

第4章 テラヘルツ無線の実現に向けて

4-1 テラヘルツ無線の考え方とその利用シーン

4-1-1 利用シーンの分類とイメージ

テラヘルツ帯電磁波の特徴を活かしたテラヘルツ帯無線の応用シーンを表4-1-1にまとめる。応用シーンは伝送距離にして1cm程度から数万kmにも及び、今後デバイス開発が進展することによって幅広い応用可能性があると言える。特に身近な距離の伝送において、テラヘルツ帯無線の特徴（ミリ波帯より大容量、小型、かつ光波帯より位置合わせが容易）を活かした格段に利便性の高いシステムを構築できると考えられる。

距離	アプリ	特徴	利用シーン
数万km ~100km	宇宙-成層圏 基幹超高速 無線ネット ワーク	<ul style="list-style-type: none"> 衛星-衛星間リンクでは真空中のため大気減衰なし。 ミリ波帯より大容量、かつ小さなアンテナ。 光帯より位置合わせが容易（簡易なポインティングデバイス） 宇宙-成層圏リンクにおいては大部分は真空中、高度10km程度と衛星軌道間は大気窓がかなりある。減衰~3dB程度。 地上~衛星間リンク(フィーダーリンク)は多値変調ミリ波帯無線による。 	<ul style="list-style-type: none"> 複数の周回衛星により、地上の光ファイバ網とは独立した低遅延基幹網を構成。 成層圏航空機からのリンク（THz帯） ミリ波帯フィーダーリンクにより、地球上のあらゆる地点から利用可能（災害現場等からの非常時大容量リンクによる被災状況の把握。海上船舶からのリンク（ミリ波帯）、未開発地帯からのリンク（ミリ波帯）等。）。
数km	基幹光ファイバ通信の補完	<ul style="list-style-type: none"> 300GHz帯程度以下、多値変調を用いた100Gbps級-1km級伝送 ミリ波帯より大容量、かつ小さなアンテナ。 	<ul style="list-style-type: none"> 川越え、谷越え、等 ルーラルエリアにおける光ネットワークの補完（無線メッシュネットワーク）
1km	超高速固定無線アクセス	<ul style="list-style-type: none"> 光帯より位置合わせが容易（簡易なポインティングデバイス）、かつシンチレーションの影響が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ビル-ビル間、スポーツ中継現場の臨時回線
数百m	第5世代携帯電話		<ul style="list-style-type: none"> ヘテロロジーニアス無線アクセス
数十m	超高速無線LAN		<ul style="list-style-type: none"> シンクライアント、超高速ファイル転送
10m以下	超高速無線インターフェース	<ul style="list-style-type: none"> フェイズドアレイアンテナがミリ波帯より小型（面積で数十分の1）にできる。 ミリ波帯より大容量、かつ小さなアンテナ。 光帯より位置合わせが容易（簡易なポインティングデバイス） 	<ul style="list-style-type: none"> バーチャル会議、バーチャル講義 航空機内エンターテインメント 高精細画像のストリーミング伝送 [遠隔医療・手術、超高精細ディスプレイとセットボックス間のストリーミング伝送(超高解像度ディスプレイのロケーションフリー化)、スタジオ内の超高精細カメラ映像のストリーミング伝送、航空機操縦シミュレーション、オンラインゲーム、電腦メガネ(実映像と3D映像の重ね合わせ: 超高精細ヘッドマウントディスプレイへのストリーミング3D映像伝送によるAR技術) など]
数m以下	高速鉄道・高速道路への超高速リンク		<ul style="list-style-type: none"> 鉄道、高速道路に沿ったエリアに限定された無線（リニアセル）により、路車間を超高速にリンクし、車内での超高速ネットワーク環境を構成する。 車内のデジタルデバイス状況を解決。 映像を含めた運転時ログをクラウドへ→交通事故ゼロへ

10cm以下	超高速無線データバス (インターコネクト: ボード間/チップ間)	・データベースの無線化。1m四方～10cm四方中に多数の数十Gb/s級の無線局(携帯電話(1GHz)の1/1000のダウンスケールリング)	・配線不要の超高速無線データベース
1cm以下	近接瞬時転送(KIOSKダウンロード)	大容量コンテンツの瞬時転送、10秒以下の転送時間(タッチ通信)	・携帯機器間、携帯機器とネットワーク端末間での高精細写真、ムービーファイル(HD, SHD, 3D)等のシェアリング

表4-1-1 テラヘルツ帯無線一覧表

今後10年以内程度で、電子デバイス・回路技術が扱える周波数帯が超高周波であるテラヘルツ帯にまで及ぶ。例えば、60GHz帯でフェイズドアレイアンテナを用い伝送レートが数Gbps、伝送距離が10m程度のシステムが実現されている。これが10年以内に、300GHz帯でフェイズドアレイアンテナを用い伝送レートが数十Gbps、伝送距離が10m程度のシステムが実現できると予測される。フェイズドアレイアンテナは60GHz帯では20mm四方程度の面積を必要としているが、300GHz帯では波長の比である長さで1/5、面積で1/25だけ小さくでき、4mm四方程度の面積で実現できるため、携帯機器に搭載できると考えられる。

このような大容量小型の無線は、様々な利用シーンでの応用が期待できる。次頁以降に応用シーンの具体例を示す。

テラヘルツ利用シーン



★どこでもモニターレスで使用可。



モニターパソコンやモバイル動画ストレージ等

★電子機器影響を気にせずどこでもセキュアな無線利用が可能



2

テラヘルツ無線の利用シーン

①オフィス内での超高速無線LAN

- ・多数の人が使用するオフィス内でのLANケーブル配線の煩わしさを解消
- ・フロアのレイアウト自由度大
- ・遮蔽の問題があるので、天井にアクセスポイントを設けて上下で通信
- ・各自がGbps超のアクセス環境
- ・屋外への電波漏洩が少ないので傍受されるリスクが低い(高いセキュリティ)

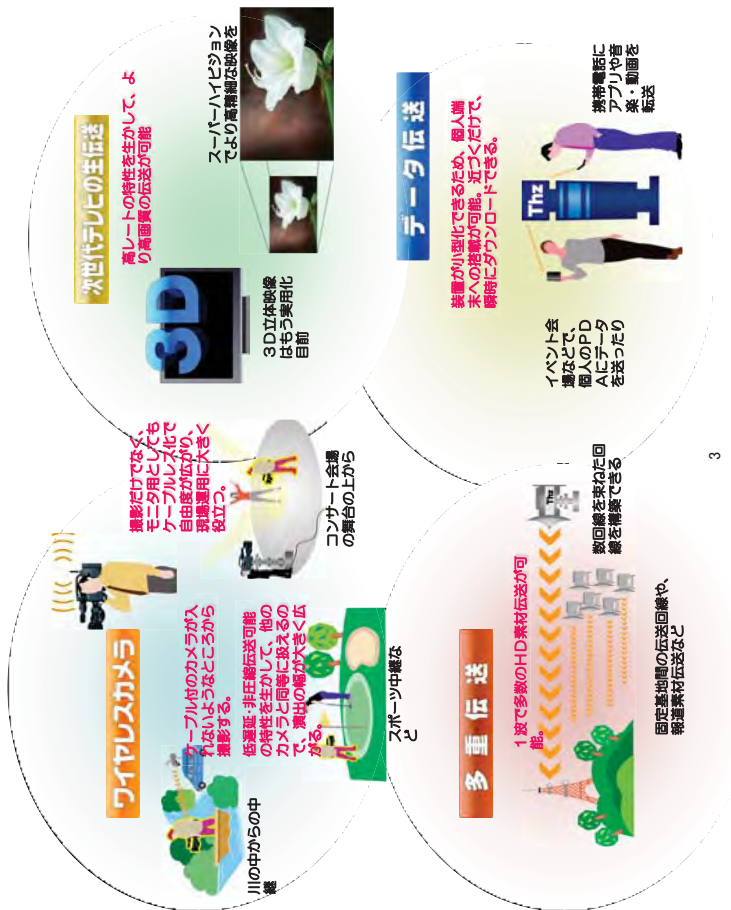
②高精細映像の多ch同時伝送(同時録画)

- ・純粋なワイヤー無線の置き換え
- ・アンテナ-TV/LCD間をテラヘルツ無線で接続
- ・送信側はただ全chを送信しているだけ(簡素なシステム)
- ・一台の送信機で複数のTVをカバール(TV側でch選択)
- ・レコーダに複数のチューナがあれば多ch同時録画が可能

③非接触アップ/ダウンロード

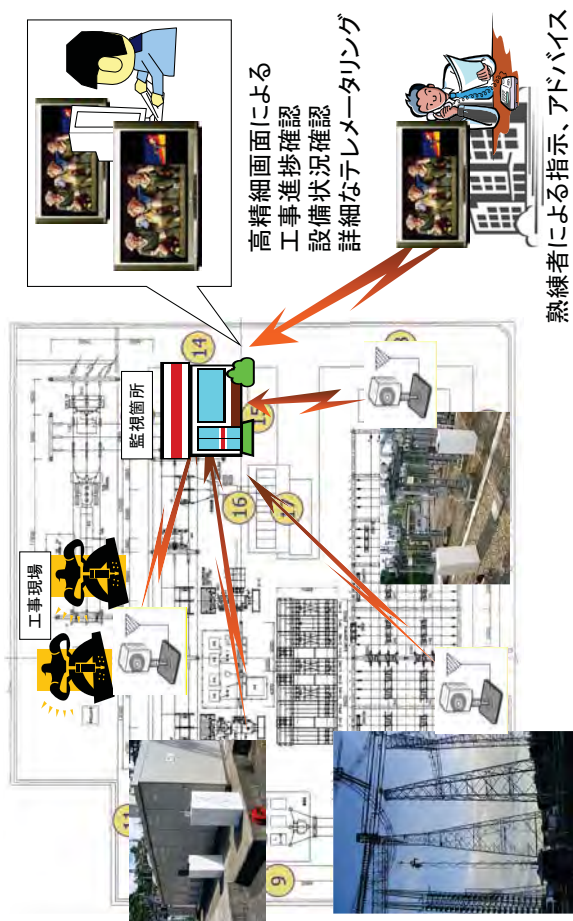
- ・リモコンのような操作イメージ
- ・通信距離は短くする代わりに指向性を広げてラフな方向付けで無線リンクが確立できるようにする。
- ・TransferJetのようなほぼ接触型でなく、手が届かない距離(1~2m)からでも送受できるイメージ
- ・ボタンを押すと同時に送受完了(位置ずれしない)

1



3

電力拠点における大容量無線(映像伝送)の適用イメージ



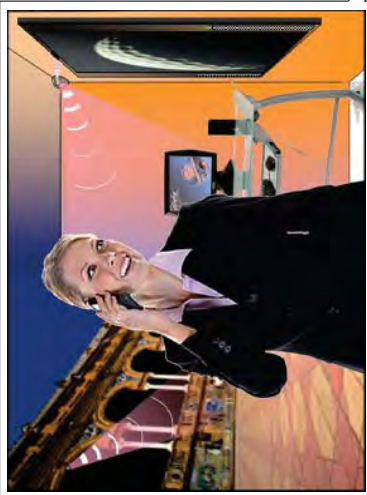
熟練者による指示、アドバイス

Initial THz Communication Applications

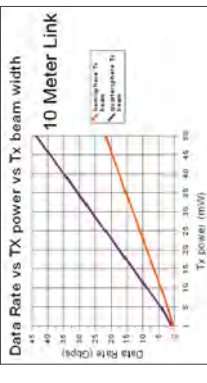
Short-distance high-data rate transfer for communications, entertainment, manifest and inventory control

So Why Terahertz?

- Vast unregulated spectral resource, Gigahertz channel bandwidths possible
- Device technologies maturing rapidly (for security scanning solutions)
- Target application: In-Building, In-Room, Outdoor "Hotspot" WLAN systems
- Communications standards initiatives begun (802.15 IG THz)
- Potential throughput: Multi-Gig-E and above

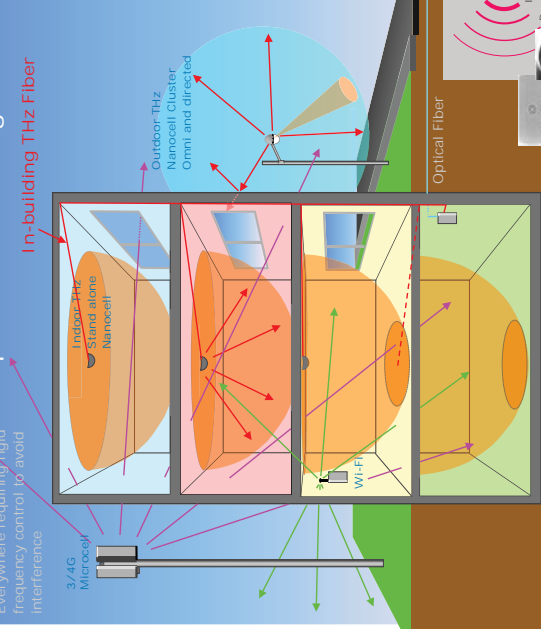


Bands of Interest	Attenuation (dB/km)	Bandwidth (GHz)
275 - 300 GHz	6	14
355 - 400	10	22
490 - 510	10	4
690 - 710	50	18
800 - 850	50	40



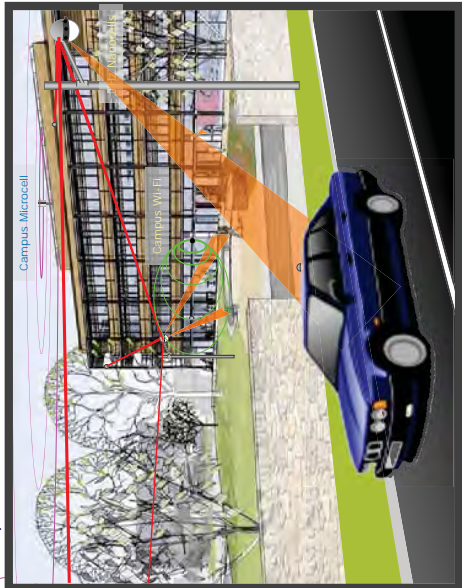
And later ... Longer distance "directed beam" applications

Indoor THz Nanocells transmissions can be contained within rooms and Buildings. Outdoor nanocell clusters can be shaped around vehicle and pedestrian traffic and will not easily penetrate indoors to interfere with existing THz systems.



After D. Britz (AT&T)
doc.: IEEE 802.15-15-10-0150-00-0thz

Triple Stack THz Nano Cell Cluster



After D. Britz (AT&T)
 doc.: IEE E 802.15-15-10-0150-00-0thz



4-1-2 大容量・近接無線通信の実現に向けて（ケーススタディ）

（テーマ） 大容量・近接無線通信ニーズと実現技術

（講師） 日本電信電話株式会社 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 門 勇一 部長

講演概要

- 本調査検討会におけるヒアリングやデモ実験に対するアンケート結果を通して、大容量データの瞬時転送ニーズが明らかになった。
- 携帯端末間や携帯端末と映像データ蓄積装置間での大容量映像データ転送ニーズに焦点を絞り、将来必要になる無線伝送速度を明らかにした。
- マイクロ波帯を用いた至近距離無線「TransferJet」のヒアリングで、テラヘルツ波帯の情報通信利用について多くのヒントを得た。コンセプトは「Touch & Get」であり、タッチすると接続・離すと切断というシンプルで分かり易い操作性とし、ネットリテラシーの低いユーザでも直感的に使える無線を目指している。また、モバイル機器がメインターゲットであり、1対1通信に限定したシンプルな構成とすることで、小型化・低コスト化を狙っている。通信距離を非常に短くすることで通信相手を限定可能とし、盗聴可能性が低く、最高 560Mbps という快適な転送を実現している。転送時間は利用シーンを想定すると 10 秒程度が限界だろう。
- 日本が強みとしている高精細映像規格が進展すると扱う映像データ量は非常に大きくなる。10M ピクセルのデジタルカメラで撮影した画像が 150 枚程度であれば CD に保存できる 700MB 程度で済むが、映像になると 2 時間の SD 規格の映像データで 11GB、これが SHD 規格になると 63GB になり、10Gbps 以上の伝送速度でないと 10 秒以下の瞬時転送は難しくなる。更に、2 時間の SHD 規格の映画のダウンロードでは 100Gbps 以上の伝送速度が必要になると考えられる、さらに、インテグレル方式の 3 次元映像データはもっとデータ容量が大きくなる。
- 上記の大容量・近接無線モジュールを世界に広く普及している携帯端末等に搭載するため、300GHz を超える周波数帯で広帯域を占有する ASK 変調方式で単純な構成のアンテナ一体型無線モジュールを開発するアプローチは有力な開発指針の一つと考えられる。
- 想定している利用シーンを実現するためには、要素技術としての「処理」、「転送」、「蓄積」、「表示」の技術を有する産業界と連携して開発を推進すべきである。ビジネスモデル構築に向けた関連業界として通信・放送業界、広告業界、ゲーム機メーカー、コンテンツ・クリエイター、及びコンテンツ流通業界と連携すべきと考えられる。日本が強みとしている上記産業の復権に向けて、産官学の連携が必要である。

質疑応答（委員会での議論）

- SSD（コンピュータの外部記憶装置として用いる半導体メモリ）の進化の表を見ると、現状はFusionIO 80GBの読み出し速度は800MB/sとなっており、80GBを読み出すのに100秒かかる。これを10秒で転送させようとするとその10倍の転送速度が必要となる。これに対してはメモリの並列化しかないのか。
 - 次の世代になると、5倍程度の速度改善が可能と聞いている。現状の能力では、メモリを並列化したボードと組み合わせて対応することになるだろう。
- 帯域を広くとって変調方式はASKでシンプルにするというアプローチは、魅力的な考え方と思うが、普及のために課題等はあるか。
 - スタンダードをどうするのかということが一番のポイント。例えばUWB（超広帯域無線）はインパルス波という非常にシンプルな方式だが広帯域を必要とする。しかし電力が小さいから周波数共用ができるということで世界的に使われるようになり、電波監理上問題がないとして認められるようになった。テラヘルツ波についても、シンプルな変調で広帯域使用が世界的なトレンドで、電波天文等の用途との調整がとれるようであれば可能ではないかと思う。そのためには、IEEEでの仕掛け作りなどが重要だろう。
 - ビットレートを上げるために、キャリアの高周波化を進めるのは意味があるのかどうか、最近それが正しいことが分かった。未発表だが300GHzまで周波数を上げて実験をした結果、わずか10 μ Wで計測器の限界を超えた。おそらく15~20Gbpsは可能ではないか。つまりキャリアの周波数を上げることでビットレートを高速化するのは非常に有効であることが分かった。120GHzの場合、1mWで10Gbpsという結果を出すのにかなり苦労したが、近距離であれば非常に小さいパワーで10Gbpsを超えることができる。あとは干渉の問題。電波天文との干渉がなければ光に近い扱いができる。アプリケーションを近接にしてローパワーで高周波化するという考えは、間違っていないと実感している。
 - 光に近いけれども位置合わせが容易で、アンテナ等の工夫により、誰でも使えるという点が普及のポイントになるだろう。アンテナ等が非常に小さくなるので、実装してしまっただけでモジュール化を進めることによって、普及が加速すると思う。
- 国策として開発を支援すべきとの提案があるが、実装する場合のボトルネックはどこにあり、何を解決すべきなのかというのは想定されているか。
 - 発振のためのキーデバイスをどうするのがポイント。超高速電子デバイスについては日本の化合物半導体メーカーが力を発揮してきたが、無線モジュールの低コスト化に向けてCMOS等安定したデバイスの供給については懸念している。
 - フォトリソグラフィではこの周波数帯は使えると思っているが、やはりその次は電子デバイスの出番。化合物の電子デバイスからCMOSの順番だろう。最新のテラヘルツ帯の計測器の例では、電波天文用などで開発してきた技術を持った会社のデバイスを組み込むことで汎用的な測定器を作り出している。これは化合物電子デバイスの役目であり日本の化合物半導体メーカーが行うのが望ましい。これによってマーケットが広がったところに、安価な製品を可能にするCMOS技術を投入し競争が生まれるのではない

- かと思う。まずは、化合物半導体を牽引する体制構築が重要ではないか。そうした体制があると、ずいぶんテラヘルツ波の応用研究が進み、応用も開拓されると思う。
- 最終的にはシリコンというのは、外せないだろう。海外の最新の成果はW帯（75～110GHz）でアンプが480mWでFECCが10%というのがでている。通倍していけば10 μ Wというのは簡単にクリアできる。さらに複雑でない変調方式であればこれ以上なにも要らない。ガリウムナイトライドが出てくると、全て通倍器で対応できるのでそういった海外の動きも注視が必要だろう。
- アジア圏を念頭に置いてもよいのではないかと感じる。台湾などアジアのCMOSのファウンドリー（受託生産会社）を企業や大学が使えるという連携シナリオも検討に値すると思う。

ケーススタディ 大容量・近接無線通信ニーズ と実現に向けたシナリオ

NTT 門 勇一

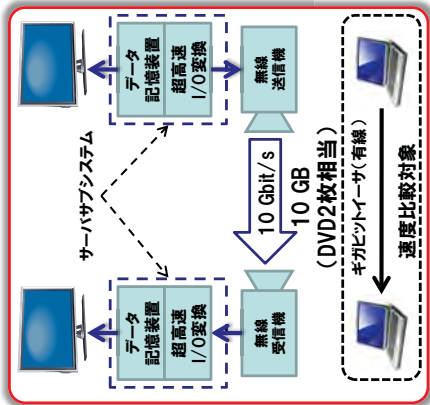
2010年3月12日

大容量映像データの瞬間無線ダウンロード

— 瞬間データ転送スファア —
(事前にビデオ撮りしたデモ実験を会場で投影)

デモ内容

- ・DVD2枚相当の10ギガバイトのデータが、わずか10秒弱で転送完了
- ・現状の汎用ギガビットイーサにより同様のデータ転送を行い、その違いを受感。



先端技術

- ・無線伝送 : 10 Gbit/s
- ・120 GHz帯無線 (*1)
- ・サーバサブシステム (*2)
 - データ記憶装置(HDDアレイ:テラバイト)
 - 超高速I/O : 3 Gbit/s x 3
- ・ラックサイズ



市中技術



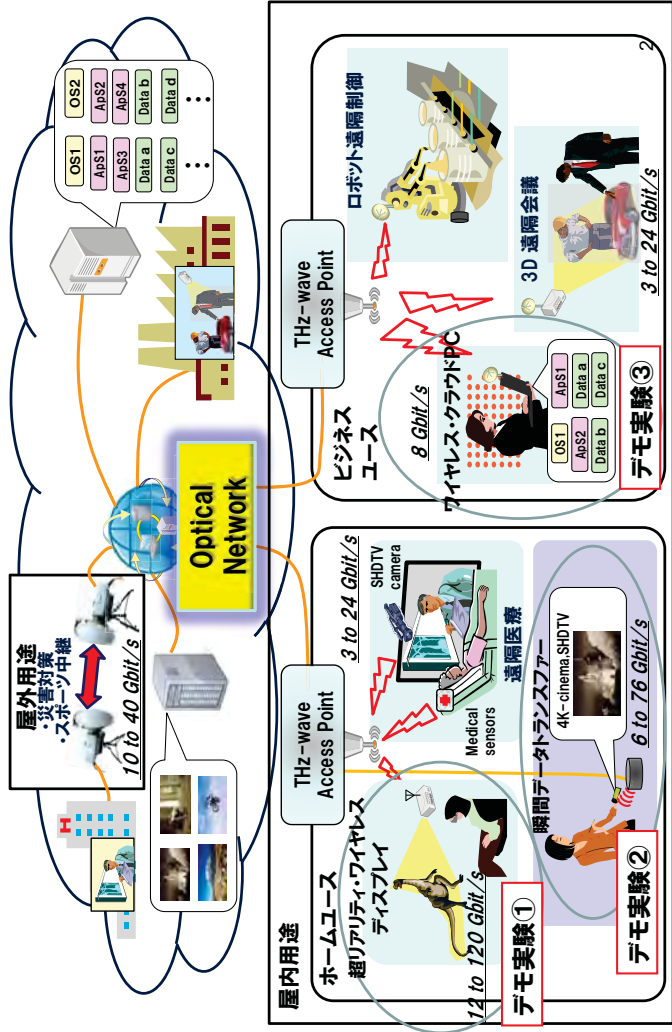
瞬間データ転送スファア

目指す世界

- ・携帯端末で大容量データの取り扱いが手軽にできる。
- ・無線伝送 : 100 Gbit/s級 THz波無線
- ・サーバサブシステム
 - データ記憶装置 : ペタバイト級
 - 半導体メモリアレイ
 - 超高速I/O : 100Gbit/s級
- ・携帯端末サイズ

3

近未来のテラヘルツ波利用イメージ及びデモ実験



69

TransferJetのヒアリングから

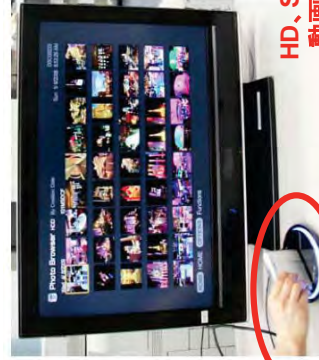


Figure 2: Displaying digital photos on the TV by simply touching the camera

HD、SHD規格のビデオカメラ



Figure 3: Transferring digital files on the go



Figure 4: Downloading digital contents to a mobile device by touching a digital signage spot

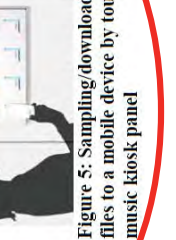


Figure 5: Sampling/downloading music files to a mobile device by touching a music kiosk panel

TransferJet™ Overview
Whitepaper

4

< 実現技術 >

- 4.48GHz帯
- 送信電力: -70 dBm/MHz 以下 (平均)
- 日本の微弱電波規制
- および他地域の現地法に対応
- 誘導電界結合
- 通信距離: 数cm
- 小型・低コスト
- 普及: コンソーシアム

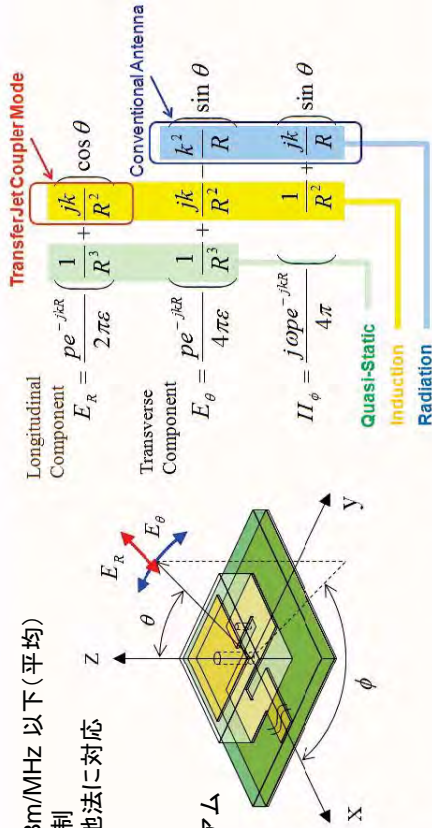


Figure 7: TransferJet™ Coupler design and field equations for an ideal dipole.

大容量・近接無線通信のユースケース例 1

IEEE802.15.3cでのユースケースの例



- 狙いは、“Touch & Get”であり、Touchすると接続・離すと切断というシンプルで分かり易い操作性とし、ネットリテラシーの低いユーザでも直感的に使える無線を目指している。
- モバイル機器がメインターゲットであり、1対1通信に限定したシンプルな構成とすることで、小型化・低コスト化を狙っている。
- TransferJetは通信距離を短くすることで通信相手を限定可能とし、盗聴可能性が低く、560Mbpsという快適な転送を実現する技術
- 応用シーン:
電子掲示板に携帯端末を近づけて情報を入手したり、携帯端末に音楽をダウンロードしたり、写真を撮影してプリンタに近づけて転送しプリントしたり、携帯端末通しを近接させファイル交換(8Mピクセル)をしたり、帰宅後に街中で入手した携帯端末の情報を家の端末に近接させホームサーバーに転送する
- タッチするなどの簡単な操作でデータがダウンロードできるというのが好ましいと考える。
タッチするのも10秒程度が限界だろう。

大容量・近接無線通信のユースケース例 2

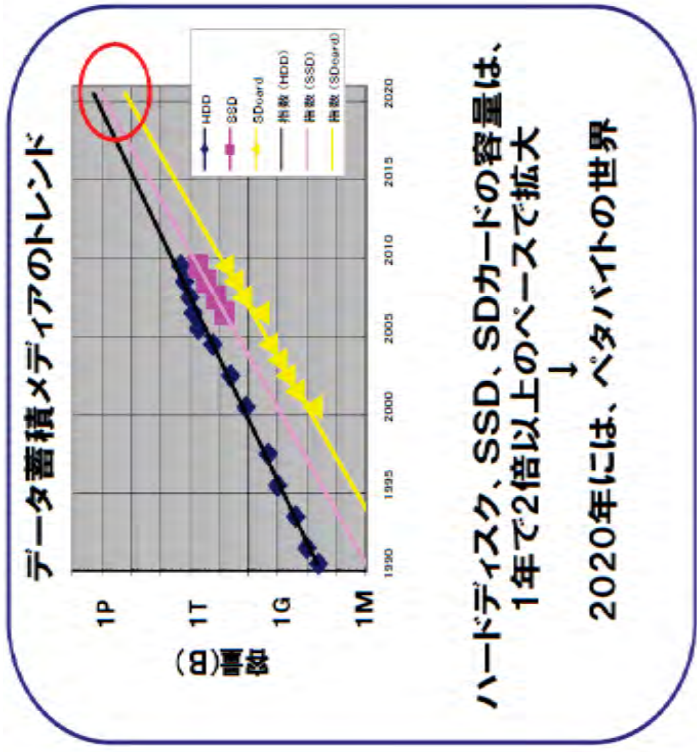
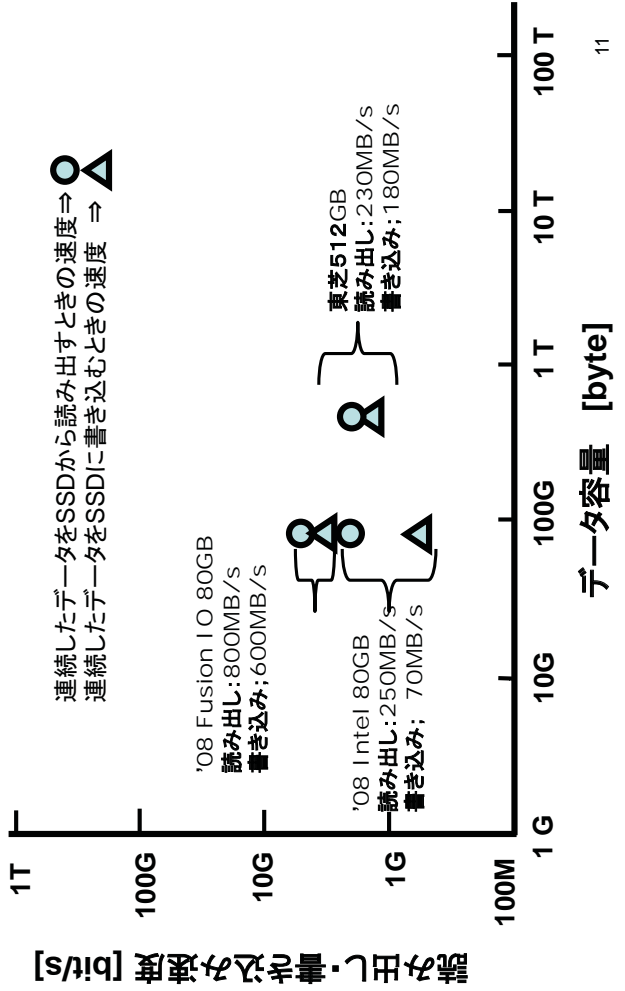


大容量・近接無線通信のユースケース例 3

- デジタルプロダクトの高性能化
 - デジタルカメラ、デジタルビデオ
 - 高精細600万画素の静止画で60枚/秒
 - 1秒間に最大1200コマ
 - 携帯電話・携帯音楽プレーヤー・ゲーム
- ストレージの大容量化

大容量ファイルをストレージ間で転送する高速I/F

Solid State Drive (SSD) の進化



大容量・近接無線通信モジュールの市場規模

据置き型

近距離高速無線線がコスト、サイズ、技術的に家電機器、PCに搭載できるレベルになれば、全AV家電機器とPCとに搭載される可能性が出てくる。
以下がポテンシャルとしての市場と考える

PCの09年世界の出荷台数予測 2億8730万台
TVの09年世界の出荷台数予測 2億40万台

携帯型

更に携帯機器の携帯電話、デジタルカメラ、SmartPhone、PDAにも搭載可能なレベルに至ると映像を必要とする全コンシューマ向け機器に搭載が可能となってくる。以下がポテンシャルとしての市場と考える

携帯電話の09年世界の出荷台数予測 10億9424万台
本市場は12年には13億2277万台になるとの予測もある。

携帯に入る要件: サイズ10mm x 10mm x 1mm x 消費電流: 数10mA (動作時)

これら全ての総計で09年見込みの15億8194万台がポテンシャル装置となり、この傾向は更に今後も続くと考えられる。

THZ通信モジュールが満たすべき条件

放送業界から (NHK)

大容量・高品質・簡単な家庭内ワイヤレス伝送システム

- ・高品質コンテンツを伝送できる大容量
 - ・ハイビジョン(圧縮~非圧縮): 17Mbps ~ 1.5Gbps
 - ・スーパーハイビジョン(圧縮~非圧縮): 100Mbps ~ 72Gbps

コンテンツを確実に届ける高品質

- ・安定なマルチキャスト/低いロス/短い遅延
- ・部屋内伝送、部屋間伝送において品質を確保すること
- ・他通信との共存状況においても品質を確保すること

誰でも使える簡単な設定

- ・機器の自動的な発見/設定
- ・設定容易な認証/セキュリティ

大容量化

- ・変調方式
- ・MIMO、ビームフォーミング

高品質化

- ・優先度に応じた伝送品質の提供
- ・干渉除去、誤り訂正などの通信エラー対策
- ・通信遅延の短縮、変動の抑制

簡易な設定

- ・機器や機能の自動発見、自動設定
- ・デバイス性能に応じた簡易な認証方式
- ・システム・機器を渡る認証情報の継承
- ・これらの機能を実現するミドルウェア技術

テレビ・情報家電のサービス連携システム

- ・サービスや機能の自動的な発見/連携/分担
- ・放送コンテンツを起点として、連携/分担を開始するプロトコル/機器
- ・将来的な拡張にも柔軟に対応できるプロトコル/機器

3D Visionシステムは携帯端末に入る

蓄積 転送 表示



SSD、3D積層メモリの進化
 容量:1TB
 読み出し・書き込み速度:
 :数10Gbit/sec

超並列マルチコアGPU (CELL, NVIDIA...)

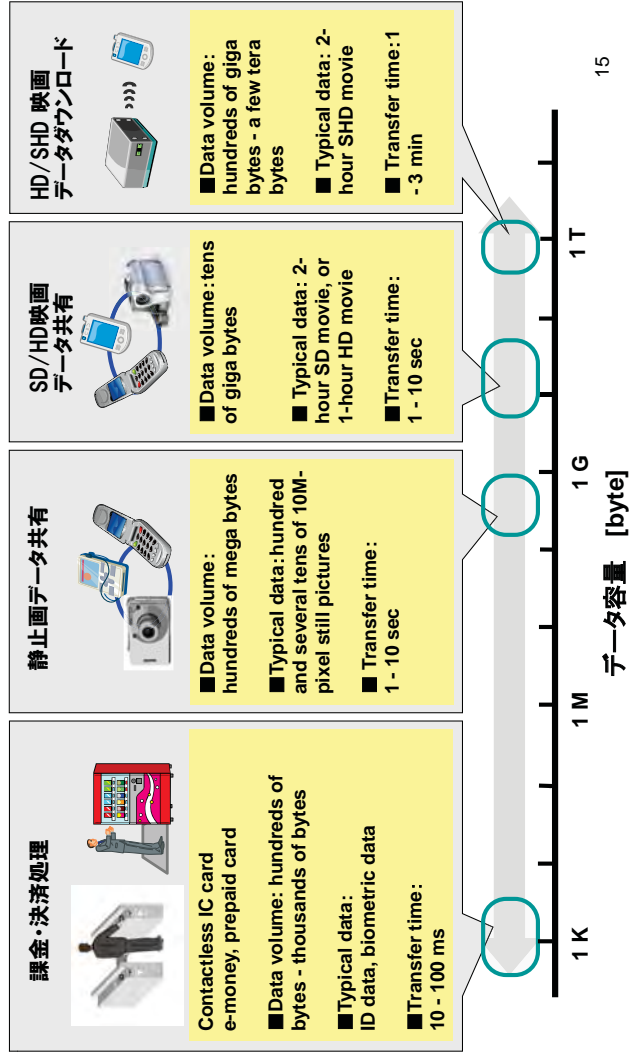
3Dディスプレイ (メガネ式)

携帯端末に実装できる

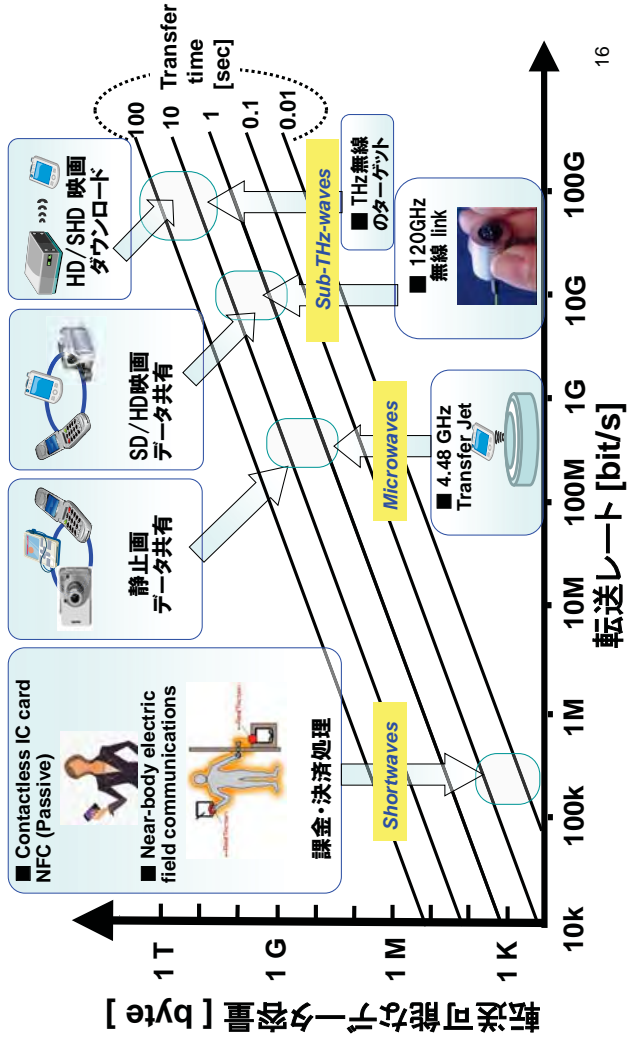


ゲーム、アニメ+SF映画、プロモーションビデオの3D化が牽引か

将来の大容量データ転送ニーズ (1)

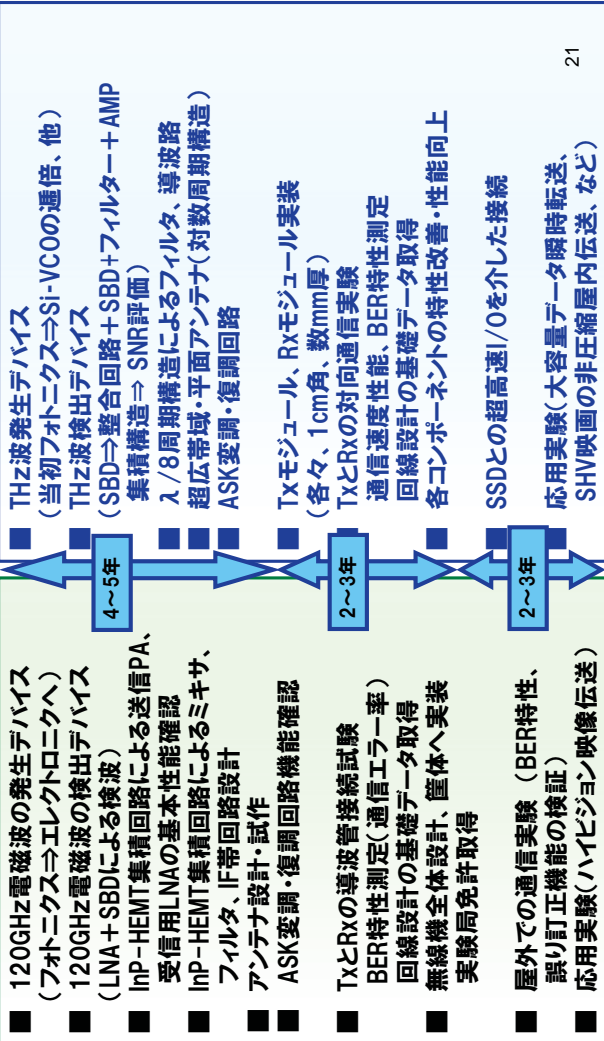


将来の大容量データ転送ニーズ (2)



R&Dの展開例

120GHz帯無線システム開発プロセス 50-100Gb/s・近距離無線通信システム



まとめ

- THz帯を用いた超大容量・近接無線通信へのニーズはある
2D、3D高精細映像を楽しむ
- 2D、3D高精細映像コンテンツを持ち運んだり、共有するための超高速伝送コネクタ接続不要での転送、ダウンロード。“TransferJet”のユースケースが参考。
- 自ら撮影した2D高精細映像のハンドリング
- 未利用のTHz帯(300GHz以上)を開拓して超広帯域を占有し、シンプルなASK変調を活かし、1cm角・厚さ1mmのサイズの近接通信モジュールの実現を目指すべき
- 想定している利用シーンを実現するため、関連する産業界と連携して開発を推進すべき
- 関連技術：処理、転送、蓄積、表示
- ビジネスモデル構築に向けた関連業界：通信・放送業界、広告業界、ゲーム機メーカー、コンテンツ、クリエイター、コンテンツ流通業界
- 日本が強みとしている上記産業の復権に向けて、国策として開発の促進を支援すべき