- PDA、ノートパソコン、さらにEV向け大電力伝送と高速通信を行う、ワイヤレスによる信号と電力の統合伝送技術の研究開発

シート状通信媒体構造



布製の柔軟なシート状通信媒体



両面メッシュシート媒体を用いた高効率な電力供給システム

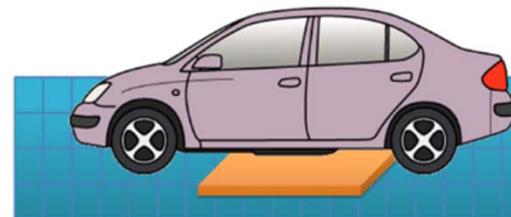
シート状媒体通信システムの応用例



シート状媒体による生体機能計測



PC周辺機器のワイヤレス化



EV向け大電力伝送



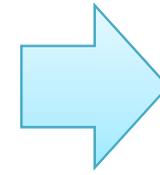
通信と給電を同時に供給可能なワイヤレスセンサネットワーク

- ・JAMSTEC海洋調査船「かいよう」に搭載した WINDS船舶局を使用して、JAMSTEC横須賀本部に設置した大型車載局との間で24Mbps通信を確立
- ・横須賀からWINDS経由で深海探査機「おとひめ」のテレオペレーションを実施
- ・HD映像、TV会議等も同時に伝送



「おとひめ」テレオペレーション実験構成

10Gbpsを超える超高速衛星通信
秘匿性を高めた衛星通信

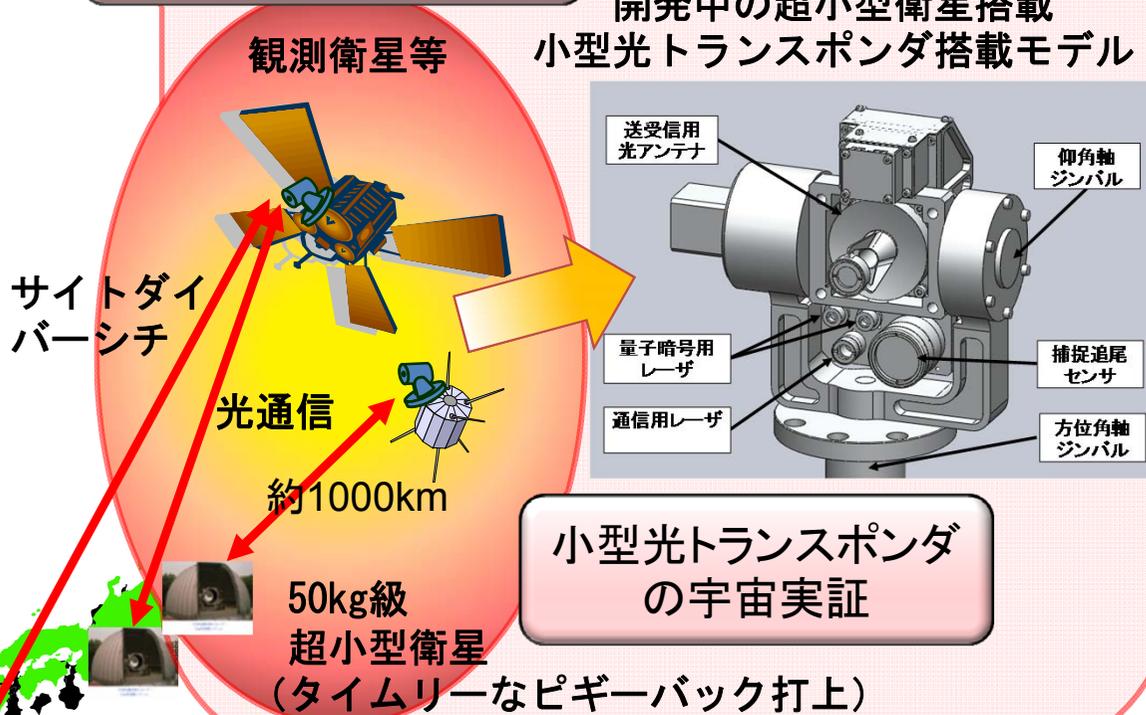


光衛星通信

光衛星／光空間通信システム

大容量データ伝送系の
要素技術の研究開発

開発中の超小型衛星搭載
小型光トランスポンダ搭載モデル



超高速大容量光通信
観測衛星等からの大容量通信を実現し、安全保障用途に貢献
JAXA等のユーザに技術移転

小型衛星用光通信
アマチュア用望遠鏡へも設置可能な簡易型光地上局で普及実現

