

平成22年度
テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する
調査報告書

平成23年4月

テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会

テラヘルツ波とは、1テラヘルツ(10の12乗ヘルツ)前後の周波数の電磁波で、光波の直進性と電波の透過性を兼ね備えた波長領域です。

テラヘルツ波の研究開発が周波数の低い方から高い方に向かって進んでいるところです。

今回の調査検討会では、近未来を念頭に置いて、基本的に0.1テラヘルツ(100ギガヘルツ)から0.5テラヘルツ(500ギガヘルツ)程度までを検討対象としています。

はじめに

本検討会は、テラヘルツ波の無線通信応用に関する国内初のスタディグループとして、平成21年9月に発足した。テラヘルツ無線のニーズ、競合技術との違い、技術的実現性等について議論を行うとともに、テラヘルツ通信の将来応用を想定したデモンストレーションとセミナーを開催して、有識者、ポテンシャルユーザの方々からのアンケート調査を実施し、平成22年4月に第1回目の報告書としてまとめた。

報告書の内容を国内外の会合で紹介し、多くの方から検討内容や検討会へのご関心をいただく中、平成22年9月、新たな委員を加えて検討会を再開した。今回の検討会では、まず、前回よりもさらに想定されるニーズを深掘りし、特に、医療や災害報道といったライフ分野と、エネルギー削減や省資源といったグリーン分野に対してテラヘルツ無線がいかに貢献できるかを議論した。また、そのようなニーズの実現に向けた技術動向と課題、諸外国の動きや標準化動向について議論を行った。さらに、前年度と同様に、公開実験を通して、テラヘルツ無線がもたらす社会的インパクトや有用性について参加者の方からのご意見や評価を集約した。今回の公開実験は、検討会での議論の中で最も反響の大きかった医療分野での利用シーンについて、実際に情報通信技術(ICT)を活用しておられる医師の方々にご協力を願ってデモンストレーションを行った。

本報告書は、上記平成22年度の検討会での議論と公開実験についてとりまとめたものである。特に、前回の報告書と同様に、検討会にご参加いただいた講師の方々のご厚意によりプレゼン資料の掲載をご承諾いただき、非常に価値の高い報告書として仕上げる事ができた。検討会に精力的にご参画いただいた委員、オブザーバー、講師の皆様、公開実験にご尽力いただいた関係者の皆様、そしてテラヘルツ波の通信応用に対して格別のご理解と本検討会の運営にご尽力いただいた、野津正明近畿総合通信局長ならびに同局情報通信連携推進課の皆様にご心より感謝の意を表したい。

平成23年4月

テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会 座長
大阪大学大学院教授 永妻 忠夫

目次

第1章 調査検討の背景	P 1
第2章 ライフ分野(医療、ワーク、高齢化等)への貢献と課題	P 11
2-1 手術における3D高精細画像	P 11
2-2 リアルタイムで患者の様態を確認しながらの手術	P 13
2-3 インテリジェントオペ室	P 15
2-4 手術室内の機器のワイヤレス化のニーズ	P 17
2-5 放送分野におけるワイヤレス化のニーズ	P 18
2-6 まとめ(テラヘルツの医療現場への貢献と課題)	P 20
第3章 グリーン分野(エコ)への貢献と課題	P 26
3-1 無線機器の省エネ化の技術動向 (Green of ICT)	P 26
3-2 ICTの活用による省エネ化 (Green by ICT)	P 33
3-3 ICTによるGreenへの貢献シナリオ	P 52
第4章 諸外国の動向及び標準化の動向	P 68
4-1 海外におけるテラヘルツ無線の研究開発動向	P 68
4-2 国際標準化に向けた取組み	P 74
(1)ITU-R	P 74
(2)IEEE 802.15 WPAN Terahertz Interest Group (IGthz)	P 86
4-3 電波干渉(電波天文)	P 87
第5章 各種要素技術の動向	P 92
5-1 高速信号処理技術、周辺技術の最新動向	P 92
5-2 THzエレクトロニクス時代における化合物半導体デバイス技術	P 96
5-3 ライフ分野への活用に向けて求められる要素技術	P 104
5-4 グリーン分野への活用に向けて求められる要素技術	P 105
5-5 まとめ	P 109
第6章 最後に	P 111
<付録> 公開実験の実施報告	P 114
<参考資料> テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会	P 124
参考資料1 開催趣旨	P 124
参考資料2 開催要綱	P 125
参考資料3 構成員名簿	P 126
参考資料4 ワーキンググループの構成	P 128
参考資料5 平成22年度の開催状況	P 129

第1章 調査検討の背景

図1-1は、昨年度の調査検討会でとりまとめたテラヘルツ無線の利用シーンの一例である。私たちが日常的に取り扱うデジタル化されたデータ量が爆発的に増大し、さらに情報端末とネットワークを利用したその情報流通自体が巨大市場を形成しながら、私たちのライフやワークを変革しつつある。例えば、動画映像の高精細化、3D化の進展によって、2時間程度のハイビジョン規格の2Dや3Dの映画のデータ量は数10GBから100GBを超えようとしている。スーパーハイビジョン規格になると100GBから数TBになると予想される。これだけのデータを、瞬時あるいは10秒程度でダウンロードするには、少なくとも10Gbit/s、将来的には100Gbit/sに迫る伝送速度の通信技術が要求され、さらにこれを無線でかつ経済的に実現するためには、従来技術の延長ではなく、ブレークスルーとなる技術が待ち望まれる。詳しい議論は、本章に添付された門勇一氏（京都工繊大）の講演スライド（本検討会の位置づけ）を参照されたい。このような背景のもと、テラヘルツ無線は本当にブレークスルーになりうるのか、その可能性を、ニーズ、技術、政策（電波制度等）の各面から深く議論するのが本検討会の目的である。

ネットワークのラストアクセスの無線化：有線・無線の速度差解消
 インターフェースの高速無線化：瞬時動作、低電力化

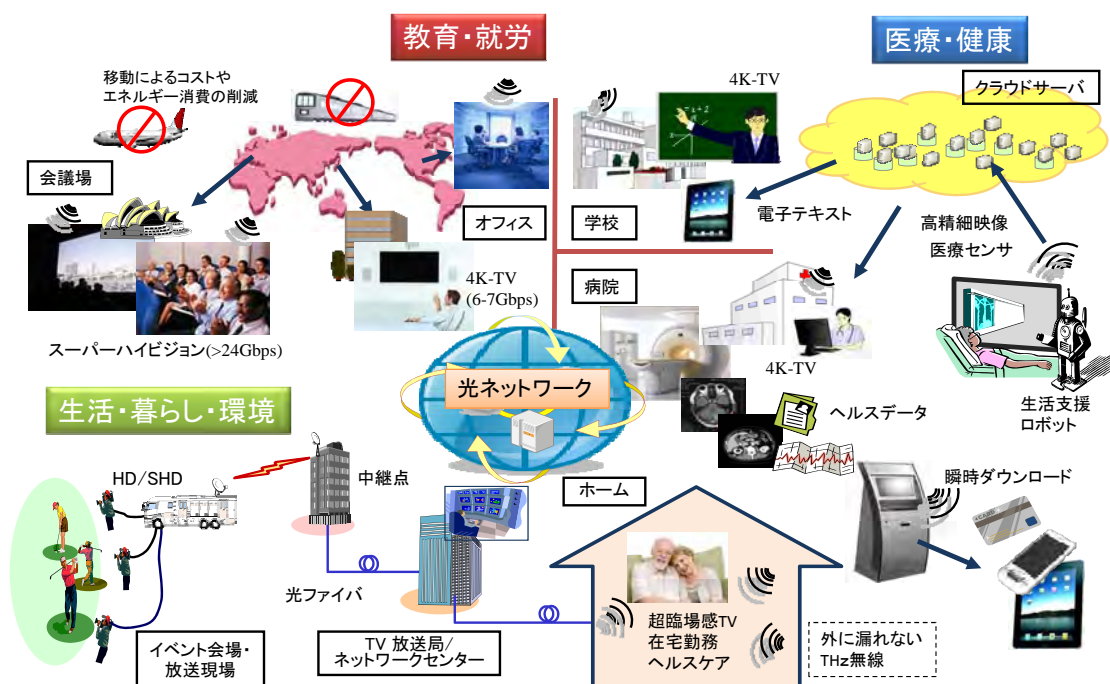


図1-1 テラヘルツ波を利用した情報通信ネットワークのイメージ

平成22年度の調査検討会では、上述の観点から平成21年度に十分に深掘りできなかったテーマを中心に調査、検討を行った。まず、ニーズという観点から、ライフイノベーション、グリーンイノベーションという課題に対して、テラヘルツ無線がどのように貢献しうるのかを議論した。この2つ

はいずれも平成22年度の内閣府に設置された総合科学技術会議の科学・技術重要施策となっている。まず第2章で、ライフ分野で高速無線が必要とされる医療と災害報道の現場でのニーズとテラヘルツ無線が如何に貢献できるかについてまとめている。第3章では、テラヘルツ無線による情報通信技術 (ICT) のグリーン化: Green of ICTと、テラヘルツ無線によるグリーン化 (エコ): Green by ICTの可能性について議論している。

第4章では、テラヘルツ無線に関する諸外国の研究動向と国際標準化に向けた取り組み状況についてまとめている。また、(受動)観測業務との干渉問題を考える上で重要となる、電波天文の動向についての調査結果をまとめている。

第5章は、テラヘルツ無線を実現するための要素技術について調査、議論した結果をまとめている。まず、フロントエンド(あるいはI/O)である無線通信に対して、信号処理のコアとなるシステムLSIと集積化技術がどこまで進んでいるかについて、また、テラヘルツ無線を早期に実現できる可能性の高い化合物半導体デバイスの現状と課題についてまとめている。さらに、第2章ならびに第3章で議論したニーズを実現する上で必要とされる要素技術と研究開発のアプローチについて議論している。

最後に付録として、10Gbit/sの性能を有する有線・無線統合ネットワーク(世界初)を利用した公開デモ実験の実施状況と参加者からのアンケート結果をまとめている。

※ 次のページに説明資料を掲載する。

本検討会の位置づけ

日本のICT戦略における意義、重要性



日本の復活になぜ
情報通信が必要なのか



ICTの活用による
持続的な成長の実現



京都工芸繊維大学
電子システム工学部門
門 勇一



講演概要

1. 情報通信市場の変化
2. 将来のユースケース
3. 短距離大容量無線通信ニーズ
4. ライフとグリーンへの貢献
5. 技術トレンドから見たTHz無線技術



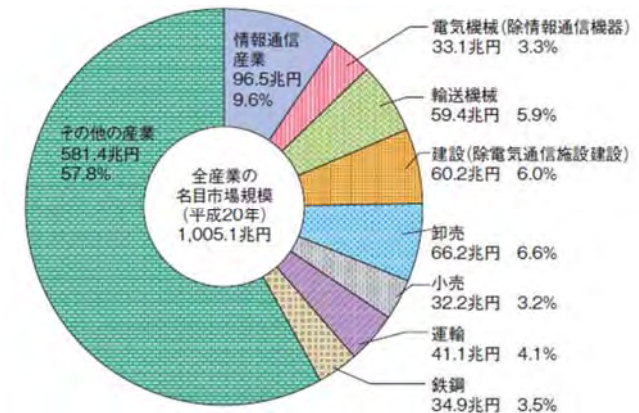
講演概要

1. 情報通信市場の変化
2. 将来のユースケース
3. 短距離大容量無線通信ニーズ
4. ライフとグリーンへの貢献
5. 技術トレンドから見たTHz無線技術

ω

情報通信産業は最大規模の産業

名目国内生産額(96.5兆円)の約10%を占める

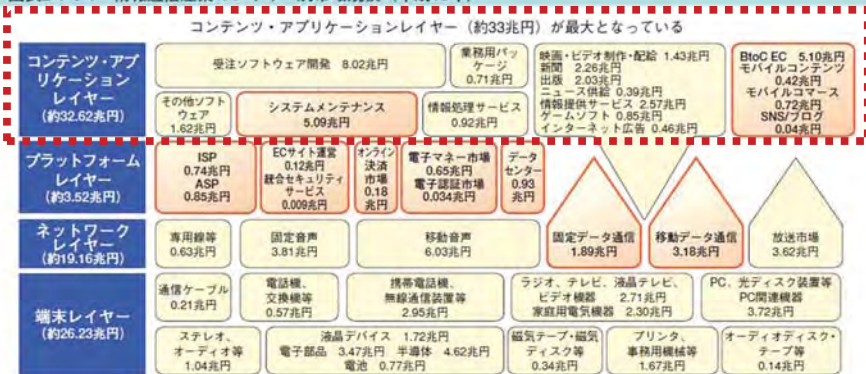


デジタル化されたコンテンツ(報道、エンターテインメントに加えて医療、教育、行政等の公的コンテンツ)の制作と流通がビジネスの主役になっていく

デジタルコンテンツ流通ビジネスが主役に

- テキスト情報、音楽情報、映像情報はデジタル化や通信・放送の融合の進展により自由に情報流通させることが可能となる
- 情報通信産業の上位レイヤーにおける「情報流通市場」とも呼ぶべき市場に、成長期待が集まっている

図表2-1-3-1 情報通信産業のレイヤー別市場規模（平成19年）



※ 橙色の箇所は平成17～19年の年平均成長率が10%超の分野

情報通信市場の構造変化

情報通信市場のコンテンツ化

テキスト・音楽・映像情報のデジタル化が進展、通信・放送融合でデジタル化されたコンテンツは自由に情報流通する
⇒「情報流通市場」形成に期待感

ネットのメディア化

広告においてラジオ、雑誌を抜き、新聞に迫る勢い
⇒経済的にも文化的にも重要なメディアに成長

ネット端末の多様化 (3Dカメラも登場)

屋内ではネット接続が可能なゲーム機、テレビ、家電 (情報家電) が急速に普及しつつあり、屋外でもスマートフォン、クラウドデバイス、i-Padなど続々登場
⇒誰もが大容量映像データを扱う⇒感動・体験の共有

情報通信市場の構造変化

第2章第1節：課題に直面する日本の情報通信③

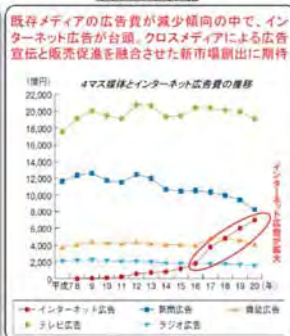
停滞の中で萌芽する情報通信のダイナミズム

- 厳しい経済環境は、逆に言えば順調時には難しい構造改革のチャンス。情報通信分野では、情報通信市場のコンテンツ化、ネットのメディア化、ネット端末の多様化といった構造変化が着実に進んでおり、これらを睨んだ国内・国際戦略が必要。
- 不況下でも、情報通信技術を積極活用し、「イェナカ」需要や「ロコミ」需要をうまく獲得したり、新商品開発や流通効率化等により、過去最高益を記録するしたたかな企業も少なくない。

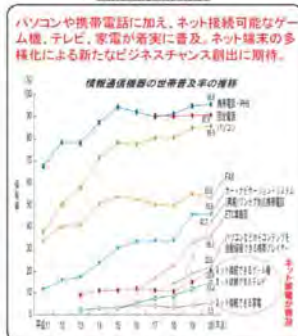
情報通信市場のコンテンツ化



ネットのメディア化



ネット端末の多様化



講演概要

1. 情報通信市場の変化
2. 将来のユースケース
3. 短距離大容量無線通信ニーズ
4. ライフとグリーンへの貢献
5. 技術トレンドから見たTHz無線技術

ブロードバンド有線と無線の融合

10年後 THz波無線が周辺機器や携帯端末を10-100Gbpsで繋ぐ



THz波イノベーションがもたらすエクスペリエンス

■ 狙い

- ⇒ 超高速・広帯域の近距離無線で有線／無線をシームレス化
- ⇒ 高精細映像の流通促進による情報通信産業活性化

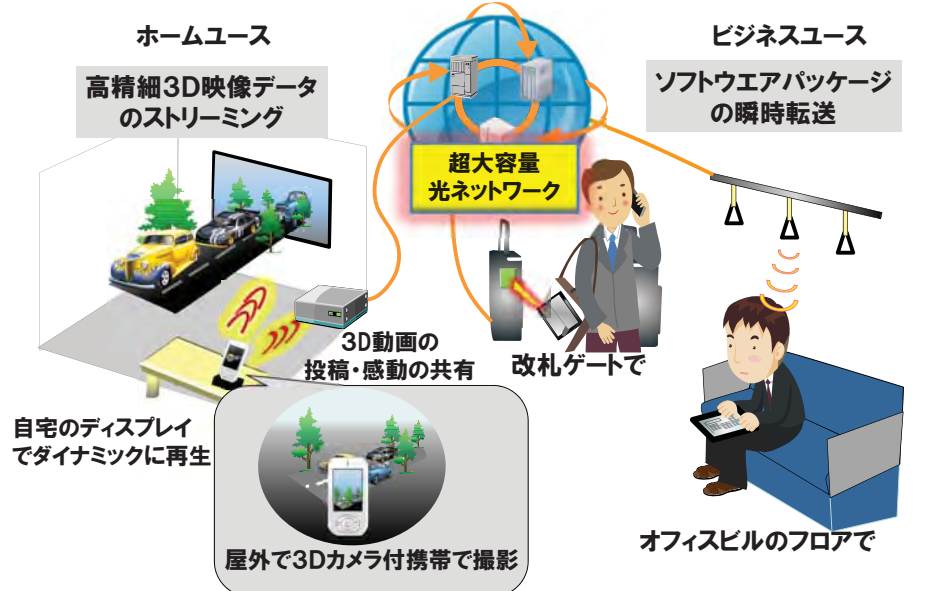
■ 従来サービスの革新例

- インターネットで急増している利用目的
- Web百貨辞典参照
 - 動画投稿・共有
 - 商品購入
- ⇒ デジタルコンテンツ以外の購入に期待

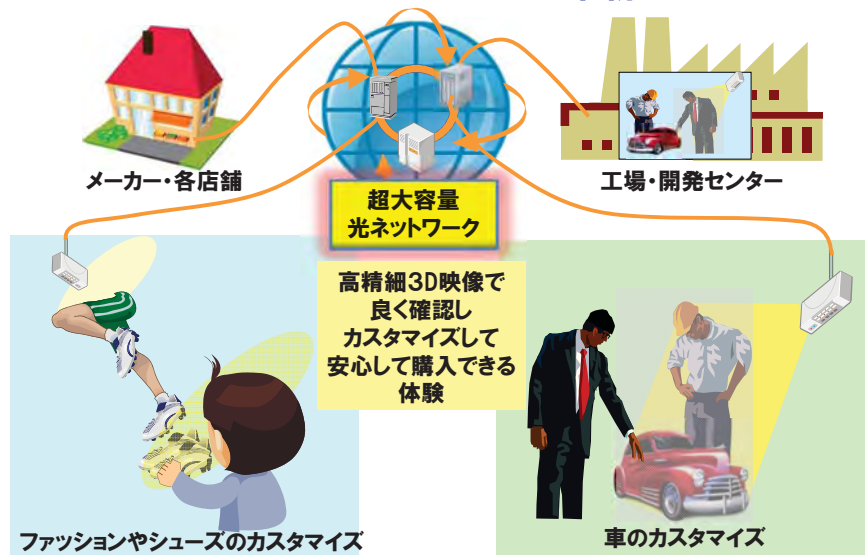
THz波イノベーションがもたらすエクスペリエンス



THz波イノベーションがもたらすエクスペリエンス



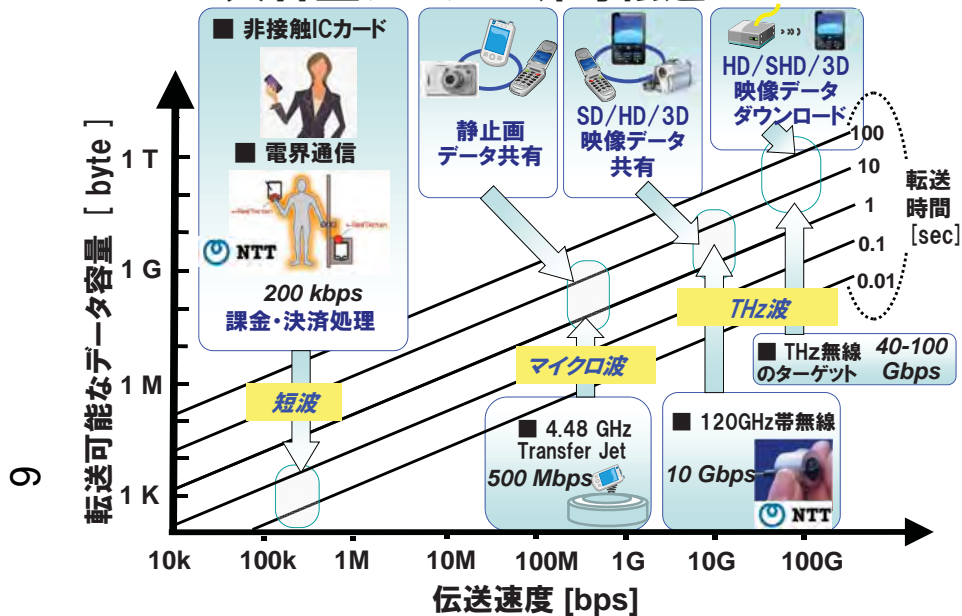
THz波イノベーションがもたらすエクスペリエンス オンラインショッピングの革新



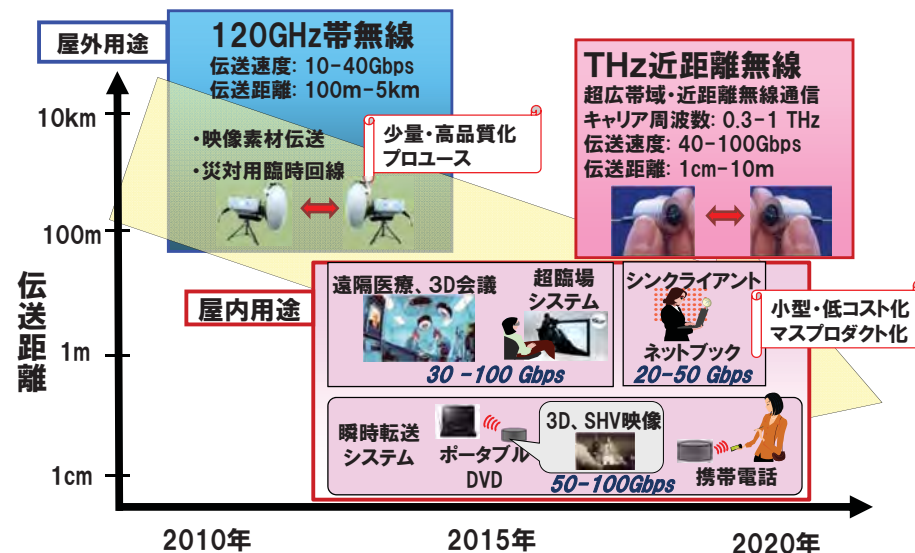
講演概要

1. 情報通信市場の変化
2. 将来のユースケース
3. 短距離大容量無線通信ニーズ
4. ライフとグリーンへの貢献
5. 技術トレンドから見たTHz無線技術

大容量データの瞬時転送ニーズ

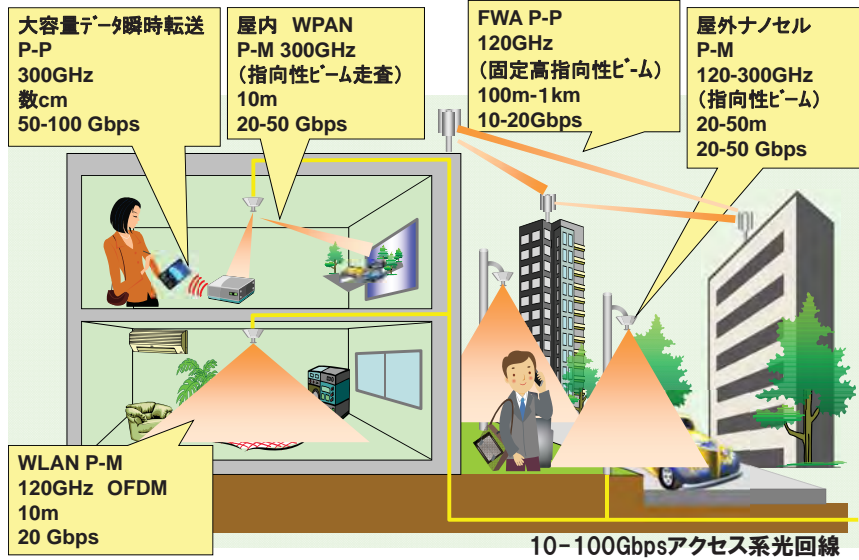


プロユースからマスユースのニーズ強まる



屋内外を問わずブロードバンド通信環境必要

10-100Gbpsのアクセス系ネットワークとユーザをシームレスに繋ぐ



講演概要

1. 情報通信市場の変化
2. 将来のユースケース
3. 短距離大容量無線通信ニーズ
4. ライフとグリーンへの貢献
5. 技術トレンドから見たTHz無線技術

平成22年度情報通信白書の目次

1. 1 ICTによる地域活性化と絆の再生

ライフイノベーション

- 1. 1. 1 ICT利活用の徹底による地域活性化
- 1. 1. 2 ICTによる地域の絆の再生
- 1. 1. 3 すべての国民の社会参加を支えるICT

1. 2 グリーンICTによる環境負荷軽減と地域活性化

グリーンイノベーション

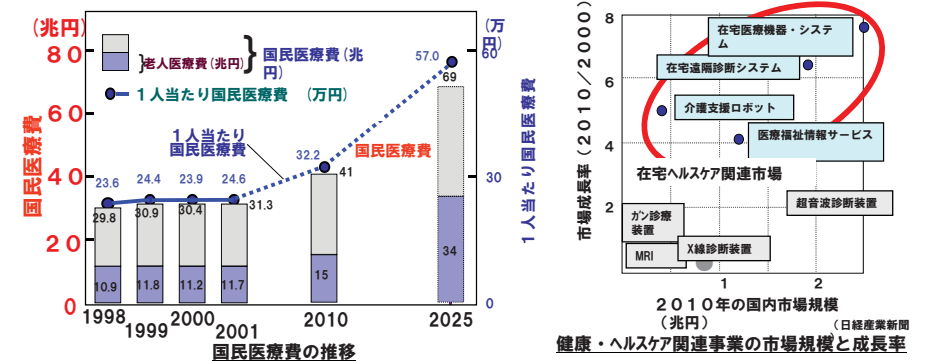
- 1. 2. 1 グリーンICTはなぜ重要なのか
- 1. 2. 2 グリーンICTによる地域活性化への道

1. 3 ICTによる経済成長と競争力の強化

グローバル展開

- 1. 3. 1 日本の情報通信産業の現状とICT徹底活用による経済成長への貢献
- 1. 3. 2 ICTが支えるイノベーションとグローバル展開による競争力強化

少子高齢化・医療費の急激な膨張



超高齢化社会の到来：65歳以上人口比率27%（2020年推定）
生活習慣病（糖尿病、動脈硬化等）に伴う慢性疾患の増加

ヘルスケア市場にビジネスチャンス

「ライフ」への貢献例

■医療

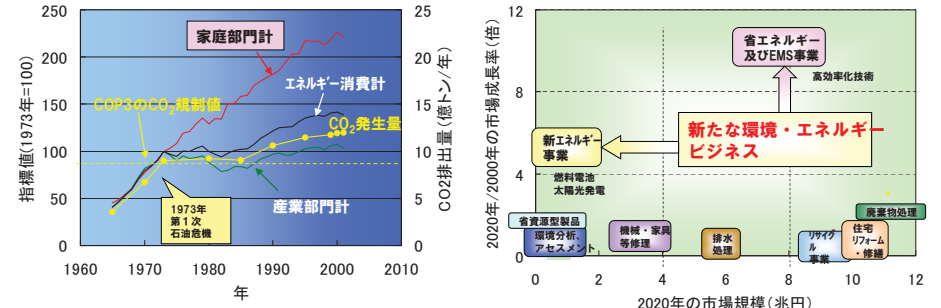
高精細映像伝送による遠隔医療
MRIなど医療用画像データの瞬時転送

■地域の活性化と絆の再生

ネット接続TVによるTV電話や見守りサービス
(誰もが使えるソーシャルメディア)
テレワークによる過疎化対策
3D映像コンテンツによる遠隔教育
(過疎地の分校)



地球環境との共存:炭酸ガス排出量の増加



国内エネルギー消費量の推移

環境関連事業の市場規模と成長率(国内)

このままではCO₂排出量が増大し、COP3対応が困難
—特に家庭部門のエネルギー消費の増加が止まらない—

COP3: CO₂ 6%減 (2010年/1990年)

省エネルギー、新エネルギー事業にビジネスチャンス

グリーンICTの例

■人・物の移動の削減

オンラインショッピング
オンライン商取引
テレワーク、TV会議

■物の生産・消費の効率化・削減

音楽、映像、ソフト配信
電子出版、電子配信
ペーパーレス・オフィス

■ICT自体のグリーン化

瞬時転送による無線システムの間欠動作



講演概要

1. 情報通信市場の変化
2. 将来のユースケース
3. 短距離大容量無線通信ニーズ
4. ライフとグリーンへの貢献
5. 技術トレンドから見たTHz無線技術

ICT維新ビジョン2.0では？

「日本×ICT」戦略による3%成長の実現

ロードマップからの抜粋

●新たな電波の有効利用の促進

ホワイトスペース等新たな電波の有効利用により、2020年時点で新たに50兆円規模の電波関連市場を創出

●オープン型電子書籍ビジネス環境の創出

2020年時点で新たに5000億円のデジタル出版市場を創出

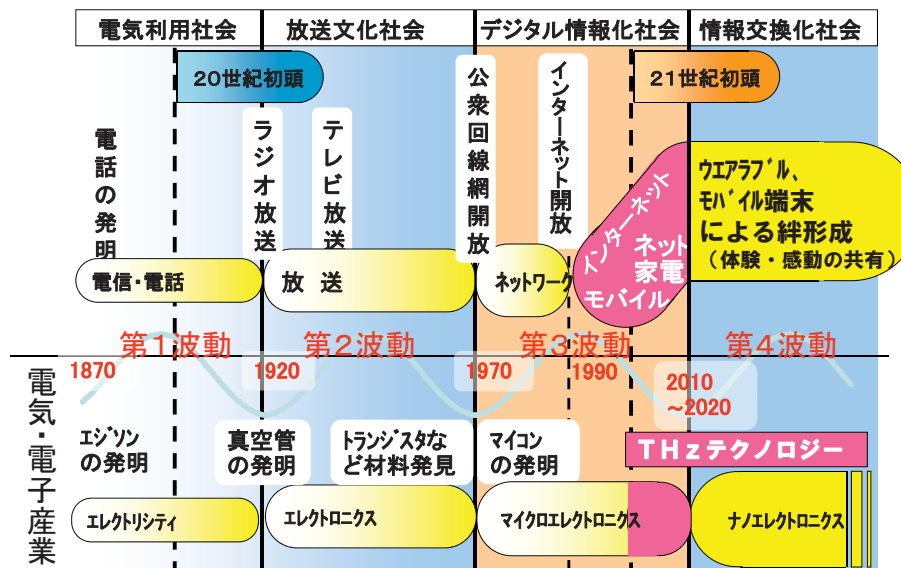
●デジタルコンテンツ創富力の強化

2020年までに、デジタルコンテンツのグローバル展開やネットワーク流通促進により10兆円の経済波及効果を実現する

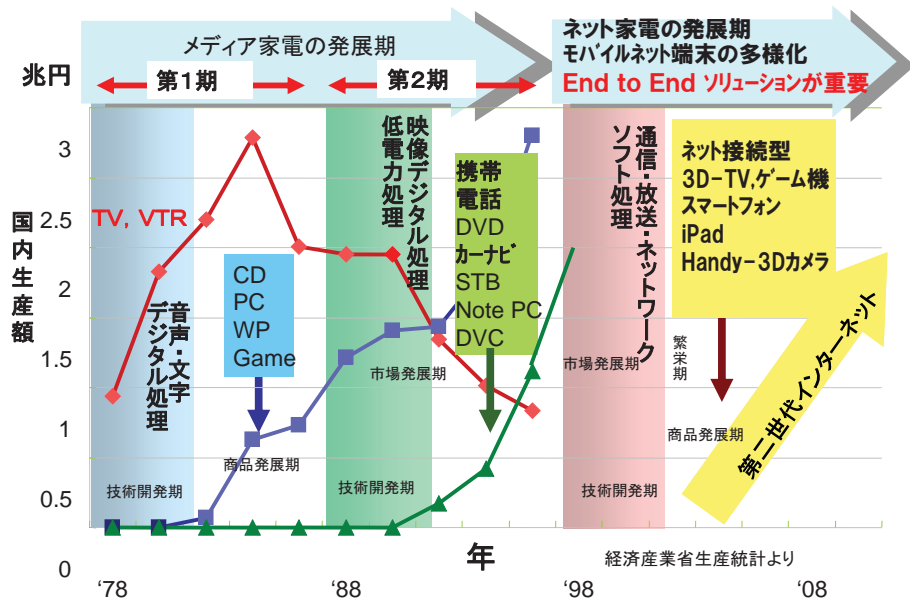
●革新的ICT基盤技術の研究開発の推進

2015年までに、日本の先進的なICTを30億人規模の海外市場に展開

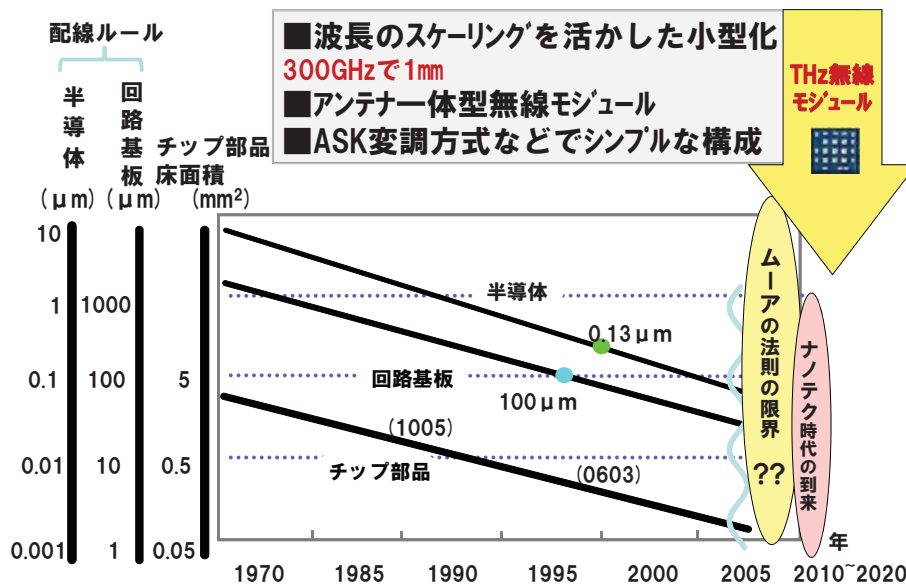
ICT産業に見る技術の長期波動



情報機器の世代交代と今後

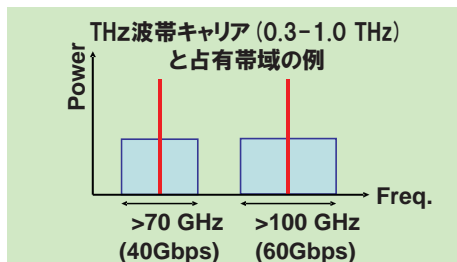
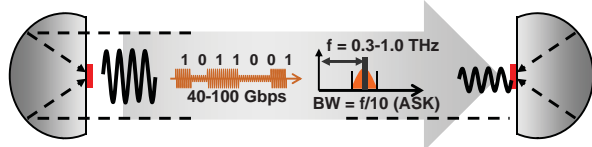


小型化トレンドに即したTHz無線モジュール

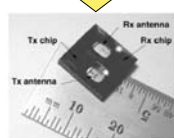


超広帯域化・小型化へのアプローチ

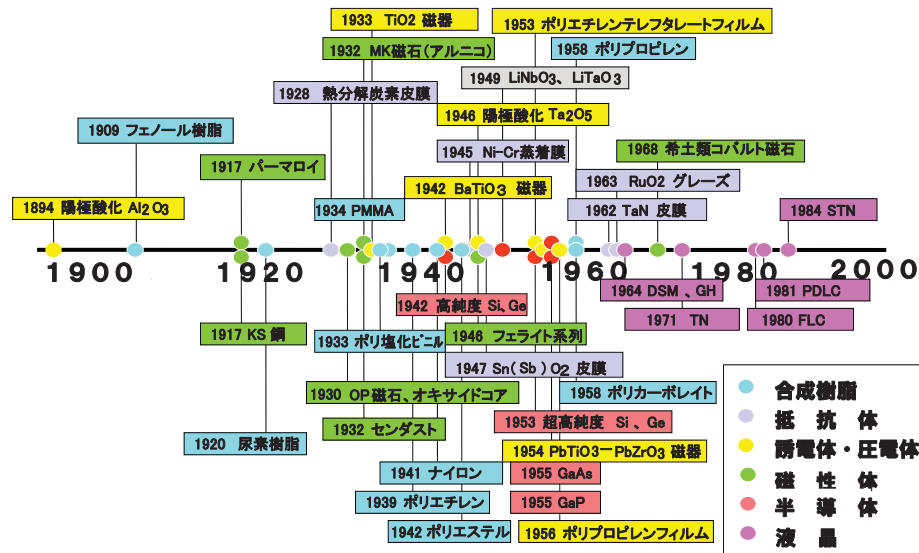
- 275GHz以上の用途割り当ての無い周波数帯で超広帯域のバンドを占有
- ASK変調のシンプルな構成とする
- 至近距離無線では1mm以下の波長を活かしてアンテナ等を一体化した集積化モジュールで小型化・低コスト化⇒携帯機への実装を目指す



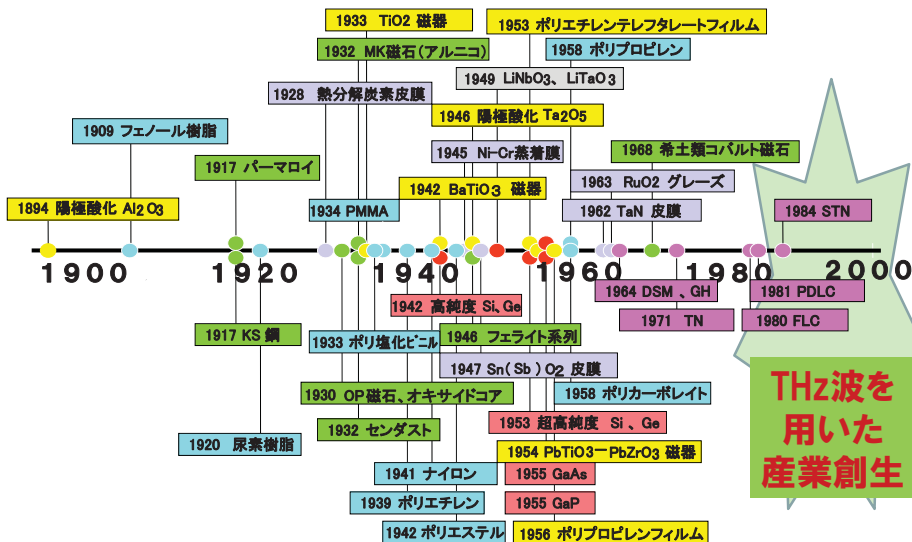
(サイズ目標例: 1cm角・1mm厚)



電子材料が新産業をつくってきた



超高周波材料・メタマテリアルによる革新



THz波を用いた産業創生



「THz」検討会開催の意義

産官学で以下を取り組む意義は大きい

- ブロードバンド有線技術とブロードバンド無線（THz無線）技術との融合により実現される新しい情報通信環境が、ネットTV、スマートフォン、i-Padなどの多様な端末が出現する中で、3D映像などのリッチコンテンツ流通や交換を活用したビジネスの効率化（クラウド活用）、娯楽（コンテンツ流通）、電子商取引、遠隔教育、遠隔医療を促進するシナリオを明らかにする。
- 今日的課題であるライフ分野（テレワーク、医療、高齢化対策、地域活性化）、グリーン分野（省エネルギー、省資源）への貢献シナリオを明らかにする。
- THz波の情報通信利用技術開発を「ICT維新ビジョン2.0」に即して具体化し、新しい産業創生に結び付けるシナリオを示す。

第2章 ライフ分野(医療、災害報道等)への貢献と課題

「ライフ」の領域として、医療・ワーク・生活・高齢・教育・放送など多くの分野が考えられるが、その中で「命」に直結したより逼迫したニーズが考えられる「医療」と「災害報道」の分野で、テラヘルツ波の応用用途の調査を行った。その結果、先端医療においては術野映像の3D 高精細かつリアルタイム性が、災害報道では取材画像の速報性が強いニーズとして既に存在し、それぞれ高速大容量な無線通信回線技術によって抜本的に解決がはかれることがわかった。以下、それらの分野へのテラヘルツ波の無線情報通信による貢献と課題についてまとめる。

※術野:手術する術者の視界

(テーマ1) インテリジェント手術室と高速大容量ネットワーク

(講師) 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 教授 伊関 洋

東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 准教授 村垣 善浩

(テーマ2) Innovative ICT による“医領”解放構想

(講師) 神戸大学大学院 医学研究科 内科学講座消化器内科学分野

特命講師 杉本 真樹

2-1 手術における3D 高精細画像

これまで医療の手術現場において、執刀医とサポート医師の間で術野情報を共有することは当たり前に行われてきたが、近年、手術ロボットのダ・ヴィンチに代表される内視鏡手術装置の普及に伴い、術野映像の撮影と再生に立体視技術を用いる機会が多くなってきている。これは執刀医さえも術野を直接見ることができない内視鏡手術において、術具と臓器との距離をより正確に理解するために有効な手段だからである。

手術を正確に進めるには、術野画像はハイビジョン以上であることが必須であり、現在は横方向の画素数が約 2000 (通称 2K) の機器が使用されているが、既に約 4000 (通称 4K) を導入しようという動きも始まっている。従って、医療現場では、通常画像の 8 倍の伝送量 (4 倍の総画素数 × 2 枚の画像) が必要な立体視画像を高速に伝送する要求がある。

また、執刀医とサポート医師の間で共有する術野画像は、手術の正確性のため、リアルタイムな映像であることが必須である。

加えて、手術室内の器具・機器のデータのやり取りに、コード自体を無くす(ワイヤレス化する)こ



Apple Inc. web site より転用 (<http://www.apple.com/science/profiles/maki/>)

とが望まれている。手術室や手術室内の器具・機器は定期的に、それぞれに要求されるレベルに従って滅菌／消毒／清掃する必要があるが、機器のコード類で床に置かれるものは汚れが付着しやすく清掃に手間がかかるため、ワイヤレス化が望まれている。つまり、リアルタイム立体視高精細画像伝送とワイヤレス化は将来の手術室において同時に実現されるべき課題であり、テラヘルツ波を用いなければ実現できないニーズがそこにある。

手術患者の術野情報を執刀医とサポート医師間で共有している良い例として、東京女子医科大学が、手術中にベッドごと患者をスライドさせて MRI 画像を撮影できるようにした「インテリジェント手術室」を実現し、実際に脳腫瘍の摘出率を飛躍的に向上させていることが挙げられる。

「インテリジェント手術室」では、執刀医・サポート医師・スタッフの手術中の室内動線までも手術



計画に入れられている。よって清掃のし易さに加え、室内動線の計画自由度を向上するために画像装置を含む手術室内の機器のワイヤレス化が強く望まれている。同時に、将来は手術室内に 2K ハイビジョン換算で 20 チャンネル分の伝送システムを確保したいという要求もある。リアルタイムでの 2K ハイビジョン 20 チャンネルを送れる伝送システムは、テラヘルツ波を用いることによって解決できるニーズである。

一方、術野情報は、実際に手術している患者の術野以外だけでなく、手術前シミュレーション／手術ナビゲーション／教育材料モデルにも利用されており、ここでも、現実に近いイメージを得るために立体視や 3D の高精細画像が用いられている。ここで言う立体視画像とは、右目と左目用の 2 枚の絵を、それぞれの視界を電子的にスイッチしたり、異なる色のレンズを通して分離する眼鏡を通して見せる技術であり、3D 画像とは電子的立体形状データをディスプレイに表示するとともに立体形状を自由な向きに変えられる画像のことである。

術野情報をシミュレーション／ナビゲーション／教育材料として活用している良い例として、神戸大学が「OsiriX(オザイリクス)」という無料の医療用画像処理ソフトを



Apple Inc. web site より転用
(<http://www.apple.com/science/profiles/maki/>)

iPad 等の汎用機器と組合せることで高位平準な医療技術の普及を図っていることが挙げられる。神戸大学では iPad を使って、術者が頭を動かさずに、視線だけを動かせば確認できるナビゲーション方法や、内視鏡手術中に患者の手術箇所の体表面にプロジェクターでコンピュータ処理した 3D 体内画像を投影する方法(イメージオーバーレイ)を提案している。また、東京慈恵会医科大学でも手術中に術者の視野に手術ナビゲーション画像を重ねる方法を研究されており、特にスーパーコンピュータを用いて手術中に形を変える臓器をリアルタイムに 3D 画像合成することが提案されている。

現在、神戸大学の、術者の頭を動かす必要のないナビゲーションは、手術前に、予め iPad に必要な 3D データを入れてから術者の手元に置いて操作しているが、将来、超低被爆 X 線撮像装置が実現され、東京慈恵医科大学が研究しているリアルタイム 3D 合成などの技術が実用化されれば、手術中、術者はリアルタイムに患者の臓器を把握しながら手術を行うことができようと思われる。手術室内の医療機器間(X 線撮像装置～外部のスーパーコンピュータ～iPad 間)のデータのやり取りは有線ではなく、ワイヤレス化が求められているため、そこに大容量のデータを無線伝送するニーズが生まれると思われる。よって、3D 高精細リアルタイム伝送という要求からテラヘルツ波の利用シーンがそこに予測される。

なお、医師同士が相互に3D 高精細画像や立体視画像を共有し、さらにマウス操作も共有化して、画像を動かしながら言葉だけでは表現しづらい患部の状況や周りの臓器、血管などについて具体的に確認し議論することが大変有益であることは分かっていた。しかし、実際に従来の通信回線を使ってこのような試みを行っても、精細度の低さと遅延から実用的に足りないため利用されていなかった。しかし、本検討会で行った、10Gbps の速度を有する JGN2Plus の高速有線回線と 120GHz のテラヘルツ無線機を使って、関東と関西の両拠点を結んだデモ実験により、その有用性があらためて実証された。

2-2 リアルタイムで患者の様態を確認しながらの手術

画像情報によって明確かつ直感的に把握できる映像医療診断機器の発展と普及はめざましい。CT や MRI などは術前や術後の診断だけではなく、手術中に用いて治療と診断の工程を一体化することによって、術経過を的確に把握し、リアルタイムに手術方針を判断することが既に広まりつつある。また、MRI や PDD(光線力学診断)などによる多数の断層診断画像を、コンピュータ支援の画像処理によって連続した3D 画像に再構築しデータフュージョン(3D 画像の重ね合わせ)することによって、患部と患部以外の境界を明確に把握することや、術具先端がどの位置に触れているかを、映像ナビゲーションや警告音などによってリアルタイムに執刀医や手術のサポートスタッフに提示することが、一般化されつつある。また、詳細は後述するが、術中の判断を執刀医の個人的な経験や技量に依存する従来の手術形式から、術中 MRI 等を活用し、手術に必要な情報を手術室外にいる戦略統括者に集約して、それらの情報から戦略統括者が術中判断や戦略方針を

決定し、手術全体を統括・指示する手術形式にすることで、術後生存率を飛躍的に高める手術方法が実現されている。

このような高い術後生存率や低侵襲を目指した先端的な手術では、術野映像や術前の診断画像などを使った支援が急速に発展しつつあり、これらは術中にリアルタイムに提示される必要がある。もし執刀医の視覚情報と操作の間に遅延が生じる場合には、術具が手術に関係のない臓器に触れたり、縫合のホッチキスの位置がずれたりするなど、手術の不確実性や事故などに繋がる可能性がある。また、支援画像の遅延によって執刀医の疲労をかえって増大することや、術具を使いこなすために特別な技能を必要とするならば、本来の手術を支援する目的からは本末転倒となる。以上から、手術の術野映像や支援画像のリアルタイム性は、執刀医にとって必須のニーズであることがわかった。

では、執刀医が円滑で安全と感じるリアルタイム性とはどの程度であるかとの疑問に対し、東京女子医科大学の伊関教授は「外科医はワンフレームの遅延がわかるぐらいに感覚を研ぎ澄ましている」と答えている。つまり、手術への支障の有無に関わらず、執刀医にとってはフレーム遅れやフレーム飛ばしがあっても感応し気になること、したがって、術野の高精細映像は1フレーム以下の遅延で伝送する必要があり、非圧縮・非伸長の映像・画像を高速に通信するニーズのあることが明確となった。言い換えれば、現行のインターネット通信回線では、圧縮・伸長を行い、フレーム落ちを前提としているため、先端手術を支えるインフラとしては不十分であると思われる。

また、前述した合理的な手術の判断に必要な情報を手術統括者に一元的に集約する先端的な医療システムでは、執刀医だけでなく、助手、手術介助、看護師、麻酔医師らのスタッフメンバーのサポートのもとで役割を分担し、術野映像医や手術の進行状況、患者の様態、ME 機器の動態、スタッフの動線、術前診断画像などの全ての情報が時間的にずれることなく、リアルタイムで手術統括者に提示されることが、的確な判断を行う上で非常に重要である。さらに、これらの手術情報は、手術統括者だけでなく支援するスタッフ全員にも共有され、それぞれの担うべき役割や行動が迅速に理解されること、言い換えれば手術の方針がスタッフ全員に臨場感をもって共有化されることが、手術の円滑な進行には必須となる。これらスタッフへの手術情報の提示は、映像を使うことが最も直感的で確実に理解できる手段であるが、これを実現するには膨大な映像情報をリアルタイムに手術室内外に伝送する必要が生じ、したがって、高速で大容量の無線通信技術に強いニーズが既にある。

さらに、今後、遠隔医療のツールとして期待される手術ロボットにおいても、神戸大学医学部の杉本特命講師は執刀医が観察する没入型のハイビジョン3D 立体視術野映像に加えて、同一視野内に術前の患者の3D 診断画像を入れることで、手術を支援し安全性と確実性を高めることを既に行っている。

これらの術前や術中の診断画像から再構築された3D 支援画像は、手術の進行状況に応じて簡単な操作でビューポイントを滑らかに素早く変えられることが、リアルタイムに判断を要求される

手術においては重要である。そのため、前述の杉本特命講師により、安価な汎用のゲーム端末や iPad などを利用した自由度の高いジェスチャー入力が、手術現場で試みられている。操作の自由度に伴って、膨大な3D レンダリングやビューポイントの高速な画像計算と、その結果を執刀医や助手医師の視野内へリアルタイムに提示することが求められるが、前者の高速な画像計算は、OsiriX などの最適化されたソフトウェアと高速な汎用コンピュータを使うことにより、ほぼ実現されている。しかし、後者のリアルタイムな画像表示については、通信回線を経由するために無線回線だけでなく現行の有線回線についても、回線速度の低さが高精細とリアルタイム性を実現する上で大きな課題となっている。

例えば、手術ロボットによる遠隔手術を考えた場合に、ロボットのアームを有する手術装置と、そこから離れた場所にある手術者が操作する操作装置をつなぐ通信回線の形態は、手術装置からは無線回線によって高速な光ファイバーなどの有線回線に接続し、有線回線で長距離を伝送され、操作装置の近くまで送られた後に、さらに無線回線で操作装置やディスプレイ装置に接続されることが想定される。ハイビジョンで非圧縮・非伸長の 3D 立体視された術野視野と3D 支援画像の必要帯域は、 $1.5\text{Gbps} \times 3\text{映像} = 4.5\text{Gbps}$ であり、この通信におけるリアルタイム性は、有線回線と無線回線、およびその変換部を含めてこの伝送帯域が保証されなければ成り立たない。従って、この分野においては無線回線のみを高速大容量にしても、本来の利便性や恩恵は得られないと思われ、テラヘルツ波による無線技術の実用化と並行して、高速大容量な有線回線の技術開発と整備を進める必要がある。結論として、遠隔手術などの先端医療の実現においては、無線回線と有線回線の両方を高速大容量にして遠隔地とのリアルタイム性を確保することが必要であり、この実現無くしては医療手術などの遠隔化はあり得ないことが明確となった。



また、術中ではないが、術前に専門的な診断や手術の方針をたてる場合にも、あえて複数の医師によって症例や治療方針を議論することが、その判断の確度を高めよりの確な方針を得るには必要という意見を、前述した教授達からいただいた。その際に、高精細の画像や映像情報をリアルタイムに共有化できると、遠隔で離れた場所にいる医師同士でも、その議論を高い臨場感で違和感なく円滑に行うことができる(本

研究会のデモ実験により実証された)。さらに、僻地や過疎地の医療現場で専門医師が不足していても、あるいは患者数が少なく医師の治療経験が乏しくても、都市の専門医師や経験豊富な医師からより深い診断や確度の高い手術の戦略方針を得ることが可能となり、そのための医師の移

動にかかる時間や負担をゼロにできるので、より本質的な地域医療活動に時間と情熱をかけることが可能となる。

以上の調査および検討から、「高精細な医療映像をリアルタイムに伝送できることは、医療を遠隔で行えることに直結している」ことがわかった。ここでいう「遠隔」とは屋内・屋外を問わず、近距離においては手術情報の共有による執刀医と手術スタッフの役割分担であり、執刀医から戦略統括者への術中判断の役割移譲と統合・統括化であり、遠距離においては手術ロボットによる手術現場と操作部の分離であり、高度な診断と治療が都市を離れた僻地・過疎地でも受けられることであり、離れた場所でも医師の医療技術の指導や習得が互いにできること、等である。いずれも、的確な高度治療によって術後の生存率や QoL を飛躍的に高め、国民の健康・安全・安心を高いレベルで維持することに直接的な関わりがある。従って、今後、日本がこれらを実現し、医療先進国家として豊かな社会を形成していく上では、映像情報のリアルタイムな伝送に必要な高速大容量通信は必須の技術であり、それゆえ、この技術の開発には国家的な対応を必要としている。

2-3 インテリジェントオペ室

東京女子医科大学では、MRI などの先端医療画像情報を実際の手術に応用した「インテリジェント手術室」と、冷静で合理的な術中判断と手術の指揮・統括を行う「戦略デスク」を創案し、脳腫瘍の摘出手術を行っており、既に 900 例以上を施術した結果、症例によっては従来法による国内平均の 2~3 倍近い 5 年生存率と高い術後 QoL を誇っている。

基本的な考え方は、手術において執刀医は術中の判断を戦略デスクに任せて手術作業に専念し、人を介さないでできることは機械や装置で行って、数時間におよぶ手術の負担を軽減することと、術中に手術に関するあらゆる情報を取り続けて手術室外の戦略デスクに一元的に集約し、それらのデータをもとに合理的で的確な術中の判断や戦略方針の決定を冷静に行うこと、としている。疾病の患部を正確に過不足無く取り除くことで、再発を防止しながら同時に後遺症の発生を低減するこのような先端手術とは、従来では執刀医個人に頼っていた術中判断を、チームワークによる合理的で効率の良い分担によって、より総合的で緻密、かつ冷静で最も的確な判断や手術方針を迅速に得て、高い術後生存率を有する質の高い手術を実現するものである。

インテリジェント手術室では、術中 MRI 診断、術中診断映像情報、術野映像、患者の音声と映像、バイタル表示、術具の動き、執刀医・サポート医師・スタッフの手術中の室内動線、など、手術室内で起きる全ての情報が採取されて戦略デスクに送られる。手術室内には、それらの手術情報と術前の映像診断情報、戦略デスクから送られてきた指示映像などが、5つの高精細ディスプレイに表示されるようになっている。さらに、術具の患部に対する位置が計測され、そのリアルタイムな結果が MRI 画像上の映像や警告音で執刀医に知らされ、1mm 以下の高精度でナビゲーション

して手術を支援している。また、手術室に隣接して、全ての手術情報を記録するコーナーがあり、顕微鏡術野を3D立体視で執刀医以外も観察でき、記録している。

手術室外にある戦略デスクでは、インテリジェント手術室から採取された手術情報の全てが集約され表示・管理できるようになっており、術前診断や術具の位置情報などをインテリジェント手術室内へ映像情報で提示し、手術スタッフとの情報共有化と医師の意見の統合化を図り、術中の判断と戦略方針について指示・統括を行う。また、これらの映像情報の記録から、手術中のスタッフの動線やイベントのタイミングまで分析することができ、この分析から予めスタッフの合理的な動きや留意点を盛り込んだ、無駄やミスの起きない手術計画を立案し遂行している。

インテリジェント手術室と戦略デスク、さらに画像サーバーとの間では、術前・術中の診断映像や施術映像などの18chにおよぶ膨大な映像情報が、同期を取りながら行き来している。戦略デスクをより効率的に運用するには、現状でも「ハイビジョン映像で20ch程は必要」というニーズがあり、このような大容量の情報を遅延無く同期を取り、かつ手術室内に簡素で汚染や事故の心配がない無線通信で実現するには、テラヘルツ波を用いた高速大容量の無線通信回線が必要と思われる。

術野映像や手術室内映像については、現状はハイビジョンより高精細な映像に対して強いニーズがある訳ではないが、カメラアングルが限られる手術室内で、術野と手術室内などに複数台のカメラを設置し、並行して映像取得している現状を考えると、潜在的には高精細画像の要求は高いと思われる。例えば、高精細カメラで術野全体をモニターしながら、必要に応じて患部の指示部分の拡大表示が電子ズームによって瞬時に行え、かつその拡大映像においても細部の状態まで把握できる十分な精細さを満足しているならば、戦略デスクからの指示をより明確にでき、全体の利便性を落とさずにカメラやディスプレイの数を削減でき、より簡素で軽量な手術室や戦略デスクにすることが可能であろう。しかし通信回線においては、高精細化によりさらに画像情報量が増えるため、これらをリアルタイムに伝送するにはますますテラヘルツ波を使った高速大容量の無線回線のニーズが大きくなると思われる。

今回の先端的な手術システムを構築する際に必要となる高速大容量の通信回線は、屋内回線がほとんどなので、有線回線に頼らずテラヘルツ波による無線通信回線のみで構成することが可能である。そのため、容易に敷設できて、システムの冗長性や発展性に容易に追従できるという要求が、テラヘルツ波による屋内無線回線に対して潜在的なニーズとしてあり、重要と思われる。

再発を防止し、高い生存率と術後QoLを実現する高品質な脳腫瘍摘出手術は、結果として医療費の国費負担を削減すると思われる。今回の1カ所の先端医療手術室による900例を超える高品質な手術を手がかりに試算すると、手術後の再発、あるいは重篤な後遺症などによって、仮に術後の医療費として、一例当たり平均100万円の国費が充てられるとすると、高い術後生存率やQoLによって、それが平均的に半減したとして4億5千万円の削減効果がこれまでにあったことになる。このような再発率を画期的に低減する先端医療システムが国内に広く普及することは、

経済的に国益に叶うだけでなく、日本が世界的にも先進医療国家としての地位を形成する上で大きな推進力となることは明らかである。

この項の結論として、合理的で無駄のない先端的な高度医療を実現していく上で、テラヘルツ波による高速大容量の無線通信技術は基盤技術となり得ることが明らかとなった。

2-4 手術室内の機器のワイヤレス化のニーズ

近年、待合室や病棟等の低規制エリアでは、携帯電話や無線 LAN の使用が許可されるようになっているが、生命維持装置が置かれる確率の高い手術室等の高規制エリアでは、通常は電波を発射する機器の使用は禁止されている。東京女子医科大学においても同様に、インテリジェント手術室内での無線機器の使用は基本的に制限しているが、戦略デスクの判断を術者に伝えるための PHS だけは使用可能としている。その理由は以下のとおりである。

以前は、手術室内のスピーカとマイクを使用して戦略デスクと術者が会話していたが、従来の手術に比べて多くの術中情報から普遍的な判断を行う戦略デスクに対し、術者は従来と同様の情報しか得られないため戦略デスクの判断と食い違う場合があった。戦略デスクと会話することで術者は戦略デスクの判断を理解できるのだが、理解するまでの会話はサポートスタッフにも伝わり、術者の判断力が劣るとの誤解を招いて術者のプライドとモチベーションが下がるというデメリットがあった。そのため、現在では、戦略デスクと術者は PHS を利用しているとのことである。なお、以上の理由から、PHS(1.9GHz 帯)だけは使用を許可しているが、無線 LAN(2.4GHz 帯)については使用禁止にしているとのことである。

この無線 I/F の使用可否の区分けは、PHS の出力電力が多くても数 10mW に対して無線 LAN では 10mW/MHz という規格から総出力では 100mW 以上と大きいことと、MRI 装置の受信コイルが(周波数帯は 100MHz 以下であるものの)僅かなラジオ放送波が存在しても影響されて撮影画像にノイズが入るほど高感度なことが理由と思われる。つまり、ラジオ放送波からの妨害を阻止するために MRI 装置を設置しているインテリジェント手術室には厳重なシールドが施されているが、言い換えれば強力な電波を放射する機器を手術室内で使用すれば、室内壁のシールド機能により全電力が反射されて手術室内に充満し、MRI 等の微弱な電磁波を受信する医療機器は重大な影響を受けるということになる。よって近年 MIMO 技術を採用した、より高速な 5GHz 帯の無線 LAN も普及し始めているが、もし 2.4GHz 帯と同様の課題を有しているならば手術室内への導入は困難であると思われる。

これに対して、テラヘルツの周波数は数 100GHz 以上と MRI 装置を含む医療機器の使用周波

数とは極めて離れている。さらに波長が短いために機器を小さくしてもアンテナ利得が高いことから、短距離の室内通信用途であれば数mW程度の低出力で高品質な通信が可能であるとともに、送信ビームの向きを制御することにより多チャンネル化も可能である。よってテラヘルツは手術室内の無線化を進めるために極めて相性の良い無線 I/F であると思われる。

遠隔医療においては手術室内の映像を遠く離れた医療施設に届ける必要があることから、これまで述べたような高速大容量データを扱うギガビットの有線通信が不可欠であり、JGN2 等の高速回線が必要となる。

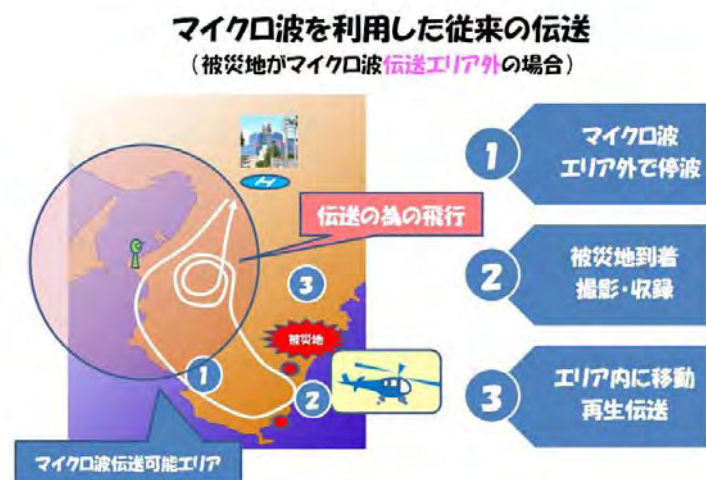
一方、病院内の通常ネットワーク上には外来処理やレセプト処理の日常業務に伴うデータが流れており、この通常ネットワーク上に遠隔医療に必要なギガビット通信を混在させると日常業務に影響を与える可能性があり、双方から分離が要求されている。

また将来の手術室を実現するにはシステムを少しずつ進化させることが必要となるが、通常ネットワークとギガビット通信用ネットワークの進化のサイクルが異なる場合、気まぐれな工事休業ができない病院においては双方の計画が進まないことになる。このためには機器の特異性の強いギガビット通信用ネットワークをアドホック的に構築するのが望ましいと考えられる。また東京女子医科大学のように手術室(インテリジェント手術室)とモニタ室(戦略デスク)が別の棟に離れている場合も多いことから、異なる建物間や異なる階層間をアドホック的に接続する必要も多く、ワイヤレスリンクは必須要素と思われる。

以上から、今後、大量のギガビット通信が必要な医療施設等で導入が進むと予想される 10GBase-T イーサネットのワイヤレスリンクや JGN2 等の高速有線回線のラストワンマイルとして、テラヘルツの無線通信装置に対するニーズは、大変、大きいと思われる。

2-5 放送分野におけるワイヤレス化のニーズ

災害発生時には報道機関による現場からの取材情報が、そのまま救助活動の初動の判断材料となるため、その速報性や的確さが、救える人命の数や質を直接左右する可能性がある。中でも被災地上空に短時間で到達できる放送局の取材用ヘリコプターは防振撮影装置やマイクロ波による映像伝送装置を駆使して被災状況を速報でき、災害時



に威力を発揮する。

3月11日に発生した東日本大震災では地震発生直後にフライトした取材ヘリからの映像が津波の想像を絶する威力と被害の様子を生々しく伝えた。

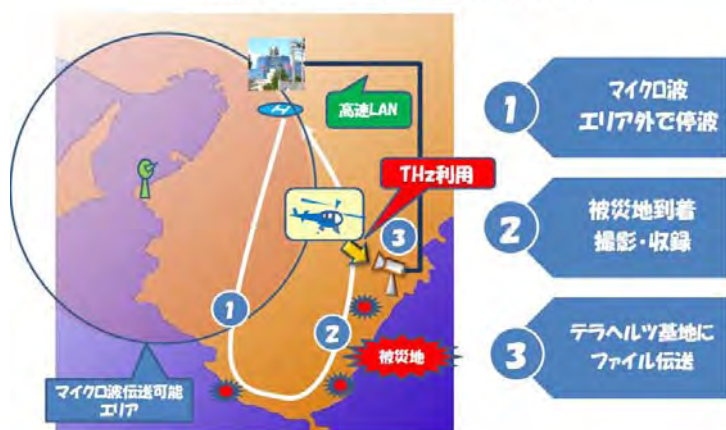
災害現場の緊迫した状況の下、搭載燃料による限られた飛行時間でいかに多くの的確な情報を収集し速報できるかが、人命救助と災害の拡大防止に極めて重要であることが再確認された。

通常、取材ヘリによる撮影を行う場合、マイクロ波伝送可能エリア内であれば撮影している映像をリアルタイムに伝送できる。しかし、受信基地から離れているためマイクロ波による伝送ができない遠隔地の場合には撮影(機内収録)→送信可能エリアへ移動→伝送(待機飛行)という過程が必要で余分に時間がかかる。

またリアルタイムに再生を行う伝送方法では収録時間と同じ伝送時間が必要となるため、災害時など長時間にわたって撮影した映像を伝送する際には伝送のためだけの飛行時間が発生することがある。生放送で伝えきれない被災地に1分でも早く救援部隊を送り込むため、また乗員の安全確保の観点からも伝送に要する時間を少しでも減らすことが望まれる。

大規模災害時により多くの被災地から生放送を行うためにはマイクロ波受信基地の増設が必要となるが、山間地の多い国土を全てカバーするのは地理的条件や建設費の面からも困難が伴う。このため、比較的安価に広いエリアで迅速に空撮映像を伝送できる新たな方法が求められている。

テラヘルツを利用した映像伝送イメージ
(被災地がマイクロ波伝送エリア外の場合)



一方で、昨今、業務用映像機器の分野でも民生品と同様に従来のテープに代わってディスクやメモリなどに映像を電子ファイルで記録する製品が増えつつある。再生によるリアルタイム伝送と異なり、映像をファイル転送する場合は、伝送路の速度が速ければ速いほど短時間で伝送が終了する。小規模で安価なテラヘルツの受信設備が各地域に分散設

置され、放送局と高速無線 LAN で接続されればマイクロ波による伝送が不可能な遠隔地の取材映像(ファイル)を最寄りのテラヘルツ受信設備に短時間で転送でき、速報性が向上する。また取材ヘリの飛行時間も短縮することができる。

現在、放送局で扱われる映像機器の記録レートは 50~150Mbps 程度であるが、仮にテラヘルツ帯を利用して 50Mbps で記録された映像を 5Gbps の高速通信で伝送することができれば、収録時間の 100 分の 1(1時間収録したものを1分以内)の時間で転送可能となる。

テラヘルツ帯の大容量通信は高画質な映像を伝送することも可能にする。マイクロ波を利用した伝送の場合は 1.5Gbps の HD 映像を伝送路の品質により 10Mbps～60Mbps 程度に圧縮して伝送しているため、映像品質の劣化を避けられない。テラヘルツによる高ビットレートの伝送路が確保できる場合には、非圧縮のHD映像による生中継も可能となり、被災地の状況をより詳細に伝えることができるようになる。

このように、テラヘルツ帯を利用してヘリコプターと地上との間で高速通信が可能となれば、上空からの映像ファイルを瞬時に転送することや、より高精細な映像を伝送することが可能となるが、この実現には、技術的に克服すべき課題がある。

テラヘルツ帯の電波は直進性が強いいため、パラボラアンテナのような指向性の高いアンテナを利用する場合には、送受信アンテナの方向調整をマイクロ波に比べて極めて精密に行う必要がある。そのため、機体が常に振動しているヘリコプターと地上との間で安定した伝送路を確立するのは現状では難しい。空撮用カメラで実用化されている高性能な防振技術の応用や、平面アンテナの利用、ミリ秒単位の断続的なパケット伝送など送受信技術の総合的な向上により、地上とヘリとの間で高速通信が可能になることが期待される。

テレビ報道はフィルムカメラで始まり、フィルムの現像が不要な ENG(Electronic News Gathering)、衛星を利用した SNG(Satellite News Gathering)の時代を経て、今や、インターネットを利用して世界中から安価に映像を伝送できる時代になった。視聴者が携帯電話や小型のデジタルカメラで撮影した映像が放送されることや、インターネット上のコミュニケーションツールを利用して、視聴者同士が情報を相互に発信・受信することも珍しくない。

災害時に被災地の高精細な映像を撮影・伝送し、被災者の救援や被害の拡大防止に寄与するという放送局にしかできない災害報道を、これまで以上に広範囲かつ迅速に行うため、テラヘルツ帯が活用できることを認識した。

2-6 まとめ(テラヘルツの医療現場への貢献と課題)

「ライフ」では、医療分野と災害報道分野において、テラヘルツ波による情報通信の利活用を調査検討した結果、得られた応用ニーズを以下にまとめる。

1. 医療クラウド: 高速で大容量なテラヘルツ波による無線回線と有線回線によって、移動の時間と負荷を負わないで、必要な医師のナレッジと医療情報をリアルタイムかつ高臨場感で供給する。

日本は、人口が減少傾向にあり、経済規模が縮小する中で、高齢化と地方の過疎化を突き進んでおり、医師の確保は、これからますます重要となる課題である。高速大容量の通信回線は、双方が超臨場感のあるコミュニケーションや高精細3Dの医療画像などをリアルタイムに共有でき、必要な医療情報や専門医師の判断・指導、場合によっては手術なども、遠隔から支援・実施することを可能にする。地方や過疎地においては、医師の数や専門性が不足しており、今後、更なる高齢化に伴い、ますます地方と都市との医療格差が広がる懸念されているが、この問題に対し、高速大容量の通信技術の積極的な活用により、医師や患者の移動の時間や負担を減少させ、適切な医療を広く行き渡らせることができ得ると思われる。

なお、これまでの調査検討から、高速大容量の無線と有線の通信回線が整備されない限り、遠隔医療や専門性の高い先端医療情報の共有や普及は極めて難しく、また、孤立した個々の医療機関のみの負担で、広めることも極めて難しいと思われる。

- ・以上の背景から、医療のクラウドという視点でテラヘルツ波の利活用をまとめると、
 - ①高精細な医療映像をリアルタイムで伝送できることは、医療を遠隔で行えることに直結している。
 - ②医療が遠隔で行えることについては、既に強いニーズがある。
 - ③先端医療において診断と治療の一体化が必須であり、既に強いニーズと実現に向けた動きがある。
 - ④先端医療やその成果の普及、遠隔医療・僻地医療の実現において、高速大容量の通信インフラは必須である。
 - ⑤テラヘルツ波による無線通信は、これらのニーズを満たす上で、医療機関の屋内の高速回線や、医療装置やセンサーと高速の有線回線間を結ぶ高速大容量の無線回線(ラストワンマイル領域)で、極めて有効かつ必要と思われる。

・利活用の調査検討で明らかとなった「遠隔」で行う医療ニーズの例：

- ①執刀医と他の手術スタッフとの手術情報の共有化：
チームワークによる手術において、分担したスタッフ間の容易で確実な意思疎通をリアルタイムな映像により図ることで、高い術後生存率とQoLを得る手術を行う。
- ②手術室内の手術スタッフと室外の手術戦略統括者との術中判断の統合・統括化：
手術室内外で必要な手術情報を共有することにより、手術方針を合理的で緻密に判断し迅速に決定して、術後生存率を向上する。
- ③遠隔手術における手術ロボットの手術現場と操作部での術野と操作の共有化：
リアルタイムな3D立体視高精細映像による超臨場感を利用し、遠隔から高度な手術や的確な手術支援を行うことにより、質が高く成功確度の高い手術を実現する。
- ④僻地の医療現場と都市の専門医による診断・治療指導：
医師不足の医療現場でも、的確な判断や専門的な指導が得られ、結果として、より多くの患者に対して、より適切で質の高い治療が提供でき、医療費の低減に繋がる。

⑤診断や手術方法を医師同士で検討し、確度を向上：

高精細3D 診断画像などを共有して、具体的で実際の検討や議論ができること。(本研究会のデモ実験により、テラヘルツ波の無線回線と JGN2plus の有線回線により、これが実用レベルで実現できることが実証された)

⑥ベテラン医師による若手医師の効率良い育成・指導：

テレメンタリングにおいて、高精細の3D 立体視映像を共有化することで、傍らで指導されているような臨場感のもとに、効率の良い医療技術の指導と習得ができること。

2. 医療情報のクラウド構築と利用： 診断と治療のデータベースの統合と共有化

先端医療に携わる医師から、医療の発展に最も重要となる症例や治療のデータベースと、その横断的な利用体系について、極めて厳しい現状と早急な整備の必要性がヒアリングされた。医療の質を高めていく上で、国家的な財産とも言える診断や治療の研究情報が、個々の医療機関や地域のネットワークで閉じて孤立化しており、より有効に使われないまま、眠っているという。これらの診断画像や映像情報を含む膨大な医療データベースが、簡便・有意に利用されるには、各医療機関が有している映像などのデータベースをタギングして容易に引き出せる形にし、共有化することと、ダウンロードの負担が少ない高速大容量の通信回線を利活用することが必須となる。その各医療機関を接続する高速で大容量な有線回線の両端には、高速性が保持され簡便な大容量無線回線が必要となる。

特に無線通信回線では、現行の電波無線より桁違いに高速なテラヘルツ波を用いることが、大容量の映像情報が多い医療分野には適していると思われる。

3. 医領解放：医療を場所や機関、組織、立場などを超えて、境界無く広く普及させる。

医療を場所や機関、組織、立場などを超えて広く普及させるには、携帯電話やタブレット PC などの汎用無線 ICT ツールの利用が非常に効果的であることを、実践している医師からヒアリングした。これら汎用無線 ICT ツールによって、通信インフラも医師も乏しい過疎や緊急医療が求められている現場でも、診断や治療などに必要な医療情報を送ったり受けることが可能となる。しかし、現状の汎用のインターネット回線を利用する限りは、医療画像などの大容量情報を扱うには高速性や回線容量において限界があるため、広く効果を上げるにはまだ制約が大きい。テラヘルツ波による高速で大容量な無線通信は、簡易な基地局の整備が必要であるが、この制約を越えて医療サービスを受ける領域を拡大し、普及を促進する技術と思われる。



4. 災害報道の速報性： 被災状況を迅速かつ的確に把握し伝える。

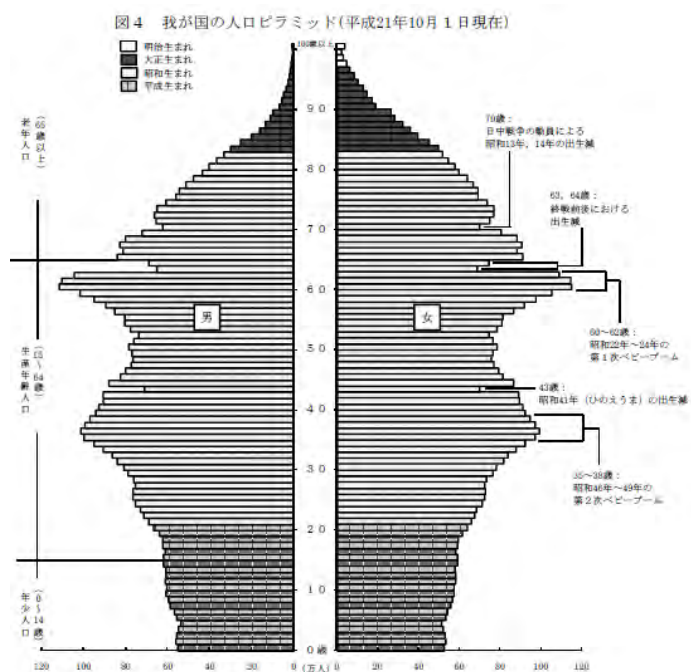
災害時に被災状況を的確かつ速やかに報道するには、ヘリコプターによる取材が有効であるが、現状は機上からの取材映像の伝送に時間と場所が制約され、取材行動の領域を狭める要因

となっている。テラヘルツ波による高速大容量な無線通信が、機上からの取材映像の伝送に使われれば、より短時間で取材映像の伝送ができ、限られた燃料で、より多くの被災地の取材に時間を使うことが可能となる。指向性の強いテラヘルツ波を、振動がある機上から安定して送受信するための技術的な課題や、簡易な基地局を分散配置する必要などはあるが、ヘリコプターの活動領域を拡大し、より多くの人命を救う初動取材情報の速報性を格段に向上できると考えられる。

・課題:

本調査検討から、テラヘルツ波による高速大容量な無線通信技術の利活用において、国民の命に直接関わる先端医療と災害報道の分野で、以下の特徴が明確となった。

- ①国民の命に関わる分野では既に強いニーズがあり、実現による国家的なメリットは大きい。
- ②先端性が高いため、すぐに産業として寄与できる大規模な用途市場が、現状では明確にし難い。
- ③当初からは大きな市場規模を想定できないため、開発費用の民間負担はリスクが大きすぎ、民間努力のみで研究レベルを脱して迅速な製品化や実用化に移行するのはほぼ不可能である。
- ④高速ネットワーク技術として価値を発揮するには、並行して有線回線の高速大容量化も実現する必要がある。しかし、民間にその体力は無い。



つまり、テラヘルツ波による無線通信技術は、このまま民間主導による技術開発を行っても進行は遅く、その普及によって大きな恩恵を受けるのが国民の健康・安全・安心分野であることを考慮すると、国が主導を取った育成と国家戦略的な目的をもった展開を進めるべきと思われる。

現在、日本発で創り上げた民生用のICT機器市場は海外に奪われつつあり、国際競争力のある産業技術が国内に乏しい中であって、日本が先行してきた先端技術であるテラヘルツ波無線の通信技術を、今後どのように発展させ展開すれば良いであろうか。

世界に先駆けて真っ先に高齢化社会に突入している日本は、これに対応した医療技術とノウハウを世界に先駆けて、いち早く獲得できる立場にある。この機会を積極的に捉えて、高齢社会

に有用な先端技術を開発しノウハウを蓄積することが、これからの産業を発展させていく上では重要と思われる。人口分布からわかることは、日本の高齢化は 20 年後には止まる(団塊世代の高齢者の大半はいなくなり、日本は高齢国家になる)時限付きの社会課題ということである。この間に、高齢社会を豊かにする技術やノウハウを日本がどれだけ獲得・蓄積できて、遅れて高齢社会を迎える韓国や中国などの海外諸国に対し、どれだけ価値を提供できるかは、今後の日本の国家的な成長の岐路を決めると思われる。

また、災害が起きてもテラヘルツ波による高速大容量無線通信技術により、迅速に被災状況を把握することができ、その結果、国や地方自治体の災害対策システムが効率よく機能し、人命が損なわれないのであれば、国内だけでなく海外の災害にも広く寄与でき、国家の品位を大いに高めるであろう。

テラヘルツ波を使った無線の情報通信技術は、日本が誇れる高い先端技術であるだけでなく、日本が高齢社会や災害に低損失な社会を先行して実現し、高い技術とノウハウを蓄積していくための重要な基盤技術でもあり、医療や災害報道の分野で今後、市場優位性を築くための起点となり得る技術に思われる。

第3章 グリーン分野(エコ)への貢献と課題

WG2(THzとグリーン)では、環境やグリーンに対するテラヘルツ無線の応用について検討を進めてきた。ICT技術、特にテラヘルツ無線技術のグリーンへの貢献としては、無線がテラヘルツ化することによる機器の省エネ・省資源効果(Green of ICT)と、テラヘルツがもたらすケーブルレスでの大容量伝送を通じたCO₂削減、グリーン効果(Green by ICT)があげられ、特に後者の効果が期待される。

本ワーキングにおいては、無線機器の省エネ化の技術動向(Green of ICT)、ICTの活用による省エネ化(Green by ICT)、及びICTによるGreenへの貢献シナリオという3つの切り口で、グリーン分野(エコ)への貢献と課題について検討を行った。

Green of ICTについては、川西氏よりテラヘルツ化によるエネルギー削減効果をデバイスの消費電力等からご講演いただいた。Green by ICTについて、小豆川氏よりICTを活用し、仕事と家庭生活の両立による就労確保、就業機会の増加等による地域活性化、通勤混雑の緩和等に伴う環境負荷低減など、様々な効果が期待テレワークの可能性について講演いただいた。引き続き、テレワーク等を支えるブロードバンド通信・高速移動体通信技術について、小西氏にご講演いただいた。またこれらを通じたICTによるGreenへの貢献シナリオについて、染村氏にご講演いただくとともに、テラヘルツ無線がもたらす効果をWGにて概観した。

3-1 無線機器の省エネ化の技術動向(Green of ICT)

(テーマ)ICT無線端末機器の消費電力に関する一検討

(講師)独立行政法人 情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター

先端ICTデバイスグループ 光波プロジェクト プロジェクトリーダー 川西 哲也

○ICT無線端末を高速化することによりGreenにどれくらい貢献できるかを、消費電力という観点から概観した。

・現在の各種無線機器の消費電力について

・大容量データの取扱い:

「低速だがじっくり時間をかけて伝送」v.s.「高速無線で瞬時に伝送」

・情報流と物流:

「海底ケーブル」v.s.「航空貨物」どちらがお得か?

・THz無線実現に向けた課題

○現在、WiFi・Bluetooth・低消費電力WiFi・UWBなど様々な方式の無線機器がある。これをエコと

という観点から見た際、単純な「消費電力(W)」の比較はfairではなく、伝送速度や伝送の形態も考慮する必要がある。例えば、ビット当たり消費電力(nJ/bit)を指標とすると、Bluetooth の消費電力は WiFi より小さいが、ビット当たりでは逆に桁で大きくなっている。また、低消費電力 WiFi として出ている GainSpan 社のチップでは、ビット当たり消費電力は従来の WiFi より大きいですが、使用形態として非伝送時には(非常に低消費電力な)スタンバイ状態にすることにより、正味の消費電力を下げている。UWB 無線もビットレートがそれほど高くないにも関わらず、3 nJ/bit という値を実現している。

- THz 無線の想定利用形態に近いものとして、60 GHz ワイヤレス HD があるが、2.5 nJ/bit という驚異的な値となっている。消費電力(6~7 W)で見ると、大きすぎるというイメージがあるが、これを覆し得る値である。一方、やはり盛んに Green が議論されている光伝送においては、10 GbE の光トランシーバで 50 pJ/bit という値がでている。但し、この場合、有線・無線の違いがあるので、接続性などの利便性と消費電力とのバランスも考慮しなければならない。
- 光以外の無線機器について、縦軸をビット当たり消費電力(nJ/bit)、横軸をビットレートでプロットすると、基本的にビットレートが上がれば、ビット当たり消費電力は下がっていき、THz 無線にとって期待できる傾向となっている。
- ストレージと伝送速度の関係についても一考の余地があり、例えばコンピュータにデータをダウンロードする際に必要な電力を、あるモデルを使って計算すると、伝送速度が速いほど有利という結果になる。
- また、参考として最新の光ファイバケーブルによるデータ伝送と航空貨物(MicroSD を物理的に運ぶ)によるデータ伝送を比較すると、伝送速度は航空貨物が圧倒的だが、CO2 排出量も桁違いに大きい。伝送速度と Green を考えるうえで非常に興味深い例である。
- 以上で見てきたように、THz 帯無線はエネルギー効率のトレンドが今のまま維持できるのであれば、非常に魅力的であるし、間欠動作による瞬時的なデータ通信が可能であれば利便性もとより、Green にも十分貢献できる技術である。但し、人・モノの流れとの連携や使い勝手の良い低消費電力モードは、非常に重要となる。
- 現在光通信の分野では、非常に高度な変調フォーマットを用いることがトレンドとなっている。しかし、それを実現するための高速 DSP の消費電力は大きく、トータルの消費電力が増大する危険性がある。一方の 60 GHz ワイヤレス HD では、このような高度な変調方式を利用しているが、それでもビット当たり消費電力は低い。そのため、THz 帯で帯域をゆったりと使うようにすれば、より効率的な(すなわち、より Green に貢献できる)無線通信が可能になると期待している。
- ビットレートとビット当たり消費電力のフィッティングが見事に直線的である。データ処理の部分では、光の分野でも 2.5 Gbps と 10 Gbps では、10 Gbps の方がビット当たり消費電力が下がる傾向だと言われている。しかし、直線になる要因として、一般的なデジタル処理の部分が効いているのか、RF の部分が効いているのか、分析できておらず、何か物理的な意味はあるのかも不明な状況である。
- 多値化でのデジタル信号処理に関して、光通信ではこの信号処理の部分で電力を消費するこ

とになる。無線においても同様で、多値変調(例えば 16QAM、64QAM)してビットレートを上げる場合があり、その際には DSP、FPGA の消費電力が無線機自体よりもはるかに上回ることになる。特にミリ波の 10 mW 空間出力の場合、効率は悪くても無線部分では 100~200 mW 程度であるのに対し、DSP で数 W 消費しているのが実態と思われる。また、熱などの問題からデジタルにしたいと思っても、フルデジタルにしてしまうと重量・消費電力の問題が非常に大きくなる。これが THz 通信ではなく THz イメージングであれば受信だけなのでまだよいのかもしれないが、それでもやはり解析の際デジタル信号処理のところが電力的に一番問題になるだろう。

○ホームネットワーク、オフィスネットワークを無線技術や有線技術で構築した場合、効率・利便性が悪いと、いくら省エネといってもあまり意味がない。光の例も含めて、これからのモデルケースを考える上では、次のようなことを注意した方がよいと思われる。まず実際に大容量データをどのように扱うかというアプリケーションを考える必要がある。消費電力を調べる際、ピーク値しか書いていないことがあるため、議論がなかなか難しい。「瞬発力はすごいが平均スピードがあまり出せない」や「ずっと割合高い平均スピードを出せる」など、それらを良く考えた上で、トータルな議論をしないと、常にデータを送りっぱなしの状況を前提にした消費エネルギーで議論がされてしまい、一方的なものになってしまう。やはり、「このようなアプリがあると、在宅で医療ができるかもしれない」、「そうすると物流が少し減る」とか、先ほどトレーラーでいろいろな機器を運ぶ話をしたが、「そのうちのトレーラーが半分に減るので、ICT でこれぐらいエネルギーを使ってもよい」とか全体を見る必要があるだろう。なかなか精度良く議論をすることは難しいかもしれないが、局所的に見てもあまり社会のためにならないので、多面的な見方をするほうがよいと思う。

※ 次のページに説明資料を掲載する。

ICT無線端末機器の 消費電力に関する一検討

独立行政法人情報通信研究機構
新世代ネットワーク研究センター
川西哲也



NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

無線機器消費電力の例

Air Port



消費電力: 1.3W => 4.3nJ/bit

※インターフェース込み

<http://www.iodata.jp/product/network/adp/wn-g300u/spec.htm>

製品名	IODATA WN-G300U
外形サイズ(W×D×H)	19mm×49mm×8mm
無線規格	IEEE802.11b/g/n
動作電圧	5V
消費電流	260mA max.
伝送速度	300Mbps max.



消費電力: 350mW => 170nJ/bit

※インターフェース込み

<http://www.planex.co.jp/product/bluetooth/bt-micro3e2x/spec.shtm>

製品名	PLANEX BT-Micro3E2X
外形サイズ(W×D×H)	20mm×12mm×4.5mm
無線規格	Bluetooth ver 3.0 + EDR
動作電圧	5V
消費電流	70mA max.
伝送速度	2.1Mbps max.

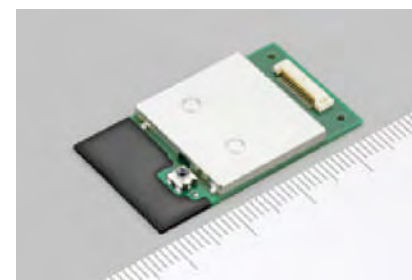


NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

低消費電力WiFi

http://www.alps.com/j/news_release/2010/0427_01.html



GainSpan社チップ「GS1011」

製品名	UGFZ1シリーズ
外形サイズ(W×D×H)	35.0mm×20.0mm×3.4mm
無線規格	IEEE802.11b/g Compatible
I/Oインターフェース	ADC、I ² C、PWM、GPIO
ホストインターフェース	UART
周波数レンジ	2412 ~ 2484MHz
動作電圧	+2.8V ~ +3.6V
消費電流	Tx:140mA、スタンバイ:5μA
送信出力	+9.0dBm typ.
伝送速度	11Mbps max.
セキュリティ	WEP / WPA / WPA2 (TKIP / AES)

消費電力: 0.39-0.50W => 36-46nJ/bit

※インターフェース込み



NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

低消費電力UWB無線

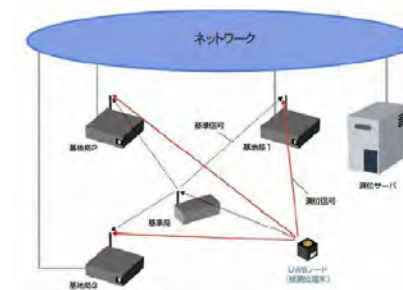
<http://www.ubin.jp/press/pdf/UNL060704-02.pdf>

2006年7月4日YRP ユビキタス・ネットワークング研究所 発表資料より



消費電力: 3.2nJ/bit

アンテナ
本体基板
電源基板



■ 超低消費電力

- 3nW/bpsの超低電力通信
- 微弱無線方式のDice(既開発)に比べ1000倍の高効率
- ボタン型電池で9年以上の電池寿命を達成 (5分に一度の間欠動作)



NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

ワイヤレス機器の消費電力の例

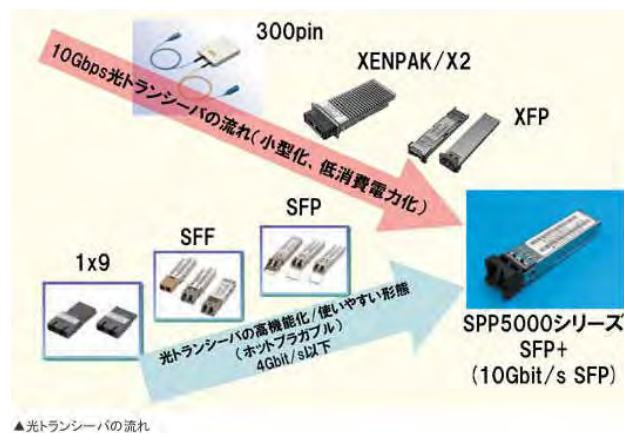
<http://www.ubin.jp/press/pdf/UNL060704-02.pdf>

2006年7月4日YRP ユビキタス・ネットワークング研究所 発表資料より

	Diceシリーズ		市販品の一例	
	Dice	UWB Dice	ZigBee	無線LAN
周波数帯	315MHz	4.1GHz (帯域幅1.4GHz)	2.4GHz	2.4GHz
通信速度	19.2kbps	250kbps~ 10Mbps	250kbps	11Mbps
消費電流	ピーク:24mA 待機時:2μA	ピーク:19mA 待機時:1μA	ピーク:48mA 待機時:2μA	600mA
ビットあたりの消費電力 (nW/bps)	3,750nW/bps	3.2nW/bps	580nW/bps	180nW/bps
測位精度	(10m程度)	30cm	1.5m	1~5m

光伝送における 低消費電力化の取り組み例

<http://www.sei.co.jp/newsletter/2007/05/4a.html>



消費電力1ワット以下 $1W/10Gbps \times 2 = 50pJ/bit$

Si-Beamプライベートブース (CES2009)での デモンストレーション(送信側)



- 消費電力: 6-7W(次世代はさらに低消費電力化) Panasonic社TU-WH1(TX):10W
- 伝送速度: 4Gbps(双方向のときには半分に、複数の機器と接続可)
- 伝送距離: 22m(HD伝送可能距離)
- ミリ波デバイス: Si-CMOS、アンテナの裏にフリップチップボンディング
- 周波数帯域、出力: 各国の制限に適合 日本、韓国が出力制限厳しい(10mW)
- アンテナ: 64素子

消費電力: 2.5nJ/bit

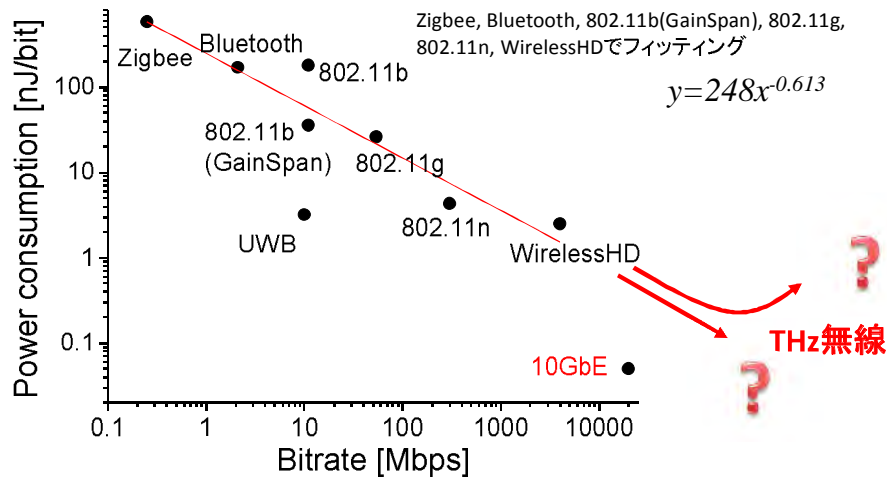


各機器の伝送速度とビットあたり消費電力

	MBit/s	nJ/Bit		
Zigbee (TYP)	0.25	580		
Bluetooth3.0+EDR (Planex)	2.1	170	製品	BT-Micro3E2X
802.11b (TYP)	11	180		
802.11b/g (iodata)	54	26	製品	WN-G54/CB3L
UWBDice	10	3.2	研究開発	
802.11b/g/n (iodata)	300	4.3	製品	WN-G300U
802.11b GainSpan (Alps)	11	36	評価用キット	UGFZ1
WirelessHD SiBeam (Panasonic)	4000	2.5	製品	TU-WH1
Optical transceiver 10GbE(SEI)	20000	0.05	製品	SPP5000

ミリ波帯通信が伝送速度、情報量あたりの消費電力の両面で他の無線技術を圧倒している

各機器の伝送速度とビットあたり消費電力



データダウンロードに必要な電力

- PC動作に必要な電力:P0
- データサイズ:L
- 伝送速度:B
- 無線通信に必要な電力: $P_{rf} = K*B$
 K: [J/Bit] ビットあたり消費エネルギー
- ダウンロードにかかる時間: $T=L/B$

必要な電力 $P_a = T*(P_0 + P_{rf})$

総電力 $P_a = (P_0 + K*B)*L/B = L*(P_0/B + K) = P_0*T + K*L$

データあたり電力 $P_a/L = P_0/B + K \Rightarrow K (B \Rightarrow \text{infinity})$

K:一定と仮定した場合伝送速度が速いほど有利

実際の傾向はKは伝送速度の減少関数なので、さらにメリット大

データを持ち歩くライフスタイル

大容量(ストレージ、伝送速度とも)携帯端末の普及で
 人の動きとデータの流りが絡み合う



移動途中・待機中に大量のデータをダウンロード?

→遅い伝送でOK

瞬間的に高速伝送でダウンロード?

→すぐ低消費電力モードに入ることができる

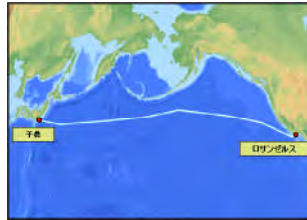
データダウンロードに必要な電力

- 1GB=8Gbitのダウンロードを想定
- PC消費電力(スリープモード消費電力は無視)
 - ThinkPadX200s(性能重視モード)
 - 約12W(無線OFF時:実測値)、約19W(無線ON時:実測値)
- 802.11g, 802.11n, WirelessHDで比較

	802.11g	802.11n	WirelessHD
所要時間	146秒	27秒	2秒
所要エネルギー(無線部分)	208J	34J	20J
所要エネルギー	1960J	358J	44J
エネルギー効率(11gを基準に)	1	4.5	45

最新の海底ケーブルの例 Unity(日米間)

- 容量: 10Gbpsx96WDMx5FP => **4.8Tbps** (双方向)
- 総延長 約9,620km
ロサンゼルス(カリフォルニア) = 千倉(千葉)
- 消費電力
+/-10kV, 1A => 20kW
(推定値※一般的な海底ケーブルの例)
- CO2排出
- 480kWh => CO2 0.27t (0.555kg-CO2/kWh)



調査協力: KDDI研究所

NICT

NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

航空貨物でデータを運ぶと・・・？

- 太平洋横断航路: 通関・荷役を含めて所要24時間
- 搭載能力 **最大積載重量 約94t** **最大積載容積 約80m³**
- 密度 1.175を下回る場合に容積で制限される
- CO2排出量 **350t**
- 成田-ロスの西行き、東行きの平均
- 伝送メディア: MicroSD
- 1枚あたりの容量: 32GB=256Gbit
- 1枚あたりの重量: 0.4g 密度2.42
- $94e6/0.4 = 2.35e8$ 枚 → **60Ebit**
- $24h=86400sec$ → 700Tbps
- 包装のオーバーヘッド40% (/1.4)、双方向通信換算 /2



→ **250Tbps**

調査協力: 電子航法研究所

NICT

NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

海底ケーブルVS航空貨物

すべて推定値、概算値

	海底ケーブル	航空貨物	貨物／通信
伝送容量	約5Tbps	約250Tbps	約50倍
CO2排出	約0.3t	約350t	約1200倍
CO2/Tbps	0.06t	1.4t	約23倍
導入コスト		約150億円	
運用コスト		2000万円	

調査協力: KDDI研究所／電子航法研究所

NICT

NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

まとめ

- 高速無線データ伝送における消費電力
 - ビットあたりエネルギー効率が低い
 - 通信時間を減らすことができる
 - 端末を低消費電力モードに切り替えることで更なる省電力化が可能
- 携帯端末の場合、モノとしての流れも重要
- 物流によるデータの流れ
 - 伝送速度としては高い性能を持つ
 - CO2排出が問題？
- 今後の課題
 - THz帯高速無線でエネルギー効率の高さが維持できるか
 - 人・モノの流れとの連携(短距離無線では重要)
 - 使い勝手のいい低消費電力モード

NICT

NICT Proprietary

Dec. 20, 2010

3-2 ICTの活用による省エネ化（Green by ICT）

（テーマ）「ICTを活用した働き方、テレワークの可能性」

（講師）（株）NTT データ経営研究所 ソーシャルイノベーションコンサルティング部
シニアスペシャリスト 小豆川 裕子

- テレワークとは、ICT の活用により場所・時間にとらわれない「柔軟な働き方」をいい、これを利用することにより就労者（テレワーカー※）は、自宅、外部オフィス、公共施設、お客様先など様々な場所で、最も都合の良い時に業務を推進することができる。
- テレワークは、情報端末のダウンサイジング化と高機能化、並びに通信回線のブロードバンド化などの“ICT 関連技術の高度化”や、業務革新・生産性向上、働き方の選択肢の増加、ワーク・ライフ・バランスの実現を目指した“企業と従業員のニーズの高まり”を背景に、政府の普及・推進施策による後押しを受けながら普及してきた。
- テレワーカーには、雇用型テレワーカーと、自営型／内職副業型テレワーカーが存在し、さらにモバイル勤務（外勤型）と在宅勤務（内勤型）に分類される。日本国内のテレワーカー比率は、2009 年末時点で 15.3%（参考：2002 年度 6.1%）で、在宅型テレワーカーは 5.2%となっている。2008 昨年（15.2%）と比較すると、テレワーカー比率はほぼ横ばいの状況である。
- テレワークの効果には、①社会環境変化への対応（少子化問題への対応、都市部への人口集中の緩和など）、②企業改革（事業継続性の確保など）、③ワーク・ライフ・バランスの向上（育児・介護等への対応など）④社会全体への効果（交通量・混雑の緩和、防災、危機管理能力の向上、環境負荷の低減など）⑤地域活性化（地方での就業機会の増加など）が挙げられる。特に、①社会環境変化への対応や、③ワーク・ライフ・バランスの向上については、2003 年度に次世代育成支援対策推進法が制定されたことにより、仕事と育児の両立支援策としてテレワークが活用されるなど、最も進んだ取り組みとなっている。
- 国土交通省が実施したテレワーカーの満足度調査によると、在宅勤務を週1日以上実施するテレワーカーの仕事全般に対する満足度は高く、集中可能な時間数についてもオフィス勤務時より長いとする回答が多い。しかし、国内企業側のテレワーク導入状況をみると、「文書の電子化」、「ネットワーク上での情報共有」、並びに「アクセス性の向上」等のテレワーク利用環境の整備が進んでいる企業は少ない。これは、テレワークの導入に伴う生産性や営業効率の向上等の企業メリットを明確化することが難しいことや、情報が企業の外に引き出されることについてセキュリティ上の危機意識が、テレワーク環境の整備推進の阻害要因になっているためである。

※ テレワーカーとは、仕事を複数の場所か自宅で、一週間にテレワークを 8 時間以上実施する人をいい、テレワーカー率とは、15 歳以上の就業者に占めるテレワーカーの割合をいう（国土交通省 「テレワーク・SOHO の推進による地域活性化のための総合的支援方策検討調査報告書（2003）」より）

る。

- テレワークセキュリティについては、テレワーカーがオフィスにいる場合と同等の利用環境を構築することが望ましい。例えば、シンクライアント端末を利用すれば、オフィスと同様の環境を構築することができる。もし端末を紛失しても情報が一緒に漏洩することは無い。また、データ盗聴については、数年前に無線 LAN の暗号化方式「WEP」の脆弱性が話題になったが、テラヘルツ波帯の利用により、無線通信の高速化が進み、より堅牢な暗号方式をユーザが遅延を感じることなく利用できるよくなれば、テレワーク環境への無線利用もより積極的に進むことだろう。
- その他、テレワークでは TV 会議システムなどコミュニケーションを充実させるツールの導入が欠かせない。外資系企業ではよく活用されているテレビ会議だが、国内企業では導入判断に出張経費の削減額などを念頭においたコスト分析がなされる様子を見受ける。費用削減効果のみを期待するとなかなか導入が進まない。導入検討にあたっては、仕事の質の向上や、働き方の柔軟性に目を向けて価値を見いだすようにすべきではないだろうか。
- 企業へのテレワーク導入事例について説明する。テレワークを成功させるためには、企業側が従業員のニーズをしっかりと把握して、いかに利用シーンを作れるかがポイントになる。NTT データでは、自社の目標である「ワークスタイル・イノベーション」宣言の達成に向け、すべての社員が仕事と生活のバランスをとりながら、生きがいを持って働ける環境づくりを目指してテレワークの導入に取り組んだ。当初は社員有志の提案からスタートした取り組みであったが、経営幹部の承認のもと社内関連部署の全面的な協力を得て取り組みを進めることとなった。業務形態については、既存の枠組みを極力変更せず、テレワークによって新たに得られるスピード感に着目しつつ検討を進めた。また、セキュリティ機能については、具体的な脅威を一つ一つ洗い出し対応策の検討を行った。検討結果をもとにシンクライアント環境を整え、全社的なトライアルを行ったのち本格導入に踏み切った。
- 米国におけるテレワークは、当初は大気汚染や交通渋滞の防御策など主に環境保護対策として普及してきた。しかし、1994 年のカリフォルニア州の大地震を契機とした、米国政府初のテレワーク・センタの設置や、SARS や、インフルエンザなどの感染症流行時における職員の被災リスク軽減策としてテレワークが活用されたことなど、テレワークの業務継続性確保に関わるメリットが注目されてきている。
- 地震の多い日本にとっても、防災対策は看過することはできない課題である。ここでもテレワークを活用することにより公共サービス等の業務継続性を高めることが期待できる。特に、ケーブル等の敷設が不要な無線アクセス環境を利用したテレワークは、被災地でも柔軟な対応が可能になると思われる。ただし、防災対策については、システムや業務形態にたよるだけでなく、有事に備えて平常時から事前にトレーニングしておくことが大切である。
- その他、日欧米におけるテレワークの導入状況を比較する際、日本におけるテレワークの普及が進まないのは、企業の管理体制が違う事を原因とする声を聞く。日本の管理者は離れている部下のマネジメントに慣れていないし、部下が自分の近くにいないと適切な管理が行えないとする意見である。だが、実際のところ管理者の方がテレワークを行っている事例も多い。結

局は遠隔地からのマネジメントは困難であるとする既成概念に捕らわれて、行動を起こしていないだけなのではないだろうか。

- 今後のテレワークをめぐる期待として、テレワーカーからはもっと便利に接続させたい、通信回線が遅い、業務中にフリーズする、サーバ上の PDF の閲覧は不便、自宅では大型モニターが使えないなどの声が聞こえてくる。自宅でテレワークを実施する場合、入手する情報に制限が設けられることがある。オフィスでは複数の大画面モニターを活用している人も、自宅で複数のモニターを用意するのは困難なため業務効率が低下する。また、仕事によっては対面のコミュニケーションが必要となるケースもあるが、自宅で実現するのは難しい。このような課題に対し、テラヘルツ波帯を用いた高速広帯域無線によって接続環境がさらに高度化され、高精細画像によるコミュニケーションがスムーズ実施できるようになれば、テレワークの普及をより促進できるであろう。
- また、環境負荷低減が期待できるICTソリューションの一つとしても、テレワークは期待されている。「平成 21 年度 テレワーク人口実態調査(国土交通省)」によると、在宅型テレワーカーが倍増した場合には、東京都市圏(1 都 3 県)の公共交通手段の通勤交通量の約 2.7%が削減され、通勤目的の自動車は年間約 1,350~2,100 万台程度削減される見込みとされている。
- またグリーン IT のポテンシャルについて Smart 2020 の分析によると、テレワークによる CO2 削減効果は 0.26GtCO2e と予測されている。

※ 次のページに説明資料を掲載する。

「ICTを活用した働き方、テレワークの可能性」

2010年11月16日(火)
(株)NTTデータ経営研究所
小豆川裕子

本日の構成

- ① テレワークの基礎知識
 - ② 導入事例
 - ① 日本企業
 - ② 米国連邦政府
 - ③ 今後のテレワークをめぐる期待
- <参考> 次世代テレワークの定義と提言

1. テレワークの基礎知識

テレワークとは①

ICTを活用した、場所・時間にとらわれない柔軟な働き方

本社ビルなど決まった「勤務場所」
9～17時など決まった「勤務時間」

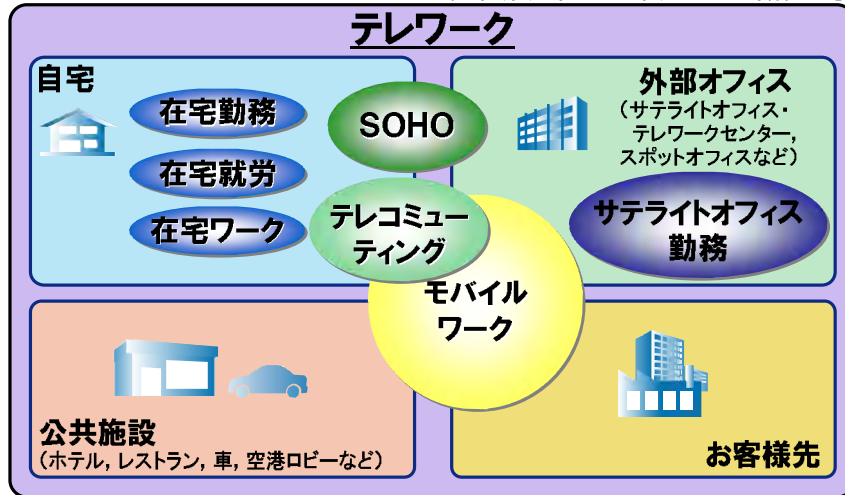


場所と時間を、働く人が柔軟に選べる

テレワークとは②

情報通信技術(IT)を活用した場所や時間にとらわれない柔軟な働き方

2007年7月 (社)日本テレワーク協会「テレワーク白書2007」より



4

テレワークの推進施策

政府による普及・推進施策がテレワークを後押し

「e-Japan戦略II」(03年):

2010年までにテレワーカーを従業員人口の2割に

「経済財政改革の基本方針2007」:

テレワーク人口倍増アクションプラン(07年5月)の推進

「i-Japan戦略2015」(09):

2015年までに在宅型テレワーカーを倍増し700万人に

- **総務省:**「テレワーク環境整備税制」(固定資産税を減税)
- **厚生労働省:**テレワーク相談センター、『在宅勤務ガイドライン』
- **経済産業省:**『中小企業のためのテレワーク活用ガイドブック』
- **国土交通省:**テレワークセンター実証実験、テレワーク人口調査、普及のためのシンポジウム開催 等

6

テレワークの普及が進む背景

ICTの進展と企業・従業員ニーズからテレワークが普及

ICT (Information and Communication Technology)

<情報機器>ダウンサイジングと高性能化

<通信>ブロードバンド環境の一般化

テレワークの普及

【企業ニーズ】業務革新、生産性向上

【従業員ニーズ】働き方の選択肢の増加
ワーク・ライフ・バランス(仕事と生活の調和)の実現

5

「新たな情報通信技術戦略」におけるテレワークの位置づけ

テレワークの推進 工程表



高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部(2010.6.22)

7

日本のテレワーク人口比率

2009年、テレワーカー比率は15.3%。在宅型テレワーカーは5.2%

狭義のテレワーカーの推移

	2002年	2005年	2008年	2009年		2008年	2009年
雇用型	5.7%	9.2%	14.3%	14.5%	在宅型テレワーカー率	5.1%	5.2%
自営型	8.2%	16.5%	21.0%	20.8%			
全体	6.1%	10.4%	15.2%	15.3%			

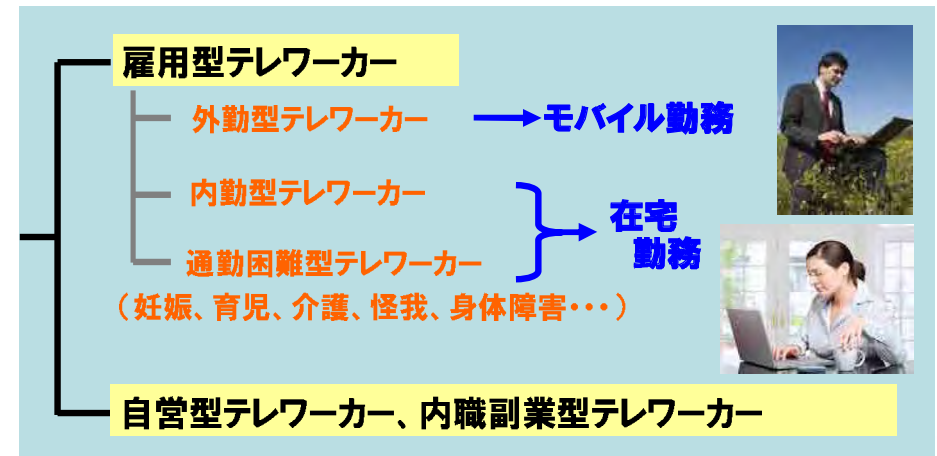
<参考> 広義のテレワーカーの推移

	2002年	2005年	2008年	2009年
雇用型	13.7%	36.0%	43.0%	42.3%
自営型	24.2%	54.0%	66.4%	64.6%
全体	15.6%	38.9%	46.0%	45.2%

8

テレワークの種類

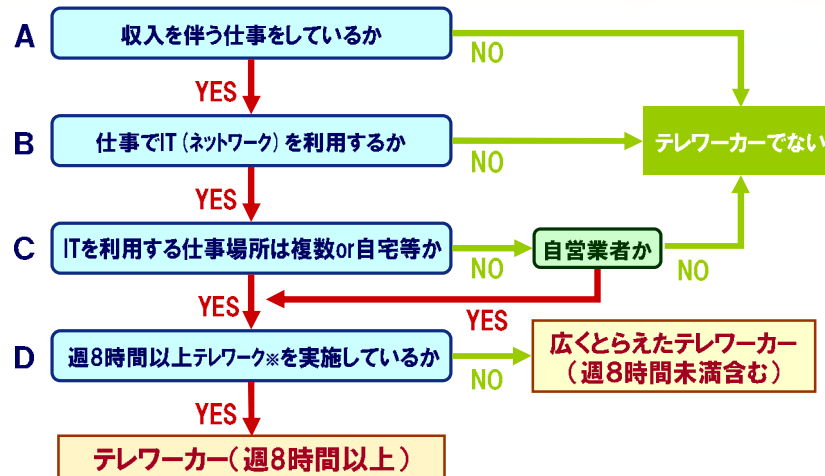
モバイル勤務(外勤型)と在宅勤務(内勤型)



(出典)『THE Telework GUIDEBOOK』(2009)2章

10

<参考> テレワーカーの定義

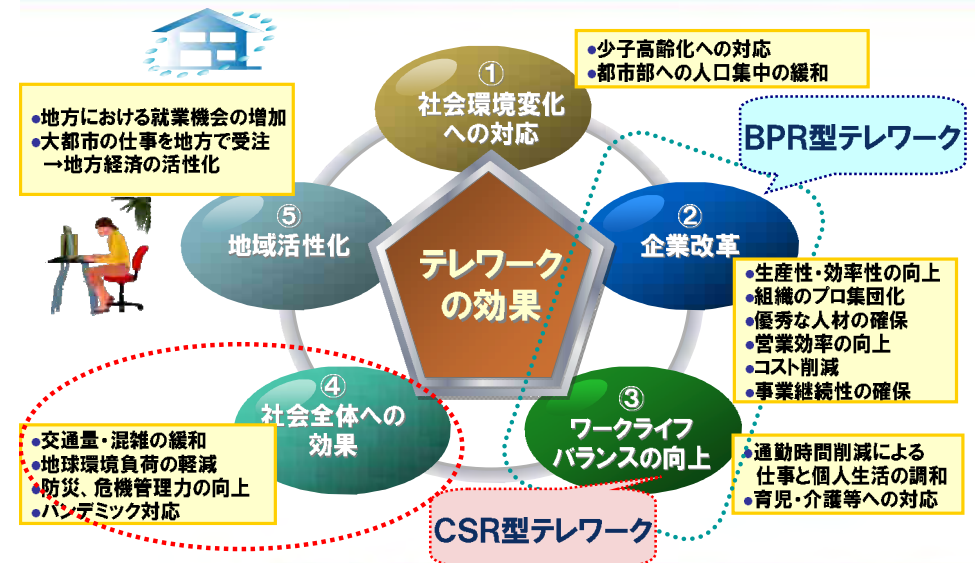


(出典)国土交通省(2003)「テレワーク・SOHOの推進による地域活性化のための総合的支援方策検討調査報告書」

4

9

テレワークの効果

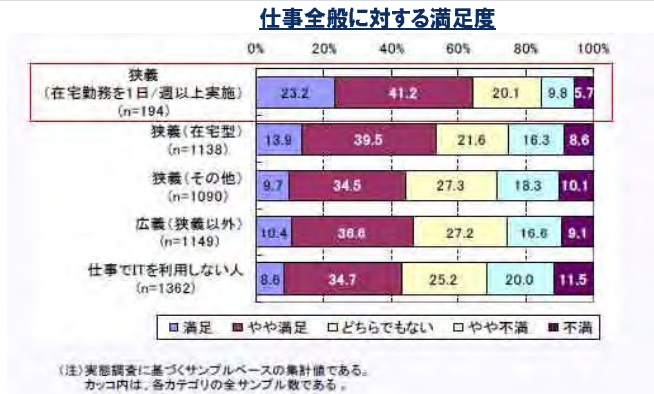


(出典) (社)日本テレワーク協会「テレワーク白書2007」を基に作成

11

在宅型テレワーカーの仕事全般に対する満足度(雇用型テレワーカー)

在宅勤務を週1日以上実施するテレワーカーは、仕事全般に対する満足度が高い。



(出典)国土交通省都市・地域整備局都市・地域政策課『平成21年度テレワーク人口実態調査一調査結果の概要』

12

テレワークセキュリティの考え方

テレワーカーにオフィスにいる場合と同様の環境を作る

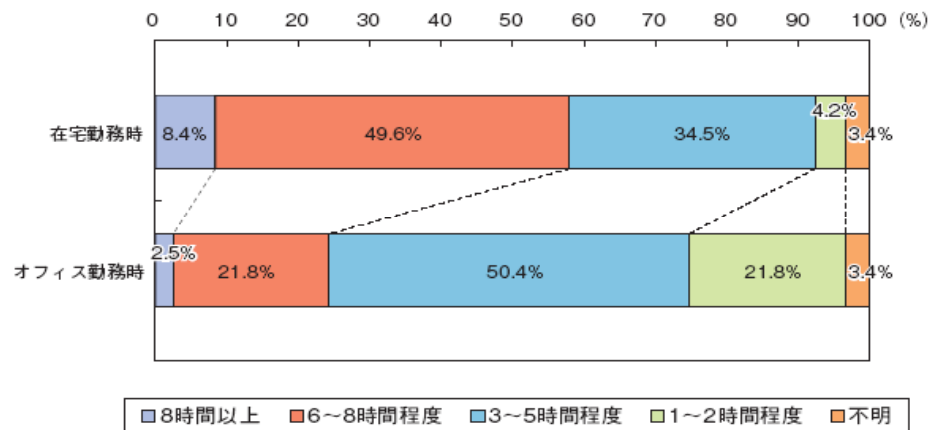


(出典)『THE Telework GUIDEBOOK』(2009)7章

14

テレワークの効果・効用:集中可能な時間数

集中可能な時間数の比較(在宅勤務時とオフィス勤務時)

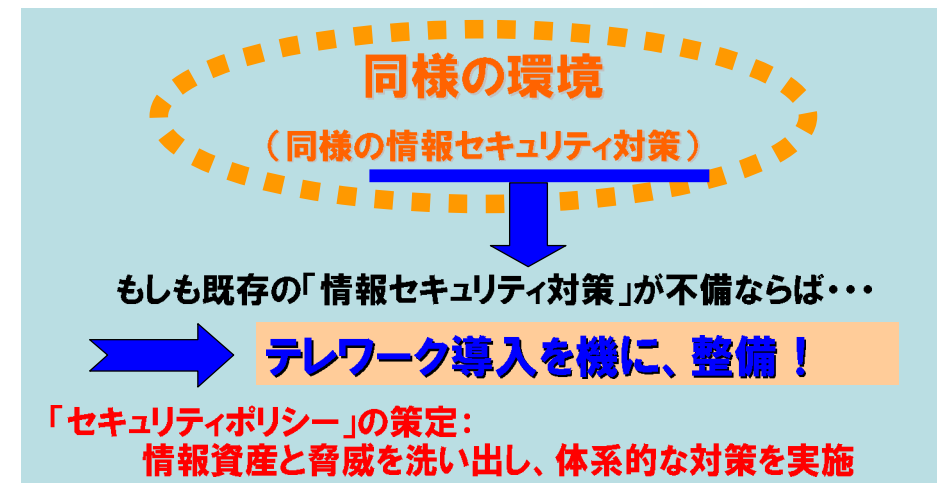


(資料)(社)日本テレワーク協会「平成17年度「在宅勤務実証実験」の調査結果
(出典)『THE Telework GUIDEBOOK』(2009)3章

13

テレワーク導入とセキュリティ対策

テレワーク導入は「情報セキュリティ対策」整備のチャンス!

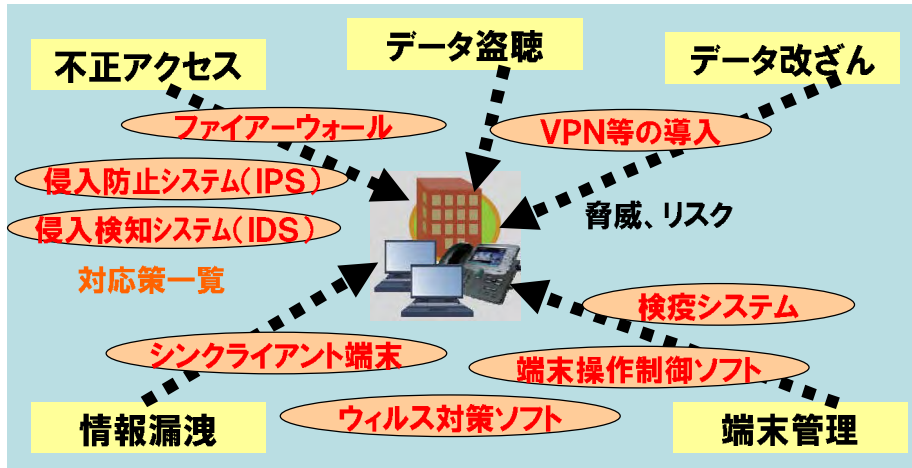


(出典)『THE Telework GUIDEBOOK』(2009)7章

15

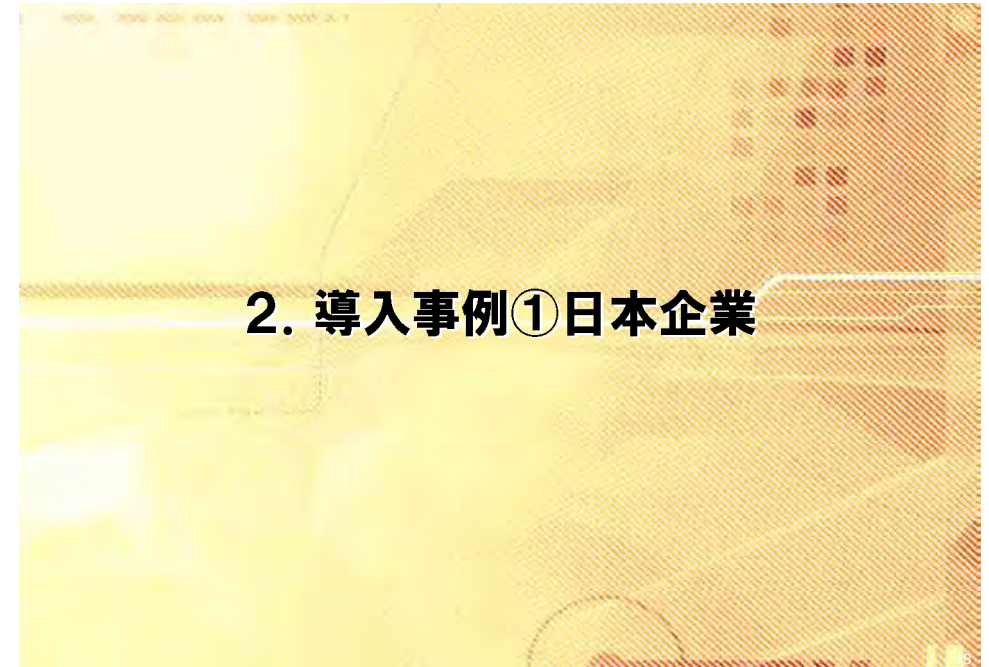
セキュリティ面のリスクと対策

テレワーク環境における様々な脅威に対するの対応策



(出典)『THE Telework GUIDEBOOK』(2009) 7章

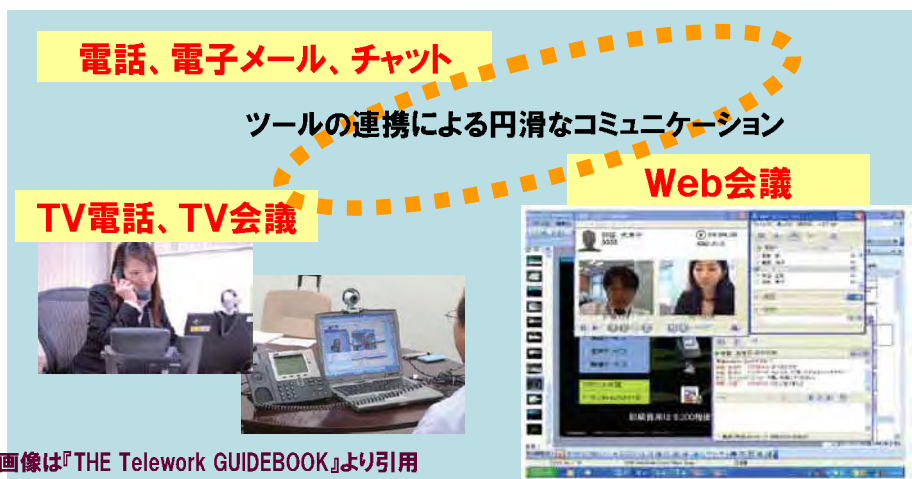
16



2. 導入事例①日本企業

コミュニケーション充実のツール

ICTの様々なツールがテレワークを円滑にする



画像は『THE Telework GUIDEBOOK』より引用

(出典)『THE Telework GUIDEBOOK』(2009) 7章

40

17

①NTTデータ

社員周知・募集のお知らせ

テレワークポータルサイト

「ワークスタイル・イノベーション」宣言の達成に向け、
全ての社員が仕事と個人の生活のバランスをとりながら
生きがいを持って働ける環境を作る

19

NTTデータのテレワークの特徴

①ボトムアップ発の施策

社員有志の自発的・ボランティアな提案によりスタート
経営幹部の承認のもと、社内関係部署で全面的に協力

②セキュリティ面に最大限配慮

当事業業の生命線 具体的な脅威を一つ一つ洗い出し検討
→紙媒体の使用禁止、シンククライアント環境、運用徹底 etc.

③社内全組織でトライアル

全役員に説明
極力既存の枠組みを変えずにスピード感を重視
組織毎に2パターン選択でトライアル 改善要望の検討実施

④実施日は月8日で本格導入 トライアルでの 月5日より拡大

職種毎の対応可能業務を洗い出し、平均値として設定
勤務場所は自宅 アウトプットとプロセスによる評価

全ての社員の豊かな自己実現を目指す

20

③シグマシス

業種	ビジネスコンサルティングサービス
実施目的	テレワークによる経営効率の向上及び改善
実施時期	2008年5月(創業時)より
対象	全社
実施人数	270名
概要 内容・効果	デジタル/モバイル/ワークプレイス(200席、在席率70%のフリーアドレス)、プロジェクト制、プロフェッショナル人事制度 ライフワークバランス、環境への貢献、事業継続性の確保などの効果
推進体制	(実施責任者)CEO、人事部、総務部、テクノロジー・マネジメント等、全部門が推進部門 (トップとの関わり)トップ自らがビジョン達成に必要な施策の1つにワークスタイルを考慮。人事制度、オフィス・ITインフラ作りまでコラボレーションにて行っている

(出典)日本テレワーク協会『第10回テレワーク推進賞』(2009.9.29)

22

②アクセンチュア

業種	経営コンサルティング/テクノロジー・サービス/アウトソーシング・サービス
実施目的	テレワークによる経営効率の向上及び改善
実施時期	トライアル導入:2007年9月～ 本導入:2008年7月
対象	経営管理本部の正社員(入社6カ月以上)および障がい者(契約社員)225名*正社員は基本的に理由、業務に関わりなく利用可能
実施人数	111名(2009年7月1日)
概要 内容・効果	サテライト(スポット)オフィス、クライアントサイト、外部プロジェクトスペース、フリーアドレスの活用、KMシステム、電子文書管理システム、全社員ノートPC、新ICTツール(テレビ会議システム、Web会議システム等)、アウトソーシング、オフィス2拠点体制、ペーパーレス環境の整備 生産性の向上、人件費(残業減)、スペース減、離職率の低下などで効果
推進体制	(実施責任者)経営管理本部長(トップとの関わり)導入を円滑に進めるために、制度導入に関して、承認だけではなく、検討についてもトップマネジメントを巻き込む体制で実施

(出典)日本テレワーク協会『第10回テレワーク推進賞』(2009.9.29)

21

④富士通ワイエフシー

業種	情報処理サービス
実施目的	テレワークによるワークライフバランスの向上
実施時期	2006年10月より(2007年4月より本格導入)
対象	社内の全部門、入社3年未満の社員を除く、237名
実施人数	79名(申請)(33%、2009年7月1日現在)
概要 内容・効果	必要なセキュリティを設定したテレワーク用PCを無料配布。 事前に上司に申請・承認を得ることにより、業務を計画的に進めることにより、生産性向上に繋げる テレワーク適用率の上昇(20%→33%) 優秀な人材の確保:採用面で受験希望者が増加、低炭素社会実現への貢献
推進体制	(実施責任者)ワークライフバランス推進室(社長直下) (トップとの関わり)社内イントラネット及び幹部社員会議を通じて周知徹底を実施

(出典)日本テレワーク協会『第10回テレワーク推進賞』(2009.9.29)

23

⑤KDDI

業種	電気通信事業
実施目的	テレワークのためのソリューションの開発や活用
実施時期	試行導入:2005年11月～ 正式導入:2009年4月～
対象	育児・介護短時間勤務社員:全社の短時間勤務社員 フルタイム勤務社員:ソリューション事業、情報システム、総務・人事各部門 *育児・介護短時間勤務社員一約200名、フルタイム勤務社員一約3000名
実施人数	約150名(2009年4月)(在宅勤務者とリモートアクセス利用者)*毎月約30名増加
概要内容・効果	2つのVPNシステム、2つのシンクライアントシステムを用途で組み合わせて利用。在宅勤務用は自宅に限定する代わりに利用システムはほぼ制限なし。外出・出張用のリモート環境についてはUSBメモリからLinuxのOSを起動させることで汎用のPCをシンクライアント化させた上で、社内のシンクライアントサーバへ接続する構成。場所を制限しない代わりに、利用できるシステムを制限。 育児支援、ワークライフバランスの実現
推進体制	(実施責任者)人事・総務部門を中心、情報システム部門、ソリューション部門でWGを組成 (トップとの関わり)社内にダイバーシティ推進室を設置し、積極的にワークライフバランスの推進に取り組む

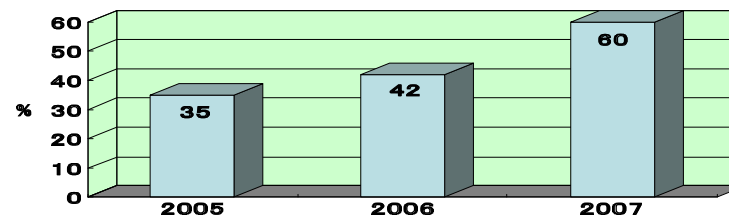
(出典)日本テレワーク協会『第10回テレワーク推進賞』(2009.9.29)

24

連邦政府のCOOPにおけるテレワークの位置づけ

● 連邦省庁の60%はCOOPとテレワークを完全に一体化

テレワークがCOOPと完全に一体化している連邦省庁の割合



*COOP (Continuity of Operations):業務継続計画

パンデミックなど長期間にわたる危機の際にテレワーク可能な職員数=20万3,856人

(備考)NTT DATA AgileNet L.L.C.調査

26

2. 導入事例②米国連邦政府

米国連邦政府におけるテレワーク拡大の経緯

第1段階:経費節減や職員の処遇改善策として拡大

- 1994:カリフォルニア州ノースリッジ地震に対応するため、緊急措置として連邦政府初のテレワークセンターが設置
- 1995:連邦政府が公金で職員の自宅にテレワーク機器を整備することを可能とする連邦法が成立
- 1998:連邦省庁は年間最低5万ドルのテレワーク予算枠を確保することを義務づけられる
- 2000:連邦議会は法改正によって(1)テレワーク実施の障害を取り除き、(2)テレワーク適格職員にテレワーク実施を認め、(3)そのためのテレワークポリシーの制定をすることを連邦省庁に義務づける

- 事務所内の混雑軽減
- 事務所賃貸料や維持費の低減
- 欠勤者数の低減
- 自動車燃料の消費抑制
(環境保護・公害低減)
- 都市部の交通渋滞緩和
- 身体障害者の雇用機会拡大
- 仕事と私生活の高度な両立
- 職員の個人支出軽減

『各官庁は、適格な職員が、その職員の業績を妨げない範囲で最大限のテレワークが可能となるような方針を立てなければならない』 (公法106-346第399節)

テレワークを積極的に推進する時代が始まる

(備考)NTT DATA AgileNet L.L.C.調査

27

米国連邦政府におけるテレワーク拡大の経緯（続き）

第2段階：災害時における業務継続性向上に不可欠な手段に

- 業務継続計画
ハリケーン
パンデミック
- 2001：（9・11前）FEMA（連邦緊急事態管理庁）が業務継続性確保に「自宅勤務を最大活用せよ」との通達（連邦準備態勢通達67号）。連邦人事局がテレワーク実施の手引きを作成・公開
 - 2003：『テレワークは職場が業務継続不能な状態に陥る可能性への対処に役立つ』（連邦人事局長官から連邦議会への報告書）
 - 2004：『業務継続のための人材確保の1手段として、テレワークを検討せよ』（連邦準備態勢通達65号）
 - 2004：連邦議会は商務省・司法省・国務省に対して、テレワーク適格職員が希望してもテレワークできないという状況が解決されるまでそれぞれ500万ドルの予算を差し押さえる
 - 2004：テレワーク適格職員数と実際にテレワークしている職員数を報告すること、および、テレワークコーディネーターの設置が義務づけられる
 - 2005：テレワーク普及促進団体「Telework Exchange」が官民共同で設置される
 - 2005：ハリケーン「カトリナ」で地元行政機関や連邦省庁の現地事務所に深刻な業務の中断が発生。連邦議会のFrank Wolf下院議員がブッシュ大統領に書簡を送り、『民間業者に比べて政府機関の復旧が遅いのはテレワークの有無によるところが大きい』としてテレワークを通じた業務継続性向上を求める
 - 2005：アジアやヨーロッパなどで鳥インフルエンザによる被害が相次ぎ、人間の感染・死亡も多数報告されたことから、大統領府は米国に拡大した場合の対処戦略はテレワークなどによって人間同士の接近を必要最小限にとどめること（Social Distancing）であると発表
 - 2006：FEMA等と協力してOPM（連邦人事局）がインフルエンザ大流行対策の実施計画やそのためのテレワーク導入の手引きなどを発表
 - 2007：連邦省庁の60%は業務継続計画とテレワークを完全に一体化済み
『災害によって職場が閉鎖されても、テレワークによって業務継続ができる』と答える割合は民間企業従業員では33%だが、連邦政府職員は75%に達する。（CDW-G社）
（備考）NTT DATA AgileNet L.L.C.調査

28

3. 今後のテレワークをめぐる期待

技術の向こうに広がる可能性

- 感染症の流行に対しては、**テレワークがほぼ唯一の業務継続策である。**
 - 2003年のSARSでは、感染を恐れた職員が大勢欠勤し、だれも病気にかかっていないのに業務が停滞した。
 - 政府職員266名を対象に2006年に実施した調査では、**インフルエンザが流行した場合は73%が出勤しないと回答した。**
（テレワークを推進する官民パートナーシップ「Telework Exchange」）
- 災害への耐性・粘り強さ（Resiliency）が高まる。
- 長期災害に強い。例えば、IRS（内国歳入庁）では、6ヶ月間にわたる庁舎の閉鎖をテレワークで乗り越えた。
- テレワークが日常化している場合、COOPが発動されても普段通りに勤務するだけでよい。
- 職員が庁舎に出勤することを期待することは職員に被災リスクを負わせてしまうということを意味するが、テレワークではそのような**リスクを回避**できる

（備考）NTT DATA AgileNet L.L.C.調査

29

ネットカフェにあるPCからでも業務が行えるようにするUSBアダプターなど

	基本装備	拡張装備	
パソコン/タブレット	●パソコン	●シンクライアント ●コラボレーションツール ●SaaS、PaaS、クラウド	電子メール・電話・FAX インスタントメッセージ ホワイトボード共有 テレプレゼンス Web上の共同作業環境
データ通信手段	●インターネット接続 ●VPN等のアクセス手段	●モバイルブロードバンド	電子メール送受信 スケジュール管理 静止画や動画の撮影
音声通話手段	●電話機 ●専用の電話回線	●スマートフォン ●VoIP ●ビジュアルコミュニケーションツール	地理的な移動や転送が自在
事務機器	●プリンター、コピー機、スキャナー、FAX		テレビ会議 ホワイトボード共有
セキュリティ	●ウイルスやスパイウェア対策 ●ファイアウォール ●データ暗号化 ●自動バックアップ ●パッチ適用	●生体認証 ●機密認証 ●定期的な再認証（スクリーンセーバー等） ●OS等の完全性確認	
サポート	●システムサポート、ヘルプデスク ●構成管理	●ログ管理	
導入コンサルティング	●診断・評価、E.M.、ソリューション、導入、BPRコンサルティング、研修、組織開発		

31

環境負荷軽減が期待されるソリューション

●IT 機器を利活用することで環境負荷を軽減するソリューションは、幅広い分野(カテゴリー)で普及が期待されている。

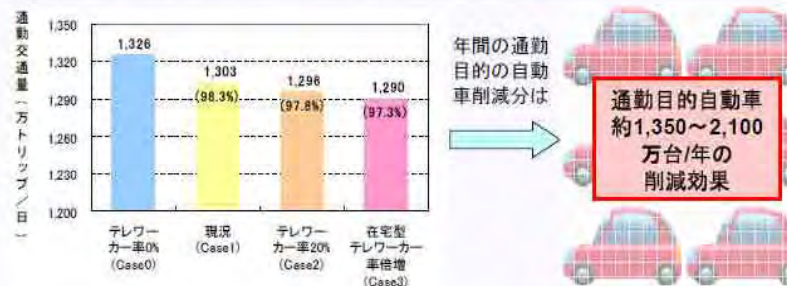
カテゴリー	サブカテゴリー	IT ソリューション
産業	生産プロセス	FEMS、照明/空調/モーター/発電機の高効率化、生産プロセスの効率化
業務	建物、屋内	BEMS、電子タグ・物流システム、ペーパーレスオフィス、業務へのITの導入、テレワーク、TV会議、遠隔医療・電子カルテ、電子入札・電子申請
家庭	建物、屋内	HEMS、電子マネー、電子出版・電子ペーパー、音楽配信・ソフト配信、オンラインショッピング
運輸	インフラ、アクティビティ	信号機のLED化、自動車の燃費改善、輸送手段(鉄道、航空、海運)の効率向上、ITS、エコドライブ、SCM

(出典)グリーンIT 推進協議会調査分析委員会「2009 年度グリーンIT 推進協議会調査分析委員会 報告書」

32

テレワーク推進による環境負荷削減効果(推計)

● 東京都市圏(1都3県)の通勤交通量について、テレワーカー率が0%の場合(Case0)と比較して、現況(Case1)では約1.7%、テレワーカー率が20%に増加した場合(Case2)は約2.2%、在宅型テレワーカーが倍増した場合(Case3)は約2.7%の削減と推計される。



(注)東京都市圏:東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県
 テレワーカー率(現況)は、2009年テレワーク人口実態調査結果による1都3県の値。
 推計は、在宅勤務日数別就業数に通勤目的原単位を乗じ、通勤目的交通量を推計した。
 通勤目的の自動車削減台数は、通勤目的交通量に通勤目的の自動車分担率を乗じることで推計した。
 通勤目的の原単位および自動車分担率は、平成20年東京都市圏パートナートリップ調査の都市圏平均値を適用した。

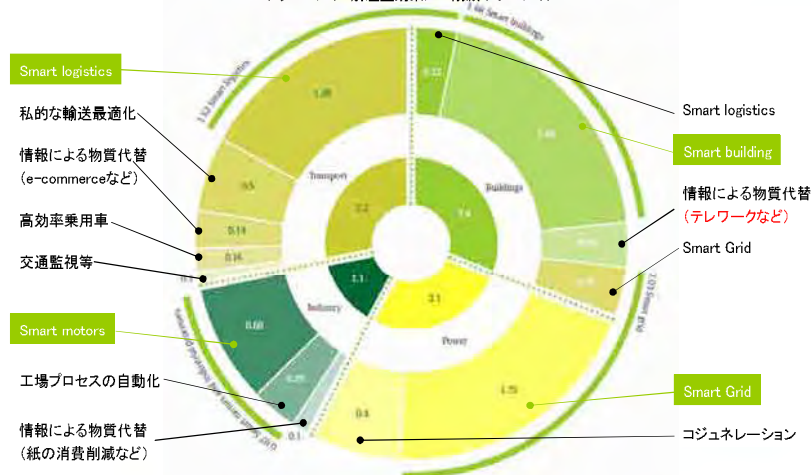
(出典)国土交通省都市・地域整備局都市・地域政策課「平成21年度テレワーク人口実態調査 -調査結果の概要」

34

グリーンITのポテンシャル(SMART2020)

●グリーンITの効果のうち大きいのは、“Smart Grid”, “Smart Building”, “Smart Logistics”, “Smart motors” と予測

ソリューション別温室効果ガス削減ポテンシャル



(出典)“SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age” (GeSD)

33

<参考>次世代テレワークの定義と提言

©日本テレワーク学会Telework 2.0研究部会

35

テレワーク2.0の新定義

● テレワーク2.0とは

知識創造社会において、情報通信技術を活用し、（時間と場所を超えた）相互の発信・啓発により、「個」を強め、個人・組織・社会間の連携強化により、組織には「**新たな経営手段**」を、個人には「**生きる力**」を与えるものである

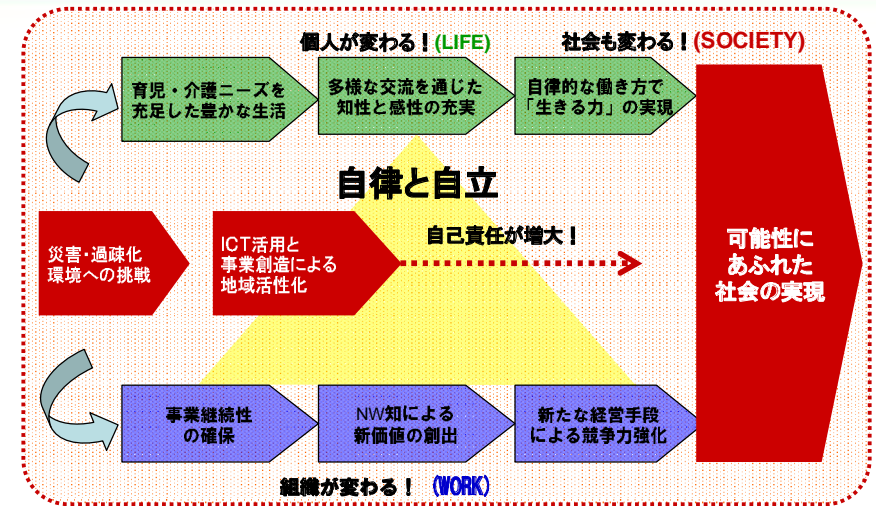


● テレワークを新たな枠組みで捉えなおすことで、可能性にあふれた社会を目指す

©日本テレワーク学会Telework2.0研究部会

36

テレワークによる可能性にあふれた社会の実現



©日本テレワーク学会Telework2.0研究部会

38

次世代テレワークの提言マトリックス

	LIFE	WORK	SOCIETY
元気	自律的な働き方で「生きる力」の実現 ③	「新たな経営手段」による競争力強化 ⑥	可能性にあふれた社会の実現 ⑨
知恵	多様な交流を通じた知性と感性の充実 ②	ネットワーク知による新価値の創出 ⑤	ICT活用と事業創造による地域活性化 ⑧
安心	育児・介護ニーズを充足した豊かな生活 ①	事業継続性の確保 ④	災害・過疎化・環境課題への挑戦 ⑦

TW1.0がカバーしている領域 (Area covered by TW1.0) is indicated by a red dashed box around the '安心' (Peace of mind) row.

©日本テレワーク学会Telework2.0研究部会

37

ご清聴ありがとうございました!

39

(テーマ) ミリ波ブロードバンド通信・高速移動体通信技術

(講師) 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 アンテナ技術部長 小西善彦

○ミリ波ブロードバンド通信・高速移動体通信技術について

- ・Green By ICT について、有効と考えているテレワークを支える技術として、ブロードバンド通信・高速移動体通信について紹介。
- ・60GHz 帯ミリ波を用いた、ミリ波ブロードバンド通信技術として、多ビームアンテナを用いたミリ波無線通信システムによる屋内無線 LAN に関する研究開発成果と、ミリ波高速移動体通信技術として、航空機内におけるユビキタス環境の実現に向け、地上と航空機関の無線リンクの実現を目標とした研究成果について紹介。

○ミリ波ブロードバンド通信技術の研究成果について

- ・無線 LAN として利用可能な通信システムで、確実に 1Gbps 級の伝送をコンスタントに双方向で行えることが目標。
- ・特徴として、一つのアクセスポイントからは 16 本のビームを出し、時系列に切り替えながら通信を行う。1 対 1 の通信を瞬時に切り替えて通信し、最大 1 対 16 を実現している。
- ・ミリ波は、ブロードバンド性であり 60GHz 帯域で帯域幅 320MHz を利用。また、アンテナを小さくすることが可能であり、ビームを絞ることができる。テラヘルツ波ではミリ波よりも小さいアンテナが利用可能。
- ・多ビームアンテナ技術としては、低損失基板にポスト壁導波路で構成したビームチルト型導波管スロットアレーアンテナを作成して実現しており、低コスト化を可能としている。
- ・広帯域通信・アクセス制御技術としては、伝送方式を BPS 方式から、多値変調方式まで可能としており、さらに OFDM 変調により効率を上げることができる。これにより最高 1.2Gbps での通信を提供可能である。
- ・アクセス制御として、端末がいるところのみビームを送出し低消費電力化と伝送効率を向上。
- ・実証試験では、アクセスポイントを 1 台のときに、実行レートで 739Mbps を達成し、2 台のアクセスポイント、複数端末を用いた場合においても 583Mbps を達成した。

○ミリ波高速移動体通信技術について

- ・高速移動体通信では、最大 1Mbps 程度が限界であったが、100Mbps を実現可能な通信系を研究開発。
- ・高速移動体では、ビームを絞って飛行機に電波を送る必要があり、ミリ波アクティブフェーズドアレーアンテナを開発。これにより伝送速度 100Mbps、飛行高度 8000m、飛行速度 280km/h での無線リンク確立を確認した。
- ・飛行機では、進行方向への追尾は容易であるが、横方向への揺れへの対応が難しく、フェーズドアレイによって電子的に追尾可能とした。

○想定アプリケーションについて

- ・アプリケーションとしては、高速無線LANシステム、電車内などに情報を提供するミリ波コンテンツ伝送等の地上-車上間通信システム、航空機などの高速移動体向け大容量データ転送用無線システムを想定。

○課題について

- ・テラヘルツ波への展開として課題と想定しているのは、アンテナ材料であり金属ではコストがかかる。ミリ波で実現した樹脂射出成形の技術が利用できないと低コスト化が難しい。

※ 次のページに説明資料を掲載する。

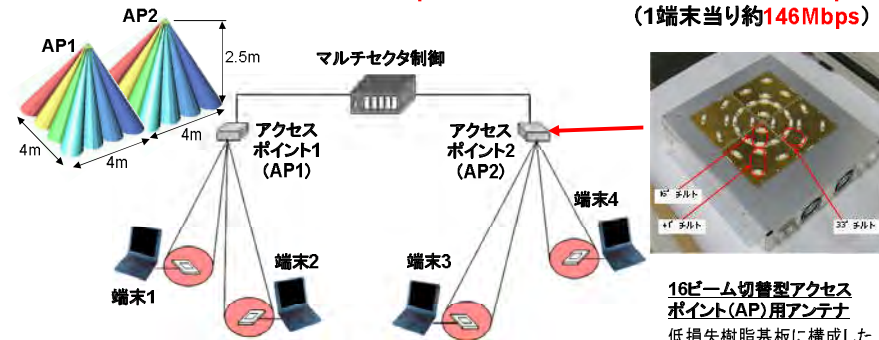
ミリ波ブロードバンド通信・ 高速移動体通信技術

— ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発 —
— ミリ波高速移動体通信システムの研究開発 —

本研究開発は、総務省委託研究「電波資源拡大のための研究開発」にて、平成17~21年度に実施を行ったものです。

平成22年12月20日
三菱電機株式会社
小西 善彦

世界最速の「多ビーム切替型アクセスポイント—複数端末間60GHz帯双方向通信」を実証
1AP-1端末間最大実効レート: **739Mbps**, 2AP-4端末間合計実効レート: **583Mbps**
(1端末当たり約**146Mbps**)



広帯域変復調技術 (AP, 端末)
OFDMによる広帯域変復調 (信号帯域320MHz)
高速・高効率アクセス制御技術
可変フレーム構成により通信制御を高速・高効率化



送受信MMICモジュール (AP, 端末)
GaAsを採用した60GHz帯高出力増幅器MMIC (出力19dBm, Siの4倍)

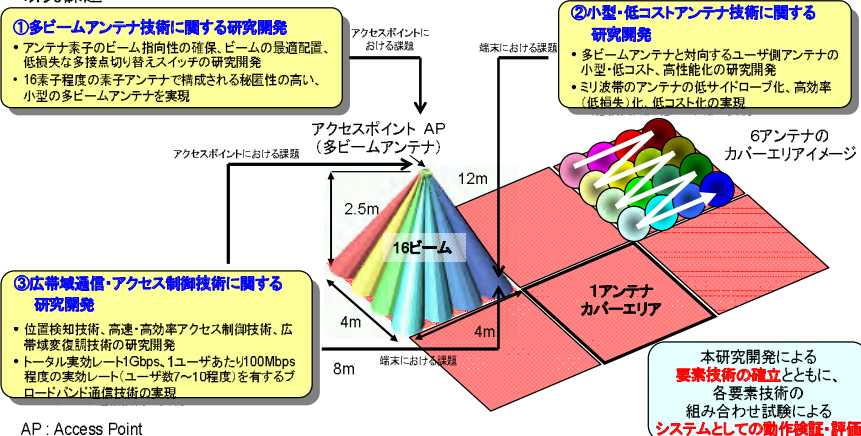
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing, MMIC : Monolithic Microwave Integrated Circuits

— システムイメージ —

多ビームアンテナを用いたミリ波無線通信システムによる屋内無線LAN

- 1アクセスポイントアンテナ16ビームを高速切替制御、4m×4mエリアの端末と通信
- 1userあたり100Mbps×max. 10Users (トータル1Gbps)
- アンテナ拡張 (下図は6アンテナ) により、エリア形状・面積を柔軟化
- アンテナ間協調制御による、100ビーム超の無線システム

— 研究課題 —

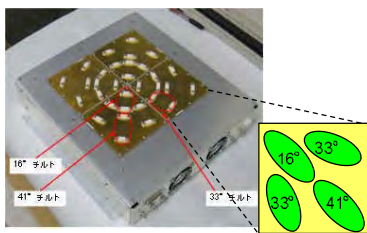


AP : Access Point

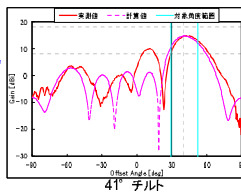
番号	目標	達成状況	得られた成果
1	1アクセスポイントアンテナ16ビームを高速切替制御	1アクセスポイントアンテナ16ビームを高速切替制御	1アクセスポイントあたり16ビームで面的エリアをカバーできることを実証
2	天井高さ2.5mで4m×4mエリアの端末	天井高さ2.3mで3.5m×3.5mのエリアでの通信を確認	当初の想定エリアで通信ができる見込みを確認
3	1ユーザ (端末) あたり100Mbpsで最大10ユーザ (端末) を想定し、トータル1Gbpsのスループットを実現	1ユーザ (端末) あたり146Mbps@4端末時 システム試験では最大4ユーザ (端末)	端末数とスループットとの関係を明確化 ユーザ (端末) の増加時のシミュレーションにより、10ユーザ以上でも対応できることを確認
4	1ユーザ (端末) あたり100Mbpsで最大10ユーザ (端末) を想定し、トータル1Gbpsのスループットを実現	1Gbpsの伝送速度を実現するモデムを用いた1対1伝送で最大739Mbpsのスループットを確認	システム効率: 74%を達成
5	アンテナ拡張により、エリア形状・面積を柔軟化	2アクセスポイントでのシステム試験により、アンテナ拡張できることを実証	シミュレーションにより、アクセスポイントの増加に対応できることを確認
6	アンテナ間協調制御による、100ビーム超の無線システム	2アクセスポイントでのシステム試験により、32ビームの無線システムを構築	シミュレーションにより、アクセスポイントの増加に対応できることを確認

◇研究成果(多ビームアンテナ技術)

低損失基板にポスト壁導波路で構成したビームチルト型導波管スロットアレーアンテナ



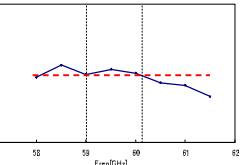
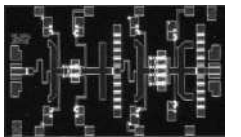
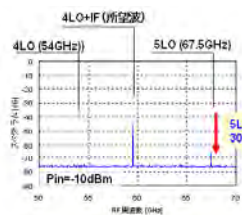
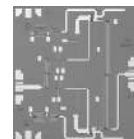
アンテナ利得(41°チルトのセルエッジ48°方向利得)
目標値:13.6dBを達成
【測定値:14.3dB】



60GHz帯での4次高調波形低スプリアスIRM MMICチップ

ミキサ構成
目標:新規構成のミキサの開発を実現【SLOを30dB改善】

ミリ波送受信モジュール部内にあるHPA MMICチップ



HPA MMIC単体の出力特性
目標値:19dBmを達成
【測定値:P1dB 19dBm】

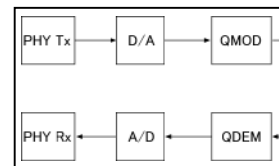
HPA: High Power Amplifier, IRM: Image Rejection Mixer,

◇研究成果(広帯域通信・アクセス制御技術)

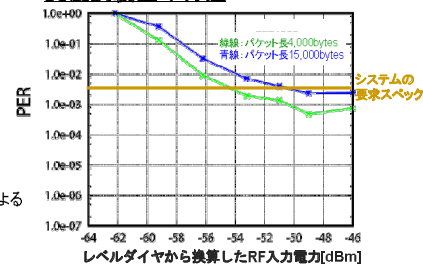
広帯域変復調装置(PHY)の諸元

変調方式	OFDM	FFT帯域幅	400MHz
伝送路符号化	畳込み符号	信号帯域幅	320MHz
OFDMシンボル時間	2.72μsec	FFTポイント数	1024
伝送速度	150Mbps~1.2Gbps	所要パケット誤り率	PER<1e-2@1Gbps

変復調装置の評価系



変復調装置の特性

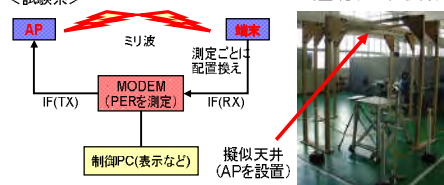


パケット長15,000bytesの場合、-54dBm以上で1Gbpsが達成可能

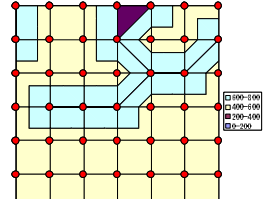
PHY: Physical Layer, OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing, PER: Packet Error Rate
QMOD: Quadrature Modulator, QDEM: Quadrature Demodulator

◇研究成果(多ビームアンテナ技術)

多ビームアンテナのカバーエリアにおける面的特性評価<試験系>



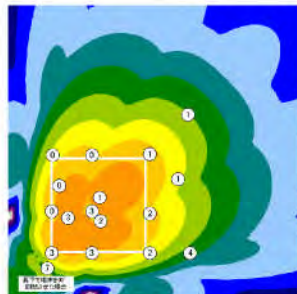
<測定結果>



※色の違いは、計算上のスループットの差を示す

設計どおり、ほぼ全体にわたって、均一な特性を取得

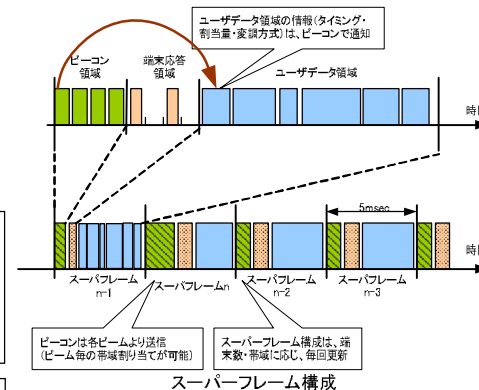
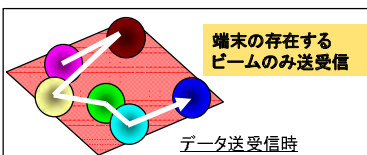
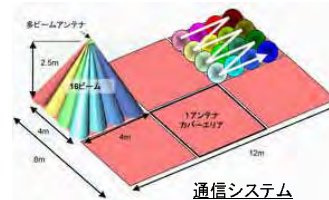
●端末位置認識・通信確認(システム実証)
広帯域アクセス制御装置と組み合わせた
端末位置認識・通信確認結果



●白線内⇒設計上の通信エリア
●通信エリア内では、広帯域アクセス制御装置が設計どおり、端末の位置を認識し、最適ビームを選択し、最適な変調方式を選択し、通信確認(適応変調)していることも確認

システムの動作を実証

◇研究成果(広帯域通信・アクセス制御技術)



TDMA制御とビーム制御を同時に実現するフレームフォーマット、および接続シーケンスにより、アクセスポイント・端末間の検知と可変帯域割り当てを実現

最大15,000byte(1500byte×10フレーム)のフレーム多重により、伝送速度に対するシステム効率:74%を達成

TDMA: Time Division Multiple Access

◇研究成果(システム実証)

以下の様々なシステム系統にて、通信システムとしての動作を検証・評価

APの数量・配置や端末(MT)の数量・配置に依存しない柔軟な通信システムの確立を実証

●1AP-1端末(MT)の系



●1AP-2端末(MT)の系



●2AP-4端末(MT)の系



1アクセスポイント・1端末の環境で**最高スループット: 739Mbps**を達成

複数アクセスポイント・複数端末による同時通信環境で**583Mbps (1端末あたり145.75Mbps相当)**を達成

◇研究成果(実証実験)

ミリ波APAAIによる地上局の追尾・通信確認

高速ミリ波無線リンク確立

伝送速度: 100Mbps
飛行高度: 8000m
飛行速度: 280km/h
飛行高度、飛行速度は小型飛行機の制約

地上局にて航空機の捕捉・追尾・通信確認

晴天時のみならず
降雨時(小雨)においても通信確認

搭載アンテナ(APAA)

インターネット接続実証

e-mail, webカメラ, skypeなどのアプリケーションの現地デモ(動作確認)についても確認

インターネット回線

「航空機内におけるユビキタス環境の実現に向け、地上と航空機間の無線リンクを実現する」ことを目標とし、以下のサブテーマに分類し、研究開発を実施

ア. 航空機広帯域無線システムに関する研究開発

- 航空機に適したアクセス制御、捕捉・追尾制御技術(長距離通信に対応したアクセス制御、高指向性ビームを用いた捕捉・追尾)
- 航空機内に適した無線環境技術



イ. ミリ波帯アレーアンテナ(APAA)技術に関する研究開発

- ミリ波アクティブフェイズドアレーアンテナによる一次元電子走査アンテナ技術

ウ. 高速移動ネットワーク技術に関する研究開発

- ハンドオーバー時のデータロスを抑える予測型ハンドオーバー技術
- モバイルIPとアドホックネットワークの連携による最適な経路管理技術

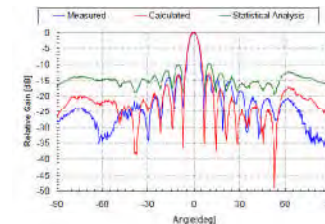
◇研究成果(アレーアンテナ(APAA)技術)

航空機搭載用のミリ波帯アクティブフェイズドアレーアンテナ(APAA)を開発

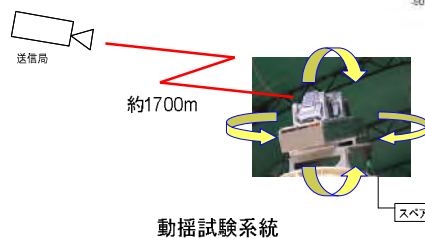
アンテナパターン等の電気性能確認のほか、動揺試験にて追尾機能を確認



開発したAPAA(航空機搭載時)



アンテナパターン測定結果



動揺試験システム

○動揺試験での確認フロー

- 送信局からの電波をスペアナでレベル確認
- あらゆる姿勢に対してもレベルがほぼ一定
- 自己の姿勢を把握し、ビーム指向方向を制御可能であることを確認

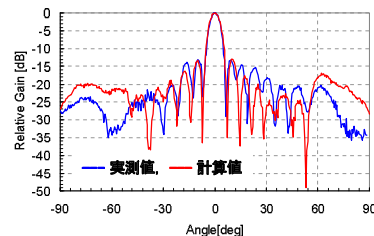
◇研究成果(アレーアンテナ(APAA)技術)



40GHz帯16素子樹脂射出成形
導波管ホーンアレーアンテナ



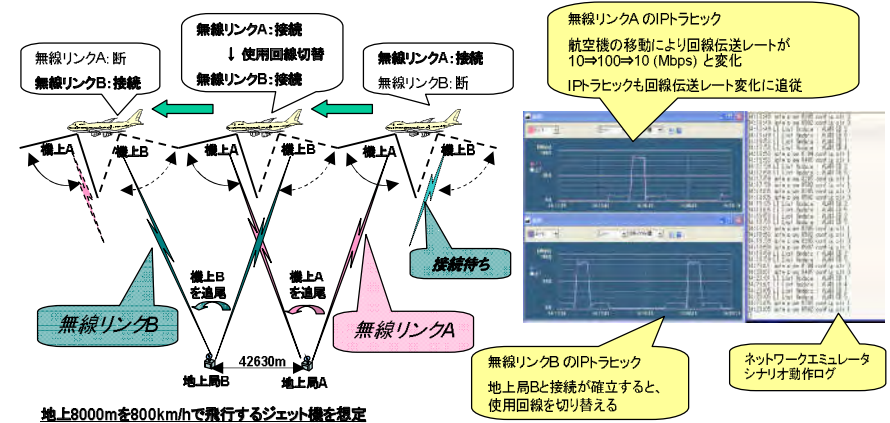
40GHz帯16素子×16列APAA



ビーム正面時の放射パターン(周波数: 46.9GHz)
40GHz帯APAA試作評価結果

◇研究成果(高速移動ネットワーク技術)

課題: ハンドオーバーにより秒単位の通信断のある環境や伝送距離に応じて無線帯域が変更される環境において、無線帯域を有効に利用可能とする無線連携によるハンドオーバー制御機能の実現
成果: ミリ波無線装置との連携機能を具備したネットワークエミュレータを用いて、航空機実験におけるミリ波接続環境と同等の実験環境を構築し、ハンドオーバー動作を確認した。



◇研究成果(アレーアンテナ(APAA)技術)

通信速度向上と高速なビーム指向方向制御のために移相器を備えた
高出力な送信モジュールと低雑音な受信モジュールを開発



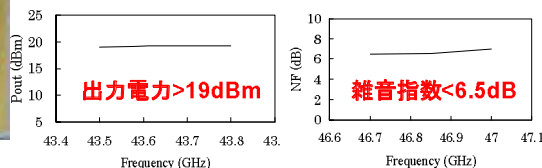
開発した送信アンテナと受信アンテナ



開発した受信モジュール
(25.6mm×54.4mm×3.9mm)



開発した送信モジュール
(25.6mm×54.4mm×3.9mm)

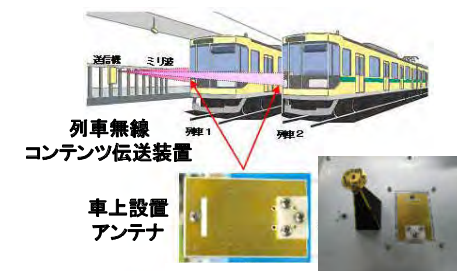


送信モジュールの出力電力 受信モジュールの雑音指数

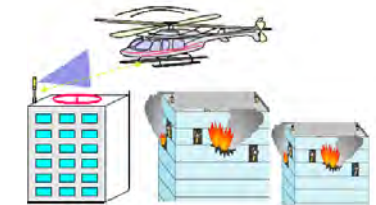
業界トップクラスの高出力特性(送信モジュール)と
低雑音特性(受信モジュール)を実現

以下のようなアプリケーションへの展開を想定

- ◆ ミリ波無線LANシステム
- ◆ 電車内などに情報を提供するミリ波コンテンツ伝送等の地上-車上間通信システム
⇒ 鉄道事業者向けに実用化(車上設置アンテナ, 送受信機MMIC)を実施
- ◆ 航空機等の移動体向けの大容量データ転送用無線システム



60GHz帯列車無線コンテンツ伝送システム



非着陸スポット・ブロードバンド
航空測量データ転送

3-3 ICTによるGreenへの貢献シナリオ

(テーマ) グリーンICTの現状とNTTグループの取り組み

(講師) NTT環境エネルギー研究所 環境推進プロジェクト 染村 庸

- 地球温暖化問題への対応策としてCO₂削減が世界的課題となっている。ICTセクタとして、これに貢献することが不可欠である。
- ICTの急速な普及に伴い、ICTの製造段階のエネルギー消費や使用段階での消費電力等が増加し、e廃棄物の越境問題や貴重資源の採掘など、環境負荷は増大している。
- ICTの取組が環境に与える影響には2面性がある。まず1つ目は、ICT機器自体によって発生する環境負荷に対し、この環境へのマイナス要因を省エネ等によって削減するものである(Green of ICT)。ICTセクタのCO₂排出比率は全セクタの約2%(2007年)であるが、これを抑えていくことになる。
- 2つ目は、ICTサービスの導入による環境負荷の削減であり、情報の電子化や産業・生活の効率化を行い、環境へのプラス要因を拡大させるものである(Green by ICT)。これは他セクタのCO₂排出削減に貢献することになるが、ICTの活用によって他セクタ全体のCO₂排出量削減効果は大きく、Green by ICTの効果はGreen of ICTの効果以上に期待されている。
- 世界全体では、スマートグリッドやスマート物流、スマートモーター等のICTによるCO₂削減効果が、2020年には78億トン(世界全体の15%)という試算がある。このうちテレワーク、テレビ会議、電子ペーパー、電子商取引といった脱物質化、移動削減の効果については30億トン(世界全体の6%)と見積もられている。
- 日本全体に対するCO₂の削減効果は、総務省のタスクフォースの報告書に、ICTの新対策を実施することで、(ICT機器自体のCO₂排出量を含めて)2020年には12,500万トンのCO₂排出量の削減が見込まれるという試算が出ている。さらにGreen by ICTのCO₂削減効果は、2020年で最大1.5億トンになる可能性も示されている。これは1990年の排出量と比較した場合、約12.3%の削減効果となる。Green of ICTについては、光通信技術等の開発、クラウドの推進といった対策を通して、2012年の排出量とほぼ同水準が維持できると見込まれている。
- ICT機器の環境影響評価手法として、一般に、ライフサイクルアセスメント(LCA)という、原材料の採取から製造使用及び廃棄に至る全ての過程を通して、製品が環境に与える負荷の大きさを定量的に整理評価する手法が用いられている。
- 固定電話網のLCA評価を行ったところ、環境負荷の70%が使用段階のものであり、さらにその70%(全体の半分)が端末機器の消費電力であった。中でも待機時間の消費電力が支配的であるため、これを削減する技術開発が求められる。
- IP電話についても、同様に端末における待機時の消費電力が大きなウェートを占めており、機器の省エネ化が特に重要となる。
- インターネット接続について、ISDN、ADSL、光ファイバをそれぞれ評価すると、光ファイバが

最も省エネで効率的であるという結果になった。さらに、環境効率という観点では、光ファイバーの情報伝送は、ISDNの約2000倍に向上する。

- 低炭素社会に向けた取り組みとして、NTTグループ全体で環境問題への対策を行っている。環境配慮型のデータセンターの導入やスマートグリッド、直流給電等、環境負荷削減に向けた研究開発を進めている。中でも、AC/DCの変換に伴う電力損失が抑えられる高電圧直流給電方式、エネルギーネットワークの最適制御やスマートコミュニティの研究開発に力を入れている。
- NTTにおいて、テレワーク、音楽の電子配信、電子図書を実施した時のCO₂排出削減量について、それぞれ大胆な評価モデルにより算出を試みた。テレワークを首都圏で週2回実施すると、年間で従来手段の35%の削減でき、音楽の電子配信で年間25万トンのCO₂削減、電子図書により、年間2800万トンのCO₂削減が見込めるという結果が出た。但し、いずれも大まかな算出ではある。
- ICTに関わる環境負荷を定量的に算出する評価手法については、国内でガイドライン化されている。これまでは、このような環境影響評価手法については国際標準化されたものがなかったことから、ITU-Tに提案して国際標準化を目指しており、現在、SG5「環境と気候変動」で勧告化に向けた議論を進めている。
- 国際標準化の暁には、環境経営の観点からグリーンICTの取り組みを定量的に評価することが可能となり、環境ソリューションビジネスの普及やICTによるCO₂排出削減効果の「見える化」にも弾みがつく。また異なる企業の製品やサービスによるCO₂排出削減効果を定量的に比較できるようになるため、企業が製品やサービスを導入するときに、性能や価格だけでなく、CO₂排出量の削減効果という新たな評価軸での検討が可能となる。
- 評価方法の国際標準化については、実質、日本がイニシアティブをとっている。日本だけでなく、英国、米国、仏国、韓国なども参加しているが、日本のガイドラインをベースに議論している状況である。
- マクロ評価モデルによる算出効果の精度であるが、各種の統計データをベースに算出している。音楽配信サービスの算出値については、業界から異論も出ているが、算出根拠や目的を明示することで業界には納得いただいている。
- 通信ネットワークの性能向上(高速化)が、省エネ効果に与える影響について、精度の高い算出をすることは今後の課題である。ビットレートあたりの効果を算出した結果についての学会発表などがあるので、それが参考事例になると考えられる。
- 総務省の推計による2020年のCO₂の10%削減効果であるが、その中に通信ビットレートの高速化の要素も算出に含まれている。但し具体的な速度まで踏み込んでいないかは把握していない。総務省の報告書にも、そこまでの記載は無かったように思われる。
- 最近のネットワークは常時接続が主流になっているがこの算出効果においては、評価の機能単位として、個々のネットワークサービスを1日あたり何時間利用といったデータについては、アンケート結果や各種統計データを使っている。また、ICTの普及によって、これまで紙の手紙だと年に1通も出していなかった人が、1日に何通も不要な電子メールを出すことによるエネルギー消費量が逆に増加するといった問題や、移動の削減によって、空いた時間に不要なICT利用による余分なエネルギー消費を誘発するなどのリバウンド効果が考えられるが、その効果の算定については今後の課題である。なお、テレワークやテレビ会議をオフィスの異なる社

員達が行っても、移動手段が自動車であれば、ガソリン消費が減るため環境負荷を実質的に削減することができるが、電車やバスなどの公共交通機関を利用していた場合には、少人数が利用しないことで公共交通機関の運行頻度が削減されるものではない。これは、将来的にTV会議システムが普及し、ライフスタイルやビジネススタイルの変革が進展することにより、運行頻度の見直しなど活動量の実質的な削減が誘発されるという「削減ポテンシャル」や「みなし効果」と呼ばれている。これらの効果をどう削減効果に反映し、精度を上げていくかは、今後の課題になる。

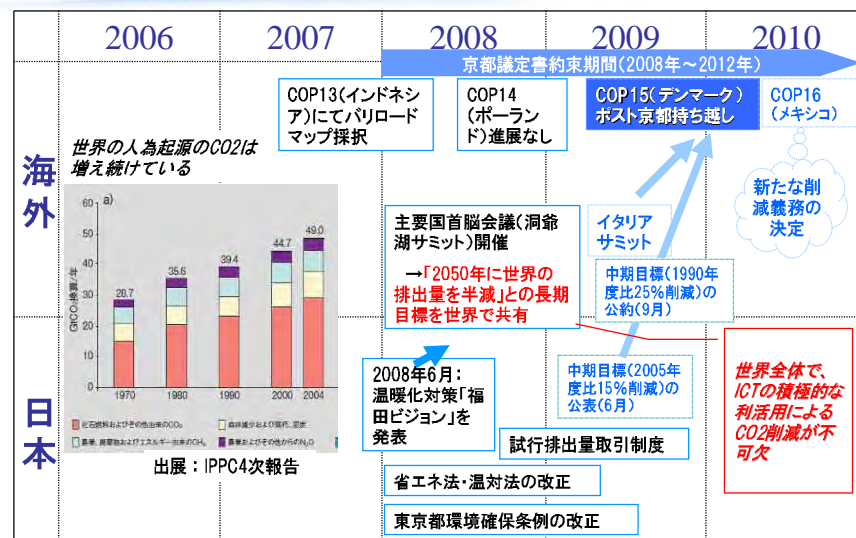
※ 次のページに説明資料を掲載する。

テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会
第3回会合
2010年11月16日

グリーンICTの現状とNTTグループの取り組み

日本電信電話株式会社
NTT環境エネルギー研究所 環境推進プロジェクト
染村 庸

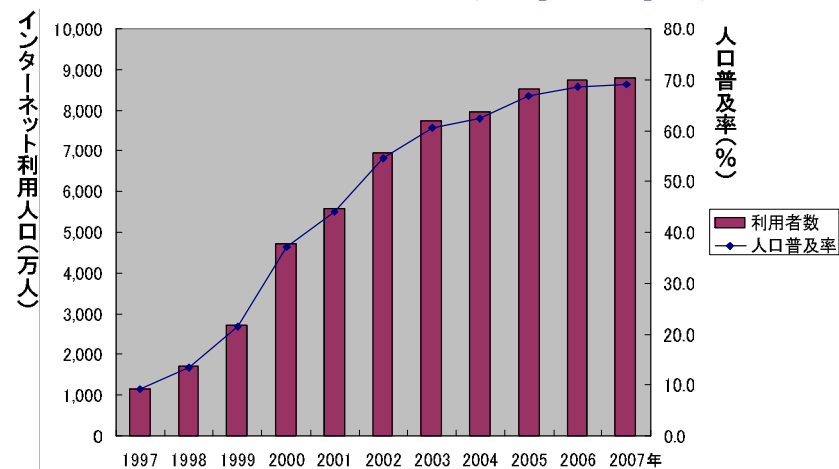
地球温暖化問題に関する世の中の動き



講演内容

1. ICTと環境に関わる国内外の状況
2. ICTインフラの環境影響(CO2排出量)評価方法
3. ICTの省エネに関する取り組み (Green of ICT)
4. ICTの利活用による環境負荷低減効果 (Green by ICT)
5. ICTの環境影響評価手法に関する国際標準化について
6. まとめ

インターネット利用者の普及



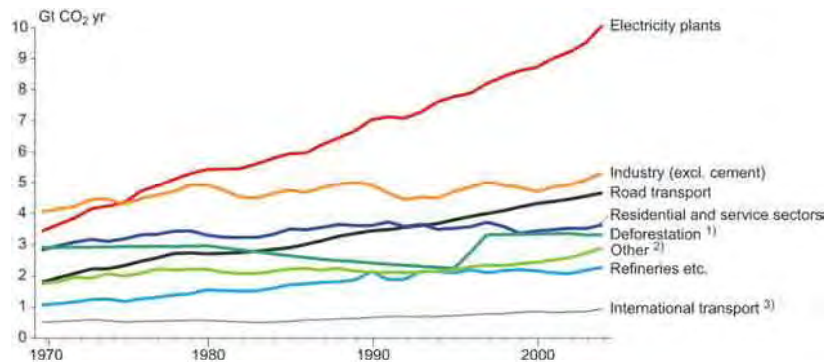
ICTは急速に普及し、その環境負荷も増大している。

- 製造段階でのエネルギー消費が大きく、長寿命化や、リユース・リサイクルの推進が課題
- 使用段階での消費電力の削減が課題
- e廃棄物の越境問題(発展途上国での廃棄)
- 貴重資源の採掘(タンタルなど)
- 鉛など有害物質の除去
- 再生可能資源の採用

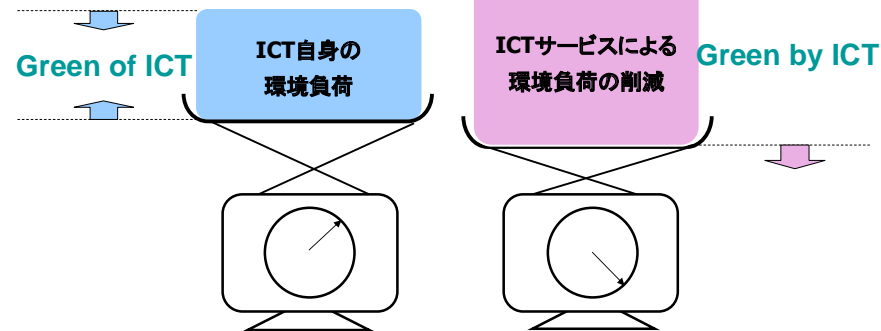


気候変動という観点では、地球温暖化問題が人類が直面する喫緊の課題。

- エネルギー消費量の削減(省エネ)
- エネルギー源の低炭素化(原子力、水力...)
- 炭素固定(光合成)
- 炭素貯蔵(地中、深海...)



出展:IPCC AR4 WG3 Fig-1-2



地球環境に対するマイナスの要因

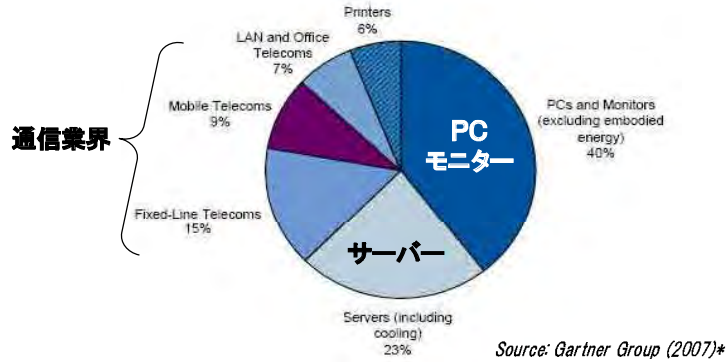
- エネルギーの使用 (ICT機器やNWの増加に伴う電力消費など)
- ICT機器の生産や設備構築による資源利用
- ICT機器の廃棄や設備撤去に伴う廃棄物の発生

地球環境に対するプラスの要因

- 脱物質化(情報の電子化)
- 移動の削減(人流や物流の効率化など)
- 産業・生活の効率化
- 環境啓発・環境教育へのICTの活用
- 環境センサや環境モニタリング

16 November 2010 NTT

ICTセクターにおけるCO₂排出比率



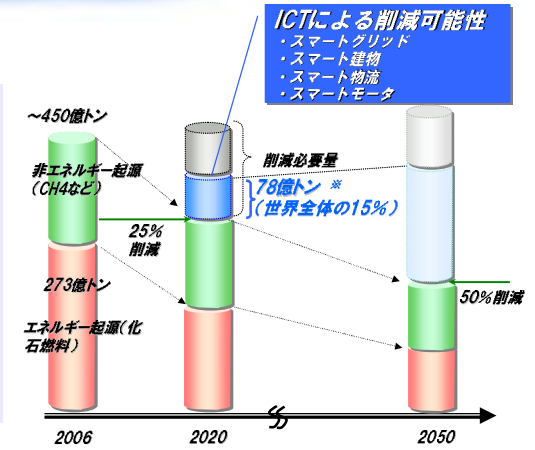
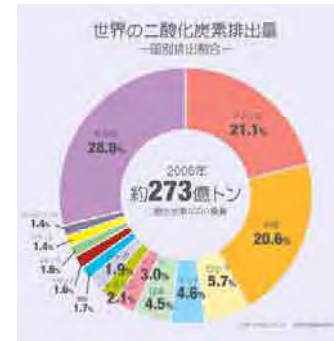
* Rakesh Kumar and Lars Mieritz, "Conceptualising 'Green IT' and Datacentre Powering and Cooling Issues", Gartner Research paper ID number G00150322, 7 Sept. 2007.

- ・ちなみに、ICTセクター(放送分野を除く)のCO₂排出比率は全セクタの約2%。2007年度で約0.9Gt-CO₂。(通信業界はICTセクターの24%、全セクターの0.5%)
- ・しかし、ICTセクターは他セクター(CO₂排出比率98%)から排出されるCO₂量を抑制可能(Green by ICT)。

つなぐ。それは、ECO

16 November 2010 NTT

CO₂削減に貢献するICT (世界全体)



全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト(<http://www.jccca.org/>)より

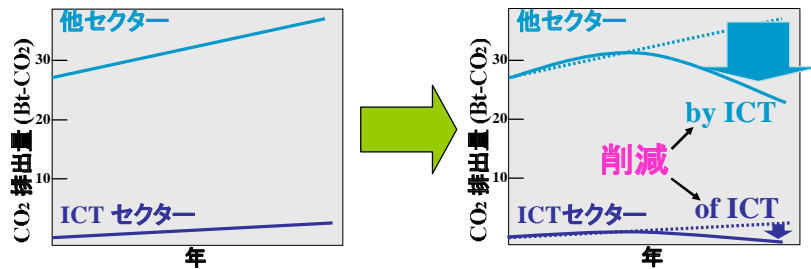
*GeSI: SMART2020より。このうち、テレワーク、テレビ会議、電子ペーパー、電子商取引関連の服物買入、移動削減などの効果は30億トン程度(6%)

GeSI SMART2020, IPCC資料などから作成

つなぐ。それは、ECO

16 November 2010 NTT

ICTが社会全体に及ぼす影響



ICTによる他セクターのCO₂排出削減量

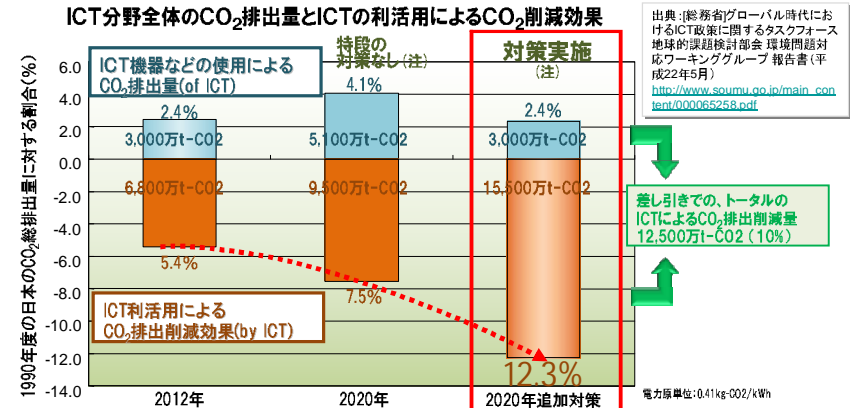
- ・ICTセクターは、他のセクターに対し、CO₂排出量の削減に貢献できる
- ・ICTセクター自らの省エネ(Green of ICT)とともに、ICTの活用による社会全体のCO₂削減効果(Green by ICT)が目目

つなぐ。それは、ECO

16 November 2010 NTT

CO₂削減に貢献するICT (日本全体)

- ICTによるCO₂削減効果(by ICT)は、2020年には、最大約1.5億トンになる可能性。これは、1990年の総排出量と比較した場合には約12.3%の削減効果に相当し、25%削減の中期目標達成に大きく貢献。
- 一方、ICT機器などの使用によるCO₂排出量は、光通信技術等の開発やクラウドの推進等の対策(of ICT)により、約3000万トンまで排出を抑えることが可能。これは、2012年の排出量とほぼ同水準。

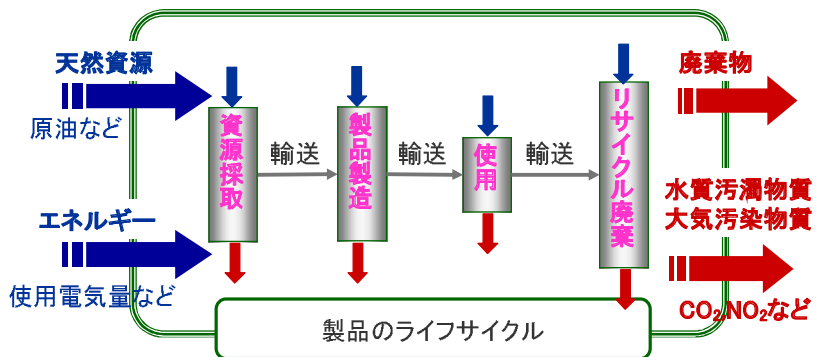


注: 特段の対策なし: ICT機器のCO₂排出削減(of ICT)に新たな対策を講じない場合。/現在のICT活用(by ICT)を継続して推進する場合。
対策実施: ICT機器のCO₂排出削減(of ICT)に有効と考えられる新たな対策を講じる場合。/現在のICT活用分野を拡大するとともに、可能な範囲で利用促進を加速化する場合。

つなぐ。それは、ECO

LCAによる環境影響評価技術

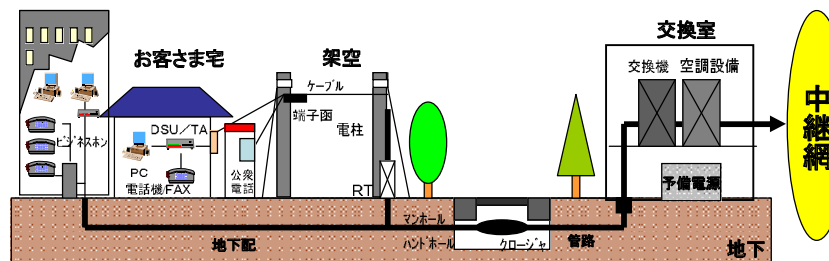
LCA:ライフサイクルアセスメント(Life cycle assessment)



原材料の採取(鉄鉱石の採掘等)から、製造、使用及び廃棄に至るすべての過程(即ち、人間に例えるならばゆりかごから墓場までの全生涯)を通して、製品が環境に与える負荷の大きさを定量的に整理、評価する手法。

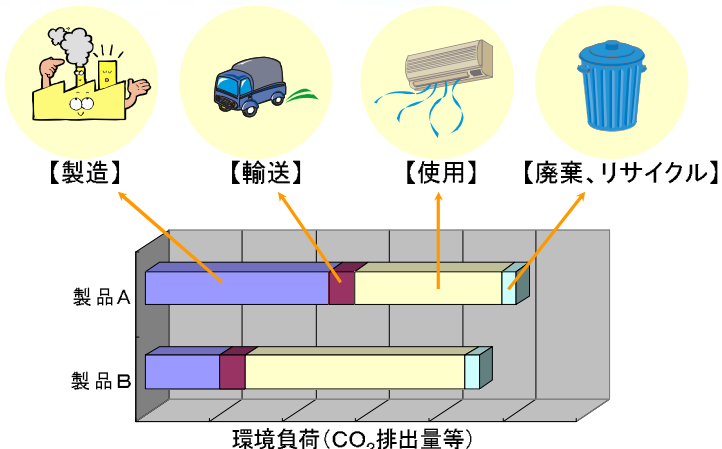
固定電話網の評価モデル

【市内電話サービスモデル】



- モデル条件:①首都圏1万回線規模の加入者系設備(端末~アクセス系設備~交換機)を想定した。
②H10現在の設備を標準とする。
③代表的な装置、構造物を対象とする。
④人の稼働、保守用の装置類は対象外とする。
⑤環境負荷は二酸化炭素(CO₂)排出量で換算する。

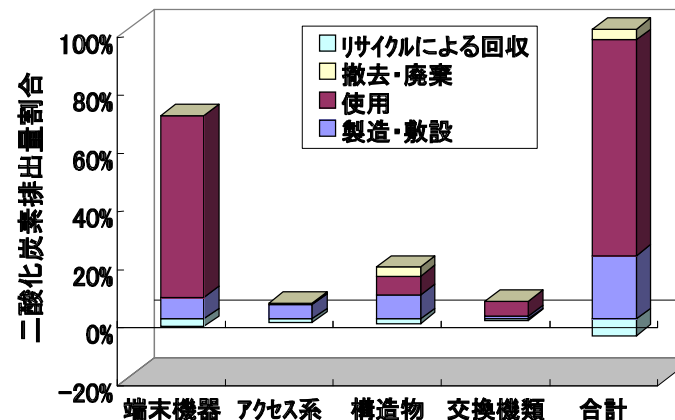
何がわかる?

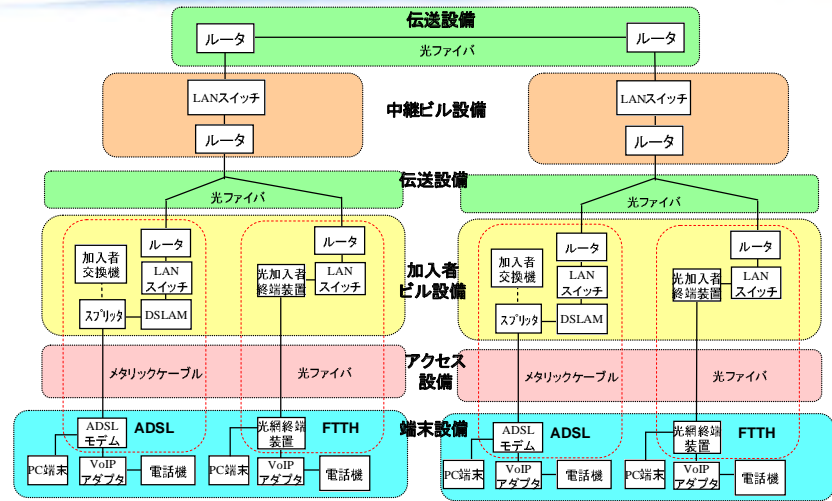


製品Aのように、使用時の環境負荷が製品Bより小さくても、ライフサイクル全体では製品Bより環境負荷が大きくなることもある。

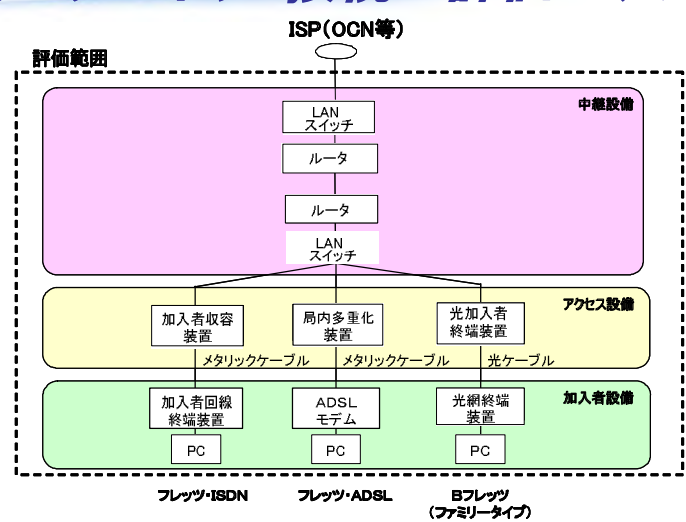
固定電話網の評価結果

全体の70%が使用段階であり、さらにその70%(全体の半分)が端末機器の電力消費に起因、中でも待機時間の消費電力が支配的



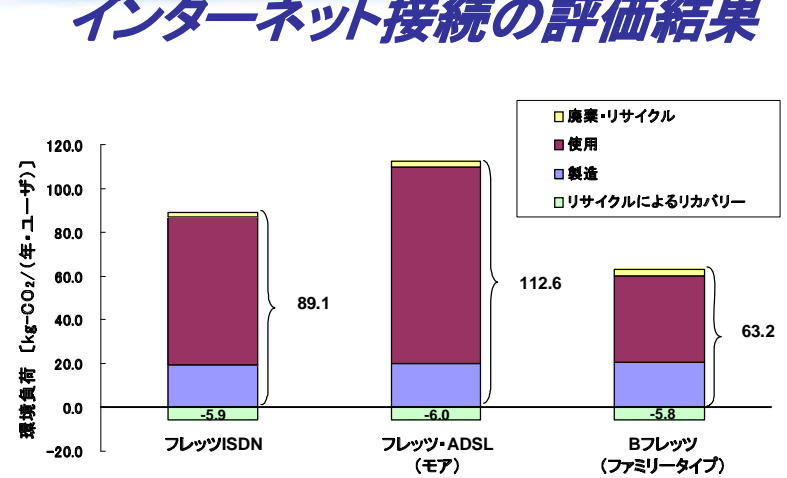
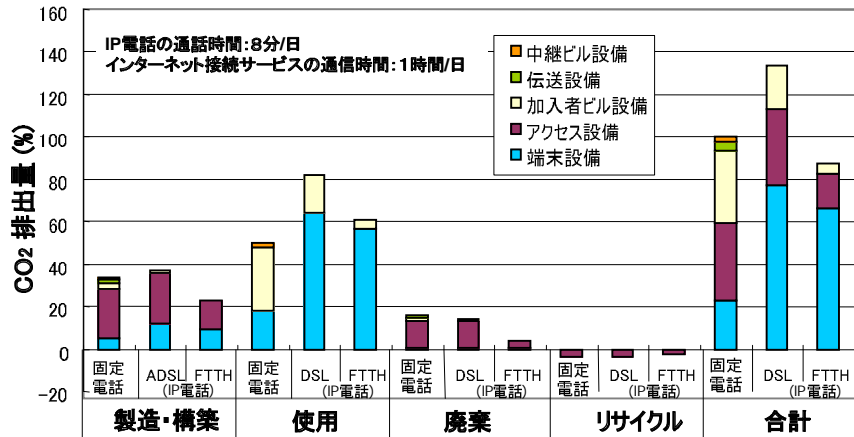


東京 札幌
 *FTTHは1ファイバで8加入使用
 前田他、SETAC/ISIE/Swiss Discussion Forum (2003年スイス)
 Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 16



つなぐ。それは、ECO
 折らら エコバランス2006国際会議
 Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 18

FTTHアクセスサービスのアクセス設備と加入者ビル設備による環境負荷は、他のアクセスサービス(固定電話、ADSL)に比べて小さい。
 伝送設備と中継ビル設備からのCO2排出量は、固定電話(7%)、IP電話(0.1%以下)ともに小さい。
 IP電話における端末設備の待機時消費電力が非常に大きい。



IP接続サービスのエネルギー消費の効率化

・IP系設備の設置にあたっては、直流給電の推進、高効率空調設備の導入等、エネルギー消費削減に努めているものの、IP接続サービス、携帯電話等の加入者数の増大に伴い、消費エネルギーは増大
 ・一方、IP接続サービスの高速化が進んだが、アクセス網を光化することにより、ISDN、ADSLと比較して、お客様一人あたりの環境負荷は最大1/2程度に削減されるとともに、情報伝送の環境効率率は約2000倍に向上

2005年度NTTグループCSR報告書より抜粋

IP接続サービスの環境効率とファクター

指標	単位	IP接続サービス			※1 環境効率= (最大伝送速度) ÷(環境負荷(CO ₂ 排出量))
		フレッツISDN	フレッツADSL (モア)	Bフレッツ (ファミリータイプ)	
価値 (最大伝送速度)	kbps	64	6,500*3	100,000	※2 ファクター= (ADSL、Bフレッツの環境効率) ÷(フレッツISDNの環境効率)
環境負荷 (CO ₂ 排出量)	kg-CO ₂	78.2	101.7	52.3 (PON方式)	※3 上り速度(1Mbps)と下り 速度(12Mbps)の平均値
環境効率*1	kbps/kg-CO ₂	0.81	63.9	1,912.0	(注) 環境負荷には、お客様設置 設備を含む(DSU、ADSLモ テム、ONU等)
ファクター*2	-	1	79	2,360	

つながく。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 20

環境に配慮したデータセンターへの取り組み



つながく。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 22

NTTグループの低炭素社会に向けた取り組み

NTTグループ全体で、(1)Green of ICT、(2)Green by ICT、(3)Green with Team NTT、に積極的に取り組む

1 Green of ICT

NTTグループの事業活動に伴うCO₂排出量の削減

環境・エネルギー関連新技術のR&Dの推進

通信設備等の省電力化 (データセンター、電力・空調装置等)

- 「グリーンNTT」(自然エネルギー発電の導入)
- 「チーム・マイナス6%」への参加

2 Green by ICT

お客様のCO₂削減に貢献するソリューション等の提供

テレワークを支えるICTソリューションや、デジタルコンテンツ流通等の提供

3 Green with Team NTT

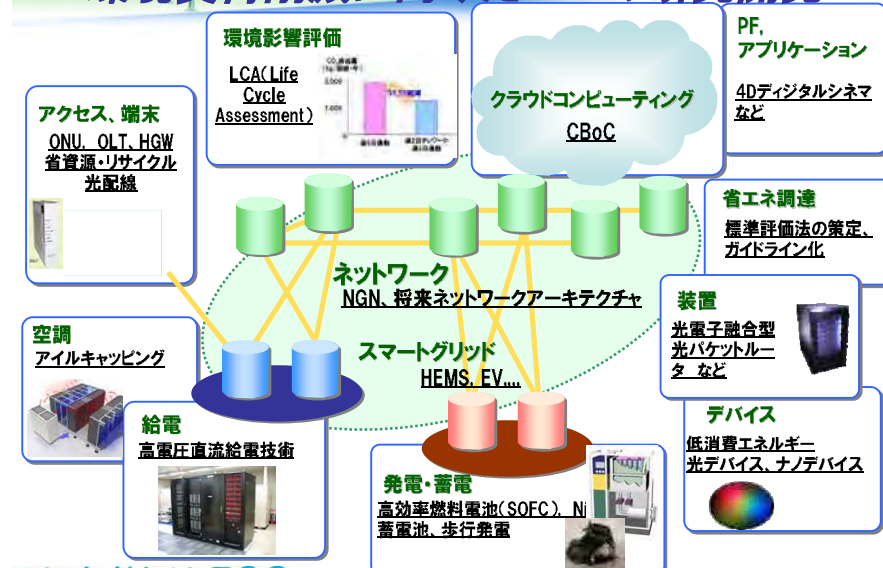
NTTグループ社員の家庭や地域におけるCO₂削減

エコドライブの実践、森林保護活動、地域清掃活動への参加、ビルの屋上緑化、等

つながく。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 21

環境負荷削減に向けたNTTの研究開発



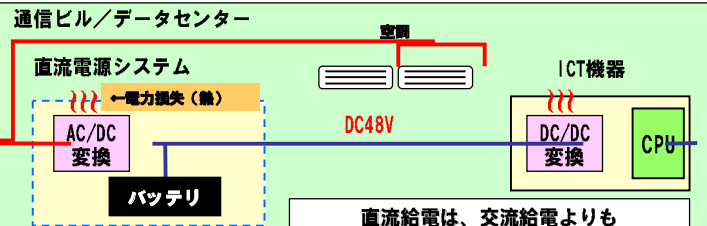
つながく。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 23

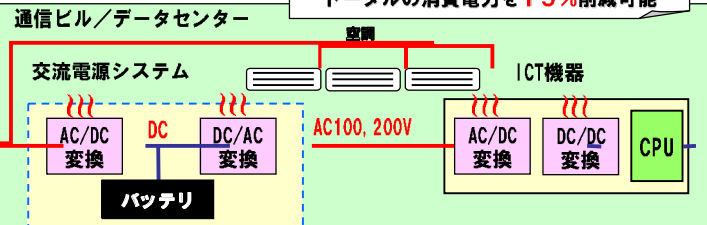
直流給電による消費電力低減への取り組み

通信システムや情報システムなど停電バックアップを必要とするシステムでは、バッテリーに充電するために必ず交流（AC）を直流（DC）に変換する必要があり、AC/DCなどの電力変換を行う毎に電力損失が発生する。直流給電は交流給電よりも変換回数が少ないため電力損失が少なく、省エネルギーとなり、さらに電力損失による熱を冷やすための空調電力も削減できる。

直流給電



交流給電



直流給電は、交流給電よりも
トータルの消費電力を**15%削減可能**

省エネ性能に加えた高電圧直流給電方式のメリット

整流装置 ~ 電流分配装置



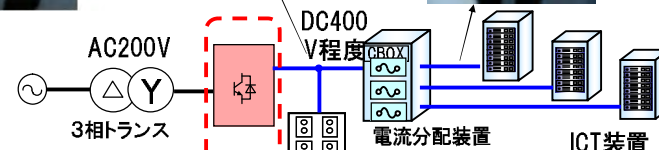
DC48V給電(左)
HVDC給電(右)

高電圧化することで
配線ケーブルを細く
することができ、作
業性を上げられる

電流分配装置 ~ ICT装置



DC48V給電(左)
HVDC給電(右)



HVDC用
整流装置



整流装置 蓄電池

DC48V用
整流装置

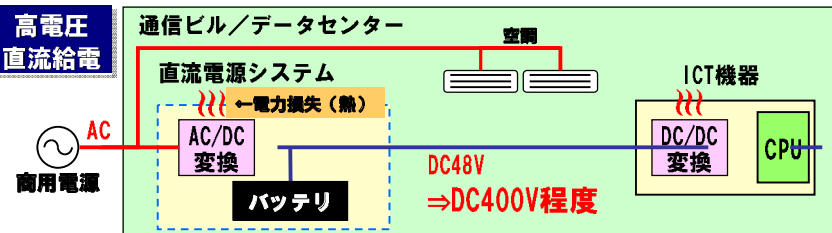


高電圧化することで、
スペースが効率的に
使える

高電圧直流給電方式の開発

給電電圧をDC48VからDC400V程度に高電圧化

高電圧 直流給電

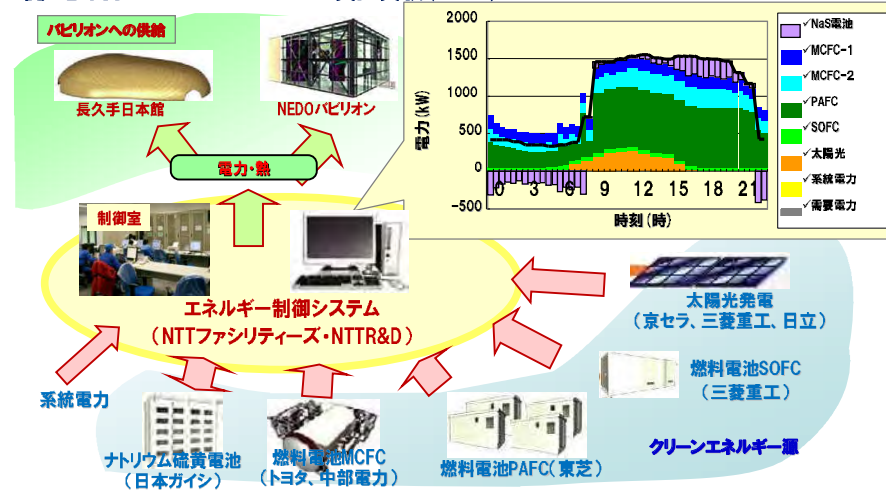


今後検討が必要な事項

- 直流電源システムや高電圧直流対応ICT機器の開発
- 直流電源システムとICT機器との各種インターフェース条件の標準化
- コネクタやヒューズなど部品類の開発と標準化

エネルギーネットワークの取り組み

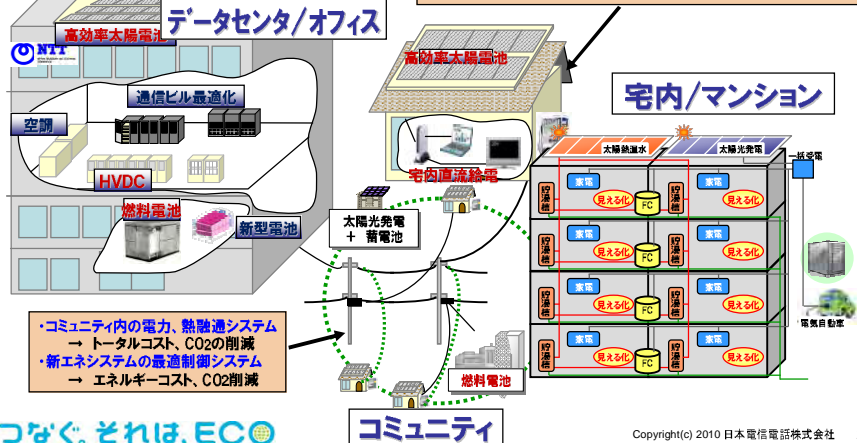
愛・地球博でのクリーンエネルギー実証実験 (NEDO)



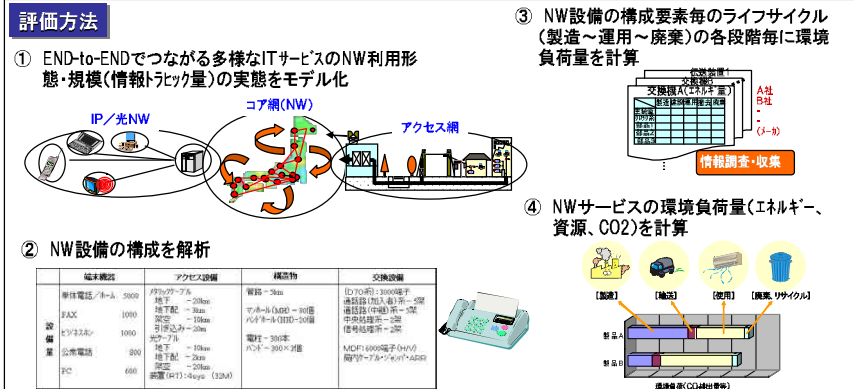
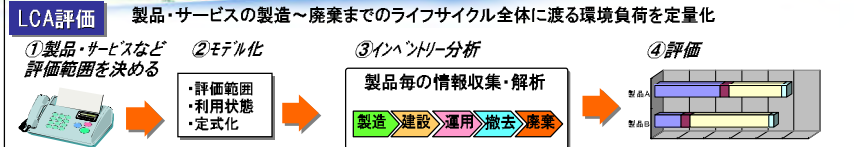
・商用電力に頼らず、クリーンエネルギーでパビリオンへ給電
・CO2排出を最小化するため、各クリーンエネルギー源の最適制御

・消費電力の見える化、空調・電力の協調最適制御
 → PUEの改善、エネルギーコスト、CO2削減
 ・ICT装置の動作状態と空調・電力の連携最適制御
 → エネルギーコスト、CO2削減

・宅内直流給電技術
 → 光化の推進、宅内端末のカーボンフリー化
 ・デマンドレスポンスプログラムシステム(時間帯別電力料金システム)
 → ユーザーの電力料金削減、発電所の稼働平準化
 ・創エネ家電制御システム
 → 家庭用太陽光発電、燃料電池、EV電池等の最適運用

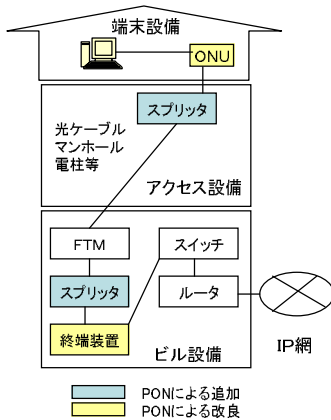
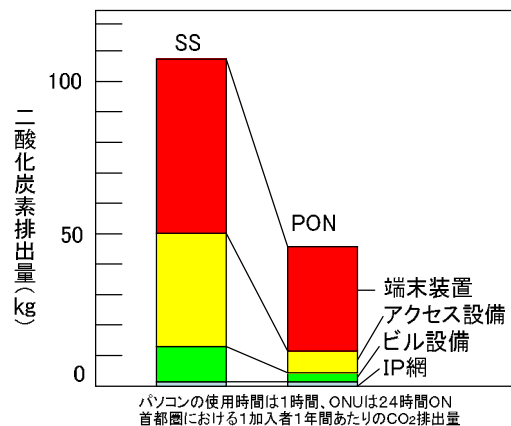


・コミュニティ内の電力、熱融通システム
 → トータルコスト、CO2の削減
 ・新エネルギーシステムの最適制御システム
 → エネルギーコスト、CO2削減



※Passive Optical Network

光ケーブルの共有、信号の多重化によりCO2排出量を57%削減

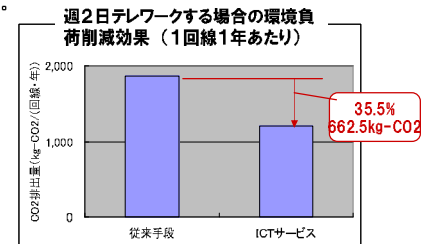


■評価概要
 首都圏(東京千葉神奈川)に勤務するサラリーマンが、1週間のうち2日自宅でテレワークを行い、残り3日は会社に通勤して仕事をする場合のCO2排出量削減効果の評価。端末は、シンクライアントのノートPCの使用を想定。

■機能単位
 首都圏在住のサラリーマンが1年間に240日勤務する。
 この条件を単位として「テレワーク」と「通勤」の場合の環境負荷を比較

■評価結果
 テレワークの日数が週1でも、17.0%の削減率となり、また日数が増えれば、削減量も増し、週5日で削減率91.2%となった。

従来手段	CO2排出量 (kg-CO2/回線・年)
従来手段	1,865,902
ICTサービス	1,203,363
CO2削減量	662,539
CO2削減率	35.5%

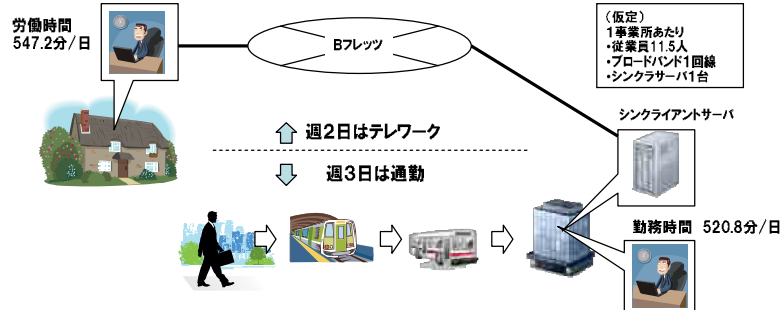


■テレワーク形態の想定
 ・本評価では「雇用型(自宅):定まった勤務先事業所をもつ被雇用者がICTを活用して場所や時間にとらわれない柔軟な働き方をしているケース」を想定した。[テレワークの形態(テレワーク白書):①雇用型(自宅/出張先)②通勤困難型③自営型(SOHOや遠隔での業務受注)④内職副業型]
 ・週何日テレワークしているかのデータはないが、各社のアンケート:「週には何日か出社して打合せを行う(オムロン)」、「週1、2日の在宅勤務で業務に支障は無い(NTTデータ)」などのキーワードから、週2日程度を想定(テレワーク経験者内訳:週8時間以上:39% 週8時間未満60% というデータはある)
 ・昨今のセキュリティのトレンドからシンクライアント端末によるテレワークを想定。

評価モデル(テレワークの場合)

首都圏(東京千葉神奈川)に勤務するサラリーマンが、1週間のうち2日自宅でテレワークを行い、残り3日は会社に通勤して仕事をする。

- 自宅および職場で同じノートPC(シンククライアントPC:消費電力5W)を使用し業務を行う。
- ノートPCは業務のみに使用し、自宅のNWはプライベートでも使用する。
- 1日あたりのテレワークの労働時間は547.2分、職場での勤務時間は520.8分/日とした。(テレワーク白書2007より)
- 通勤手段および距離は、首都圏主要3圏(東京千葉神奈川)在住者の平均的な値を用いる。(平成11年全国都市パーソナルトリップ調査:国土交通省)
- 自宅とのNWはBフレッツファミリーで評価。
- オフィスでは、ブロードバンド1回線あたりを11.5人の従業員で使用していると仮定。(東京千葉神奈川の1事業所あたりの平均従業員数を11.5人と推計、1事業所にブロードバンドが1回線、シンククライアントサーバが1台であると仮定した。)



つながり。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 32

音楽配信サービスによるCO2排出削減可能量のマクロ試算

- 音楽CDを全て、その他の音楽配信により代替した場合を想定。それにより削減されるものは、CDとその販売店である。
- 日本での音楽CDの生産枚数は、(社)日本レコード協会のデータにより、237,116千枚(2005年、12cmCDアルバム生産数量)である。また音楽CD販売店の数は、日本コンパクトディスク・ビデオレンタル商業組合の会員数(2004.3現在)より3,869店舗とした。また店舗の面積については、(社)日本レコード協会CDレンタル店調査2004年度より、390.1m²/店舗とした。
- 原単位にはCDの製造から配送までの負荷は松野らの文献を利用し、0.33kg-CO₂/枚とした。また、店舗は113kg-CO₂/m²・年を利用した。これらの原単位に上記の変数を掛け合わせて環境負荷を求めた。

⇒ この結果、CD製造の削減量は8万t-CO₂/年、音楽CD販売店削減による効果は17万t-CO₂/年となり、あわせて一年あたり25万t-CO₂の削減効果が最大値として期待できる。

折口ら エコデザイン2008 ジャパンシンポジウム(2008年12月)

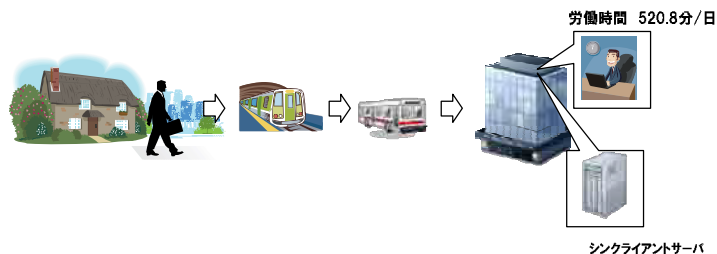
つながり。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 34

評価モデル(通勤の場合)

首都圏(東京千葉神奈川)に勤務するサラリーマンが、会社に通勤して仕事をする。

- 職場でノートPC(シンククライアントPC:消費電力5W)を使用し業務を行う
- 職場での労働時間は520.8分/日とした(テレワーク白書2007より)
- 通勤手段および距離は、首都圏主要3圏(東京千葉神奈川)在住者の平均的な値を用いる(平成11年全国都市パーソナルトリップ調査:国土交通省)



つながり。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 33

電子図書によるCO2排出削減可能量のマクロ試算

- 電子図書により、購入する書籍、書店、図書館(図書館の蔵書、図書館の運営)が全て削減できると仮定。
- 現在日本で販売されている書籍は、(社)日本印刷技術協会印刷界OUTLOOK2006により、36.1億冊と推定。(推定販売金額は22千億円)
- 書店は日書連加盟書店数(2005.4.1.現在)と同等すると約7千店である。次に全国出版協会、「出版指標年表」(2001)より求めた総店舗面積が475万m²であることから一店舗あたり675m²とした。
- 図書館は日本図書館協会の「日本の図書館統計」によれば、2005年には2,953箇所あり、蔵書冊数は345百万冊、年間の購入蔵書数は17百万冊、面積は1606m²。エネルギー消費量は、福岡市総合図書館をモデルとし、1,262MJ/m²とした。

⇒ この結果、書籍(製造)削減により約2,200万t-CO₂、書店店舗削減により約54万t-CO₂、図書館の削減により約500万t-CO₂となり、合計で最大約2,800万t-CO₂の削減効果と試算。

折口ら エコデザイン2008 ジャパンシンポジウム(2008年12月)

つながり。それは、ECO

Copyright(c) 2010 日本電信電話株式会社 35

環境影響評価手法の標準化

- 「Green of ICT」及び「Green by ICT」を定量的に算出する国際標準の環境影響評価手法がなかった。
- 手法の課題として、
 - 妥当性、公平性、透明性
 - 国際標準(他国間での比較可能性)
 - 他セクターからの納得性



- 環境影響評価手法の国際標準化が必要

まとめ

- ICTは急速に普及し、その環境負荷も増大しており、情報通信システムやデータセンタの省エネが急務になっている。
- その一方、ICTを活用することにより他のセクターの環境負荷を削減することが期待され、ICTは環境負荷を低減可能な技術としての認識が広がっている。
- ICTに関わる環境負荷を定量的に算出する評価手法が国内でガイドライン化されており、国際標準化を目指している。
- 国際標準化の暁には、環境経営の視点からグリーンICTの取り組みを定量的に評価することが可能になり、環境ソリューション・ビジネスの普及やICTによるCO₂排出削減効果の“見える化”にも弾みがつく。また、異なる企業の製品やサービスによるCO₂排出削減効果を定量的に比較できるようになるため、企業が製品やサービスを導入する時に、性能や価格だけでなく、CO₂排出量の削減効果という新たな評価軸での検討が可能となる。

ITU-T での標準化の取り組み

ICTと気候変動に関するフォーカスグループ
(Focus Group on ICTs and Climate Change) 2008.9~2009.3
Webサイト(<http://www.itu.int/ITU-T/focusgroups/climate/>)

⇒ ICTが気候変動を抑制する効果を客観的に評価する手法等を国際標準化の観点から検討

SG5「環境と気候変動」2009.5~

WP1「過電圧保護と安全」

WP2「エミッション、コミュニティと人体暴露」

WP3「ICTと気候変動」

課題 17/5 「ICTと気候変動」の標準化に関するコーディネイトと計画

課題 18/5 - ICT環境影響評価手法

課題 19/5 - 給電システム

課題 20/5 - ICTのライフサイクル全体にわたるエネルギー効率に関するデータ収集

課題 21/5 - ICT機器や設備の環境保護とリサイクル

(SG15課題19「屋外設備の環境保護と安全」から移管)

グリーンICT関連ガイドライン情報

ITの環境効率ガイドラインおよびプレットの公開について

社団法人 産業環境管理協会 ホームページ
(<http://www.jemai.or.jp/japanese/eco-efficiency/ict.cfm>)



IT社会を環境で測る グリーンIT

松野泰也、近藤康之 編著

産業環境管理協会(2007年)



本ガイドラインをベースに総務省が調査報告書およびガイドブックを出版した。

- ・環境負荷低減に資するICTシステム及びネットワークの調査研究会報告書(2007年3月)
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt070406.pdf>
- ・ガイドブック「ICTを環境にやさしく活用するために」
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2007/pdf/070406_1_1.pdf

「Green of ICT」及び「Green by ICT」を定量的に算出する国際標準の環境影響評価手法がなかったため、ITU-Tで標準化活動が始まっている。

ICTと気候変動に関するFG
(2008年9月~2009年3月)

FGでの検討を踏まえ、SG5での評価手法等の動告化に向けた検討中。

SG5
(2009年5月~)

(テーマ) THz 無線導入による低炭素化への貢献シナリオについて

(担当) 調査検討会ワーキンググループ グリーン分野担当

○THz 無線導入による低炭素化への貢献シナリオについて概観を行った。

○THz 無線においては、スーパーハイビジョンといった高精細映像のリアルタイム伝送にも対応できる超広帯域の無線伝送が実現でき、今後のデバイスの高度化に伴い、ビットあたり単価や消費電力は、光通信など有線系と同等になっていくと考えられる。また無線の場合、必要時のみ回路を駆動するといった省電力技術が重点的に検討され、装置や製品にも積極的に採用されており、省エネルギーに貢献する形となっている。

○THz 無線について、以上のような Green of ICT の効果は考えられるが、低炭素化への貢献という観点では、他の伝送方式の省エネルギー化も進むと考えられる。ICT セクタの低炭素化の流れの中で、無線分野の環境負荷低減の重要な役割を担っていくことになると考えられる。

○以上を踏まえつつ、ケーススタディとして家庭やオフィスでの情報伝送ニーズへの THz 無線の適用について、以下のようなシーンを挙げて有線系との対比も含めて簡単な検討を行った。

(シーン1) 家庭内での映像配信

一戸建て住宅で、ホームゲートウェイから各部屋に高精細映像を伝送するケース

・有線の場合 : GW から光を配線し、大型の映像端末に映像を出す。

・THz 無線の場合 : GW から THz無線で配信する。

→ 電力的には有線と無線に大きな差はなくなる。

配線やそれに伴う部材を含めると無線の低環境負荷が注目される。

無線になるとヘッドマウントディスプレイなど、さらに没入感のある映像端末が使われ、大画面TVよりも省電力となっていく。

(シーン2) 集合住宅、オフィス

集合住宅において、共通サーバと各戸の端末間に十分な帯域を確保し、オンデマンドで各戸へ高精細映像を配信するケース。オフィスでリッチコンテンツを取り扱うために、各端末との伝送容量をアップするケース。

・有線の場合 : [サーバ]—[SW]—[端末]という構成で伝送する。

(SWIには端末数に応じたトランスポンダが必要)

・THz 無線の場合 : [サーバ]—[無線機]—[端末]という構成で1:N配信を行う。

→ THz 無線では装置(トランスポンダ)数が削減でき、電力的に有利となる可能性が高い。

配線やそれに伴う部材を含めると無線の低環境負荷が注目される。

(シーン3) 工場内、ビル間伝送

構内の建物間やビル間で、大容量のデータリンクを設ける場合。

・有線の場合 : 建物間やビル間にケーブルを敷設し、両端に伝送装置を設置する。

・THz 無線の場合 : 各建物に無線機を設置し、リンクを張る。

- 有線と無線で装置規模に差はなく、消費電力的には同等になる可能性が高い。
配線やそれに伴う部材を含めると無線の低環境負荷が注目される。

特に、ケーススタディとしてオフィスについて THz無線導入による CO2 排出量削減効果について見積もりを行った。

日本の部門別 CO2 排出量に注目すると、商業・サービス業・事業所等の民生業務部門からの CO2 排出量は増加傾向にあり、1990 年度の 1 億 6400 万トンから 2 億 3500 万トンにまで 43%も増加した。これは他のどの部門よりも大きな伸びとなっている。地球温暖化防止のためには民生業務部門における CO2 排出削減が大きな鍵を握っている(国立環境研究所 温室効果ガス 2008 年度確定値)。業務用ビルからの CO2 排出量の内、約半分の 118 百万トンが電力消費に伴う排出であり、その内 70%が空調や照明によるものである。現在、企業内ネットワークを流れる通信トラフィックの増加に伴い、ネットワークを構成するルータや LAN スイッチなどのネットワーク機器の消費する電力が急増している。日本の省エネルギー対策の一環として進むトップランナー規制では、ルータやスイッチが対象品目に加えられる動きがあるなど、ネットワーク機器の消費電力量の増加は社会的な問題にもなっている。

業務用ビルをモデルケースにして 100 人規模のオフィスを想定した。今後、企業内ネットワークを流れる通信トラフィックの増加が予想されるので、オフィスフロアに光アクセス網につながる ONU が設置され、LAN スイッチなどのネットワーク機器を介して、各人の端末まで 1Gbps のイーサネットがつながっていると(図 3-1 参照)。この時、ネットワーク機器による年間消費電力は 100 人規模のオフィスでは、一般的なギガビットルータのカタログ値から 1880kWh と見積もられる。

次に、ヒアリングの対象になった「ミリ波多ビームアンテナを用いた 60GHz ミリ波無線通信システムによる屋内無線 LAN」で実証されている様に、指向性ビームを制御して各個人の端末と無線接続する THz 無線アクセス基地局を天井に設置する。この基地局は 8 人の端末をカバーし、有線 LAN におけるギガビット・インテリジェント・スイッチの代わりにして、ギガビットイーサネット接続を提供する。ビームを制御して、各端末と通信確立するが、端末側の THz 無線機がオフ状態の時はスキップして、次の端末との通信確立を図る。ビーム制御せず、8 台の端末の設置エリアをカバーする指向性アンテナを用いるケースもオプションとしてある。

基地局は 8 台の端末を時分割多重で収容する。動作している端末を確認して、動作している端末にタイムスロットを割り当てる通信制御時間を持ち、次に動作している端末との通信時間が続く。基地局は 8 台の端末が全て動作している時はフル稼働するが、動作していない端末があるとその間はスリープ状態に入る。基地局は動作している端末があれば、通信制御時間に続いて順次、通信時間を割り当てていく。従って、動作している端末が 1 台の時は約 1/8 の動作率となる(通信制御時間のオーバーヘッドが短いとした場合)。動作率は動作台数に応じて、1/8 から 8/8 まで変化する。基地局は端末側の無線機が全てオフの時はスリープ状態に入るものとする。

THz 無線アクセス基地局の消費電力は、RF フロントエンドの消費電力を 1W、ベースバンド処

理で 1W としてトータル 2W であると見積もる。オフィスの1日を①始業前時間帯(7時～10時)、②操業時間帯(10時～19時)、③残業時間帯(19時から24時)、④非使用時間帯(24時から7時)に分ける。②では常に動作状態、④ではオフ状態。①と③では働いている人の数(動作状態にある端末側の THz 無線機の数)がリニアに増減するため 50%とすれば、 $3 \times 1/2 + 9 \times 1 + 5 \times 1/2 + 7 \times 0 = 1.5 + 9 + 2.5 = 13$ 時間となり、1日を通しては 13 時間/24 時間=0.54 の動作率となる。100 人規模のオフィスで THz 無線を使用した場合、年間の消費電力量は $2W(\text{消費電力}) \times 12(\text{THz 無線機の数}) \times 8,800h(\text{約 24 時間} \cdot 365 \text{ 日}) \times 0.54(\text{動作率}) = 114,048Wh \div 114kWh$ となり、ギガビット・インテリジェント・スイッチを使う場合は、前述の値に動作率を考慮し、同様に計算すると 594kWh となり、 $594 - 114 = 480 kWh$ の削減効果になる。

全国の 3000 m²を超える大規模ビルの棟数は全国で約 36,000 棟が存在する(事務所 15,965、店舗 5,607、百貨店 2,124、学校 2,597、旅館 5,597、その他 3,308 で総数は 36,319 棟。出所:厚生労働省 平成 15 年度衛生行政報告例)。1 人当たりの占有面積を 10 m²として 100 人規模のオフィスフロアは 1,000 m²とすると、100 人規模のオフィスフロア数に換算すると $36,000 \text{ 棟} \times 3,000 \text{ m}^2 \div 1,000 \text{ m}^2 = 108,000$ となり、最低でもこのフロア数が存在する。THz 無線アクセス基地局が全てのフロアに導入されると、 $480 kWh \times 108,000 = 51,840,000 kWh$ の電力削減効果になる。電力原単位: $0.41kg-CO_2/kWh$ とすると、 $51,840,000 kWh \times 0.41kg-CO_2/kWh = 21,254,480 kg \div 21,300$ トンの CO2 排出量の削減効果がある。

この数値は低炭素化への貢献という観点では、インパクトのある結果ではないが、ICT セクタの低炭素化の流れの中で、無線分野の環境負荷低減の重要な役割を担っていくことになると思われる。また、オフィスのネットワークアクセスの観点からは、省エネルギーだけでなく、オフィスレイアウトの変更に対する柔軟性、指向性ビームによる情報漏えいの抑止、設備の設置・運用コストメリットなどの効果が期待される。

・100名規模のオフィスの場合

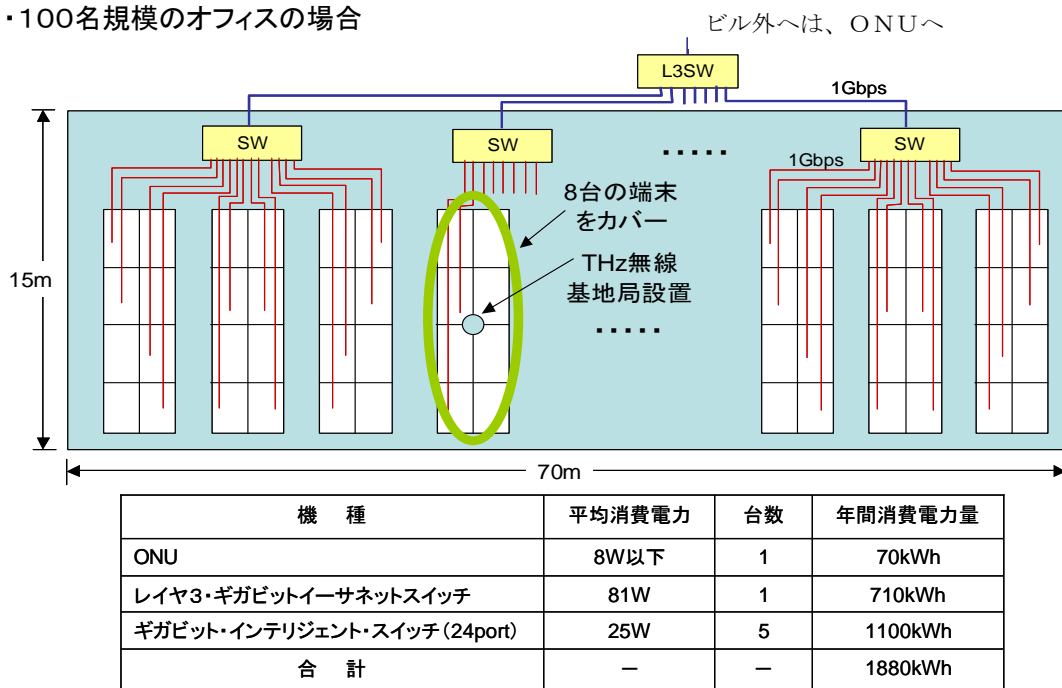


図 3-1 オフィスにおける有線 LAN の消費電力について

第4章 諸外国の動向及び標準化の動向、電波干渉

4-1 海外におけるテラヘルツ無線の研究開発動向

(テーマ) 海外の研究開発動向

(講師) 大阪大学大学院基礎工学研究科 教授 永妻 忠夫

(1)ドイツ

ドイツのテラヘルツ通信研究所 (Technical University of Braunschweig) と PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt の略称でドイツ連邦物理工学研究所) が、欧州でのテラヘルツ無線技術の研究を主導している。主として、屋内での無線 LAN への応用を目指して、300GHz 帯での屋内伝搬特性や、テラヘルツ波を効率的に反射する壁紙等の開発を行っている。実験的には、市販の電子部品モジュールを組み合わせて 300GHz 帯送受信器を構成し、伝送帯域などの基本特性を評価している。実際には 300GHz 帯でアナログビデオ信号 (数 Mbit/s) や圧縮デジタルビデオ信号 (数 10Mbit/s) の無線伝送をデモンストレーションするに留まっている。なお、Technical University of Braunschweig の Prof. Thomas Kurner は、IEEE 802.11G の議長としてテラヘルツ無線の標準化に関して先導役を果たしている。

また、Fraunhofer Institute では、MMIC 技術による 200~300GHz 帯のコンポーネントの研究と無線通信への応用を手がけている。

(2)フランス

フランスでは、IEMN (エレクトロニクス・マイクロエレクトロニクス・ナノテクノロジー研究所) のグループが、フォトンクス技術を送信機に用いた無線通信の実験的研究を行っている。最近の報告では、200GHz で 1.5Gbit/s の無線伝送に成功している。

(3)米国

米国では、Battele 研究所において、上記フランスと同様にフォトンクス技術を送信器に利用したシステムを開発し、主に 92GHz 帯での実験が進められている。同じフォトンクス技術を駆使し、BPSK や QPSK による周波数利用効率の改善の検討も報告されている。フォトンクス技術で多値化を行う手法は、最近の光通信技術で主流になりつつあるものであるが、60GHz 帯で 16QAM-OFDM 技術を用い、28Gbit/s の実験を行ったという報告もあり、このような技術を利用すれば、300GHz 帯で 100Gbit/s は決して夢ではないであろう。

なお、米国 AT&T Shannon Laboratory の David Britz 氏は、IEEE802.11G の副議長としてテラヘルツ無線分野の活性化と標準化に貢献している。

(4) 韓国、アジア

韓国でテラヘルツ無線を牽引しているのは、ETRI (Electronics and Telecommunications Research Institute の略称で韓国電子通信研究院)である。米国、フランスと同様にフォトニクス技術を用いた送信器の研究が行われており、最近、ギガビット級の無線実験（周波数帯は 100-200GHz と予想）に成功している。また台湾の National Central University でも、フォトニクス技術を用いた 90GHz 帯ギガビット無線通信に関する報告がされている。

最近のテラヘルツ無線に関するレビュー文献

John Federici¹ and Lothar Moeller, Review of terahertz and subterahertz wireless communications, J. Appl. Phys. 107, 111101 (2010); doi:10.1063/1.3386413.

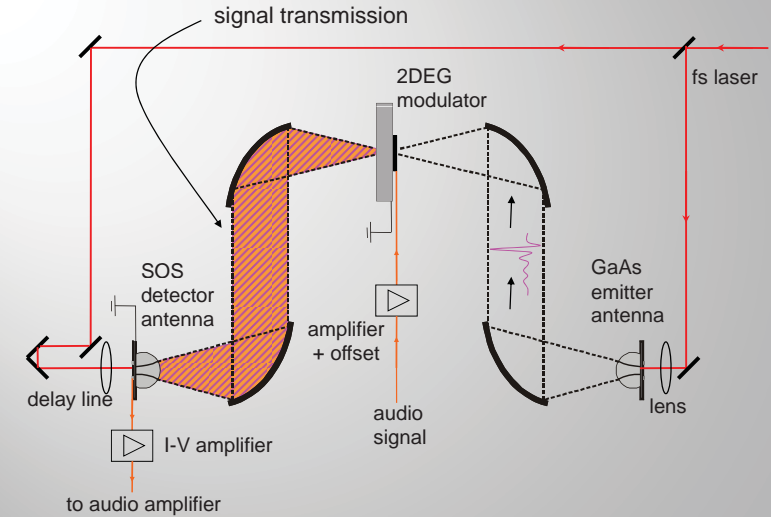
Thomas Kleine-Ostmann and Tadao Nagatsuma, A Review on Terahertz Communications Research, Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves Volume 32, Number 2, pp.143-171(2011); doi: 10.1007/s10762-010-9758-1.

※ 次のページに説明資料を掲載する。

海外の研究開発動向

永妻忠夫
大阪大学大学院
基礎工学研究科

テラヘルツパルス波を使った最初の実験:TCL

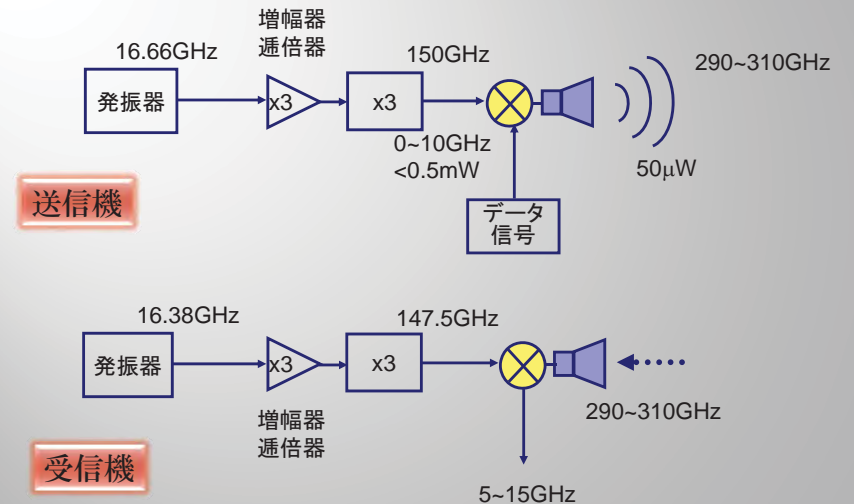


T. Kleine-Ostmann et al., "Audio signal transmission over THz communication channel using semiconductor modulator", Electron. Lett. **40**, 124-126 (2004).

- 1 ドイツ
TCL*(THz Commun. Lab.)&PTB
- 2 フランス
IEMN
- 3 米国
BMI: Battelle Memorial Institute
- 4 その他

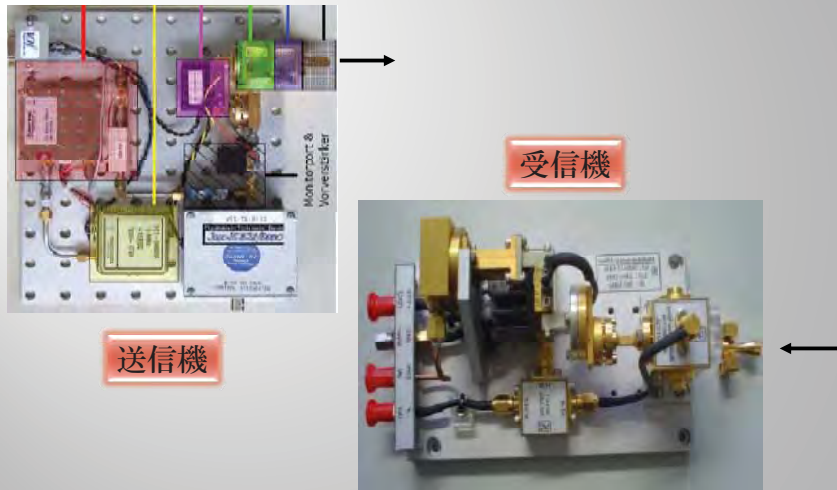
*TCL:Technical University of Braunschweigに設置

市販のTHz部品モジュールによる300GHz無線:TCL



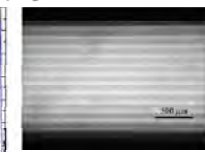
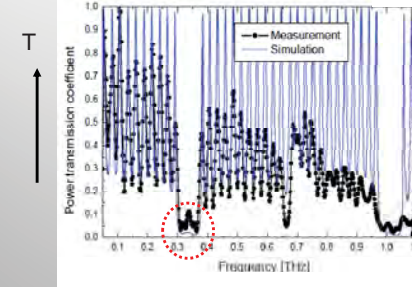
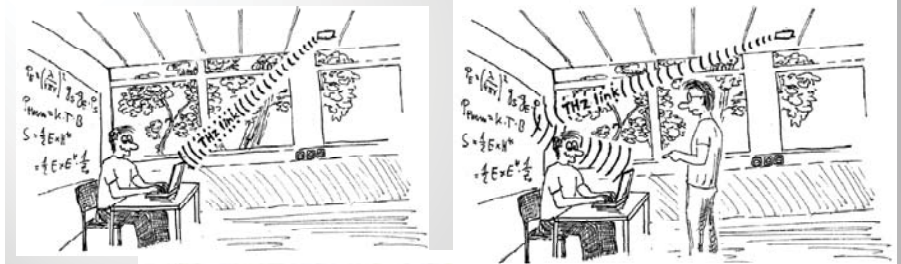
C. Jastrow, K. Münter, R. Piesiewicz, T. Kürner, M. Koch and T. Kleine-Ostmann, 300 GHz Transmission System, Electron. Lett. **44**, 213-214 (2008).

300GHz無線モジュール: TCL



C. Jastrow et al., Tech. Dig. IRMMW-THz 2008, M3A3.1342; Demonstration of analog video transmission

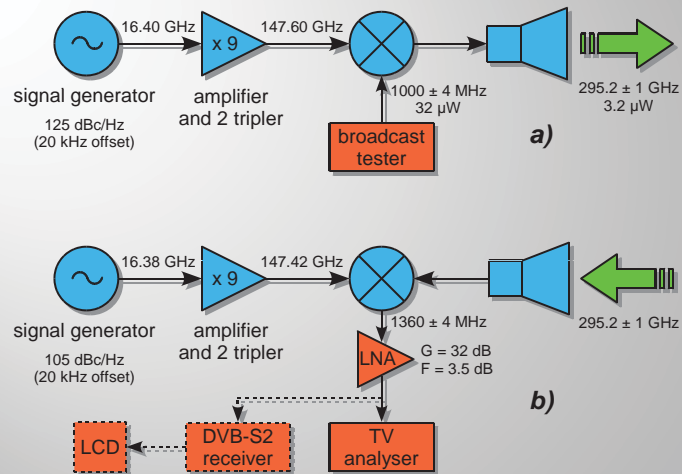
300GHz無線の利用イメージ:TCL



Wall paper

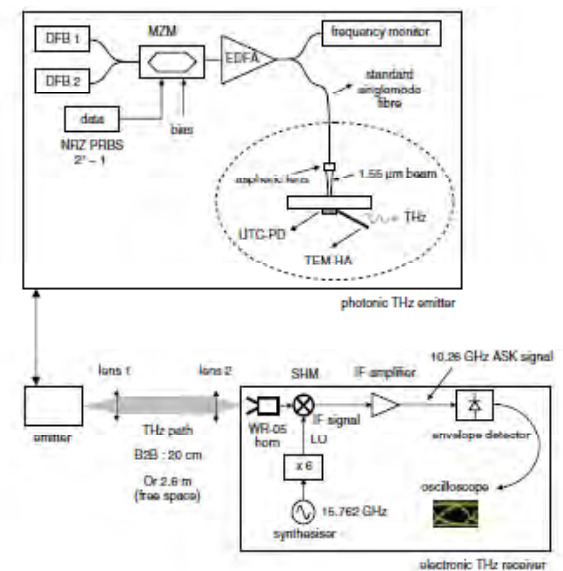
Terahertz Communications Lab
(Technical University of Braunschweig)

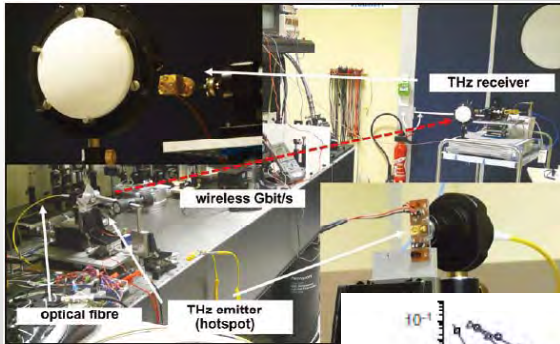
300GHz無線によるデジタル伝送:TCL



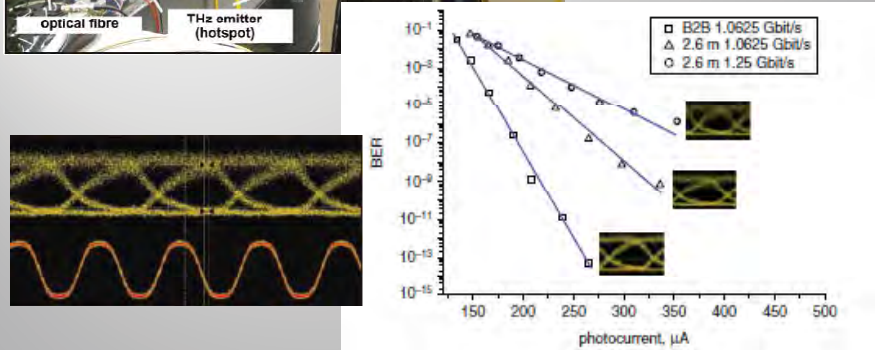
C. Jastrow, S. Priebe, B. Spitschan, J. Hartmann, M. Jacob, T. Kürner, T. Schrader and T. Kleine-Ostmann, Wireless digital data transmission at 300 GHz, Electron. Lett. **46**, 661-663 (2010).

200GHz無線: IEMN

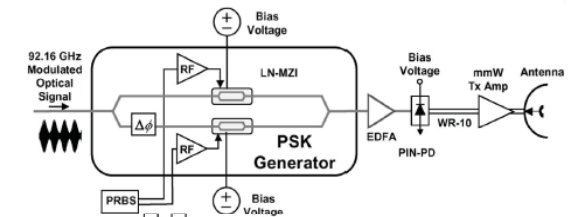
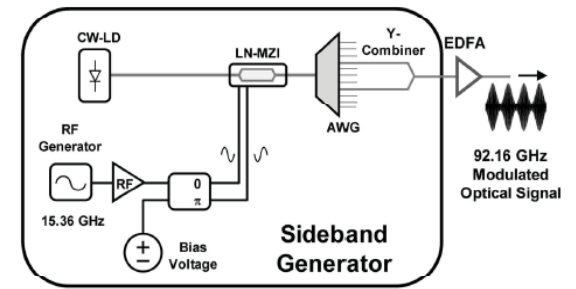




G. Ducournau et al., Optically power supplied Gbit/s wireless hotspot using 1.55 μm THz photomixer and heterodyne detection at 200 GHz, Electron. Lett., 16th September 2010 Vol. 46 No. 19.

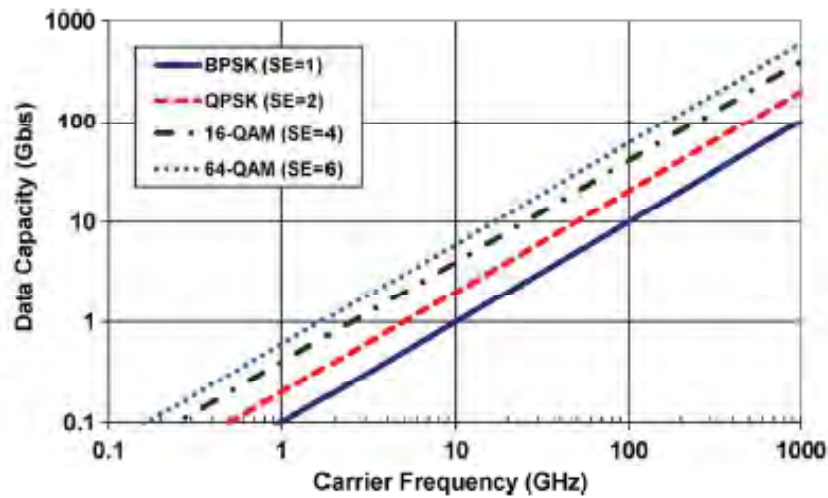


92GHz送信機: BMI

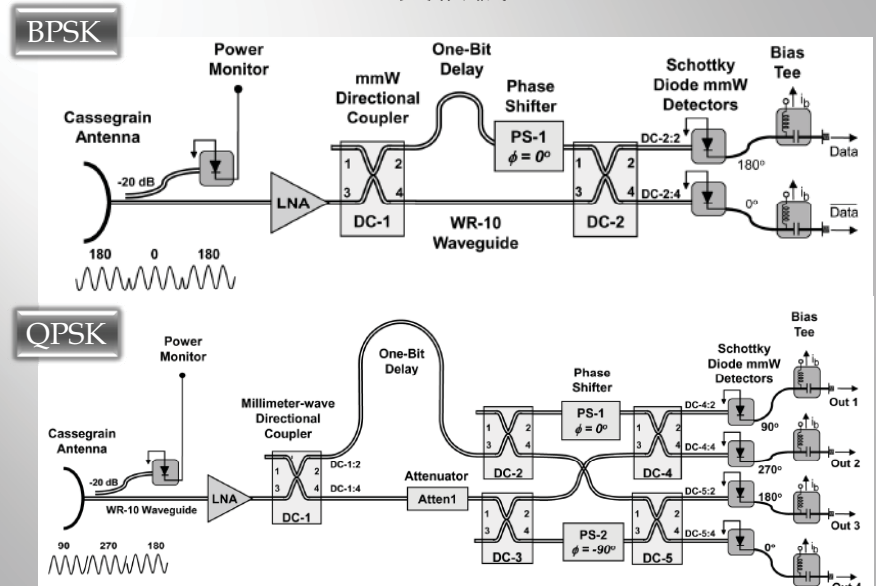


Ridgway et al., IEEE Trans. MTT, October 2010.

92GHz無線多値変調: BMI



92GHz受信機: BMI



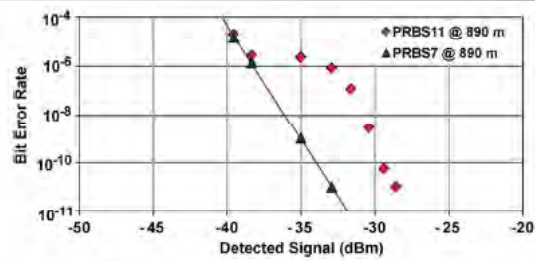
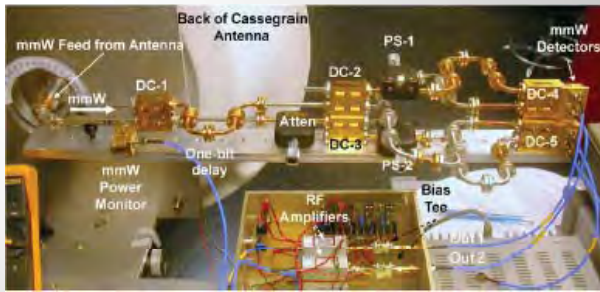
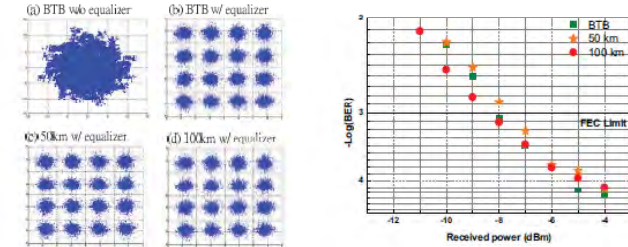
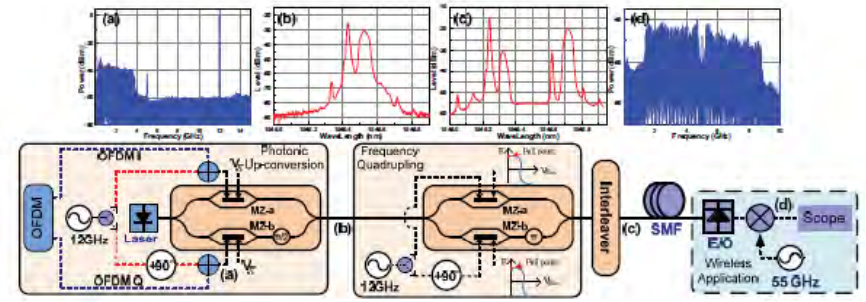


Fig. 13. Bit error rate as a function of received power for a DPSK modulation scheme at 2.3 Gb/s on a 92.16 GHz carrier. At a propagation distance of 890 m a mmW attenuator was used to simulate additional distance. The line in the figure represents an exponential fit to the PRBS7 data.

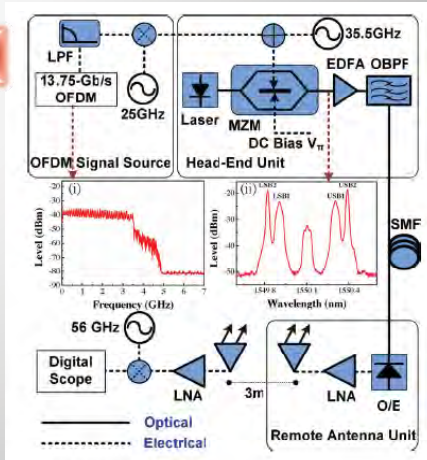
13



Chun-Ting Lin et al 28-Gb/s 16-QAM OFDM Radio-over-Fiber System Within 7-GHz License-Free Band at 60 GHz Employing All-Optical Up-conversion, OSA/CLEO/IQEC 2009.

60GHz多值化技術

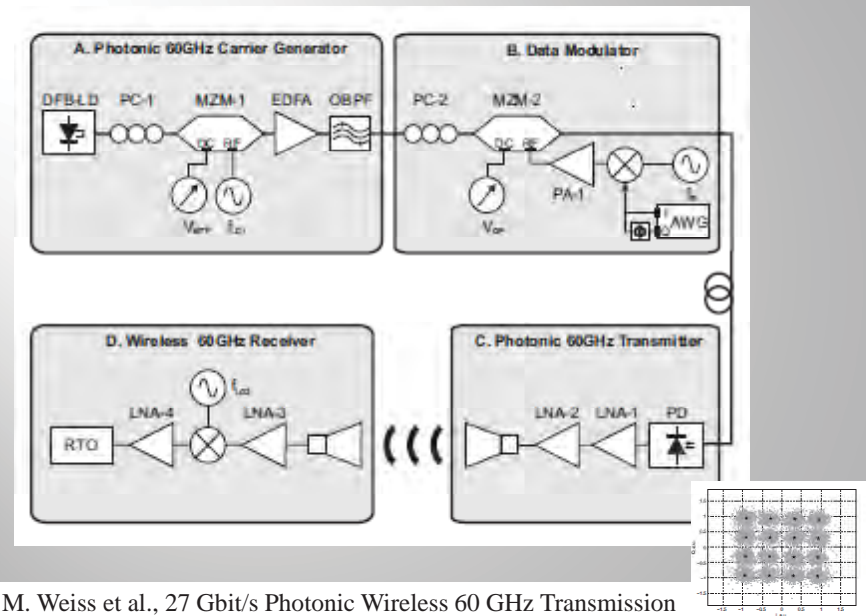
QPSK-OFDM



Wen-Jr Jiang et al., Simple 14-Gb/s Short-Range Radio-Over-Fiber System Employing a Single-Electrode MZM for 60-GHz Wireless Applications Journal of Lightwave Tech., VOL. 28, NO. 16, AUGUST 15, 2010.

National Chiao-Tung University, Taiwan

14



M. Weiss et al., 27 Gbit/s Photonic Wireless 60 GHz Transmission System using 16-QAM OFDM, MWP2009.

16

4-2 国際標準化に向けた取組み

(テーマ)	IEEE802.15 Terahertz Interest Group (IGthz)に関する動向
(講師)	NTT マイクロシステムインテグレーション研究所 主任研究員 味戸 克裕 (独)情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター グループリーダー 寶迫 巖

(1) ITU-R

ITU-R とは、電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合 (ITU:International Telecommunication Union) の無線通信部門 (ITU-Radiocommunication Sector) で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則 (RR:Radio Regulations) の改正、無線通信の技術・運用等の問題の研究、勧告の作成及び周波数の割当て・登録等を行っている。ITU-R 関連の国際対応状況は総務省電波利用ホームページ内の下記 URL に情報がまとめられているので参考としていただきたい。

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/index.htm>

【WRC-12 に向けた動き】

世界無線通信会議 (WRC: World Radiocommunication Conference) とは、ITU において各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規程、技術基準等を始めとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則 (RR) の改正を行うための会議で、各国主管庁及び ITU に登録している事業者等の関係団体が出席し、通常 3～4 年毎に開催される。今回は WRC-12 で、2012 年ジュネーブにて開催予定である。その議題及び概要 (2010 年 6 月現在) は下記 URL に示されている。

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/wrc/wrc12/kaitai.htm>

その中で、テラヘルツ帯に関連する議題と関連する国内体制のみを以下に抜粋する。

2012 年世界無線通信会議 (WRC-12) 議題一覧 (テラヘルツ帯関連抜粋)

議題 1.6 275-3000GHz の周波数利用及び光学通信に関する検討

決議第 950 (WRC-07、改) の規定に従い、275GHz と 3000GHz の間における受動業務によるスペクトルの使用状況を現行化するために無線通信規則第 5.565 号を見直し、決議第 955 (WRC-07) に従い、ITU-R の研究結果を考慮し、光空間固定無線リンクのための、適用し得る手続を検討すること。

【参考】

決議第 950 (WRC 07、改)
275GHz から 3000GHz までの周波数の使用の検討

世界無線通信会議（2007年ジュネーブ）は、以下を考慮し、

- a) 周波数分配表において、275GHz を超える周波数帯は分配されていないこと。
- b) 考慮事項 a) にもかかわらず、第 5.565 号は、様々な受動業務その他のあらゆる業務の実験や開発のために 275-1000GHz 帯の使用に関する規定を設けており、更なる研究を行う必要性を認めていること。
- c) 第 5.565 号はまた、周波数分配表を拡張される時点までの受動業務の保護の規定も設けていること。
- d) 第 5.565 号の規定で特定するスペクトル線に加えて、275GHz を超える周波数帯における研究活動により、例えば ITU-R 勧告 RA.314 に掲げられるものなど、他の関心のあるスペクトル線が生じる可能性があること。
- e) 様々な研究委員会において、適切なアプリケーションのシステム特性を含む、275GHz から 3000GHz までの間のシステムに関する研究が行われていること。
- f) 275GHz から 3000GHz までの周波数帯の現行の利用は、主として受動業務に関するものだが、予想される技術開発によって、この周波数帯は適切な能動業務のアプリケーションにとってますます重要になる可能性があること。
- g) 275GHz から 3000GHz までの間の周波数で運用する受動業務と他のあらゆる業務との間の共用研究は、ITU-R においてまだ完了していないこと。
- h) 現在まで 275-3000GHz 帯の多様な能動業務による使用がないということは、275GHz を超える周波数の全般的な分配を検討することが未だ早すぎるかもしれないことを示していること。

以下を認め、

- a) 275GHz を超える周波数における伝搬特性は、例えば空気吸収や大気散乱など、能動と受動双方のシステムの性能に重大な影響を与えるため、研究の必要があること。
- b) 適切なアプリケーションによる、275GHz から 3000GHz までの周波数帯の潜在的な使用について更に調査する必要があること。

以下に留意し、

- a) これら 275GHz から 3000GHz までの周波数帯を使用するために、国際的協力による多大な基盤投資が行われており、一例として、現在建設中の施設であるアタカマ大型ミリ波干渉計（ALMA）は、宇宙の構造に関する新たな洞察を提供するであろうこと
- b) 無線通信局の回章 CR/137 は、無線通信局が 275GHz 以下の周波数帯における地球探査衛星業務及び宇宙研究業務の衛星の能動センサ及び受動センサの特性を記録するために必要な追加情報を特定したこと。

以下に更に留意し、

- a) 275GHz から 3000GHz の間の周波数帯で運用するシステムを記録するために、留意事項 b) に示すものと類似のプロセス及び形式を用いる可能性があること。
- b) 275GHz から 3000GHz の間の周波数帯で運用する能動及び受動システムを記録することは、無線通信規則の変更が必要であると決定される日まで情報を提供することになること。

以下を決議し、

- 1 WRC-11 で受動業務による 275GHz から 3000GHz の間の周波数利用を現行化するために、ITU-R での研究結果を踏まえ、周波数分配は除いて無線通信規則の第 5.565 号の見直しをおこなうこと。
- 2 主管庁は、国際周波数登録原簿に記録するために 275GHz から 3000GHz の間の周波数帯で運用するシステムに関する詳細を提出でき、その詳細は第 8.4 号、第 11.8

号及び第 11. 12 号の規定に基づいて無線通信局が記録できること。

以下をITU-Rに要請し、
第 5. 565 号の改定を視野に入れ WRC-11 による検討に間に合うように、275GHz から
3000GHz の周波数帯に適した適用の助言も含め、必要な研究を行うこと。

以下を無線通信局長に指示する。
決議事項 2 に参照される提出を受領し、国際周波数登録原簿に記録すること。

(以下英文を引用)

RESOLUTION 950 (Rev. WRC-07)

Consideration of the use of the frequencies between 275 and 3 000 GHz
The World Radiocommunication Conference (Geneva, 2007),

considering

- a) that, in the Table of Frequency Allocations, frequency bands above 275 GHz are not allocated;
- b) that, notwithstanding considering a), No. 5. 565 makes provision for the use of the frequency band 275–1 000 GHz for experimentation with, and development of various passive services and all other services and recognizes the need to conduct further research;
- c) that No. 5. 565 also makes provision for the protection of passive services until, and if, such time as the Table of Frequency Allocations may be extended;
- d) that, in addition to the spectral lines identified by No. 5. 565, research activities in the bands above 275 GHz may yield other spectral lines of interest, such as those listed in Recommendation ITU-R RA. 314;
- e) that within various Radiocommunication Study Groups, studies on systems between 275 and 3 000 GHz, including system characteristics of suitable applications, are being considered;
- f) that the present use of the bands between 275 and 3 000 GHz is mainly related to the passive services, however, with anticipated technology development, the bands may become increasingly important for suitable active service applications;
- g) that sharing studies in ITU-R among passive services and all other services operating in frequencies between 275 and 3 000 GHz have not been completed;
- h) that the lack of use to date of the band 275–3 000 GHz by the various active services indicates a general consideration of frequency allocations above 275 GHz may be premature,

recognizing

- a) that propagation characteristics at frequencies above 275 GHz, such as atmospheric absorption and scattering, have a significant impact on the performance of both active and passive systems and need to be studied;
- b) that it is necessary to investigate further the potential uses of the bands between 275 and 3 000 GHz by suitable applications,

noting

- a) that significant infrastructure investments are being made under international collaboration for the use of these bands between 275 and 3 000

GHz, for example, the Atacama Large Millimetre Array (ALMA), a facility under construction that will provide new insights on the structure of the universe;

b) that Radiocommunication Bureau Circular Letter CR/137 identified additional information for the Bureau to record characteristics of active and passive sensors for Earth exploration-satellite service and space research service satellites, in frequency bands below 275 GHz,

further noting

- a) that a process and format similar to that provided in noting b) could be used to record systems operating in the 275 to 3 000 GHz band;
- b) that recording active and passive systems operating in the 275 to 3 000 GHz band will provide information until the date when, and if, it is determined that changes to the Radio Regulations are needed,

resolves

- 1 to review No. 5.565, excluding frequency allocations, in order to update the spectrum use between 275 GHz and 3 000 GHz by the passive services at WRC-11, taking into account the result of the ITU-R studies;
- 2 that administrations may submit for inclusion in the Master International Frequency Register details on systems which operate between 275 and 3 000 GHz and which may be recorded by the Radiocommunication Bureau under Nos. 8.4, 11.8 and 11.12,

invites ITU-R

to conduct the necessary studies in time for consideration by WRC-11 with a view to the modification of No. 5.565, including advice on the applications suitable for the band 275-3 000 GHz,

instructs the Director of the Radiocommunication Bureau

to accept submissions referred to in resolves 2, and to record them in the Master International Frequency Register.

議題 1.8 71-238GHzの固定業務に関連する技術的、規則的な検討

決議第731 (WRC-2000) 及び第732 (WRC-2000) の規定を考慮しつつ、71GHzと238GHzの間の周波数帯における固定業務に係る技術上及び規制上の問題についてのITU-Rの研究の進捗を検討すること。

【参考】

決議第731 (WRC-2000)

将来の権限ある世界無線通信会議による71GHz以上における受動及び能動業務間の共用及び隣接周波数帯の両立性に関する問題の検討

世界無線通信会議 (2000年イスタンブール) は、

- a) 周波数分配表に対し 71GHz以上の周波数帯についてこの会議で加えられた変更は、会議の開催時点で判明していた要求に基づくものであったこと
- b) 71GHz以上における受動業務のスペクトラムに対する要求は物理的現象に基づ

いているので良く知られており、この会議で周波数分配表に対し加えられた変更
に反映されていること

- c) 71GHz 以上のいくつかの周波数帯は、特定の大気パラメータ測定のために独特な
周波数帯なので、既に EESS（受動）及び SRS（能動）により利用されていること
- d) 71GHz 以上の周波数帯で運用する能動業務に対する要求及び実現計画について
は、現在、限られたことしか分かっていないこと
- e) 過去においては、技術の進歩がより高い周波数で運用する通信システムを実現
させてきており、同じように将来は通信技術を 71GHz 以上の周波数帯で利用でき
るようになることが期待できること
- f) 将来においては、新たな技術が利用可能になった場合に、能動及び受動業務に
対する代替スペクトラムの要求に対応できなければならないこと
- g) この会議で周波数割当て表に対し加えられた変更に対応して、71GHz 以上のいく
つかの周波数帯における業務に関する共用の研究が必要となる可能性があること
- h) 受動センサーに対する干渉基準が作成され、ITU-R 勧告 SA. 1029 に示されている
こと
- i) 電波天文に対する保護基準が作成され、ITU-R 勧告 RA. 769 に示されていること
- j) 電波天文業務に分配されている周波数帯に隣接する周波数帯に対して、いくつ
かの衛星ダウンリンクの分配が行われていること
- k) 71GHz 以上の周波数帯における能動及び受動業務に対する共用基準は、ITU-R 内
でまだ完全には作成されていないこと
- l) 71GHz 以上の受動業務の保護を保証するために、この会議では、100-102GHz、
148.5-151.5GHz 及び 226-231.5GHz などのいくつかの周波数帯において、起こり得
る共用の問題を防ぐため、能動及び受動業務両方に分配を行うのを避けたこと
を考慮し、

実現可能な範囲内において、能動及び受動業務間の共用による負担は、分配が行
われている業務間で公平に配分されるべきであることを認識し、

将来の権限ある会議が、71GHz 以上の周波数帯における能動業務の新たな要求に応
えるため、受動業務の要求を加味しながら、適宜無線通信規則を改訂することを視野
に入れて、ITU-R の研究結果を検討するべきであることを決議し、

この決議に示されたような、能動業務の新たな要求に応えるための第 5 条への変
更を行う可能性に留意し、国内の政策及び規則を策定する際にはこのことを考慮す
ることを主官庁に要請し、

- 1 100-102GHz、116-122.25GHz、148.5-151.5GHz、174.8-191.8GHz、226-231.5GHz
及び 235-238GHz など、これらに限らないがこうした 71GHz 以上の周波数帯におけ
る能動及び受動業務間の共用が可能であるか、またどのような条件で可能である
かについて決定するための研究を継続すること
- 2 宇宙業務（ダウンリンク）から 71GHz 以上の電波天文の周波数帯への隣接周波数
帯間の干渉を防ぐ手段を研究すること
- 3 研究の際には、実現可能な範囲内において、負担分担の原則を考慮に入れること
- 4 こうした周波数帯における能動業務の技術的特性が明らかになるときに、必要な
研究を完成させること
- 5 共用が可能である周波数帯に対する共用基準を規定する勧告を作成すること
を ITU-R に要請し、

この決議に対して、関係する国際的及び地域的組織の注意を喚起することを事務
総局長に指示する。

(以下英文を引用)

RESOLUTION 731 (WRC-2000)

Consideration by a future competent world radiocommunication conference of issues dealing with sharing and adjacent-band compatibility between passive and active services above 71 GHz The World Radiocommunication Conference (Istanbul, 2000),

considering

- a) that the changes made to the Table of Frequency Allocations by this Conference in bands above 71 GHz were based on the requirements known at the time of the Conference;
- b) that the passive service spectrum requirements above 71 GHz are based on physical phenomena and therefore are well known, and are reflected in the changes made to the Table of Frequency Allocations by this Conference;
- c) that several bands above 71 GHz are already used by Earth exploration-satellite service (passive) and space research service (passive) because they are unique bands for the measurement of specific atmospheric parameters;
- d) that there is currently only limited knowledge of requirements and implementation plans for the active services that will operate in bands above 71 GHz;
- e) that, in the past, technological developments have led to viable communication systems operating at increasingly higher frequencies, and that this can be expected to continue so as to make communication technology available in the future in the frequency bands above 71 GHz;
- f) that, in the future, alternative spectrum needs for the active and passive services should be accommodated when the new technologies become available;
- g) that, following the revisions to the Table of Frequency Allocations by this Conference, sharing studies may be required for services in some bands above 71 GHz;
- h) that interference criteria for passive sensors have been developed and are given in Recommendation ITU-R RS.1029;
- i) that protection criteria for radio astronomy have been developed and are given in Recommendation ITU-R RA.769;
- j) that several satellite downlink allocations have been made in bands adjacent to those allocated to the radio astronomy service;
- k) that, sharing criteria for active and passive services in bands above 71 GHz have not yet been fully developed within ITU-R;
- l) that, in order to ensure protection of passive services above 71 GHz, this Conference avoided making allocations to both active and passive services in some bands such as 100-102 GHz, 148.5-151.5 GHz and 226-231.5 GHz, so as to prevent potential sharing problems,

recognizing

that, to the extent practicable, the burden of sharing among active and passive services should be equitably distributed among the services to which allocations

are made,

resolves

that a future competent conference should consider the results of ITU-R studies with a view to revising the Radio Regulations, as appropriate, in order to accommodate the emerging requirements of active services, taking into account the requirements of the passive services, in bands above 71 GHz,

urges administrations

to note the possibility of changes to Article 5 to accommodate emerging requirements for active services, as indicated in this Resolution, and to take this into account in the development of national policies and regulations,

invites ITU-R

- 1 to continue its studies to determine if and under what conditions sharing is possible between active and passive services in the bands above 71 GHz, such as, but not limited to, 100–102 GHz, 116–122.25 GHz, 148.5–151.5 GHz, 174.8–191.8 GHz, 226–231.5 GHz and 235–238 GHz;
- 2 to study means of avoiding adjacent-band interference from space services (downlinks) into radio astronomy bands above 71 GHz;
- 3 to take into account the principles of burden-sharing to the extent practicable in their studies;
- 4 to complete the necessary studies when the technical characteristics of the active services in these bands are known;
- 5 to develop Recommendations specifying sharing criteria for those bands where sharing is feasible,

instructs the Secretary-General

to bring this Resolution to the attention of the international and regional organizations concerned.

表 4-1 WRC-12 に向けた国内検討体制

分科会	担当議題	議題内容	関連決議	責任 WP	CPM 章
規則・計画分科会	1.6	275–3000GHz 以上 利用	950, 955	1A	4
固定分科会	1.8	71–238GHz 固定	731, 732	5C	3

WRC-12 に向けた国内会合の主なスケジュールは下記 URL の参考資料 4 (WRC-12 に向けた主な会合スケジュール) に示されている。

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/inter/wrc/wrc12/34kai.htm>

国内において議題 1.6 に関しての積極的な動きは特にないのが現状である。

【テラヘルツに関連する ITU-R Question 一覧、他】

以下の一覧表に示す“ITU-R Question”が各 Study Group (SG)に挙げられている。これらの情報は、今後テラヘルツ帯に関しどの SG で議論するのが適当か？ また、どのような議題を立てて行くのが適当か？ と言った戦略を考える上で重要な情報となっている。

List of ITU-R Questions on Terahertz Subject					
Study Group	Question No.	Category	Status	Working Party	Abstract
01 Spectrum management	228/1	C1	Suppressed on 27 Oct 2008	1A	Possibility and relevance of including in the Radio Regulations frequency bands above 3 000 GHz
03 Radiowave propagation	228/1-3	C1	Active	3M	Propagation data required for the planning of space radio communication systems and space science service systems operating above 275 GHz.
04 Satellite services	264/4	C2	Active	4A	Technical and operational characteristics of networks of the fixed-satellite service operating above 275 GHz.
05 Terrestrial services	113-2/5	C1	Active	5C	Frequency sharing and compatibility between systems in the fixed service and systems of the Earth exploration-satellite service and the space research service.
	245/5	C1	Active	5C	Fixed service applications using frequency bands above 3 000 GHz.

07 Science services	226/7	C2	Active	7D	Frequency sharing between the radio astronomy service and other services in bands above 70 GHz.
	231/7	C2	Active	7C	Earth exploration-satellite service (active) and space research service (active) operating above 100 GHz.
	235-1/7	C2	Active	7B, 7C, 7D	Technical and operational characteristics of applications of science services operating above 275 GHz.

The categories used to identify the priority and urgency of Questions to be studied are:	
C:	Conference-oriented Questions associated with work related to specific preparations for, and decisions of, world and regional radiocommunication conferences:
C1:	Very urgent and priority studies, required for the next World Radiocommunication Conference;
C2:	Urgent studies, expected to be required for other radiocommunication conferences;
S:	Questions which are intended to respond to:
-	Matters referred to the Radiocommunication Assembly by the Plenipotentiary Conference, any other conference, the Council, the Radio Regulations Board;
-	Advances in radiocommunication technology or spectrum management;
-	Changes in radio usage or operation:
S1:	Urgent studies which are intended to be completed within two years;
S2:	Important studies, necessary for the development of radiocommunications;
S3:	Required studies, expected to facilitate the development of radiocommunications

“Technical Report”を入力する場合、いずれの Working Party (WA)に入力するにしても“Technical Report”として議長に無視されないように作成することが必要である。時期は新しい Study Period に入る 2011 年 6 月が一番早いタイミングとなる。それ以降では、さらに 3 年後が目

安となる。下記に示す“Active”な議題に絡めて提案して行く等、状況を整理し、今後出現するサービスを見込んで進めることが重要となる。

IAU (International Astronomical Union)からは、WRC-12 Agenda item 1.6 Resolution 950 に関連して、日本の国立天文台が中心となって Document 7/95-E “Sharing between the radio astronomy service and active services in the frequency range 275-3 000 GHz”が 2010 年 10 月に WP7D に入力されている。この文書に関連しては「測定法がない以上 RR、分配に影響が及ぶことはない」と言え、現状で能動業務(active services)を制限するものではない。当該入力文書においては、下記の引用の通りワーストケースとしての地上の天文観測業務への与干渉条件を計算している。主な条件は、送信機と受信機が高度 3000m において対向しており、送信機は直径 30cm のアンテナを持ち現在得られる最大の出力で動作しているとしている。

A “close-to-worst-case” terrestrial scenario for interference to the radio astronomy service from an active system in the 275-3 000 GHz range would be a transmitter running maximum available RF power into a relatively large transmit antenna pointing directly at a radio telescope, with both transmitter and telescope at a high elevation. To simulate this scenario and determine the distance at which the existence of the transmitter could be problematic for the radio telescope, it will be assumed that the radio telescope and the transmitter are both at 3 000 m altitude, that the transmitter is running maximum available power (equation (8) $P_T = 0.01(1000 - f_{\text{GHz}})$ dBm), and that the transmit antenna is 30 cm in diameter with $\alpha = 0.75$. Under these assumptions, the distance at which interference (as defined by equation (10)) would occur can be computed. The results are plotted in Figure 2 for 275-1 000 GHz, and in Figure 3 for 1 000-3 000 GHz.

この時の最大離隔距離を周波数 275-1 000 GHz に対して示したものが当該文書の図 4-1、周波数 1 000-3 000 GHz に対して示したものが、当該文書の図 4-2 である。それぞれ下記に引用する。

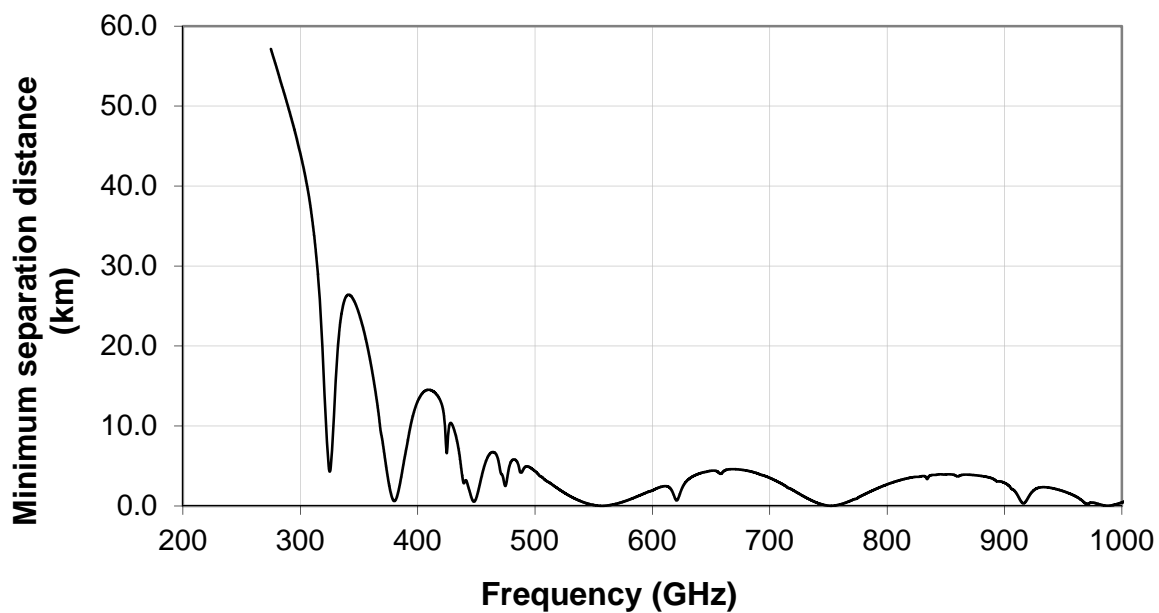


図4-1 地上の電波観測業務への与干渉条件（周波数 275-1,000GHz）

Distance beyond which a transmitted signal at frequencies between 275 and 1 000 GHz would not exceed radio astronomy interference thresholds extrapolated from Recommendation ITU-R RA.769, based upon near-worst-case assumptions described in the text

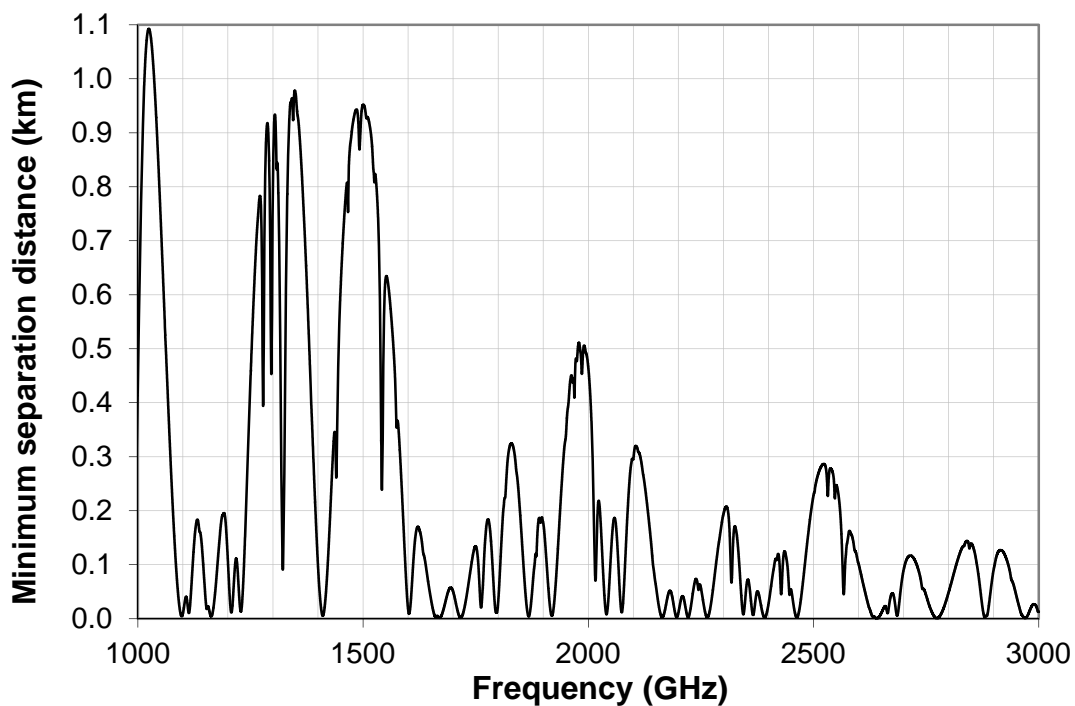


図4-2 地上の電波観測業務への与干渉条件（周波数

Distance beyond which a transmitted signal at frequencies between 1 000 and 3 000 GHz would not exceed radio astronomy interference thresholds extrapolated from Recommendation ITU-R RA.769, based upon near-worst-case assumptions described in the text

上記図4-1を見ると、離隔距離が最大となるのは 275GHz (出力 7.25dBm)で、その距離は約 60km 弱である。上記の計算条件はチリの ALMA 望遠鏡を想定しているものであるため、ALMA から 60km 以内に出力 7.25dBm 以上の送信機を持ち込まない限り、その他の地域では共用できると言ってもよい。

また当該文書では、航空機搭載や衛星搭載の送信機からの与干渉条件も合わせて検討している。その計算条件を下記に引用する。いずれの場合も、特殊な場合を除き、干渉を与える可能性は低いとしている。

“Airborne transmitter into radio telescope”

The assumed interference scenario is:

- Radio astronomy observatory located at an elevation of 3 000 m.
- Airplane flying at an altitude of 10 000 m.
- Transmitter antenna with 5 cm diameter with 75% illumination efficiency pointing directly downward.
- Airplane flies directly over the centre of the radio telescope, at a speed of 600 km/h.
- Frequency of 275 GHz.

This scenario represents a near-worst-case situation because: the transmit antenna is of relatively small size (wide beam); the frequency is at the lower limit of the band under consideration, creating the widest antenna beam; and the airplane flies directly over the telescope at a relatively low speed, maximizing the duration of interference.

“Satellite transmitter into radio telescope”

For computing the possibility of interference from non-GSO satellites into a radio telescope, the same methodology as Section 5.2 is used. The following assumptions are employed:

- circular orbit;
- transmitter antenna of 5 cm diameter and 75% illumination efficiency pointed directly downward, with maximum available transmit power (7 dBm), resulting in 50 dBm e.i.r.p.;

- satellite passes directly over the centre of the radio telescope;
- frequency of 275 GHz.

WRC-12 の議題 1.6 では、受動業務(天文、地球環境計測等)によるスペクトルの使用状況を現行化するために無線通信規則第 5.565 号(No. 5.565 of the Radio Regulations (RR))のフットノートに記述されている受動業務が利用する周波数ラインリストの見直しを行うこととなっている。現状では下記に引用する周波数ラインが、挙げられている。そのリストを下記に引用する。

- radio astronomy service: 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz, 426-442 GHz, 453-510 GHz, 623-711 GHz, 795-909 GHz and 926-945 GHz;
- Earth exploration-satellite service (passive) and space research service (passive): 275-277 GHz, 294-306 GHz, 316-334 GHz, 342-349 GHz, 363-365 GHz, 371-389 GHz, 416-434 GHz, 442-444 GHz, 496-506 GHz, 546-568 GHz, 624-629 GHz, 634-654 GHz, 659-661 GHz, 684-692 GHz, 730-732 GHz, 851-853 GHz and 951-956 GHz.

この改訂版となるリストが”Question 235-1/7”関連として WP7D に挙げられているが、上記の議論を踏まえると、能動業務と受動業務の間では、特殊な事例を除き、干渉を与える可能性は無視し得るほど小さいことから、能動業務側から WRC-12 の議題 1.6 に関して過剰に反応する必要は、少なくとも現時点では、無いと言ってよい。

WRC-12 の議題 1.8 では、71GHz-238GHz が対象となっている。100GHz 以上 10THz 以下の周波数帯をテラヘルツ帯と定義するのであれば、この議題もテラヘルツ帯関連議題として考える必要がある。しかしながら議題 1.6 と異なり、既に周波数利用が定められている 275GHz 以下の周波数帯であることから、議論状況を常に掌握しておく必要はあるが、議題 1.8 に関して「テラヘルツ帯」として何らかの活動をする必然性は乏しいと言える。

(2) IEEE 802.15 WPAN Terahertz Interest Group (IGthz)

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE: (米)電気電子技術者協会)の近距離無線通信の標準化を進める IEEE802.15 委員会が「テラヘルツ波に関する検討部会 (Interest Group : IGthz)」を 2008 年に立ち上げた。その目的は無線通信のためのテラヘルツ帯電磁波を利用の実現可能性について調査するためである。IEEE802.15 ワーキンググループは Interest Groups(IG)、Study Groups(SG)、Task Groups(TG)、および常任委員会から成っており、IG は技術調査する目的のための非公式委員会、SG は TG(すなわち、PAR と 5C)を形成するための書類を作る非公式の委員会、TG は標準化規格を生成する選挙権を必要とする正規委員会である。IG が

SGを経てTGとなるには、問題となっている技術が「5つの評価基準(5C): 1. 広い市場の潜在能力、2. 互換性、3. 明確な独自性、4. 技術的実行可能性、5. 経済実行可能性」を満たしていることを示す必要がある。

IGthzにおいては、標準化の第一段階としてテラヘルツ電磁波の無線通信への利用可能性を調査している。300GHz(おそらくは275GHz以上という意味)~3000GHzの2700GHz帯域幅の、現状では利用目的が定められていない「無人の帯域」と認識されている周波数帯を対象としている。特に近年 f_{max} が1THzを超えて来ている超高周波トランジスタによって利用可能となる300GHz(~600GHz)帯の電磁波を用いた100Gbit/s超の無線伝送に、議論の焦点を合わせている。

現在の議長はドイツの Technische Universität Braunschweig の Prof. Thomas Kürner、副議長は米国 ATT の Dr. David Britz であり、事務局は日本の NTT 味戸克裕である。彼らの方針は、上記5つの評価基準に関してテラヘルツ技術の現状を完全に理解したいと言う点にあり、そのため年4回程度の会合に多くの参加者が参加するように呼びかけている。IGthzの全ての文書等には <http://www.ieee802.org/15/pub/IGthz.html> からアクセスでき、現在の議論内容を留意に理解できるようになっている。

2011年3月時点でIGthzが立ち上がって3年程度が経過しているが、IGthzへの参加者はあまり拡大しておらず、会合へのおおよその参加者は約20名以下程度に限られている。今後はさらに参加者を募り、上記5C、特に市場性や経済実行可能性を明確に示し、多くの参加者を得ることが重要である。

4-3 電波干渉(電波天文)

(テーマ) 電波天文関係について

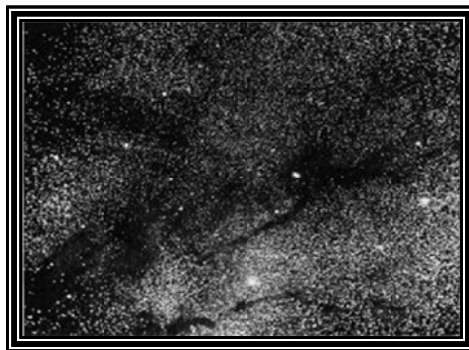
(講師) 大阪府立大学 理学系研究科 教授 小川 英夫

実際に、THz帯を地上での業務に利用した場合に、電波干渉の問題となるのか、委員会にて議論を行うため、日本国内および世界で天文用に利用されている、あるいは利用予定の100GHz以上の周波数帯域の研究について、装置面で詳しい大阪府立大学 理学系研究科 宇宙物理学研究室の小川英夫先生に講演をいただいた。

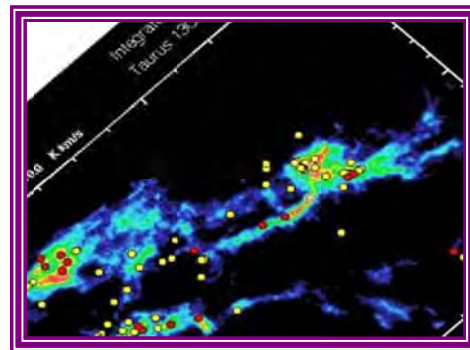
電波天文学において0.1~1THz帯を観測するのは、主に、惑星誕生の謎、銀河誕生の謎、生命誕生の謎の3つの謎を解明するためであり、現在、そのために利用されている電波望遠鏡は、以下のものがある。

- ・ 国内
 - 45m(国立天文台)(天文) 100~150GHz
 - 10m×5 (国立天文台)(天文) 100~230GHz
 - 1.85m (大阪府大)(天文) 115、230、345GHz
 - 0.6m(東大)(天文) 230GHz
 - 0.01m(国立環境研究所(つくば、陸別))(大気) 100GHz
- ・ 南米(チリ)
 - ASTE(国立天文台)(天文) 100~800GHz
 - ALMA(国立天文台ほか)(天文) 12m×54台
2012年稼働予定 7m×12台 12m×4台 100~800GHz
 - NANTEN2(名大)(天文) 100~800GHz
 - 0.01m(名大)(大気) 100~250GHz
- ・ 南極
 - 1.2m(筑波)(天文)(大気)・・・予定 230~800GHz
 - 0.01 (名大)(大気)・・・予定 200~300GHz

電波観測の特長: 可視光では見えない高密度の領域調査



可視光写真
おうし座にある暗黒星雲



電波観測
おうし座にある分子雲
(名古屋大学グループによる観測)

国内の電波望遠鏡は、ほとんどが長野県の国立天文台野辺山宇宙電波観測所内にあり、主に、野辺山にある電波望遠鏡のアンテナへの干渉の有無が国内では対象となる。



図 4-3 国立天文台野辺山 45m 電波望遠鏡 ©国立天文台

一方、世界的にはヨーロッパを代表する ESO、東アジアを代表する日本の国立天文台 (NAOJ)、北米を代表する米国国立電波天文台 (NRAO) が合同で南米チリのアタカマ高地 (砂漠) に建設を進めている ALMA: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array が中心である。



図 4-4 ALMA の巨大電波干渉計群 ©国立天文台

ALMA では、口径 12m の電波望遠鏡 54 台および口径 7m の電波望遠鏡 12 台を利用し、観測周波数 30~950GHz の範囲を利用する計画となっている。この周波数帯を 10 個のバンドに分け、日欧米が表 4-2 に示すような役割分担で装置開発を推進しており、日本 (国立天文台) は、最もバンド数が多く、バンド 4, 8, 10 の 3 つのバンドの開発を進めている。

表 4-2 ALMAの観測周波数バンド

ALMA の観測周波数

受信バンド	周波数帯域(GHz)	雑音温度	担当機関
バンド1	31.3-45.0	17 K	—
バンド2	67-90	30 K	—
バンド3	84-116	37 K	北米(カナダ)
バンド4	125-163	51 K	国立天文台
バンド5	163-211	65 K	—
バンド6	211-275	83 K	北米(米国)
バンド7	275-373	147 K	欧州(フランス)
バンド8	385-500	196 K	国立天文台
バンド9	602-720	175 K	欧州(オランダ)
バンド10	787-950	230 K	国立天文台

これらの装置を構成する技術要素には、図 4-5 に示すようなブロックがあり、光学系(コルゲートホーン)、偏波分離器、サイドバンド分離ミキサ(超伝導ミキサ)、冷却増幅器 の4つの技術開発が重要である。

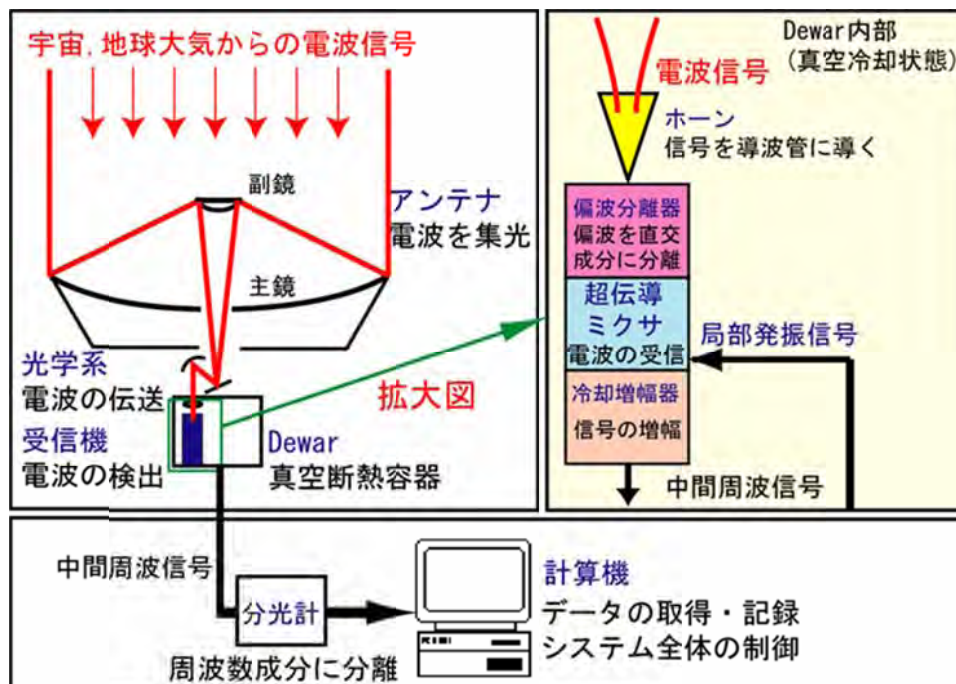


図 4-5 電波望遠鏡システム構成

これらの各要素を開発するベースとなる技術は、ヘテロダイン受信方式を用いて THz 波通信を実現することを想定した場合には、共通する機能も考えられる。

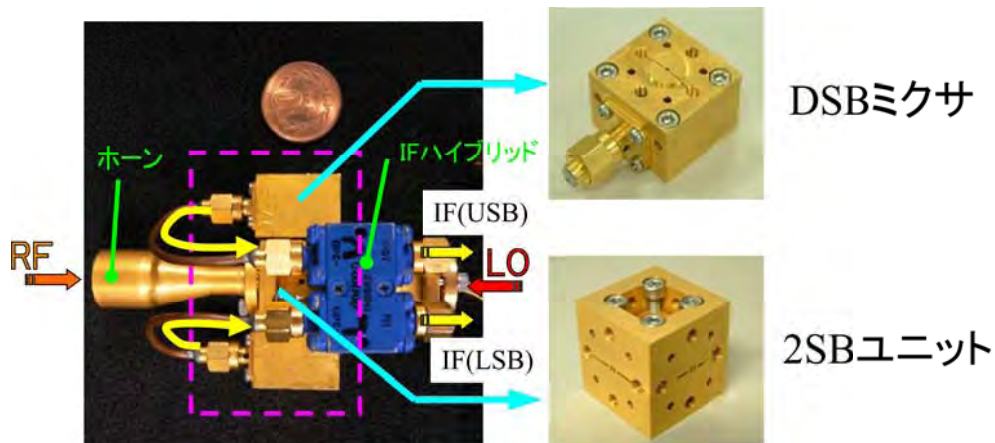


図 4-6 230GHz 帯サイドバンド分離受信機

図 4-6 は、大阪府立大で開発し、実際の電波望遠鏡に搭載され、天文観測に実用されている 230GHz 帯サイドバンド分離受信機である。

以上より、日本国内では、THz波帯を利用した地上業務を商用として利用できるようにするためには、主に野辺山の国立天文台のアンテナ群への影響を考慮した干渉に関する評価が必要である。これらについては、総務省による情報通信審議会の小電力委員会にて検討が進められている 70GHz帯/80GHz帯無線システムによる離隔距離に準ずるものとなることが想定される。また、海外の場合は、チリでの ALMA 計画への影響を考慮した評価が重要であり、4-2 の図 4-1 で示したとおり、離隔距離が最大となる 275GHz (出力 7.25dBm)の約 60km 弱がひとつの目安として考えられる。

なお、本検討では、主に電波天文用のアンテナへの与干渉という視点での検討であったが、これ以下に、地球探査衛星などの地上の環境等をモニタリングする衛星への与干渉についても検討する必要がある。

いずれにせよ 100GHz~1THz を受動業務として利用している国立天文台等との議論を継続的に行い、周波数利用に関するコンセンサスを醸成していくことが重要である。

第5章 各種要素技術の動向

5-1 高速信号処理技術、周辺技術の最新動向

(テーマ)	シリコンテクノロジーを中心とした高速信号処理技術、周辺技術の動向
(講師)	ルネサスエレクトロニクス株式会社 技術開発本部 システムコア開発統括部 統括部長 有本和民

LSI 技術の進展により、人が快適な生活を過ごすため、言い換えれば、技術が単なるビジネスから要求されるレベルを超えて、人を思いやる時代になっている。同時にコストパフォーマンスからエネルギーパフォーマンス(エコ、グリーン等で表現される高エネルギー効率指向)のほうに重要視される価値の変遷も起こっている。このような背景を踏まえ、マルチコア(複数の CPU による処理)を中核としたハードウェアとソフトウェアの協調設計による、高速信号処理技術、周辺技術の最新動向について述べる。

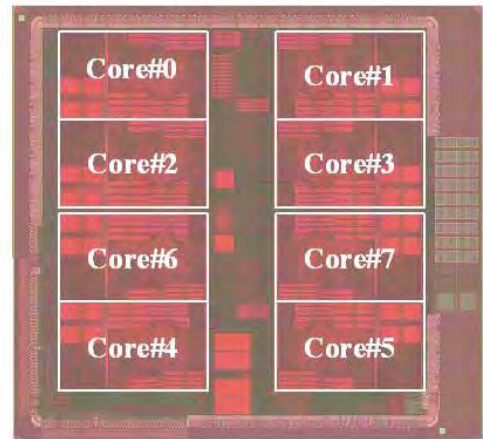
システムの高度化・複雑化の要求に対し、ハードウェアは、半導体の微細化の継続的な進展により1チップに搭載可能な CPU コア・IP の数は増加したが、トランジスタのリーク電流の増加を伴い、動作周波数向上以上に消費電力の増加をまねくため、動作周波数向上による処理性能向上からマルチコアによる処理性能向上が図られている。また制御用の処理を各 CPU に分散させることで、リアルタイム応答性能の向上も可能となる。微細化によりデバイス特性の製造ばらつきが大きくなる現象に対しても、さまざまな動作補償技術が取り入れられ、製造上の課題も克服されている。前述の高性能化は、低消費電力スケールデバイス・回路設計技術、アーキテクチャ設計、信号処理アルゴリズム等の各レイヤーの密な協調設計技術により実現されている。特に、画像処理等では、信号処理アルゴリズムの並列化が、システム全体の高エネルギー効率を実現している。一方、年を追うごとにソフトウェアの機能は増加し、ソフトウェアのテストおよびチューニング費用の増大を引き起こし、ソフトウェア開発コストはトータルシステムコストの60%を占める場合も出てきている。これに対し、マルチコアは、複雑化するシステム仕様に対し、ハードウェアやソフトウェアの各種レイヤーに API(Application Program Interface)を設けることにより、それらの再利用性を高めて、設計コスト低減、設計期間短縮を実現するプラットフォーム設計手法との整合性が高い。またマルチコア用のコンパイラ技術や検証技術も相まって進展している。

図1は 45nmCMOS で作製された8個の CPU を搭載した SoC(System On Chip)であり、このマルチ CPU チップの特徴は 各々の CPU を別々の動作周波数で動作させることができ、動作電力は動作周波数に比例する。データの一貫性を維持しつつ、処理の重いところはフルスピードで 中くらいの負荷のところは 負荷に応じた周波数で CPU を動作させることにより、低消費電力化を可能としている。一方、組み込み用途を中心に、より一層の高性能システムを低消費電力で実現していくために、ソフトウェアに対する柔軟性の高い CPU に加え、処理に合わせてハードウェア設

計された並列実行性が高く、電力性能効率が低いアクセラレータを付加するケースが増えている。しかし、処理に合わせたハードウェアなので、柔軟性がなく、機能拡張や仕様変更があると、ハードウェアの再設計という長い開発期間を必要とする。この二つの解の間には、柔軟性と性能効率・電力効率におけるトレードオフの関係がある。

ユビキタス時代の現在、処理に合わせてハードウェア設計をしたアクセラレータでは、モバイル機器やマルチメディア機器等の多様なアプリケーションに対応した新規アルゴリズム処理、新規コーディック方式等を組み合わせた協調設計で高性能、低電力を実現するが、継続的なシステム性能向上要求に対し、高速・低消費電力マルチコアCPUに加え柔軟性を高めたDSP やプログラマブルなアクセラレータの搭載が有力な解決策になっている。図2は、横軸が柔軟性、縦軸が並列実行性(性能効率)と低電力性となっていて、多様なアプリケーションに適したアクセラレータがマッピングされている。また並列性の少ない処理には、逐次処理部の性能向上に適した機能を搭載する。つまり組込み機器向けマルチコア技術は、アプリケーションの成熟度に応じて、種々の最適技術を組み合わせたヘテロジニアスなマルチコアが有力な解となっている。

マルチコア・アーキテクチャ (電力制御SoC)



ISSCC2008 論文番号4.5 (ルネサス他)から引用

図5-1 8CPU 搭載マルチコア SoC

あらゆる先端プロセッサ技術を組み合わせて、安全、安心、快適で、持続可能な社会を実現する。

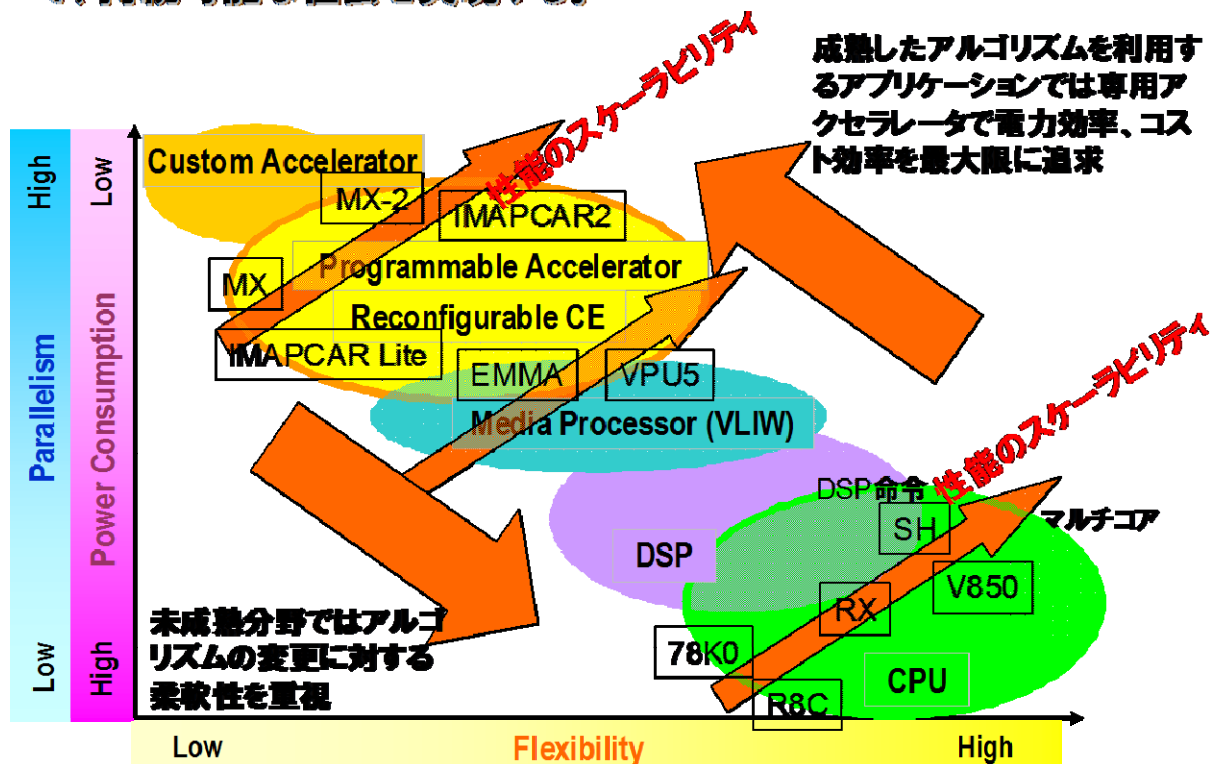


図5-2 ヘテロジニアス対応各種コア特性

今後は、マルチコアから、さらに搭載コア数の多いメニイコアの方向へ向かっていくが、多数のコア間を接続する NoC(Network On Chip)によるルーティング制御を中心に、メニイコアシステム向けの電力・性能制御技術を取り込んだ並列プログラム開発環境、シェアードメモリ、CPU 多重化による高信頼性技術等が重要な技術開発要素となり、システムの継続的・飛躍的な高性能化が実現されていくと考えられる。(図5-3参照)

マルチコアチップコネクション→メニイコアへ (ネットワーク部が主な技術課題に)

①マルチコア用動作環境

ハードウェア構造と課題

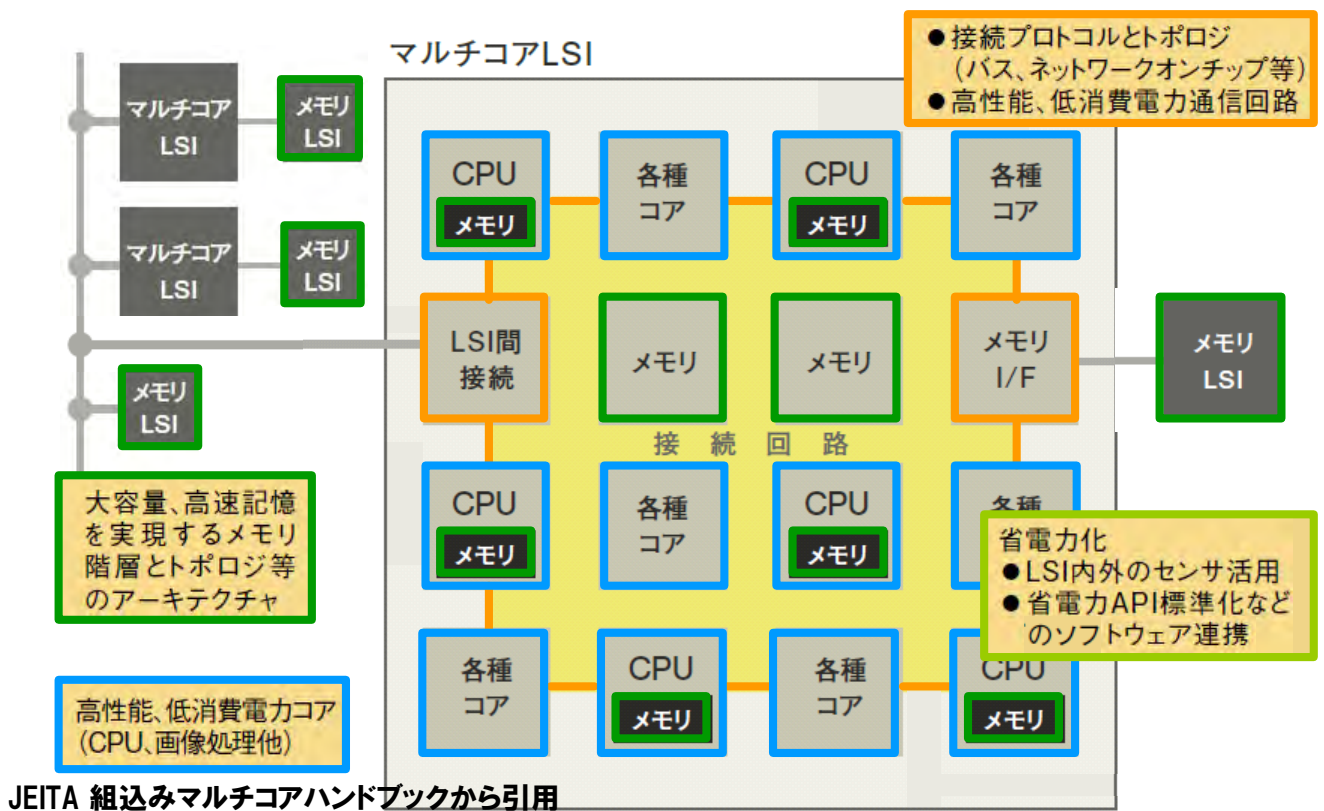


図5-3 メニイコア構成図

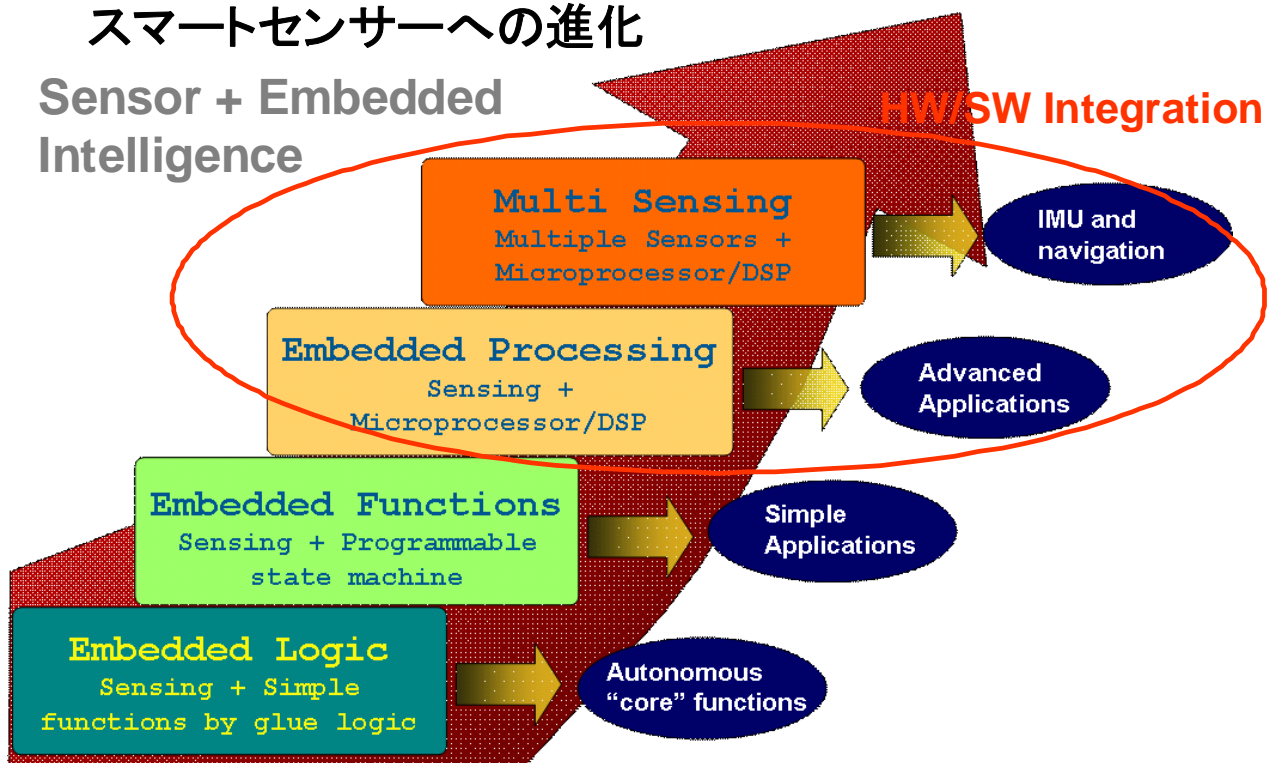
半導体デバイスは今まで Moore の法則の下、スケーリングを進めてきたが、微細化デバイスの物理的限界や製造コスト等の経済的要因から、今後のシステムオンチップ化が、微細化を継続する More Moore と異種デバイスを融合する More Than Moore の2つの解になっていく。

特に組み込みアプリケーションでは、異種デバイス融合によりシステムの高性能化を推進していくと考えられる。従来 System In Package Chip (SiP) と呼ばれ、SoC とメモリをひとつのパッケージに

封止していたが、今後は、各種センサー、MEMS、高周波化合物半導体デバイス等を一体化してパッケージすることで、システムの小型化、低消費電力化、低コスト化を推進していく。この場合単なる物理的な一体化だけでなく、異種デバイスの互いの利点を融合し新しいシステムを実現する真の一体化が重要となる。チップ間通信機構をベースにセンサー等と回路とを融合するためのアーキテクチャ、回路モデリング、テスト、ソフトウェア等の技術が、異種デバイスの新しいアプリケーションを創造していくと考えられる。TSV (Through Silicon Vias)とフレキシブルインターコネクトによるCMOS SoCと多数のセンサー・MEMSの3次元実装によるインテリジェントセンシングシステムが構築されていく。(図5-4参照)

テラヘルツ時代においては、物理層を介して受け渡しされる膨大なデータに対し、各アプリケーションに要求される信号処理速度性能要求に対し、エネルギー効率を最大にする、信号処理、電力制御、フレキシブル技術、異種デバイス融合実装技術等が、マルチコア、メニコア技術を核にしたプラットフォーム上で実現されていくと予想される。

Fusion of MEMS and CIRCUIT スマートセンサーへの進化



ISSCC2010 Evening Session ES.3より引用

図5-4 異種デバイス融合の進化

5-2 THz エレクトロニクス時代における化合物半導体デバイス技術

(テーマ) THzエレクトロニクス時代における化合物半導体デバイス技術
(講師) NTT フォトニクス研究所 所長 榎木孝知

【概要】

高性能デバイス特性、多様なアナログ特性を必要とするTHzエレクトロニクスに対して、ヘテロジニアス集積で各種デバイスの性能を最大限に発揮することが求められる。現状、ヘテロジニアス集積は米国を中心に研究が加速している。欧米では軍用に高速化デバイスの開発がのぞまれ、異業種の各社がプロジェクトに参加する形で連携し高速・小型化を実現している。逆に国内は、既存の応用を目指したデバイス開発が主で、高性能デバイスによる新規応用や市場の形成等の開発が停滞している。持続的なデバイス開発には、開発に見合う市場が必要であるが代替技術の台頭や、市場規模の成長を待ちきれないなど、現状では新規開発が困難である。長期的な高い目標を掲げて、開発段階から異業種間で連携し、技術の高度化と技術融合を試みる必要がある。

【内容】

化合物半導体の高電子移動度チャネルとゲート長の微細化により 300GHz 帯の LNA(Low Noise Amp: 低雑音増幅回路)、NF(Noise Figure: 雑音指数)4dB 以下を実現できる可能性がある。既に周波数特性は到達されており、NF は低減に向けた開発に着手すれば 2 年程度で実現可能と考えられる。寄生素子の低減が可能となれば、2THz 級の帯域も期待できる。Rg、Rs、Rd をどのように低減するかが技術課題である。

信号源と検出器は必須のデバイスであり、300GHz 以下では化合物トランジスタが有利である。300GHz 超の領域では UTC-PD(Uni-Traveling-Carrier Photodiode: 単一走行キャリア・フォトダイオード)や RTD(Resonant Tunnel Diode: トンネル共鳴ダイオード)が世界最高出力である。NTT フォトニクス研究所と、東工大は室温において 1.04THz を約 7 μ W の出力で発生させるデバイスを実現した。

Si 系のトランジスタは高速化が期待される一方で耐圧の低下が課題であり、研究トレンドは CNT(Carbon nanotube: カーボンナノチューブ)、グラフェン、化合物 MOS、スピンなどの新原理や新材料の開拓に動いている。InP 系 HEMT(High Electron Mobility Transistor: 高電子移動度トランジスタ)や HBT(Heterojunction Bipolar Transistor: ヘテロ接合バイポーラトランジスタ)は耐圧と高周波特性のトレードオフマージンが大きく、欧米は軍事向けに高速化を継続開発している。米国は DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)が COSMOS(Compound Semiconductor Materials on Silicon)プロジェクトを実施しており、小型、高性能化の実現に向け、異業種間の連携、ヘテロジニアス集積に取り組んでいる。欧州ではテラビットイーサネットのプロジェクト GALACTICO が異業種間を結び研究開発を行っている。

一方で国内は開発が停滞しているのが現状である。持続的なデバイス開発には、開発に見合う市場と、戦略に沿った開発が必要であるが、各大学、各社が個別に研究している現状では、市場規模の成長を待ちきれない、一定市場に複数企業が参入しパイを分割する、代替技術の台頭など、新規開発を継続的に実行することが困難となってきている。国内においても、長期的に高い目標を掲げ、開発段階から異業種間で連携して、技術の高度化と技術融合を試みる枠組みが必要である。

※ 次のページに説明資料を掲載する。

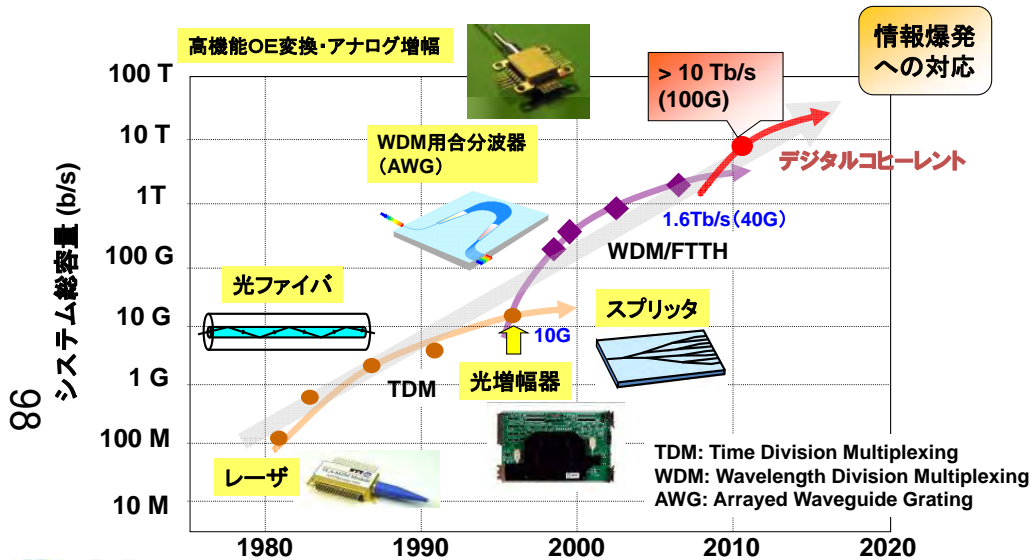
THzエレクトロニクス時代における 化合物半導体デバイス技術

NTTフォトニクス研究所
榎木孝知
2011. 1. 14

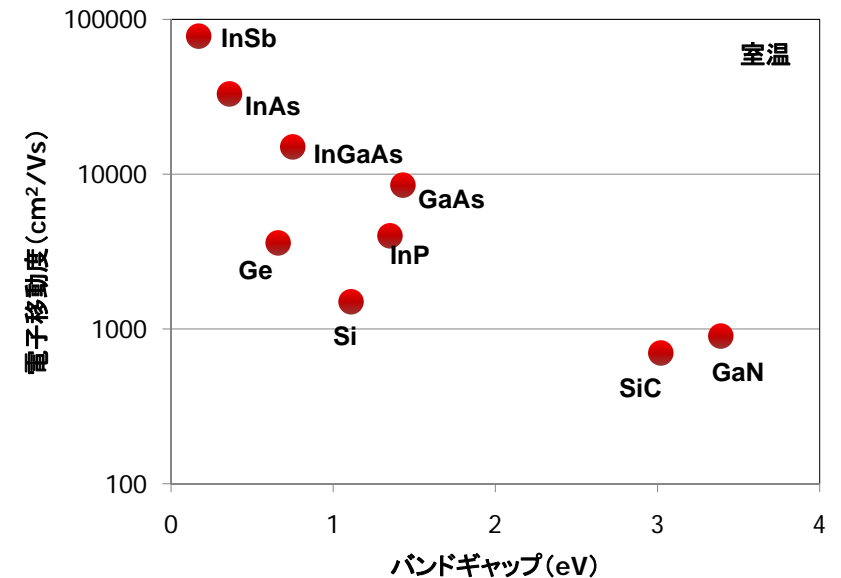
- ◆ 通信を支えるハードウェア技術
- ◆ 高周波化合物半導体電子デバイスの役割
- ◆ 高周波化合物半導体電子デバイスの現状と可能性
- ◆ 海外での取り組み例
- ◆ 持続的なデバイス開発の課題

光ファイバ伝送実用システムの進展

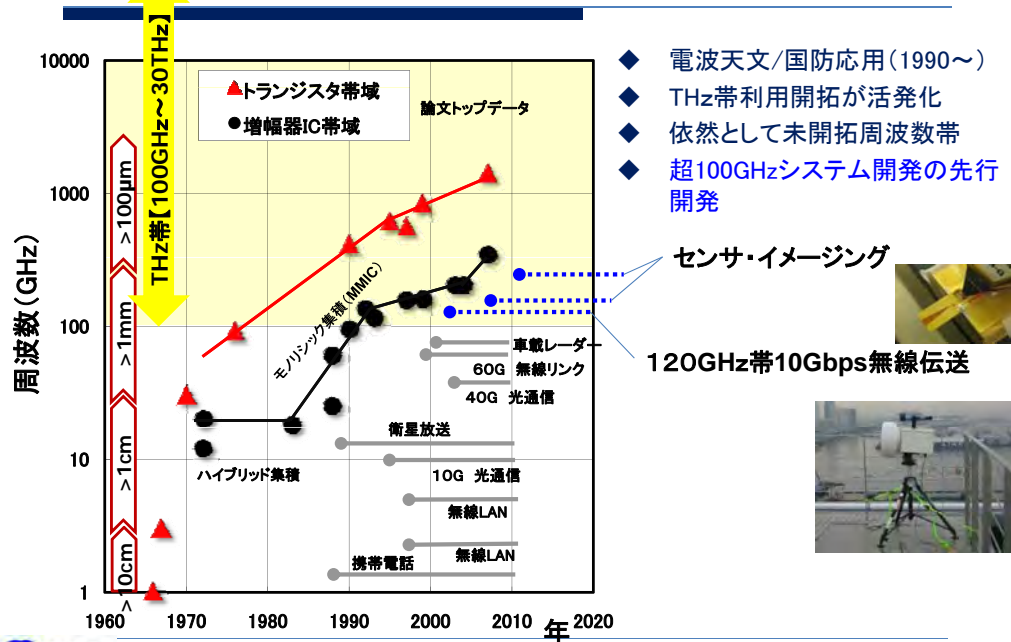
光の物理資源(時間・波長・位相・偏波・振幅・空間)を活用して、情報伝送



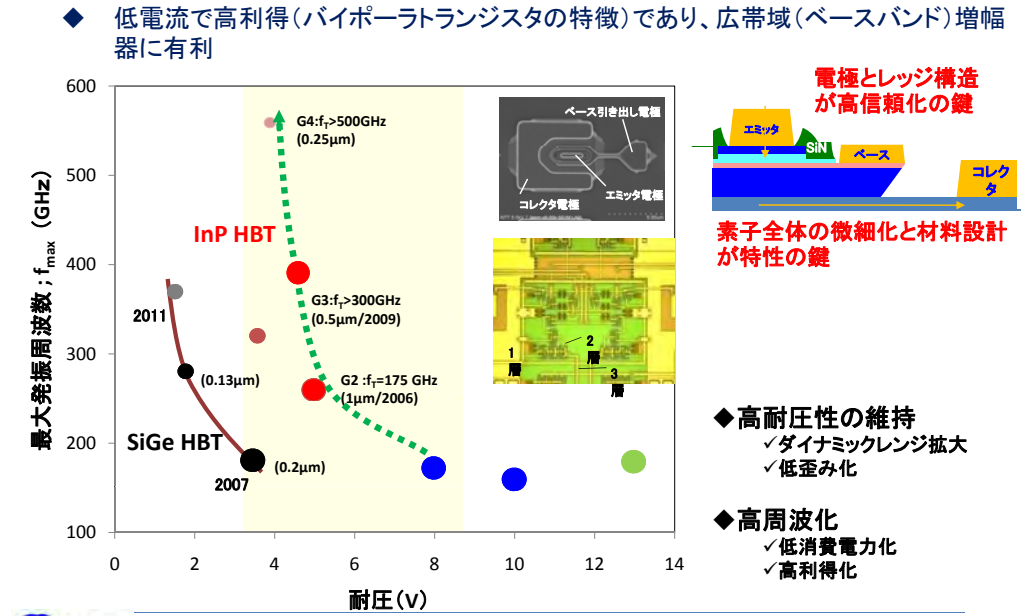
半導体の電子移動度



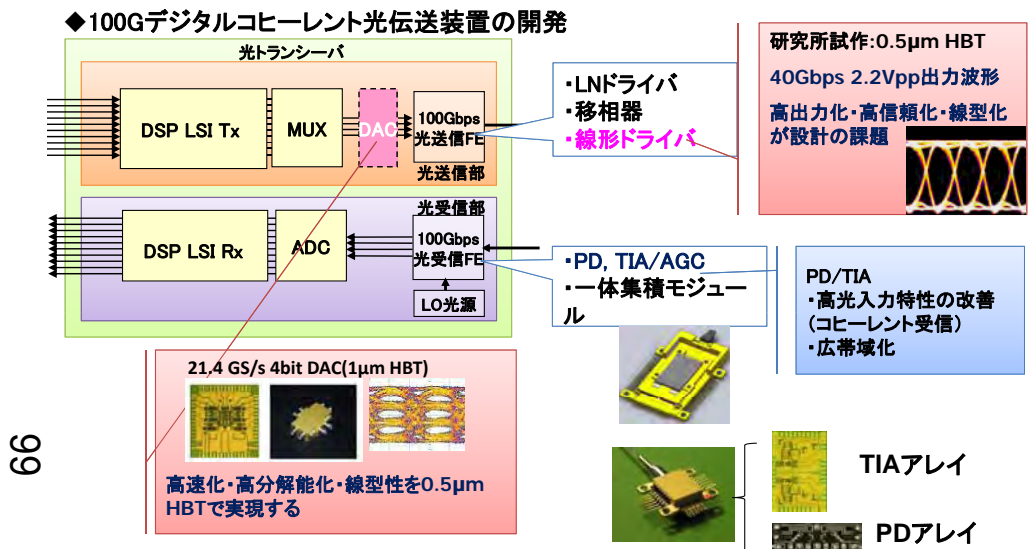
超100GHz(THz)エレクトロニクス



InP系HBT(光通信IC)

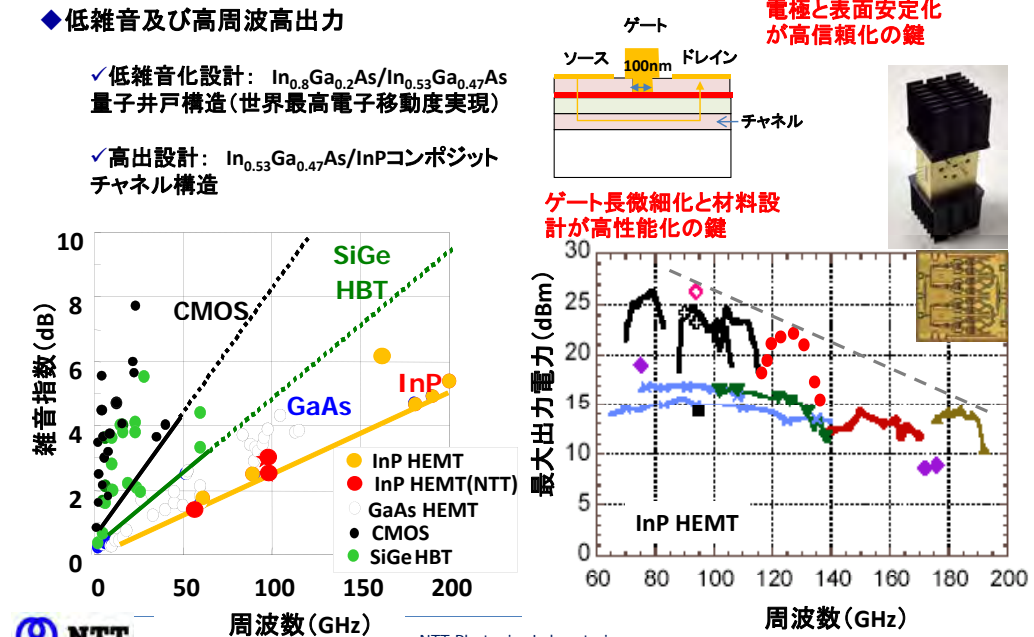


次世代伝送システムを支える高速光エレクトロニクス技術

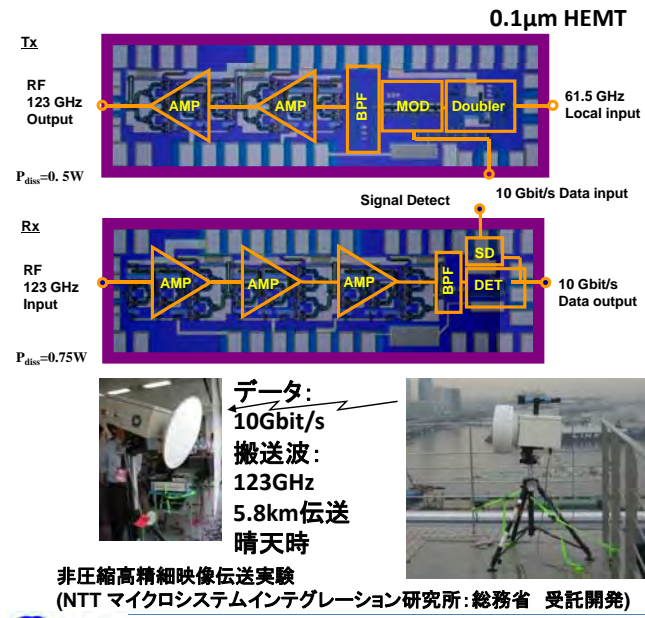


◆ 次世代変調方式研究
多値変調、帯域制限、予等化技術のキーアナログデバイスは高速DACと線形ドライバ

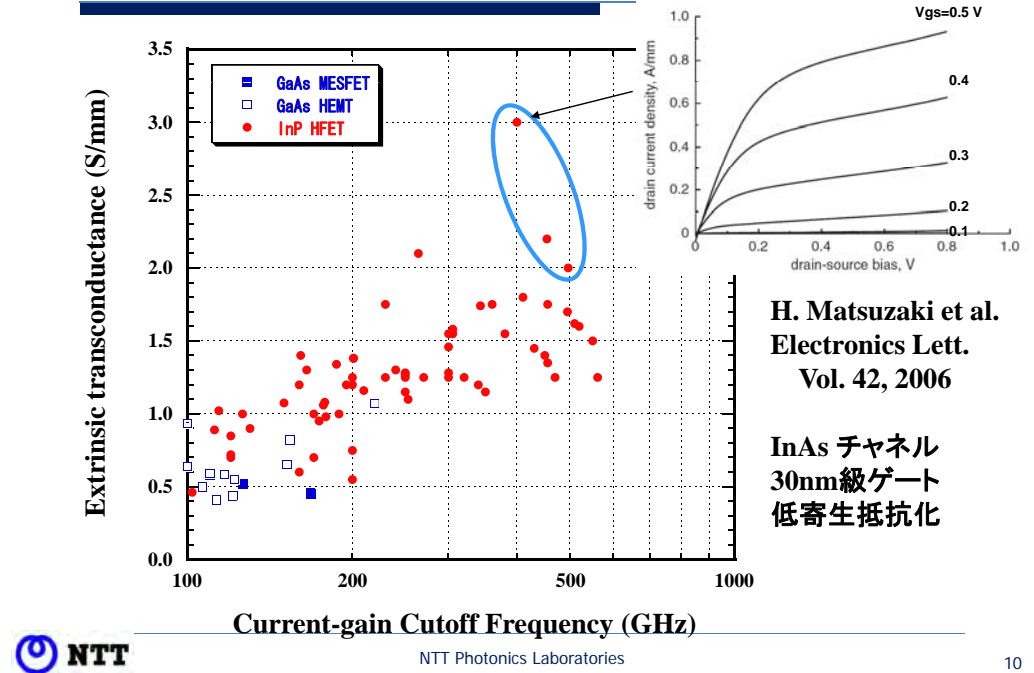
InP系HEMT(ミリ波IC)



120-GHz帯無線伝送応用

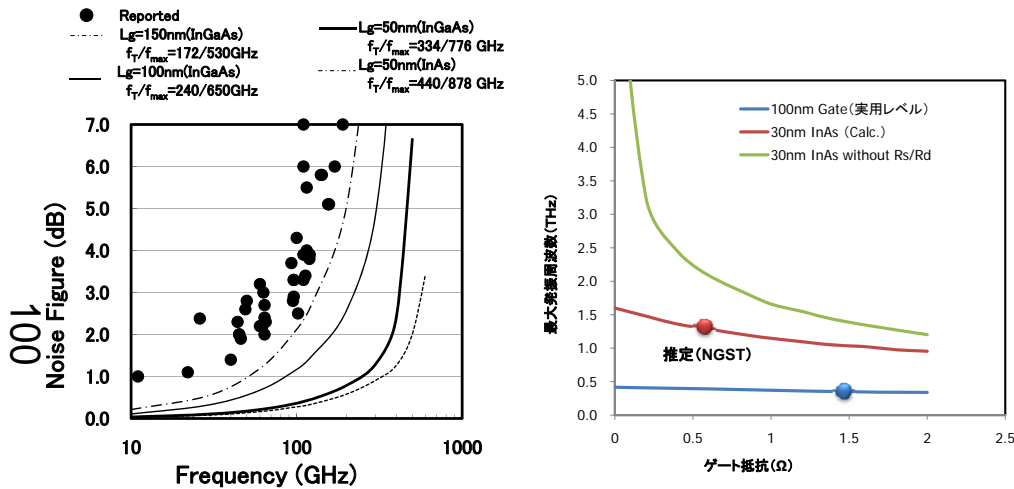


f_t and g_m of HEMT

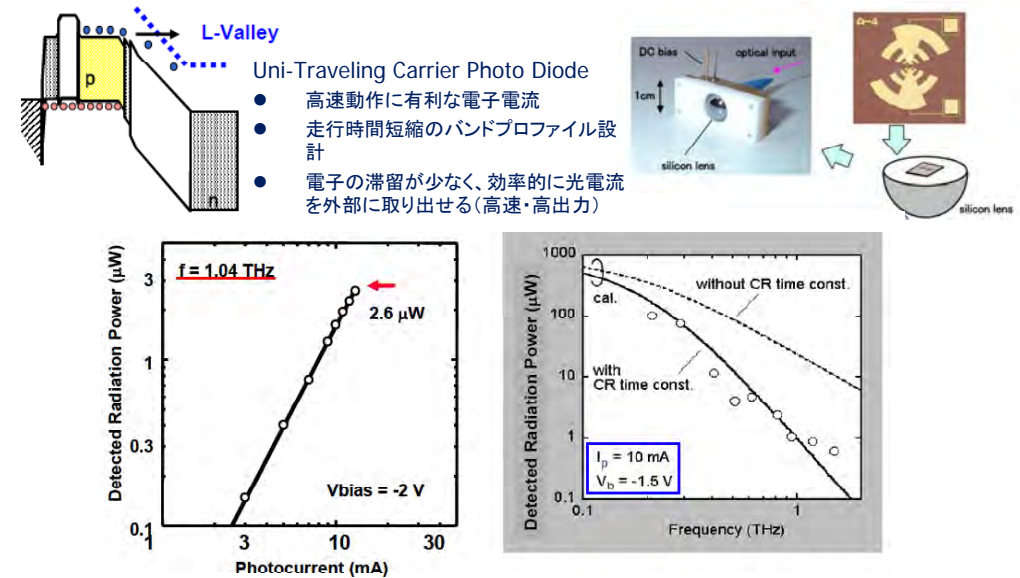


極限性能(計算値)

- 高電子移動度チャンネル(InAs, In_xGa_{1-x}As, x>0.53) と50nm以下のゲート長微細化 → 300GHz帯 LNA NF<4dB)の可能性
- R_g, R_s, R_d等寄生素子低減のエンジニアリングで2THz級の帯域も期待できる

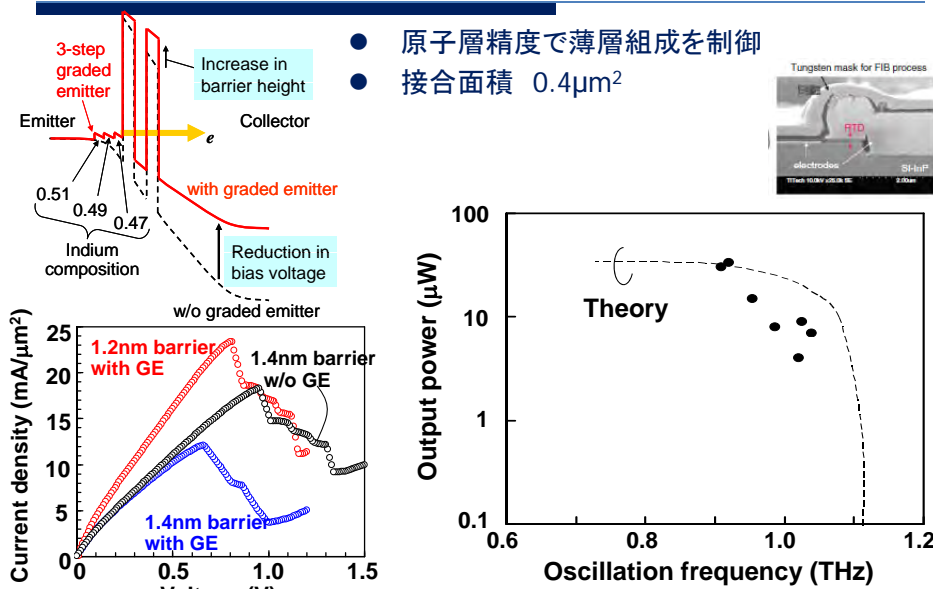


THz帯フォトミキサ



H. Ito, T. Furuta, F. Nakajima, K. Yoshino, and T. Ishibashi, J. of Lightwave Tech. Vol. 23,12, p.4016, 2005

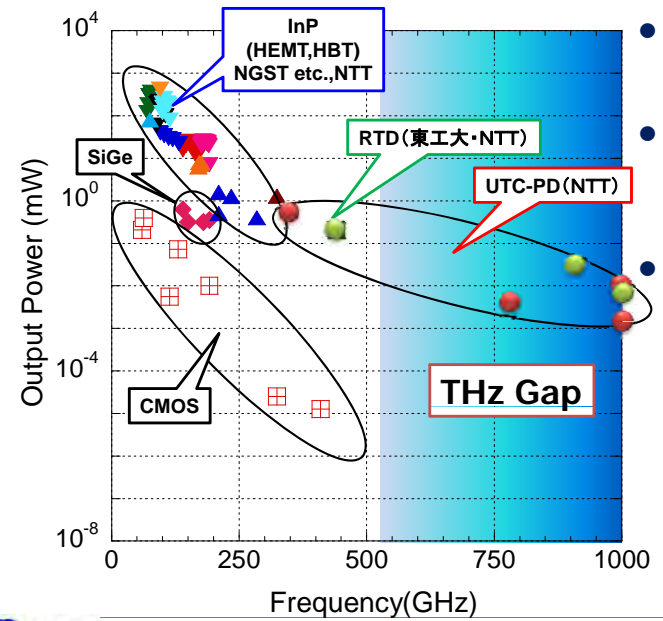
THz帯信号源(RTD)



- 原子層精度で薄層組成を制御
- 接合面積 0.4μm²

S. Suzuki, M. Asada, A. Teranishi, H. Sugiyama and H. Yokoyama, Appl. Phys. Lett. 97 (2010) 242102
 NTT Photonics Laboratories

テラヘルツギャップを埋めるデバイス技術



- 信号源と検出器は、周波数利用開拓の必須デバイス
- 300GHz以下では、化合物トランジスタが圧倒的に高出力
- 300GHz以上では、UTC-PDやRTDが世界最高出力

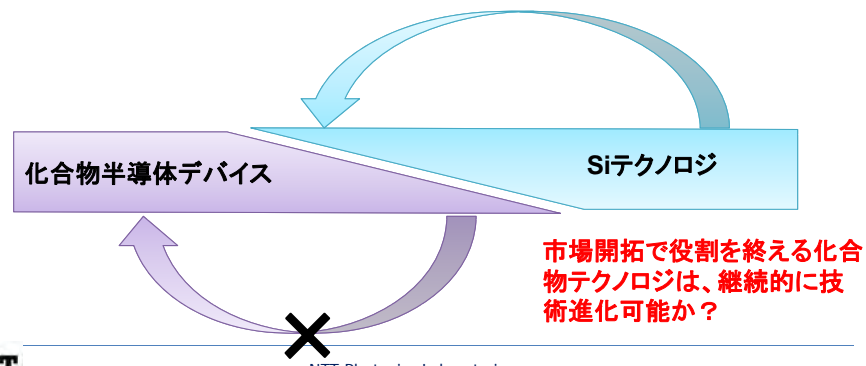
NTT Photonics Laboratories

従来の周波数開拓モデル



- 基礎研究 (Pioneer):** 新材料研究, 新原理導入
- 市場開拓 (Frontier):** ニッチユーザ探索, 信頼性・製造体制, 代替技術
- 市場拡大 (Colony):** 大型設備投資, 量産・低コスト化, サプライチェーン, 高機能化
- 市場成熟 (Survivor):** 製造体制維持

101



NTT Photonics Laboratories

通信用インターフェースの高性能化

信号処理 デジタル世界

最大周波数利用効率 (bps/Hz) vs SNR for a bit (dB)

シヤノン限界

ASK, PSK, QAM

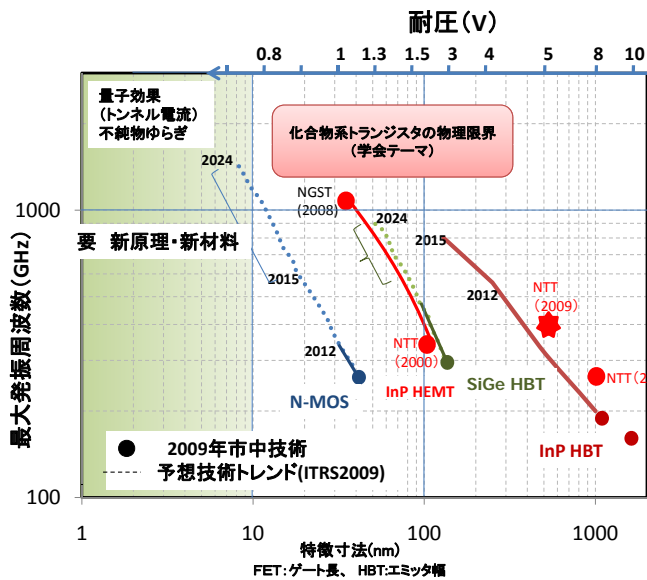
送信機 vs 受信機

伝送媒体 (アナログ世界) (宇宙・空気・光ファイバー)

DA変換, PA, MOD, DRV, LD, MZM, アンテナ・導波管, スイッチ, レンズ・PLC, スイッチ, 検波部, 自乗検波ダイオード, ミキサー, フォトダイオード, 遅延干渉器, 受信部, LNA, TIA, AD変換

NTT Photonics Laboratories

ナノテクノロジーと高速トランジスタの技術動向



- ◆ アナログフロントエンド用デバイスとしての性能指標
 - ✓ 最大発振周波数(利得)
 - ✓ 耐圧(ダイナミックレンジ・出力)
 - ✓ 雑音(感度)
 - ✓ 歪み
 用途に応じた多様な要求性能
- ◆ Si系トランジスタ高速化は期待されるが、耐圧の低下は必至
 - ✓ 新原理・新材料の開拓は今後の課題(Beyond CMOS)であり、世界中の半導体研究者が注力(CNT, Graphen, 化合物MOS, Spin)
- ◆ InP系HEMT/HBTは、耐圧と高周波特性のトレードオフマージンが大きい。
 - ✓ 欧米は、軍事向けに高速化継続
 - ✓ 国内のデバイス開発は停滞



NTT Photonics Laboratories

Monolithic v.s. Hybrid

ICレベル	Monolithic	Hybrid
アナログ性能	○	◎
回路設計性	◎	○
サイズ	◎	○
信頼性	◎	○
量産性(コスト)	◎	○

高均一化
高密度配線

サブシステムレベル	More Moore (\sim)	Heterogeneous (実装)
アナログ性能	○	◎
回路設計性	◎	△
サイズ	◎	△
信頼性	◎	△
量産性(コスト)	× ~ ◎ (市場規模・歩留まり)	△

各ICの性能を引き出す新実装(集積化)技術の開発が必須

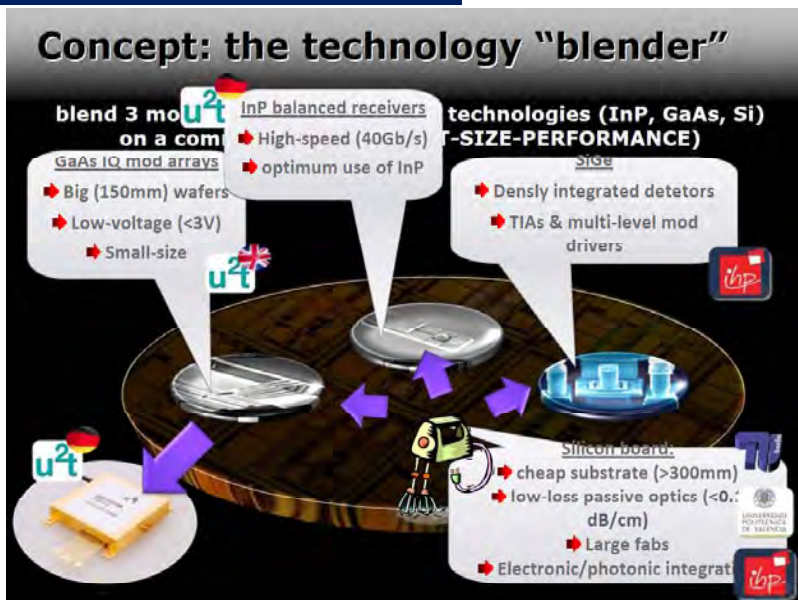
More than Moore

SoC可能なアナログ・デジタルシステムは、Siのアナログ特性と市場規模により決まる多様且つハイエンドなシステムには、Siと化合物の融合(ヘテロジニアス集積)が必要



NTT Photonics Laboratories

欧米の取り組み



COSMOS in DARPA

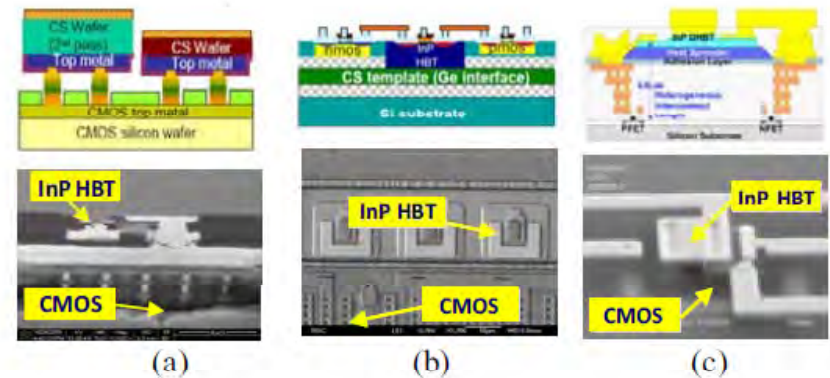


Figure 1. Heterogeneous integration processes: (a) micrometer scale assembly, (b) epitaxial layer printing, and (c) monolithic epitaxial growth.

THzエレクトロニクス時代のデバイス開発の課題

- 究極的高性能デバイス特性を必要とするTHzエレクトロニクス
- 米国を中心に研究加速
- 多様なアナログ特性に対応するため、ヘテロジニアス集積で各種デバイスの性能を最大限に発揮する

- 新規周波数開拓は新市場開拓
持続的なデバイス開発には、見合う市場が必須
 - 戦略の沿ったデバイス開発
 - 十分な市場規模までの成長を待ちきれない
 - 代替技術の台頭
 - 一定市場に複数企業が参入しパイ分割
 - 新規開発が困難

- Pioneer/Frontierとして開発段階から異業種連携と技術融合にチャレンジ

5-3 ライフ分野への活用に向けて求められる要素技術

ライフ分野においては、診断画像・遺伝子・疾患履歴などの個人情報、データベースと医師の間、医師同士の間、医師と患者の間、で通信するニーズが高まっている。経済産業省がとりまとめた技術戦略マップには、高解像度画像(動画)を含めた検査結果を利用しながら双方向コミュニケーションを行う時代の到来が予測されている[1]。近年、このような予測は絵空事ではなくなっている。例えば韓国政府は、大容量データサーバーとスマートフォン端末を用いて多当事者間のリアルタイム情報共有を追求し、特に医療分野の質を向上させる取り組みを始めている。この取り組みでは、さらなるリアルタイム性のニーズに対して、現状よりも高速・大容量通信ネットワークが必要であることが顕らかになりつつある。

本節では、韓国での事例や世界の医療機器業界の動向を参考として、テラヘルツ帯通信をライフ分野へ活用する際に求められる要素技術についてまとめる。尚、これまでの議論と同様、信号素子や検出素子といった高速・大容量を特長としたテラヘルツ帯通信を実現させる為の基本的な要素技術は本節からは省き、ライフ分野特有の要素技術に焦点を当てる。以下、テラヘルツ帯通信の使用シーンを、①(遠隔)診療、②手術(治療)、③その他、に分けて要素技術を考える。

診療の現場では、診断画像・遺伝子・疾患履歴などの個人情報が収められたデータベースと医師の間の通信が主となり、遠隔診療の現場では、これに医師と患者の間の通信が加わる。このような場面では、認証技術(セキュリティ)が必須の要素技術となる。ライフ分野において、取り扱われる情報の多くは、個人のプライベートな情報である。従って、データベースへアクセスする際、高度な暗号化技術や個人認証技術が必要となる。具体的には、パスワード・指紋・虹彩などを組み合わせた小型で簡易な認証端末(ソフト)が必要となる。

また、診療の現場には医師、看護師、患者、患者の家族など多くの人が存在する。そのような環境の下でテラヘルツ帯通信を行うには、SAR の問題をクリアにしておかなければならない。現在、有用な SAR データベースは構築できておらず、通信手段の標準化や規格化を含めた対応が必要となる。

一方、手術室に代表される治療の現場では、データベースと医師の間の通信、医師同士の通信、医療機器間の通信が主となる。近年では、多種・多量の高解像度動画を活用しながら手術を行う「インテリジェント手術室」や遠隔手術装置などが活用されはじめ、これらはライフ分野における大容量・高速通信の代表的なシーンとなっている。このような手術室では、多くの医療機器が同時に動作しており、テラヘルツ帯通信を行うには EMC 技術の構築が必要不可欠である。また、近年の医療機器は小型化・省電力化のトレンドにあり、テラヘルツ帯通信を医療機器市場に投入する際には、通信に関わる部品(モジュール)の小型化・省電力化が課せられることが予想される。さらに、医療機器は標準化や規格化が遅れている機器分野である。従って、多様な規格の元で製造された医療機器でテラヘルツ帯通信を可能にするには、テラヘルツ帯通信モジュールと医療機器を接続するアダプタモジュール(ドライバ)が多種必要になることが予想される。

テラヘルツ帯通信をライフ分野で活用するためのその他の必要な取り組みとして、法整備が挙

げられる。ライフ分野で取り扱われる情報の多くは、プライベートな情報である。これらの情報は、本人や担当医師に代表される認証(ID)を持つ当事者によってのみアクセスされるべきであり、前述の様に、認証技術が必要である。また、個人情報をごどのような条件の元でデータベースに保存するのか、保存は誰が行うのか、どのように保存するのか、他記録媒体への保存を認めるか、どのような暗号化を行うか、万が一漏洩した場合の対処方法はどのようなのか、責任者は誰か、などといった個人情報の保護に関する法整備が必要不可欠である。一般に、法整備作業には多くの時間を費やす為、テラヘルツ帯通信が普及する早い段階から着手する必要がある。

以上をまとめると、テラヘルツ帯通信をライフ分野へ活用するために必要な要素技術は、表5-1の様にまとめられる。テラヘルツ帯通信を可能とする基盤技術の他に、表5-1に挙げた要素技術を構築することで、患者やその家族を含めた人々のQOL(Quality Of Life)の向上、迅速判断を可能にすることによる予防医療や低侵襲医療の発展、業務効率向上や重複検査の削減等による医療費削減、などへテラヘルツ帯通信が貢献することが期待される。

表5-1 テラヘルツ帯通信をライフ分野へ活用するために必要な要素技術

利用シーン	要素技術	備考
(遠隔)診察	セキュリティ技術	暗号化 個人認証
	SAR 技術	SAR データベース
手術(治療)	EMC 技術	EMC データベース
	(部品やモジュールの) 小型化・省電力化	
	規格が多様な医療機器と通信機器の間のアダプタモジュール	ドライバ
その他	法整備	個人情報の保護

<参考文献>

[1] 経済産業省(編),「技術戦略マップ2010」,(2010).

5-4 グリーン分野への活用に向けて求められる要素技術

テラヘルツ無線によるグリーン ICT(省エネ)分野への貢献として、高速・大容量性を活かしたビット当たりの情報伝達エネルギーの低減や、無線化による生産・物流エネルギーの低減があげられる。また、超高周波であること故の波長短縮スケールリングによる部品のダウンサイジング効果を

活かした、無線通信機器自体の小型化・省電力化も期待される。具体的な例としては、ショッピングや商取引のオンライン化、テレワーク、TV 会議などによる人・物の移動コスト/エネルギー低減、音楽や映像コンテンツの媒体レス配信による生産エネルギー/物流コスト/部材資源の削減、などがあげられる。これらは有線でも可能であるが、配線の煩わしさからの解放や場所を選ばないなどの利便性を考えると、ユーザ端末とのインターフェースの部分が無線で実現できる方が好ましい。

一方、光ファイバによる基幹系の通信速度が Tbps 超ひいては 10Tbps 超の領域に入っていく中で、今後は無線においてもユーザ当たり 1Gbps ひいては 100Gbps を超える通信速度が必要になっていくと考えられるが、占有可能な周波数帯域幅の制約から、現在商用化されている 60GHz といったミリ波帯を利用した無線通信システムではこのような超高速無線通信を実現するのは困難であり、テラヘルツ帯の利用が期待される。また、テラヘルツ無線通信では、同一容量のデータなら他の無線方式に比べ極めて短時間で送受信を完了できるため、通信機器の送受信に係る動作時間を短くすることも可能(ノーマリオフ通信ともいえる)であり、時間当たりの消費電力を時間積算したエネルギーの観点からの通信機器自体の省エネ効果も期待できる。

上記のようなグリーン ICT 分野でテラヘルツ無線を活用していくための高周波・無線部の技術要件、要素技術には以下のようなものがあげられる。

無線通信装置の消費エネルギーは通信時間(動作時間)と消費電力の積分量であるため、テラヘルツ無線の高速・大容量伝送による省エネポテンシャルを最大限に引き出すためには、通信装置の低消費電力化が重要となる。ビット当たりの消費エネルギーの観点からは、個々の送受信用デバイス、回路、伝送線路基板、及びこれらを組み合わせた送受信部トータルでの低消費電力化・低損失化が必要となる。また、テラヘルツ無線の普及のためには、携帯端末や家庭内 AV 機器といった民生用途への浸透も必要であると考えられ、デバイスの高性能化とともに、集積化技術等の小型化、生産性向上、低コスト化を視野に入れた技術開発も重要となる。

また、超高周波のテラヘルツ波では、60GHz 帯ミリ波通信と同様あるいはそれ以上に、電波としての高い直進性に起因する人・物等の障害物による通信遮断に対する回避技術が必要であり、高品質の無線リンクを確保するためのビームステアリング等の高機能アンテナ技術及びその制御技術が必要になると考えられる。

送受信回路は、受信用低雑音増幅器、検波器、送信用電力増幅器、発振器、アンテナ、などで構成され、これら回路を構成するデバイスとしては、GaAs, InP, InAs, GaN などの化合物半導体系 HEMT, HBT や、Si RF-CMOSFET、SiGe HBT などが用いられる。半導体材料自体の物性から、同程度の半導体加工プロセスであれば化合物半導体の方が高周波性能に優れているため、性能面では化合物半導体系デバイスが先行し、Si デバイスは、得意とする微細加工技術を活かした高周波化が図られることで、所定の性能を満たしかつコストパフォーマンスが重視される用途で化合物半導体デバイスからの置き換えがあるものと考えられる。

デバイスの性能指標としては、受信用途では受信感度に係る雑音指数(NF)、増幅器の電力利

得や駆動能力に係る電流遮断周波数(f_t)、最大発振周波数(f_{max})が代表的なものであり、送信用途では f_t 、 f_{max} 、電力付加効率、出力電力、などが代表的なものとなる。

送受信回路において、受信回路では後段の付加雑音による SN 比の悪化を抑圧するための低雑音電力増幅器、また送信回路では信号レベルをアンテナからの所定送信電力に引き上げるために高出力電力増幅器が必要となるが、増幅用デバイスの利得が小さいと所定の電力利得を得るために増幅器の段数を増やす必要がある。増幅段数の増加は消費電力を増やすことでもあり、また付加雑音の増加にもつながるため、なるべく少ない増幅段数で増幅器を構成できることが望ましい。そのためにはデバイスの高利得化すなわち f_t 、 f_{max} の向上が必要となる。特にテラヘルツ帯においては、送受信回路の動作周波数に対してデバイスの f_t 、 f_{max} がそれほど高くないのが現状であり、 f_t 、 f_{max} の向上は重要な技術課題である。また、個々の増幅段においては、低い NF や高い電力付加効率を得るための低損失インピーダンス整合回路技術も重要となる。そのためには、基板、あるいは半導体チップ上伝送線路の低損失化技術も必要となる。ミリ波帯では、市販のオレフィン系ポリマー樹脂を、高周波での低損失性に着目して伝送線路基板に転用し、低損失・低コスト化を実現した例があるが、テラヘルツ帯においてもこのような性能・コストバランスに優れた基板材料の探索・開発が望まれる。

また、化合物半導体は Si に比べてウエハも小口径かつ高価であるため、使用するデバイス数を少なくしてチップサイズの縮小を図ることが低コスト化の点でも重要と考えられる。

一般にデバイスの利得は周波数に対して 6dB/オクターブで低下するため、実用性を考慮すると f_t 、 f_{max} は動作周波数に対して数倍高いことが望まれる。動作周波数が 150GHz であれば 500GHz 程度の f_t 、 f_{max} 、動作周波数が 300GHz であれば 1THz 程度の f_t 、 f_{max} が望まれる。InP 系 HEMT では、学会報告レベルでは $f_t=500\text{--}600\text{GHz}$ が報告されている。NF については、InP、InAs あるいは InGaAs 系 HEMT で 100GHz において 2-3dB の報告がある。また、InP HBT MMIC で 324GHz において NF=4.8dB の報告もある。

デバイスの到達可能性能については、ゲート長を 50nm 以下に微細化し、ゲート抵抗、ソース抵抗、ドレイン抵抗等の寄生成分を低減することで、2THz 級の f_{max} を実現可能とのシミュレーションによる試算報告もあり、今後の微細加工技術、および低寄生 RLC 成分デバイス構造設計技術の進展が望まれる。

微細化すると電極間の電界強度の増大によってデバイスの耐圧が低下し、動作可能電圧も低下するため、信号増幅時にデバイスが扱える最大電圧振幅も低下する。そのため、所定の出力電力を得るためには、電圧振幅が低下する分を電流振幅の増加で補わなければならない。Si や GaAs、InP 系といったバンドギャップが 1V 程度とそれほど大きくない半導体では、テラヘルツ帯に対応できるレベルまで配線ルールを微細化すると耐圧は 2V あるいは 1V にも満たない可能性がある。特に、送信用電力増幅器においては受信回路に比べて出力電力が格段に大きいため、電流振幅の増大はトランジスタサイズ(総ゲート幅)の増大につながり、チップサイズ増大によるコストアップ、および寄生成分増大による利得低下の要因になる。

また、デバイスの入出力インピーダンスが低いとインピーダンス整合回路を構成する受動素子

に流れる高周波電流振幅が大きくなるため、受動素子の寄生抵抗成分による損失が増大する。デバイスの動作電圧の低下による電圧振幅の減少と電流振幅の増大は回路のインピーダンスが低下することも意味しており、インピーダンス整合回路での損失増大にもつながる。したがって、送信用電力増幅器は携帯端末のバッテリー電圧と同程度の 3V 程度かそれ以上で動作させたい。動作電圧を中心に電圧が振れるとすると、デバイスの耐圧は電源電圧の 2 倍以上あることが望まれる。このような要望を実現する半導体材料として、GaN に代表されるバンドギャップが 3V を超える窒化物系ワイドバンドギャップ半導体が注目されており、AlGaN/GaN、AlInN/GaN HEMT で、200GHz を超える $f_{t,max}(V_{dd}=4V)$ が報告されるようになってきている。今後のさらなる性能向上が期待される。

テラヘルツ帯という超高周波では信号の検出自体が非常に困難になるが、最近のトピックスとして、GaN 系 HEMT でプラズモン共鳴による増幅効果を利用することと、ゲート電極をアンテナとして兼用してアンテナとデバイス間の伝送線路を削減することで伝送ロスを低減し、かつソース、ドレイン電極を無給電アンテナとして機能させて反射ロスを低減することによって、室温動作でテラヘルツ波の検出感度を従来比で 2 ケタ向上させた報告がある。テラヘルツ波でのイメージングや分光用途に開発されたものであるが、通信等、他用途への応用の可能性もあり注目される。

デバイス性能以外では、テラヘルツ帯では信号の波長が 1mm 以下になってくることにより、配線・電極接続の位置ずれや寄生成分が送受信回路の高周波特性に大きな変動・悪化を来たすようになるため、高精度・低寄生成分の実装技術も不可欠となる。たとえば、217-330GHz に対応する導波管(EIAJ 規格:WRI-2600)では、内径寸法が 0.864mm × 0.432mm と、マイクロ波やミリ波帯に比べて小型であり、携帯機器等の民生用途への適用には好適であるが、小型であるが故にデバイスあるいは基板配線と接続するための位置合わせ精度の要求も厳しくなるため、ミリ波帯以上に高精度な実装技術が必要となる。位置合わせ精度や寄生成分という点では、導波管に限らず、HEMT などのデバイス上の電極と基板配線との接続にも小電極面積・極短距離かつ接続位置ばらつきが少ない実装技術が必要である。接続方法としては、ワイヤリボンによるボンディング、バンプによるフリップチップ接続などがあるが、寄生成分の発生や接続部の特性ばらつきに対する性能感度がミリ波帯以上に敏感になるため、電磁界シミュレーションなども活用した接続部の高周波特性の高精度モデル化技術・接続構造の設計/最適化技術の開発も必要となる。

寄生成分を低減し、小型化を図るためには能動素子と伝送線路等の受動素子をチップ上に集積化したモノリシック IC 構成にすることがスマートな方法と考えられる。しかし、先に述べたように化合物半導体は高価であるため、受動部品のモノリシック化はチップ面積増大によるコストアップにつながる懸念される。一方、個別部品のマルチチップ構成では寄生成分や実装工程で生じる特性劣化・ばらつき増大による歩留まり低下等のコストアップ懸念もあり、どこまでをモノリシック化するかについては、実用性にも配慮してコストパフォーマンスを加味した設計技術開発も必要となる。また、将来を見据えた取り組みとして、化合物半導体の優れた高周波特性と Si 半導体の低コスト性や大規模集積性といった各々の長を最大限に活用するため、化合物半導体チップ/

エピ層部を Si 集積回路チップに貼り付ける、あるいは Si 基板上の一部に化合物半導体エピ層を直接形成する、といったヘテロジニアスインテグレーション技術の研究も DARPA の先導で行われている。

テラヘルツ帯無線の実用化においては、計測技術も重要な開発課題になると考えられる。テラヘルツ帯での高精度な計測技術は、デバイス及び送受信回路の性能を正しく評価すること自体に必要とされるとともに、これらデバイス、送受信回路の高性能化に向けた技術開発を加速するためのデバイス、回路素子の高精度モデル化技術を構築していくためにも重要である。また、テラヘルツ無線システム及び無線装置の適合技術基準の確立・標準化を推進していく上でも、高精度・高確度で再現性に優れた計測器・計測技術の開発が望まれる。

5-5 まとめ

テラヘルツ無線通信に期待されていることは、数十 Gbps にもおよぶ超高速な無線通信であり、大容量データも瞬時に送ることができることであろう。そのような高速な無線通信を実現するためには、テラヘルツ波発生素子、検出素子、高速変調をコントロールする高速ドライバーIC、300GHz 帯で動作するアンプ等が真っ先に思い浮かべられる。しかし、実際に超高速無線を実現させるためには、瞬時に送られてきたデータを瞬時に処理や記憶できる要素の開発も忘れてはならない。

これまでのメモリ技術については Moore の法則に従うかのように、主に Si の微細加工技術に支えられる形で発展してきたが、微細化により動作周波数が向上するメリット以上に消費電力の増加を招くためにマルチコアによる処理能力の向上が図られている。さらなる高性能化の解として異種デバイスを融合する More Than Moore が重要となる。高周波特性に優れた化合物半導体デバイスや、各種センサ、MEMS 等を一体化することで互いの利点を融合し、システム全体として高機能化を図ることが重要である。

無線通信のコンポーネントに目を向けると、300GHz 帯で利用可能な低ノイズ増幅回路(LNA)の実現も、化合物半導体の微細加工により実現が見えてきている。また、UTC-PD 技術を用いた 300GHz 帯無線通信の成功例や、共鳴トンネルダイオードを用いた室温での 1.04THz 発振実現など、テラヘルツ無線通信実現に向けて期待が持てる報告が出てきている。しかしながら、アメリカの DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)やヨーロッパの GALACTICO が中心となって欧米では国を挙げての開発に取り組んでいるが、日本国内では各大学、各企業が個別に研究しているというのが現状である。国内においても開発段階から異業種間での連携や技術融合を試みる枠組みが必要である。

テラヘルツ無線通信実現のためには要素技術の開発が必要不可欠ではあるが、利用シーンに応じた要素技術への要求を把握しておくことも重要である。今年度の本検討委員会においては、主に「ライフ分野」と「グリーン分野」に注目して議論がなされた。

ライフ分野においては、CT や MRI などの診断画像、遺伝子情報、患者の疾患履歴などの情報

を、医療機器-医師、データベース-医師、医師-医師、医師-患者等の通信するニーズが高まっている。特に診断画像は高精細な画像が要求されており、通信によって扱うためには高速な通信の実現が必須となる。特に最近注目を集めている「インテリジェント手術室」においては複数の医療機器が同時に動作しており、それらのデータを高精細でなおかつ瞬時に集めることが求められている。このような利用シーンは、テラヘルツ無線通信が利用される代表的なものであると考えられる。ただし、医療情報はプライバシーにかかわる情報であるので、通信のセキュリティを確保する技術も必要になる。

テラヘルツ無線通信は大容量データも瞬時に送れることから、送受信に要する時間が圧倒的に短くなる。したがって動作時間を短くすることができるので、省エネという観点からも貢献できる可能性がある。通信機器の省エネ化という直接的な効果だけではなく、高速無線通信による遅延のないリアルタイムな遠隔会議等が可能になれば、会議のために人が移動するためのコストやエネルギーをも省くことが可能となる。現時点では、これらは単にテラヘルツ無線通信が実現し得る高速性という観点のみから指摘されていることであり、実現のためには発振器や増幅器などの各素子、変調・復調回路、アンテナなどの要素技術それぞれの高効率化と、システム全体としての高効率化を実現することが不可欠となる。

第6章 最後に

近年、テラヘルツ無線に対する関心が国内外で高まり、無線LAN/PANの標準化の作業部会であるIEEE 802.15や、周波数割当を決めるITU-Rで議論が活発化している。このような背景のもと、平成21年9月、総務省近畿総合通信局において、テラヘルツ無線に関する国内初の調査検討会が発足し、平成22年4月に第1期の報告書を取りまとめた。平成22年9月に、第2期目の調査検討会が再開し、平成23年1月までに5回の会合を行った。加えて、平成23年2月に情報通信研究機構本部(小金井)と同けいはんな研究所との間を、高速光回線(JGN2plus)と高速無線回線(キャリア周波数120GHzを利用したテラヘルツ無線)で結び、遠隔医療を模擬した公開実験を行った。150名を超える参加者を迎え、テラヘルツ無線の有用性を十分にご理解いただいた。

以下に、今年度の検討会での議論の内容を総括する。

1) ライフ分野への貢献

まず、ライフ分野への貢献に関しては、私たちの生命に直結したニーズが考えられる「医療」と「災害報道」の領域で、テラヘルツ高速無線の適用について調査を行った。医療の現場では、私たちの想像以上に情報通信技術(ICT)の活用が進んでおり、特に無線技術のニーズとその高速化に対する期待が高いことが明確になった。肌や臓器などの色の忠実度・再現性は、高精細性と同等に重要であり、また最近、家電で話題の3D映像についても医療の分野では必要不可欠なものとなっている。さらに、医療分野ではリアルタイム性が最も要求され、高精細画像の場合、圧縮することによる遅延は好ましくない。手術現場でのワイヤレス化、リアルタイム手術情報のマルチチャンネル伝送と統合化、クラウド化された医療情報データベースアクセスへの即時化等、医療先進国家として豊かな社会を形成していく上で、高速無線技術が果たす役割は極めて大きいと言える。最後に、医療に従事されている医師の方々から、安価に実現できる技術の必要性を強調されていたことが印象深い。同じく高精細動画を日常的に扱う放送分野においては、「災害報道」への適用が、現場からの高速無線に対するニーズとして最も大きなものであった。想定される具体的なシーンとして、災害現場にヘリコプターで向かい、そこで取材した映像データを、受信設備のある基地局上に移動した後、瞬時に空中で転送するというものである。基地局からは光ネットワークで放送局までデータを送ることにより、速報性が大きく向上する。本報告書を取りまとめている中、はからずも、平成23年3月11日に起こった東日本大震災において、災害報道だけでなく、災害復旧といった面でも臨時の高速無線回線の必要性を再認識した。

2) グリーン分野への貢献

次に、グリーン分野への貢献について、無線機器の省エネ化の技術動向(Green of ICT)、ICTの活用による省エネ化(Green by ICT)、さらにICTの活用によるGreenへの貢献シナリオについて議論を行った。まず、無線機器の高速化がもたらす省エネ化の指標として、ビット当たりの消費電力(J/bit)を、これまでの様々な無線技術について比較してみると、高速化の進展とともに、ビット当たりの消費電力が減少していく傾向にある。従って、瞬時接続(間欠動作)と併用することにより、トータルの省エネ化につながる。また、周波数利用効率を高めるために、複雑なデジタル変

調方式を用いることが主流になりつつあるが、これはデジタル信号処理に負担をかけることになり、オーバーヘッドの電力増加をもたらす。従って、十分な広い帯域を確保できる可能性のあるテラヘルツ無線では、単純な変調方式で実現することが望ましい。

ICTの活用による省エネ化の可能性として、離れた場所(自宅やリモートオフィス)でICTを活用して仕事を行う「テレワーク」について議論を行った。日本国内のテレワーカーの比率は15%程度で、伸び率は横ばいである。その要因としては、セキュリティに対する不安、企業の管理体制の日本的慣習の壁の他、繋がりにくいネットワーク環境、不十分なダウンロード速度など、テレワークを活用できるレベルまでICTが進化していない点が指摘された。オフィスと変わらない高速ネットワーク接続環境を無線で提供できれば、利便性が向上し、テレワークの普及が一層促進されると期待される。東京都市圏(1都3県)で、在宅型テレワーカーが倍増した場合、公共機関による通勤交通量として2.7%が削減、通勤目的の自家用車が年間1350~2100万台削減されると見込まれている。

また、将来のテレワークを支える技術としてテラヘルツ無線を想定した場合、まずミリ波を用いたブロードバンド固定・移動通信の現状を知ることが重要である。現在、1対16のマルチアクセスが可能で最大1.2Gbit/sの固定無線と、航空機(高度8000m、速度280km/h)へのアクセスが可能で最大100Mbit/sの高速移動体無線が開発されている。

ICTによるグリーン(省エネ)化に対しテラヘルツ無線が如何に貢献できるかを議論するために、まず、その一般的な考え方とグリーンICTの現状を調査した。例えば、固定電話網については、環境負荷の70%が使用段階であり、そのうち70%(すなわち全体の50%)が、待機時間の消費電力である。IP電話も同様で、待機時の機器の省エネ化が必須である。インターネット接続の場合、ISDN、ADSL、FTTHを比較すると、FTTHが最も省エネで環境負荷が小さい。最後に、ケーススタディとして、テラヘルツ無線が導入された場合にどの程度の低炭素化(CO₂削減)をもたらすかについての試算を行っている。当然、これだけでCO₂の劇的な削減がもたらされることはないが、このような議論を継続的に展開し、仮説を検証していく必要がある。

3) 諸外国の動向、標準化および電波干渉

諸外国の研究動向については、欧米を中心に100~300GHz帯の無線通信実験が進められている。アプローチとしては、光技術を用いた送信機によるシステムで、ギガビットを超える性能が達成されている。電子部品によるものは、市販品(ダイオードが基本)のブロックを組み合わせたもので、伝送速度としては10Mbit/s程度に留まっている。今後、200~300GHz帯のMMIC技術による無線システムが登場してくることが予想される。また、国際標準化に向けた各種機関(ITU-R、IEEE802)の動向について調査した。2012年に世界無線通信会議(WRC-12)が予定されており、将来の周波数割当のために我が国からも積極的な参加が望まれる。さらに、(受動)観測業務との干渉問題を考える上で重要となる、電波天文の動向について調査を行った。今後、国内においては、100GHz~1THzを受動業務として利用している国立天文台等との議論を継続的に行い、周波数利用に関するコンセンサスを醸成していくことが重要である。

4) 各種要素技術の動向

最後に、テラヘルツ無線を実現するための要素技術について、今回は2つの観点から調査を行った。最初は、無線のフロントエンド(あるいはI/O)ではなく、信号処理のコアとなるシステムLSI

と集積化技術がどこまで進んでいるかについて議論した。現代の高速信号処理は、複数のCPUによるマルチコア(さらに将来はメニイコア)SoC(System on chip)がトレンドであり、さらに今後は、各種センサ、MEMS、化合物半導体などの異種デバイスを融合したシステムに発展していくと予想される。テラヘルツ無線をサポートするシステムにおいては、膨大なデータの伝送と信号処理の高速化を可能にする物理層が、メニイコアを核にしたプラットフォーム上に異種デバイスとともに集積されることになると予想される。

また、テラヘルツ無線を早期に実現できる可能性の高い化合物半導体デバイスの現状と課題について議論を行ったが、いずれにしても上記で述べたように、化合物半導体の単体で進化していくことはなく、異種デバイスの集積(ヘテロロジーニアスイнтеグレーション)が不可欠になるであろう。

足掛け2年、2期にわたる本調査検討会では、単に技術シーズの進展を議論するだけでなく、高速無線通信の将来ニーズについて世界の電波行政の動きを見ながら深く議論し、テラヘルツ無線の研究開発の重要性とその進め方をとりまとめた。今後、前回の報告書と同様に、本調査報告書をたたき台としてさらに議論を重ね、テラヘルツ無線の実現に向けて研究開発が活発化していくことを願ってやまない。

〈付録〉 公開実験の実施報告

(開催日)平成23年2月4日(金)

(会場)○京都会場

独立行政法人 情報通信研究機構 けいはんな研究所

○東京会場

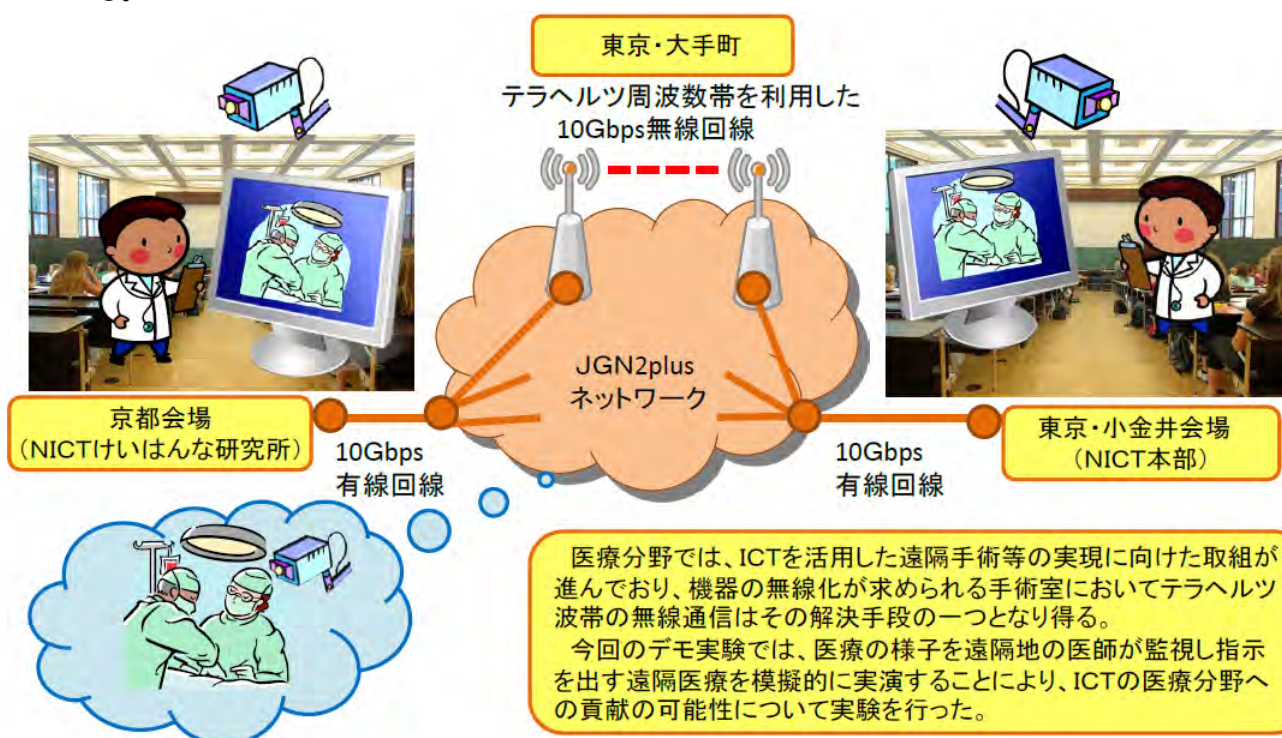
独立行政法人 情報通信研究機構 本部

(参加者)150人程度

1 概況

近畿総合通信局では、平成21年度から、2年度に渡り、調査検討会を開催し、テラヘルツ波帯の情報通信利用に関するニーズと課題の整理を行ってきた。今回、そのテラヘルツ無線通信の有効性を示すべく、公開実験を実施することとなった。テラヘルツ波の高速大容量の通信を確認するため、超高精細映像(4K映像)を、圧縮ではなく、非圧縮で伝送を行い、また、スムーズな映像伝送を確認するため、京都会場と東京会場の二つに分かれ、双方向のリアルタイムの映像会議を行った。ネットワーク構成としては、テラヘルツの無線回線と高速の有線回線を接続させ、世界で初めて、有線・無線を統合したネットワークで10Gbpsという超高速の双方向通信を実現した。具体的にはテラヘルツ無線の送受信機を東京大手町に配置し、それぞれの会場に接続したNICTの高速回線JGN2plusを経由し、テラヘルツ無線機に接続を行った(下図参照)。会場に参加された方にも、テラヘルツの有効性を確認していただき、評価を得ることとなった。

また、調査検討会での議論の中で、反響の大きかった医療分野でのニーズについて、実際に、手術現場で活躍されている医師達から、一般参加者向けに講演していただき、更に、ICTと最先端医療技術の連携により、将来的に期待できる利用シーンを想定したデモンストレーションを行った。なお、実際に参加者が体験できる場を設け、テラヘルツ無線通信の有効性を体感していただいている。今後の取組の中に反映させるべく、アンケート調査を実施し、参加者からの声を集めている。



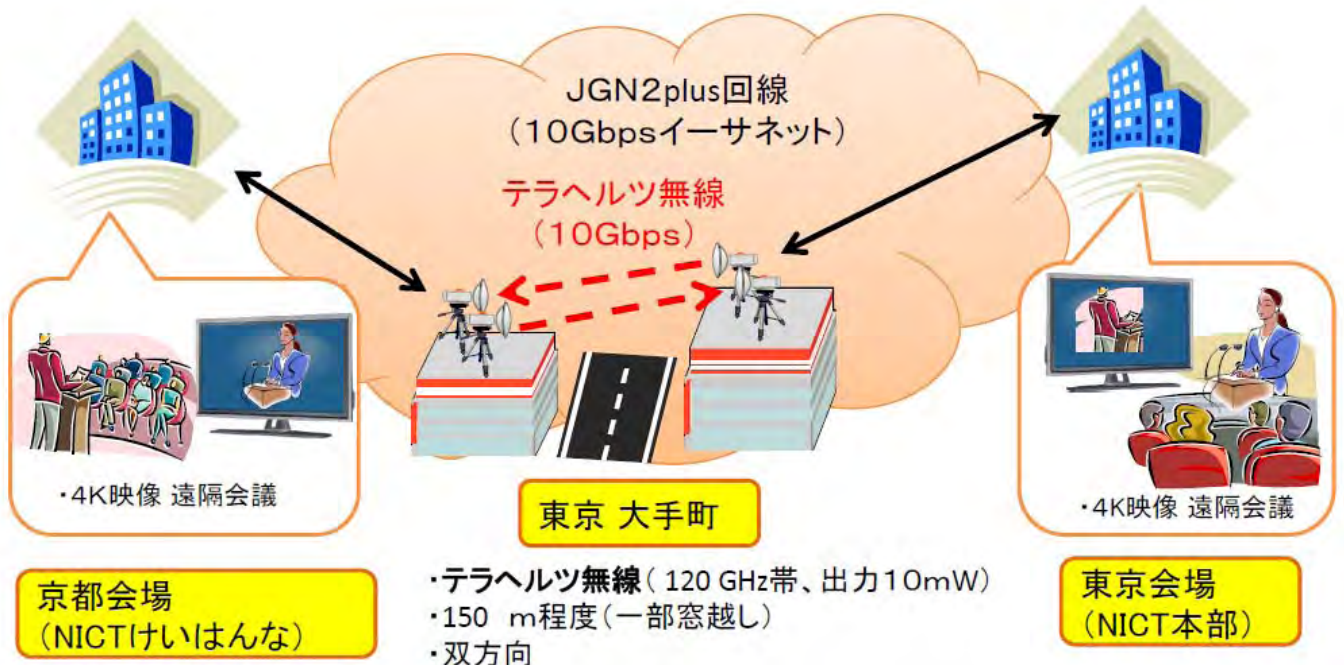
2 実験① テラヘルツ無線とネットワークの構成

テラヘルツ無線機は、NTT等で開発された120GHz帯の無線機(最大出力10mW)を用意し、東京の大手町の2つの建物に送信機、受信機をそれぞれ配置し、10Gbpsの双方向通信を実現した。今回の伝送実験では、伝送距離は道路を隔てて、150m程度であった。

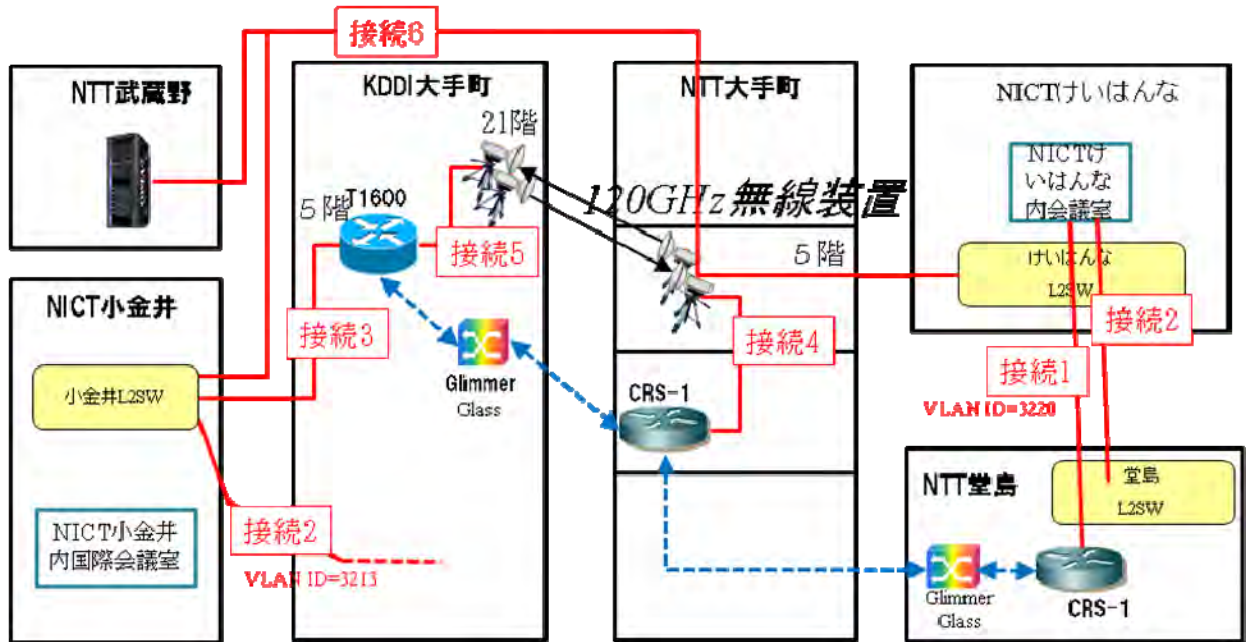
京都会場及び東京会場から、大手町のテラヘルツ無線機までは、NICTの研究開発用の超高速ネットワークJGN2plusをアクセス回線として利用することで、京都と大阪の間を10Gbpsの高速回線で結ぶことができた。

スムーズな映像伝送を確認するために、司会進行役、講演者等を、敢えて両会場に分かれて配置し、会場のモニターを通じてやりとりを行った。通常、一般の無線通信を利用した映像会議では、通信速度が遅いため、映像のサイズを縮小するために圧縮を行うが、その処理時間もかかるため、スムーズな伝送が難しく、やりとりにもぎこちなさが生じる。今回のテラヘルツ無線の映像では、通信速度が速く、映像も圧縮されないため、非常にスムーズな映像伝送が行われ、違和感のない映像会議を実施することができた。当初、参加者に対して、無線通信であることを確認していただくために、会議の終了時、テラヘルツ無線の経路を通信無線が反射するアルミ素材で遮断し、会議場の映像を切ることで会場参加者にも確認していただくことを想定していたが、写真で示す通り、2つのビル間で工事現場のクレーンが横切る事態が発生し、一時回線が乱れる現象が生じ、図らずも、無線を利用していることを示すことができた。

■公開実験のネットワーク 構成イメージ図



■ 公開実験のネットワーク 詳細接続図



■ 永妻座長より、ネットワーク構成を説明



■ テラヘルツ無線機(大手町)



■ 京都会場でスピーチを行う野津局長(左側)と 東京会場で司会進行を務める太田部長(右側)



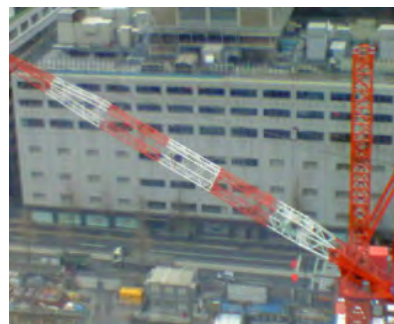
■ 京都会場の杉本特命講師(左側)と 東京会場の伊関教授(右側)



■ テラヘルツ無線機 装置設置場所の環境 赤丸印:アンテナ位置



(a) 定常クレーン作業時



(b) クレーン作業開始時

3 実験② 手術支援ロボット・ダビンチとネットワークの構成

平成22年度の調査検討会では、テラヘルツ無線通信のライフ分野とグリーン分野における貢献の可能性を探ってきたが、反響の大きかったもののうち、手術現場における最先端医療技術とICTとの連携について講演された東京女子医科大学の伊関教授達と、神戸大学の杉本特命講師に、公開実験でも一般参加者向けに講演していただくとともに、将来的な利用シーンを想定したデモンストレーションを行った。

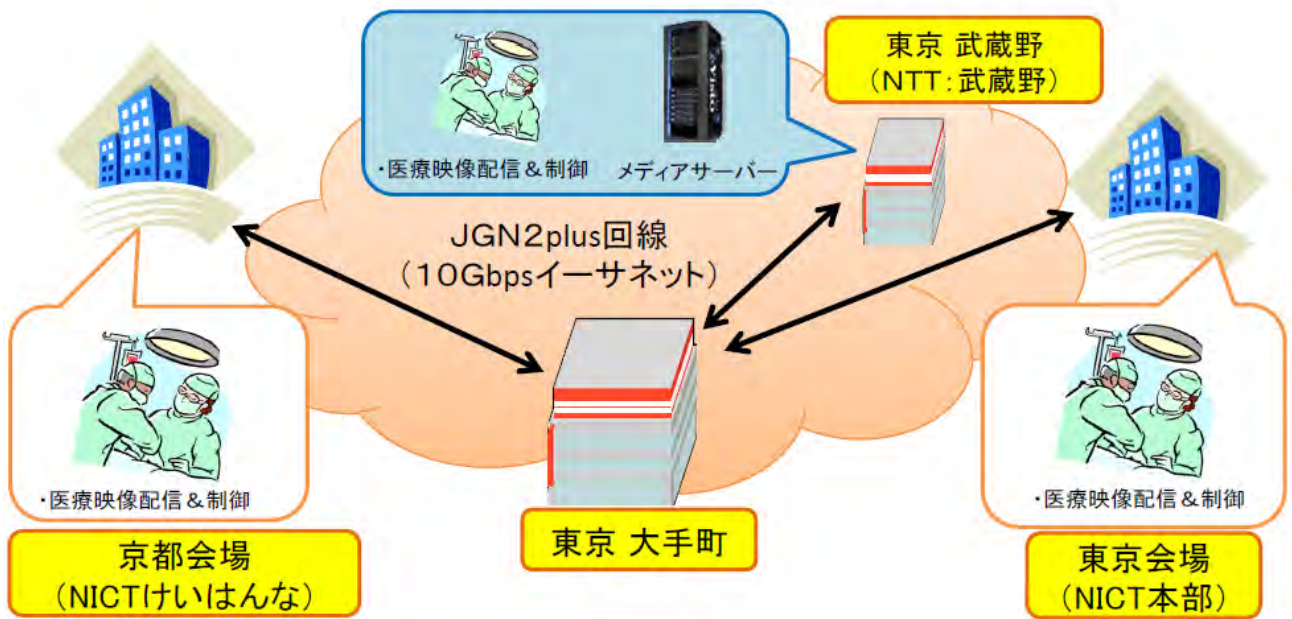
手術支援ロボット・ダビンチは、ロボットアームを使用して内視鏡手術を行うシステムであり、システムの構成としては、患者の治療を行うロボットアームの部分と、医師が内視鏡の映像を確認し、アームを操作するためのコンソール部分、手術を補助する医師用のモニターで構成されている。なお、この機器の間のデータのやりとりは、現在、有線回線にて接続されている。また、この手術の様子を手術室内だけではなく、手術室外の医師がICTを活用することでモニター確認できるようになると、手術室の医師の負担を軽減することが可能となる。こういった面で、今後、テラヘルツ無線やICTにおける医療分野への貢献の可能性があると考えられている。

今回の公開実験では、将来的に、ダビンチの手術の様子を、ICTのネットワークを通じて、手術室外の医師がモニターでき、随時、手術を行う医師に対し、指示が出せるようになった環境を想定し、その利用シーンを示すべくデモンストレーションを行った。

デモンストレーションの構成としては、公開実験当日に、リアルタイムに実際の手術を行うことはできなかったため、事前に、ダビンチで豚の内視鏡手術を実施し、その内視鏡の映像を録画したものをネットワーク上のサーバーに保存し、公開実験当日に会場から、そのサーバー上の映像データにアクセスし、その手術の様子を確認した。ダビンチの手術映像は、3Dの立体映像としてモニターに映し出されるため、操作する医師にとっても、患者の体内の奥行きが容易に把握でき、正確なアーム操作が行えるようになっている。また、治療の際に臓器を糸と針で縫うという縫合作業を行うが、モニターの映像だけを判断にして、アームを操作するため、高

精細でスムーズな映像は不可欠なものとなっている。この3Dの立体映像で高精細な映像は、膨大なデータ量となるが、高速回線JGN2plusを利用することで、会場のモニターでも、実際に操作する医師と同等の映像を確認することができ、このような環境が、将来的に医療現場に貢献でき、遠隔医療に資する可能性があることが確認できた。なお、本実験の当日のネットワークではテラヘルツ無線は接続していない。

■ 医療系実験のネットワーク 構成イメージ図



■ ダビンチのコントロール部分(左) ロボットアーム部分(右)



(写真提供: 神戸大学 杉本真樹)

- ダビンチのコントロール部に用意されている医師用のモニター



- ダビンチの3Dハイビジョンの内視鏡映像を3Dメガネで確認する参加者



内視鏡手術を実施するためには患者の体内の様子を3Dのハイビジョン映像で確認しながら実施していく。ダビンチを操作する医師は、上部の用意された左右の目のディスプレイで、その映像を確認しながらアームを操作する。公開実験では、その映像を3Dテレビに表示を行うことで参加者に体験していただいた。

4 実験③ 医療用画像処理ソフトOsiriX (オザイリクス)

医療画像処理ソフトOsiriX (オザイリクス)は、市販されているパソコンのMacintoshで起動するアプリケーションソフトである。患者の体内のCTデータやMRIデータをパソコンの中に取り込み、パソコンのモニターに立体画像として表示することが可能で、立体画像は単純な静止画像の表示だけではなく、マウス等の操作により、立体画像を360度回転させることで臓器の裏側の様子まで容易に確認することもできる。この画像データはインターネット等のネットワークを通じ、他の端末と共有することが可能となっており、送信先側のパソコンと表示画面を共有し、送信先側の操作で表示画面を変更することも可能となっている。医療現場では、診断の際、こういった医療用画像を共有することで、院外にいる医師に相談し、診断の助言を受けるとも可能となっている。立体画像のデータは、大量の画像データで構成されているため、データ伝送に高速な回線を必要としており、通常回線では、立体画像などの操作を行うと、スムーズに表示させることは難しい。

今回の公開実験では、一般の高速なネットワークが整備され、遠隔にいる医師でも、立体画像がスムーズに操作でき、助言を与えることができることになった環境を想定し、その利用シーンを示すべく、研究開発用の高速のJGN2plusのネットワークを用意し、デモンストレーションを行った。

京都会場と東京会場のパソコンで、医療画像を共有し、臓器などの医療画像を3D立体視として表示し、それでも高速にレンダリング処理が実現され、互いにスムーズな操作が、一般参加者も含めて確認し合うことができた。この実験により、遠隔医療、遠隔教育(テレメンタリング)にテラヘルツ波の高速大容量通信の有用性が確認できた。なお、本実験の当日のネットワークは、テラヘルツ無線は接続していない。

■ OsiriX (オザイリクス)の画像と操作について説明する杉本特命講師



■ OsiriX (オザイリクス)のディスプレイ映像(アナグリフ式の3次元映像)

OsiriXはアナグリフ式の3次元映像(赤と青で重ねられた立体映像)を表示する機能があり、医療の手術現場のみではなく、教育にも利用されている。

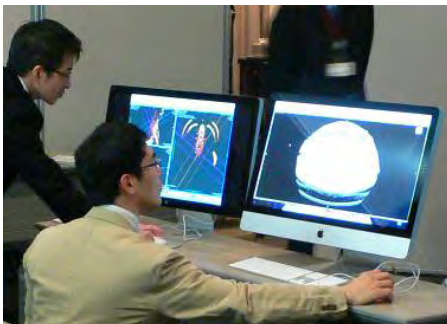


(写真提供:神戸大学 杉本真樹)

■ OsiriX (オザイリクス)を操作している参加者

(赤青の立体メガネで立体表示を確認している参加者(右側))

(京都会場)



(東京会場)

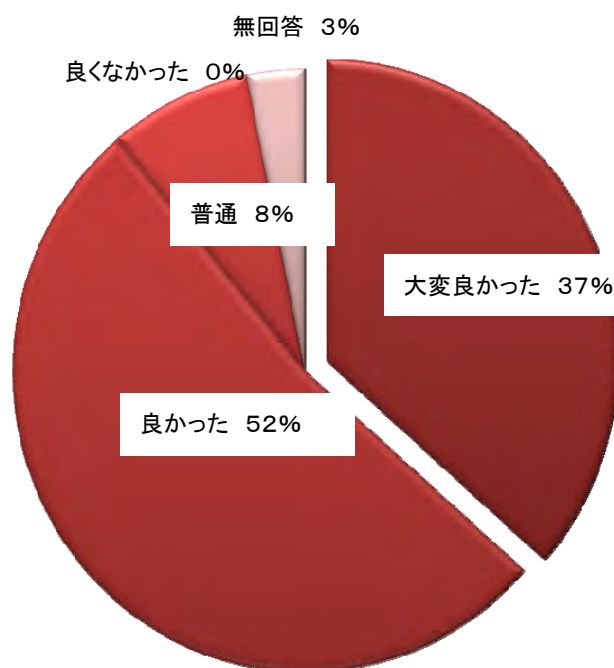


5 参加者からの声

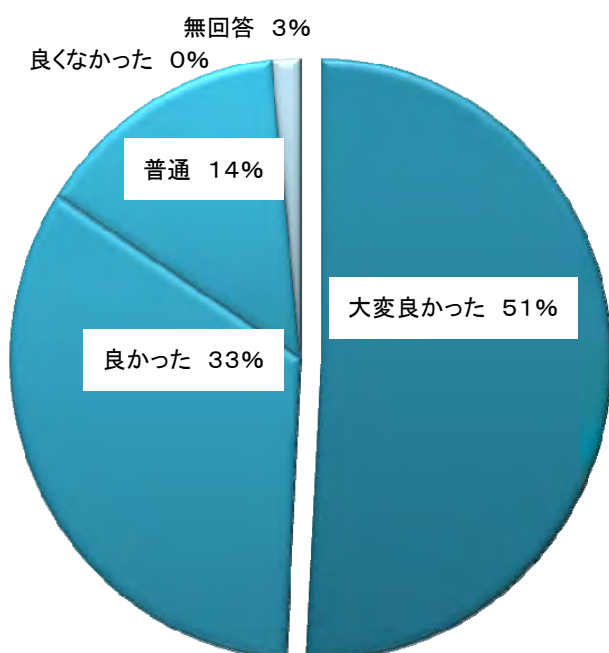
デモ実施に当たり、アンケート用紙を事前に配布し、デモを見終わった後に参加者に記入をお願いした。参加者数81名のうち、回答者数は53名、下記の質問項目に対するアンケート結果を示す。

■ I 講演の印象をお聞かせ下さい。

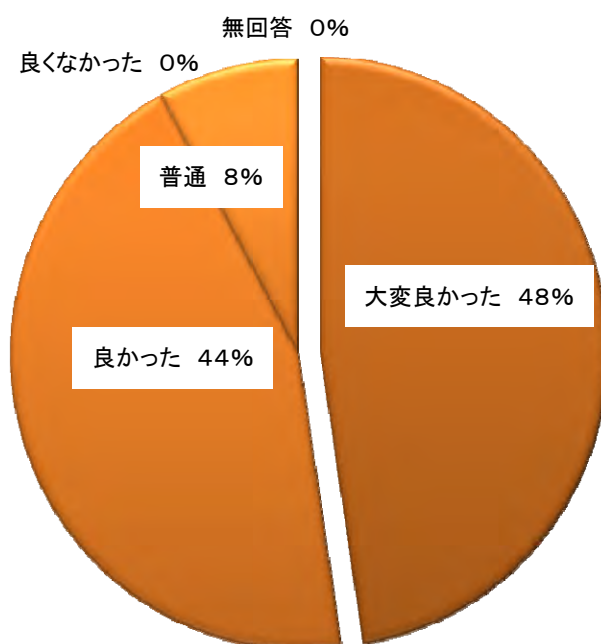
【テラヘルツ波帯の情報通信の利用について】



【インテリジェント手術室】



【医領域解放構想】



3つの講演プログラムのうち、全てにおいて、多くの参加者から、良い印象を与えていることがわかった。なお、とりわけ、医療ICTの2つの講演については、大変良かったとの回答が半数近くを占めている。このことから、多くの参加者は、テラヘルツの関心を持っていただいた上で、今後の、高速なICTの医療現場への貢献等の具体的な活用ニーズに対して非常に強い関心を持たれていると考えられる。

■II 「テラヘルツ波無線」に期待することや使ってみみたい利用シーンなど

テラヘルツ無線に期待する回答として、大きなものとしては、現行の有線回線では利用できないラストワンマイル問題の解決や、離島、僻地への通信手段として求められている回答が多かった。また、利用シーンとしては、高精細映像の伝送といった大容量データ通信の回答が多かった。

主な回答

- ・普及させるには、利用価格やインフラの整備が必要
- ・離島やへき地にも欲しい
- ・ラストワンマイルの解決手段
- ・ホームネットワークの完全ワイヤレス化
- ・ロボットとの通信
- ・研究や教育等の医療以外への展開
- ・ハイビジョン映像のパソコンへのダウンロード
- ・環境に優しい省エネの瞬時転送に期待
- ・省エネに関し、bps/wを検証すべく、室内外、移動時等に実験を展開

■III その他

その他の意見としては、こういった実用面の実証をおこなう公開実験については、研究開発を行う達からとても重要であり、今後もタイムリーに開催することを望まれる意見が多かった。また、今回の公開実験においては、テラヘルツ無線のケースごとのデータ検証や通信コストや消費電力等のデメリットなど、説明が不足していたことの見解があり、今後の開催に活かしたいと考える。

主な回答

- ・最新の動向がよくわかった。
- ・今後もタイムリーに開催してもらいたい。
- ・このような実用面の実証を公開で行うのは、開発する側には、とても重要。
- ・テラヘルツ帯の伝送をデータ検証するなど、分かりやすく提示して欲しい。
- ・テラヘルツ帯（120G）のメリット、デメリットを示して欲しい。
- ・通信コストに係る情報や、ミリ波との違いの説明が欲しかった。
- ・高速通信の研究の意義を考える良い機会になった。
- ・医療ICTの具体的なイメージがついた。
- ・テラヘルツの通信機器（ハードウェア）の公開実験も行ってほしい。

6 公開実験の機材等について協力いただいた主な企業

■実験用ネットワーク

JGN 2plus

(独)情報通信研究機構 (NICT)

テラヘルツ無線機・メディアサーバー等

日本電信電話 (株) (NTT)

■映像機器

4Kモニター、4Kカメラ

アストロデザイン (株)

3Dディスプレイ

(独)情報通信研究機構 (NICT)

■映像コンテンツ

ダビンチ3D映像

エフエー システム エンジニアリング (株)

(株)NHKメディアテクノロジー

OsiriX (技術サポート)

(有)ニュートン・グラフィックス

■会場

京都会場・東京会場

(独)情報通信研究機構 (NICT)

「テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会」

開催趣旨

テラヘルツ波は光と電波の境界にあり未踏の領域といわれてきたが、平成17年1月、科学技術立国再生に向けた国際競争力強化のため、日本が重点的に開発に取り組むべき国家基幹技術のひとつとして、テラヘルツ波による計測・分析技術が位置づけられた。総務省では、テラヘルツテクノロジー動向調査委員会を設置してテラヘルツ技術の現状と課題を整理するとともに、戦略的情報通信研究開発推進制度によりテラヘルツ波の研究開発に対し支援等を行ってきたところである。

テラヘルツ波は、①紙やプラスチック等非金属を透過する、②物質等固有の吸収スペクトルを測定できる、③X線に比べて人体への影響が少ない等の特性を有している。この特性に着目して、近年、非破壊検査、セキュリティ（禁止薬物・危険物検査等）、医療（皮膚癌診断等）、農業・食品（残留農薬検査等）などの分野では、テラヘルツ波の新産業への応用に向けた研究開発・実利用が進められている。

一方、情報通信分野では、高精細度映像や立体映像といった超臨場感コミュニケーション技術等が進み、更なる大容量伝送へのニーズが高まるとともに、家庭内においても光ファイバーが利用されパソコン、テレビ、DVDレコーダー等ホームネットワークの大容量・高速化が進んでいる。現在、ホームネットワークのワイヤレス化として無線通信も利用されているが、無線の伝送容量が光ファイバーの伝送容量に至っていないため通信のボトルネックを招いており、テラヘルツ波を利用した無線での大容量伝送が期待されるとともに、そのデバイスの小型化により今後のホームネットワーク等通信への利用が期待されている。

昨年度は、本調査検討会では、テラヘルツ波の研究開発・実利用が周波数の低い方から高い方に向かって進んでいる中、近未来を念頭に置いて100GHzから500GHz程度までを対象とし、産学官連携により、当該周波数帯（以下「テラヘルツ波帯」という。）の現状課題とニーズを整理し、テラヘルツ波帯を利用した社会のすがたについて検討するとともに、今後一層大容量化が進む有線系情報通信ネットワークと、情報家電や通信機器等へのテラヘルツ波帯利用の可能性及び課題を探り、報告書としてまとめた。

本年度も引続き、産学官連携により、テラヘルツ波帯利用の可能性及び課題を整理する。本年度は、特にテラヘルツ波帯利用によって解決できるライフ分野（医療、ワーク、高齢化等）・グリーン分野（エコ）への貢献と課題、諸外国の動向及び標準化の動向、電波干渉の諸問題、各種要素技術の動向等について検討を行う。これにより、テラヘルツ波を利用した通信技術の進展を促し、将来の具体的な利活用につながる手掛かりを導いていくこととしたい。

開催要綱

1 名称

本会は、「テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会」（以下「調査検討会」という。）と称する。

2 目的

本調査検討会は、昨年度に引続き、産学官連携により、テラヘルツ波帯利用の可能性及び課題等を整理する。今年度は、特にテラヘルツ波帯利用によって解決できる主にライフ分野（医療、ワーク、高齢化等）・グリーン分野（エコ）への貢献と課題、諸外国の動向及び標準化の動向、電波干渉の諸問題、各種要素技術の動向等について検討を行う。これにより、テラヘルツ波を利用した通信技術の進展を促し、将来の具体的な利活用につながる手掛かりを導いていくことを目的とする。

3 検討項目

調査検討会の目的を遂行するため、テラヘルツ波帯利用の可能性及び課題を探り、次の項目について調査・検討する。

- (1) ライフ分野（医療、ワーク、高齢化等）への貢献と課題
- (2) グリーン分野（エコ）への貢献と課題
- (3) 諸外国の動向及び標準化の動向
- (4) 電波干渉の諸問題
- (5) 各種要素技術の動向
- (6) その他

4 構成

調査検討会の構成は、次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、近畿総合通信局長の委嘱を受けた委員により構成する。
- (2) 調査検討会に、座長を置く。座長は、委員の互選により選出する。
- (3) 必要に応じてオブザーバーの参加を認めることができる。
- (4) 調査検討会には、必要に応じ具体的な検討を行う作業部会を置くことができる。
- (5) 作業部会の構成員は、調査検討会で定める。
- (6) 作業部会の部会長は、作業部会の構成員の中から座長が指名する。
- (7) 本会の事務局は、近畿総合通信局情報通信部情報通信連携推進課に置く。

5 運営

調査検討会の運営は次のとおりとする。

- (1) 調査検討会は、座長が招集し主宰する。
- (2) 運営に関して必要な事項は、調査検討会において定める。

6 開催期間

調査検討会の開催期間は、平成22年9月から平成23年3月までとする。

「テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会」構成員名簿

平成23年3月現在

(五十音順・敬称略)

座長	ながつま ただお 永妻 忠夫	大阪大学大学院 基礎工学研究科 教授
委員	ありもと かずたみ 有本 和民	ルネサスエレクトロニクス株式会社 技術開発本部 システムコア開発統括部 統括部長
委員	おおにし だい 大西 大	ローム株式会社 フォトニクス研究開発センター センター長
委員	かがた しゅん 加賀田 俊	西日本電信電話株式会社 技術革新部 技術部門 技術渉外担当 担当部長
委員	かど ゆういち 門 勇一	京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科 電子システム工学部門 教授
委員	くくつ なおや 久々津 直哉	日本電信電話株式会社 NTT マイクロシステムインテグレーション研究所 スマートデバイス研究部 光マイクロ波応用システム研究グループ リーダー 主幹研究員
委員	こんどう たかし 近藤 孝志	株式会社村田製作所 技術・事業開発本部 次世代技術研究所 研究部
委員	さくの けいいち 作野 圭一	シャープ株式会社 電子デバイス事業本部 A1265 プロジェクトチーム Bグループ 参事
委員	とうち まさよし 斗内 政吉	大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター 教授
委員	ほうさこ いわお 寶迫 巖	独立行政法人情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター 先端 ICT デバイスグループ グループリーダー
委員	ほそえ しげる 細江 秀	コニカミノルタ テクノロジーセンター株式会社 イノベーション推進センター イノベーション企画室 担当課長
委員	まつおか たいすけ 松岡 泰助	関西テレビ放送株式会社 制作技術局 制作技術部 エキスパート
委員	やました いくお 山下 育男	関西電力株式会社 研究開発室 電力技術研究所 IT サービス研究室 シニアリサーチャー
委員	やまもと けいじ 山本 敬治	株式会社東芝 電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部 マイクロエレクトロニクス・ネットワーク技術担当 グループ長

オブザーバー	きりの 桐野	ひでき 秀樹	パナソニックヘルスケア株式会社 画像診断ビジネスユニット 技術グループ 第一チーム 主任技師
オブザーバー	くりやま 栗山	かずひさ 和久	関西テレビ放送株式会社 制作技術局 報道技術部 エキスパート
オブザーバー	せきね 関根	のりひこ 徳彦	独立行政法人情報通信研究機構 新世代ネットワーク研究センター 先端 ICT デバイスグループ 主任研究員
オブザーバー	むかい 向井	としかず 俊和	ローム株式会社 研究開発本部 フォトニクス研究開発センター 研究員
オブザーバー	しみず 清水	ひさし 久志	総務省 情報通信国際戦略局 技術政策課 研究推進室 イノベーション推進官
オブザーバー	たけおか 武岡	まさひろ 正裕	総務省 情報通信国際戦略局 技術政策課 研究推進室 課長補佐

(事務局) 総務省 近畿総合通信局 情報通信部 情報通信連携推進課

テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会
平成22年度 ワーキンググループの構成

参考資料4

平成23年3月現在
(敬称略)

■ 幹事役

ながつま 永妻	ただお 忠夫	大阪大学
とのうち 斗内	まさよし 政吉	大阪大学
ほうさこ 寶迫	いわお 巖	独立行政法人情報通信研究機構
かど 門	ゆういち 勇一	京都工芸繊維大学
くくつ 久々津	なおや 直哉	日本電信電話株式会社

■ ワーキンググループ1 ライフ分野 担当

ほそえ 細江	しげる 秀	【リーダー】	コニカミノルタ テクノロジーセンター株式会社
きりの 桐野	ひでき 秀樹		パナソニックヘルスケア株式会社
まつおか 松岡	たいすけ 泰助		関西テレビ放送株式会社
くりやま 栗山	かずひさ 和久		関西テレビ放送株式会社

■ ワーキンググループ2 グリーン分野 担当

やました 山下	いくお 育男	【リーダー】	関西電力株式会社
かがた 加賀田	しゆん 俊		西日本電信電話株式会社
やまもと 山本	けいじ 敬治		株式会社東芝
せきね 関根	のりひこ 徳彦		独立行政法人情報通信研究機構

■ ワーキンググループ3 諸外国の動向・標準化の動向 担当

幹事役

■ ワーキンググループ4 電波干渉の諸問題 担当

幹事役

■ ワーキンググループ5 各種要素技術の動向 担当

おおにし 大西	だい 大	【リーダー】	ローム株式会社
むかい 向井	としかず 俊和		ローム株式会社
さくの 作野	けいいち 圭一		シャープ株式会社
こんどう 近藤	たかし 孝志		株式会社村田製作所
ありもと 有本	かずたみ 和民		ルネサスエレクトロニクス株式会社

「テラヘルツ波帯の情報通信利用に関する調査検討会」
平成22年度の開催状況

区 分	検 討 内 容 等
平成 22 年度 第1回会合 (平成22年9月17日)	<ul style="list-style-type: none"> ○本検討会の位置づけ ○今年度の目標と進め方
平成 22 年度 第2回会合 (平成22年10月19日)	<ul style="list-style-type: none"> ○諸外国・標準化の動向 <ul style="list-style-type: none"> ・海外の研究動向について (大阪大学 永妻 忠夫) ・ロームにおけるテラヘルツ技術開発の取り組み状況について (ローム株式会社 大西 大、向井 俊和) ・IEEE802.15 Terahertz Interest Group (IGthz)に関する動向 (日本電信電話株式会社 味戸 克裕) ○電波干渉の議論 <ul style="list-style-type: none"> ・電波天文関係について (大阪府立大学 小川 英夫)
平成22年度 第3回会合 (平成22年11月16日)	<ul style="list-style-type: none"> ○テラヘルツとライフ <ul style="list-style-type: none"> ・インテリジェント手術室について ～ヒアリング結果(概要)～ ○テラヘルツとグリーン <ul style="list-style-type: none"> ・ICTを活用した働き方、テレワークの可能性 (株式会社NTTデータ 小豆川 裕子) ・グリーン ICT の現状と NTT グループの取り組み (日本電信電話株式会社 染村 庸)
平成22年度 第4回会合 (平成22年12月20日)	<ul style="list-style-type: none"> ○テラヘルツとライフ <ul style="list-style-type: none"> ・インテリジェント手術室と高速大容量ネットワーク (東京女子医科大学 伊関 洋、村垣 善浩) ・Innovative ICT による“医領”解放構想 (神戸大学 杉本 真樹) ○テラヘルツとグリーン <ul style="list-style-type: none"> ・ICT 機器サイドから見たグリーンについて (情報通信研究機構 川西 哲也) ・ミリ波ブロードバンド通信・高速移動体通信技術 (三菱電機株式会社 小西 善彦)
平成22年度 第5回会合 (平成23年1月14日)	<ul style="list-style-type: none"> ○要素技術の動向 <ul style="list-style-type: none"> ・シリコンテクノロジーを中心とした高速信号処理技術、周辺技術の動向 (ルネサスエレクトロニクス株式会社 有本 和民) ・THzエレクトロニクス時代における化合物半導体デバイス技術 (日本電信電話株式会社 榎木 孝知) ○テラヘルツ通信と放送分野 <ul style="list-style-type: none"> ・報道現場でのテラヘルツ利用イメージ～速報性向上のために～ (関西テレビ放送 栗山 和久) ○デモ実験に関して ○とりまとめ報告書について
平成22年度 公開実験 (平成23年2月4日)	<ul style="list-style-type: none"> ○高精細映像の非圧縮無線伝送・再生 ○最先端技術を活用した遠隔医療の模擬実演 等 (東京女子医科大学 伊関 洋、村垣 善浩 神戸大学 杉本 真樹)