

# 人体近傍電界通信技術「レッドタクトン」とその応用

人体近傍電界通信の技術開発の背景と原理を述べるとともに、安定な通信を確保するためのキー技術である効率的電界誘起技術と環境雑音除去技術について解説します。さらに、この通信技術の特徴と従来の近距離無線技術との違いを明らかにし、応用分野について述べます。

かど ゆういち しながわ みつる  
門 勇一 / 品川 満

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所

## 技術開発の背景と動向

本特集が扱う人体近傍電界通信システムは、データに応じて変調された交流信号を電極から発生する送信機と、この交流信号で誘起される人体近傍の微弱な交流電界を電極で読み取りデータを復調する受信機より構成されます(図1)。

これらの送信機と受信機は通常の無線システムのアンテナに相当する平板電極で人体と容量的に結合しており、この結合を介して人体近傍の電界を変調したり、変調された人体近傍の電界を読み取って復調します。容量的な結合で人体表面に信号が伝わるので、送受信機の一方が衣服のポケットに入っていたり、床のカーペットの下に設置されていても、人体表面を介して信号が伝わり、送受信機間で通信できる特徴があります。この通信を入退室管理や改札ゲートに適用すると、従来の非接触ICカードに比べ、カードを取り出す必要がなく利便性が著しく向上します(図2)。人体近傍電界通信技術のポイントは人体から空間に放射される電界を抑制して相互干渉を抑制し、人体表面を伝播する電界を利用して“触れるとつながる”直感的な通信を目指す

すことにあります。

こうした電界通信技術の可能性を最初に検討したのは当時IBMに所属していたT. G. Zimmermanであり、人が

装着している複数のウェアラブル・コンピュータ間の通信に電界通信技術を利用しようとしていました。人体がコンピュータ間のバス信号線になるイ

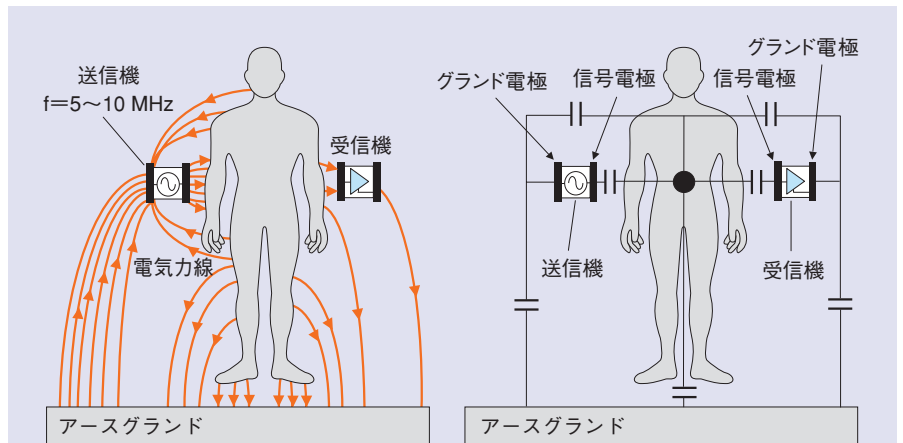


図1 人体近傍電界通信の電界分布モデルと容量結合モデル

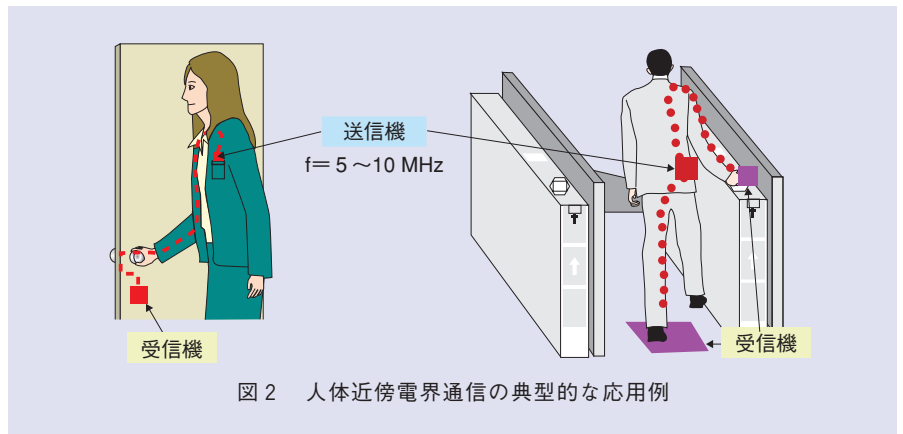


図2 人体近傍電界通信の典型的な応用例

メージです。Zimmermanは0.1～1 MHzの交流電界を用いた電界通信技術を提唱し、プロトタイプとして330 kHzを用いた電界通信システムを試作して、電界通信の可能性を実証しました<sup>(1)</sup>。しかし、放射電界を抑制するため、0.1～1 MHzの低い周波数帯を用いていましたが、通常1 MHz以下では環境からの雑音電力のレベルが大きく、大きな送信電力で信号を送らないと安定な通信ができなかったと推定されます。送信電力が大きいと、人体の周囲への放射電界が強くなり近距離の無線技術と差異がなくなってしまいます。結局、Zimmermanはこの技術の開発を止め、Wi-FiやBluetoothなどの近距離無線通信技術を志向するようになりました<sup>(2)</sup>。

交流電界の振る舞いがポイントになりますので、整理しますと、身に付けた平行平板電極に交流信号を印加したときに人体周辺に発生する電界成分には電極からの距離 $r$ に従って3つの成分があります。距離 $r$ の3乗に逆比例する準静電界、距離 $r$ の2乗に逆比例する誘導電界、および距離 $r$ に逆比例する放射電界です。人体近傍電界通信は人体から離れると急激に減衰する準静電界成分を利用し、人体から放射される放射電界や誘導電界を抑制する技術といえます。放射電界を抑制するためには、送信電極を励振する交流信号の周波数を低くすること、および受信機を高感度化して送信電力を必要最小限にすることです。

我々は当初より上記の技術的背景に着目し、交流信号として5～10 MHzの周波数帯を選択し、効率的に人体近傍の電界を調する技術とハムノイズなどの環境雑音を除去する受信回路技術を開発し、通信サービスに必

要となる通信品質を実現するのに必要最小限の送信電力で動作する人体近傍準静電界通信技術を開発しました。この周波数帯を選択したのは、1 MHz以下の強い環境雑音を避け、人体や送信機電極からの放射電界を抑制するためです。実際、試作した送信機が発生する電界強度は微弱無線規格に比べ1桁程度小さいことを確認しています。

### 技術の原理と特徴

人体回りの電界分布モデル(図1(a))で分かるように、人体はアースグランドの上に立っており、送信機と受信機は各々、信号電極とグランド電極を有しています。送信機は人体表面と容量結合していれば、交流電界を伝えることができるので、電極は絶縁膜で被覆されています。交流信号が5～10 MHzの周波数帯であれば、人体はほぼ導体とみなすことができ、送信機が誘起した交流電界信号はほとんど空間に放射されることなく、体表面を伝わってアースグランドに逃げていきます。受信機はこの交流電界信号がアース

電極に逃げる前に、検出して通信が成立します。

一方、体表面に誘起された交流電界信号の一部は送信機のグランド電極に戻り、また大部分はアースグランドに逃げていきます(図1(a))。また、電界の分布は人間の動作により逐次変化します。したがって、受信機は微弱で不安定な信号を検出する必要があります。この点が安定な通信を確保するための課題です。最初に、単純化した等価回路モデルを用いて、送信機と受信機における技術開発のポイントを説明します(図3)。

送信機側では、いかに効率的に、かつ安定に交流電界信号を体表面に誘起するかが重要です。人体も送信機もアースグランドから電氣的に浮いており、浮遊容量を介して緩くアースグランドと結合しています(図3)。この容量は送信機が誘起する交流信号の振幅を減衰させる方向に働きます。また、体が動くとき浮遊容量の値は逐次変化します。これら浮遊容量の影響を抑制することが、効率的かつ安定に交流電界を誘起するために必要です。我々が

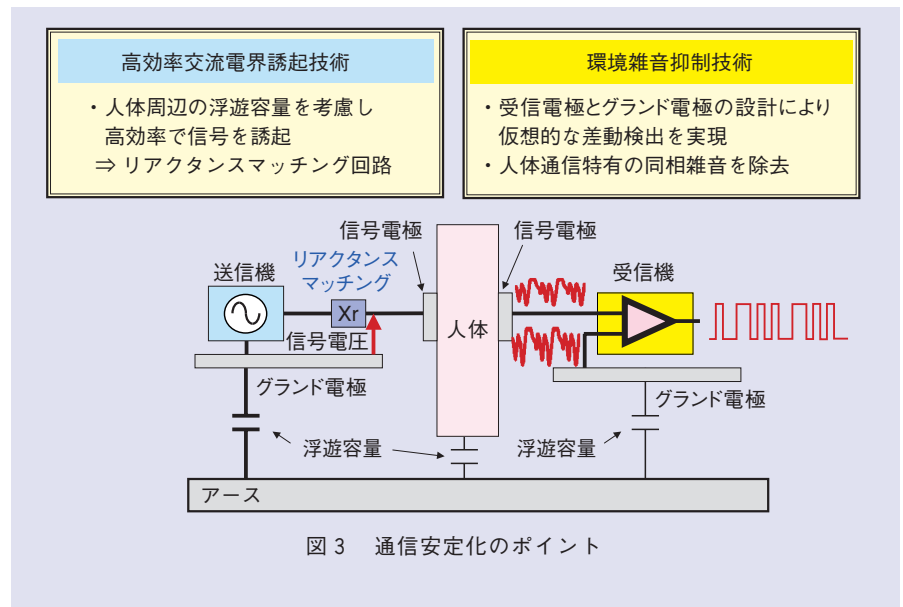


図3 通信安定化のポイント

可変リアクタンス回路を送信機の出力段に挿入する技術を開発しました。浮遊容量と挿入したリアクタンス回路とが共振したときに誘起信号が最大になります。さらに、身体が動いて浮遊容量の値が変化しても、変化に追従して共振する機能も付加しました。

受信機も送信機と同じようにアースグラウンドに対して電氣的に浮いています。したがって、ハム雑音に代表される同相雑音が入ってきた場合、信号線とグラウンド線のインピーダンスの平衡度が悪いので、同相雑音の影響を強く受けてしまいます。受信電極に到達する微弱な交流電界信号を検出するためには、ハム雑音に代表される同相雑音をいかに抑制できるかが重要になります。そこで図4に示すように、受信側の初段アンプを差動構成にし、受信電極から初段の低雑音アンプのプラス側入力端子とグラウンド電極からアンプのマイナス側入力端子に至るまでを注意深く設計して等価的に差動構成となる技術を開発しました。これにより、同相雑音を初段アンプで確実に除去して信号と雑音比を改善して、微弱信号を増幅して高感度化できる構成としました。

以上述べた基本技術により、効率的に人体近傍の電界を変調し、ハムノイズなどの環境雑音を除去する受信機を実現し、通信サービスに必要な通信品質を実現するのに必要最小限の送信電力で動作する「人体近傍準静電界通信技術」を開発しました。

試作したカード型の携帯用送信機とドアや床などの環境に埋め込む受信機を図5に示します。キャリア周波数は5 MHz、変復調方式はBPSK (Binary Phase Shift Keying) で、200 kbit/sの伝送速度を実現しています。入退室

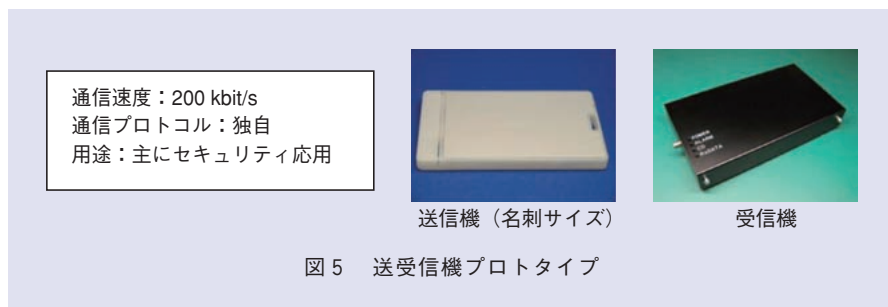
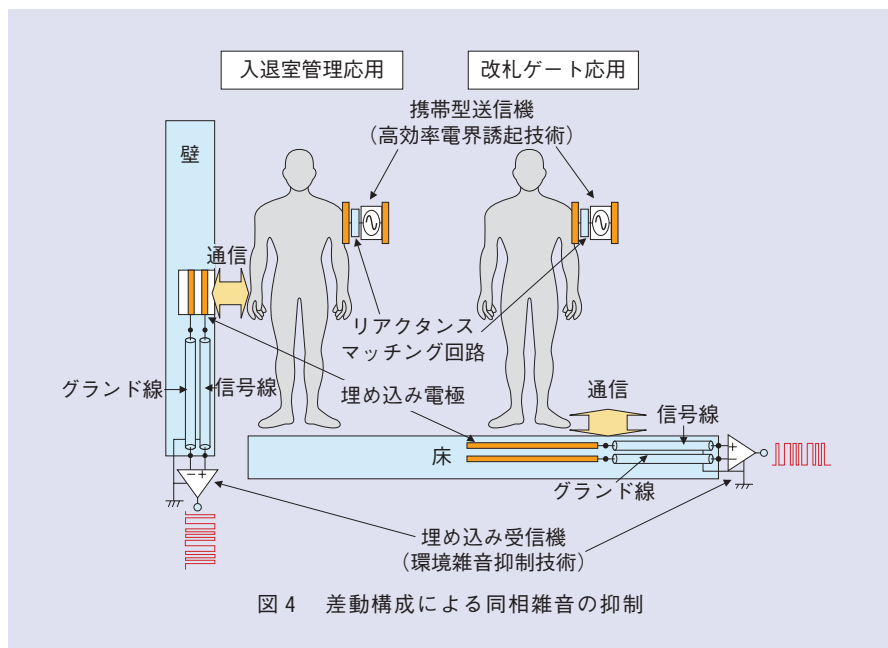
管理や鉄道改札ゲートの応用例ではID送信機能を持つ端末を上着の胸ポケットやズボンのポケットに装着した状態で、パケットエラー率 $10^{-3}$ 以下の通信品質を実現することができます。CR3032型ボタン型リチウム電池1個で電池寿命は約1年となります。

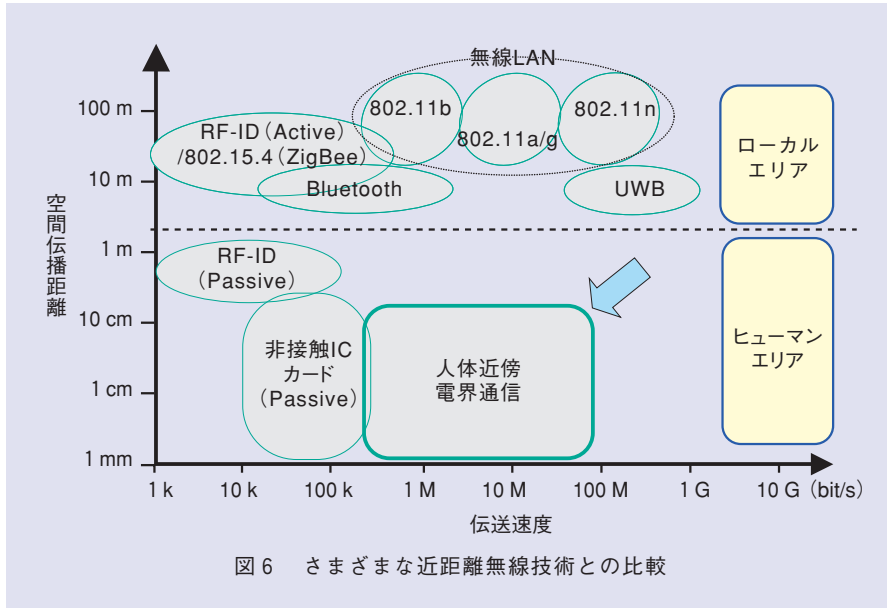
### 技術の応用と今後の展開

この人体表面に誘起される電界を使って信号を伝える通信技術を使うと、例えば、ID情報を発信する名刺サイズの送信機を身に付けているだけで、手、足、胴体等、体の表面のどこでも、または靴や衣服を通して、床、ドア、オフィス機器等に埋め込まれている受信用タッチプレートに触れた瞬間に、

受信機がID情報を読み取り、さまざまなアクションを開始します。触れる (Touch) ことで通信が発生し、さまざまな反応を引き起こす (Act on) ので、TouchとAct onを組み合わせた造語 (Tacton) をつくり、温かみを示す赤 (Red) という色を加え、「レッドタクトン (RedTacton)」と名付けて開発を進めてきました。

触れた相手とだけ通信するという特徴を明らかにするため、普及している近距離無線技術や非接触カードと空間伝播距離と伝送速度についての比較を図6に示しました。レッドタクトンは空間伝播距離を非接触カード並みに抑制して、100 kbit/sから10 Mbit/s以上の速度実現をターゲットにしていま

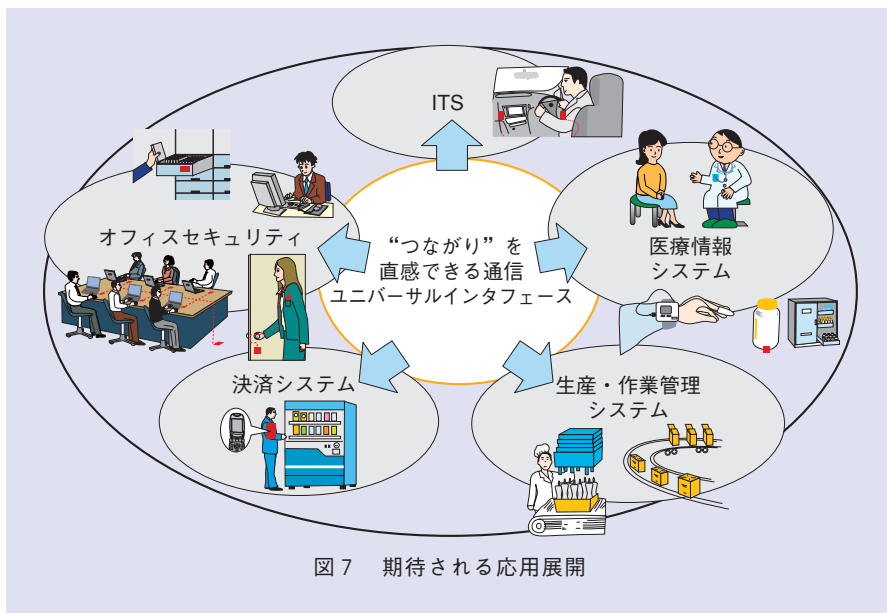




に使える双方向通信版を提供し、通信モジュールのさらなる小型化、低コスト化を図ります。「ヒト」と「ヒト」や「ヒト」と「モノ（機械）」のつながりを革新する通信インタフェースとして、ホーム・オフィスから公共施設や交通など、社会全体へ利用領域を広げていきたいと考えています。

■参考文献

- (1) T. G. Zimmerman : "Personal Area Networks: Near-field intrabody communication," IBM Systems Journal, Vol.35, Nos. 3 & 4, pp.609-617, 1996.
- (2) H. Goldstein : "NTT's shaky approach to data transfer targets a solved problem," IEEE Spectrum January 2006, pp.24-25, 2006.



す。10 m以上空間伝播距離を持つ無線LAN, Bluetooth, およびZigBeeなどと異なり、通信相手が手足の届く範囲（ヒューマンエリア）に限定されます。上記の特徴に加え、レッドタクトンを使うと、通信の開始と終了が自らの動作に連動するので、ネットワークとの“つながり”を直感的に意識できます。したがって、この技術は情報伝達のユニバーサルインタフェースとなり、ICTの新しい応用分野や境界領域

を開拓する可能性があります。少子高齢化社会で、安心・安全や健康への関心が高まる中で、図7に示したように、セキュアシステム, ITS（高度道路交通システム）, 医療情報システム, 生産・作業管理システム, 決済・課金システムなどへの応用展開が期待されます。

これからも、パートナー企業とともに利用領域の拡大に取り組んでいきます。具体的には、高度なセキュリティ応用



(左から) 門 勇一 / 品川 満

高度なセキュリティ応用に使える双方向通信版を提供し、通信モジュールのさらなる小型化と、低コスト化を図り、普及を目指します。

◆問い合わせ先

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  
 TEL 046-240-2200  
 FAX 046-240-4047  
 E-mail kado@aecl.ntt.co.jp