

2009 年度 財団法人交流協会フェローシップ事業成果報告書

「人体内外の無線通信を可能とするin-vivo
無線通信チップの設計」研究成果

亜東技術学院

黄獻鋒

招聘期間（2009 年 7 月 1 日～8 月 29 日）

2010 年 4 月

財団法人 交流協会

日本交流協會研究報告

研究題目：人体内外の無線通信を可能とするin-vivo無線通信チップの
設計

報告人：黃獻鋒*

- 一、前言
- 二、研究目的
- 三、詳細技術
 - (一) ワイヤレス医療・バイオ通信システム
 - (二) 電力と信号の伝送
 - (三) パルスインターバル変調
 - (四) 提案する通信回路の構成
 - (五) ISFETを用いたpHセンサ回路
- 四、ディスカッション
- 五、結論

一、前言

現在、医療過誤裁判における診療放射線技師の法的責任は問われている。検査・診断自体は、決して新しいものではない。医師の読影能力以上のものは要求されないとしても診療放射線技師は、画像検査の専門家意識のみならず、撮影技術を高めなくても良いということにならない。したがって、医用電子機器分野については、常に精度の高い技術の取得と維持を常に努めるものでなければならない。核磁気共鳴画像および超音波は、人間の体内状況にはまだ把握することができないため、たとえば、画像診断で一部の早期癌しか見つけることができない。「人体内外の無線通信を可能とするin-vivo無線通信チップの設計」を通して、バイオセンサーを利用し、無線技術で体内の生理的信号を測定し、体外へ転送することが可能である。

二、研究目的

最近、がんや生活習慣病の患者に対するクリティカルパス (critical path) の構築が急がれる。病気の予備軍のときの健康管理から、通院・入院時、さらには退院後の在宅治療時に至る疾病管理 (デイジーズマネジメント) を可能とする診断治療体制を構築することは、病院滞留

型医療からの脱却による医療費削減や、患者の心身両面での負担を軽減し、生活の質（QOL）の向上に寄与するものである。

患者の早期回復及びQOLの向上には、高効率（少量の投薬）、低副作用、低侵襲の診断治療法の実現が必要であるが、本研究プロジェクトではin-vivo無線通信チップを利用した体内磁気診断治療を確立し、細胞の老化の度合いを監視し、疾病の進行状況をリアルタイムモニタリングすることによって、病気予防のデジタル信号処理（Digital Signal Processing）チップを実現する。

三、詳細技術

益研究室には、無線通信用回路機能ブロックの設計などシリコンCMOS集積回路における高周波回路設計技術の蓄積がある。そこで、体内に小型モジュールを埋込んで、治療時の局所的温度を計測し、無線通信で体外に情報を送信してモニタしようとして検討している。このような現状により、本研究による成果は非常に期待されるものであると考えられる。具体的に進めたい研究領域としては、以下のものが挙げられる。

（１）in-vivo無線通信チップの実現には、体に負担の少ない材料を用いること、小型であること、そして回路技術的には低消費電力であることなどに関する研究を進めたい。最近の人体内外の無線通信を可能とする非侵襲計測技術を駆使して、こうした生体内モニタリングをユビキタス社会と直接に結びつける研究を進めたい。

（２）生体内センサモジュールの開発を目指した非侵襲計測技術の研究を進めたいと思っている。また、「社会のニーズが先にありきで進めていく研究」を考案し、少子高齢化社会における心理・生理学的側面、福祉のためのテーラーメイドの予防医療、BANを用いた健康・医療・福祉サービスシステム、創造・思考支援環境も発展させたい。

（３）したがってインプラントデバイスを作ることにより、SoC, SiPによるシステム集積技術を取り入れて、ヘルストロニクス（ヘルスロニクス）の設計を提案すること。

（一）ワイヤレス医療・バイオ通信システム

ワイヤレス医療・バイオ通信システムの実現には、以下のものが挙げられる。

- ・ ボディエリアネットワーク通信用低電力RF CMOS回路設計技術。
- ・ センサとの統合化CMOS回路設計技術。
- ・ 生体情報の収集、管理蓄積技術。

バッテリーレス in vivo 無線通信回路技術には、以下のものが挙げられる。

- ・ 電磁結合によるエネルギーと信号の伝送。
- ・ パルスインターバル無線変復調回路。
- ・ 医療・ バイオセンサ(pHや温度など)とのインターフェース回路。

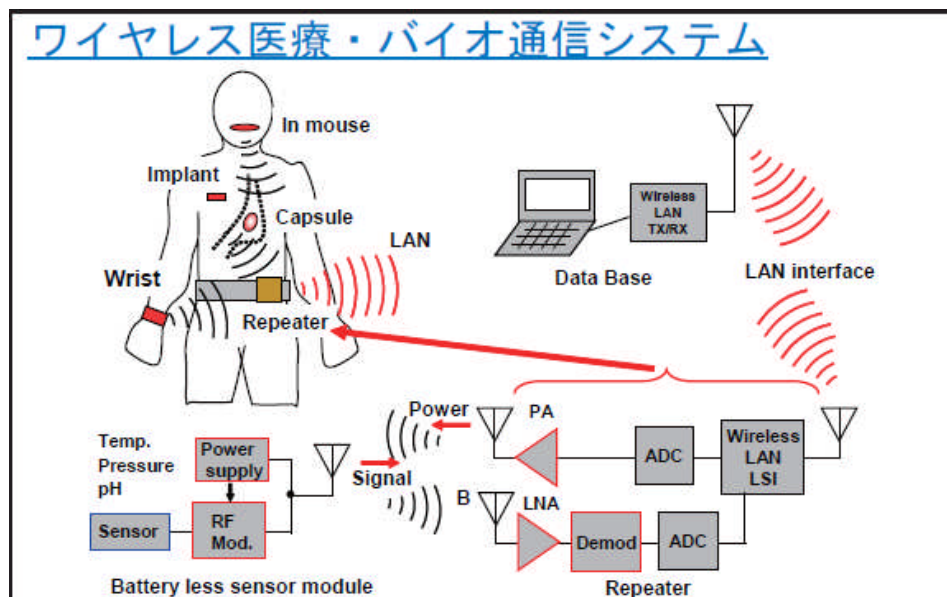


図 1 ワイヤレス医療・ バイオ通信システム

(二) 電力と信号の伝送

in-vivo 無線通信システム実現の第一段階として人体の減衰量の検討を行った。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ 「電磁波方式」は減衰量が大きく、本システムでの利用は困難であることが判った。
- ・ 「電磁結合方式」減衰量は電磁波方式に比べ低く、本システムでの利用に適している。

→ ISM 帯である、13.56MHz帯を本システムに利用することに決定した。

アンテナコイルの形状について検討を行った。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ 一般的な薬のサイズの場合、錠剤形の方が本システムに適してい

る。

- ・ フェライトコアを使える場合ではより小型のアンテナも利用が可能である。

通信仕様をまとめ、第1回目の試作を行った。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ 変調方式は消費電力や減衰への耐性などから、PIMを用いることにした。

- ・ 体内側システムのうち、昇圧回路と変調回路およびアンテナについて0.35mm Si CMOSプロセス上で試作を行い、シミュレーション上での動作を確認した。

- ・ 設計を行った回路の実測。

- ・ 上記回路を含めた体内側無線通信システム全体の試作・測定。

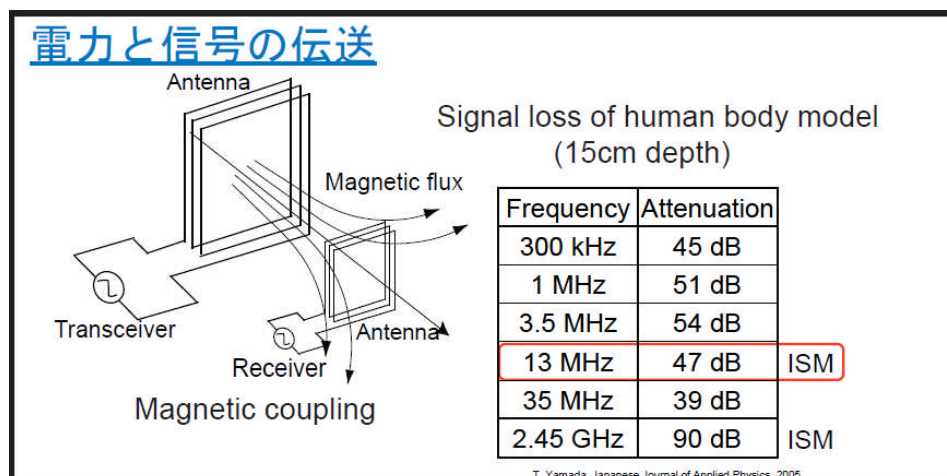


図 2 電力と信号の伝送

(三) パルスインターバル変調

使用周波数帯13.56MHzでも、体内でデバイスが動くことで減衰が変動する。感度を良好するため、データを電送する際に体内デバイスへの給電を停止する。一般的な変調(ASK, FSK, PSK)の利用は困難で、受信振幅が変動する発振器が必要になるので、消費電力が大きくなる。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ AM変調...減衰に弱い
- ・ FM/PM変調...発振器が不要
- ・ pH情報のみ通信

但し、検波しやすいように電力供給を止めるために電力をキャパシ

タに蓄えておく。

Pulse Interval Modulation (PIM)とは、パルス間隔でデータを表現する変調方式で、複数パルスの発生する時間間隔を用いたデータ伝送。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ 発振器が不要で、消費電力が小さい。
- ・ 伝送レートは高くなくて、伝送速度は遅い。
- ・ 減衰の変動に強い。

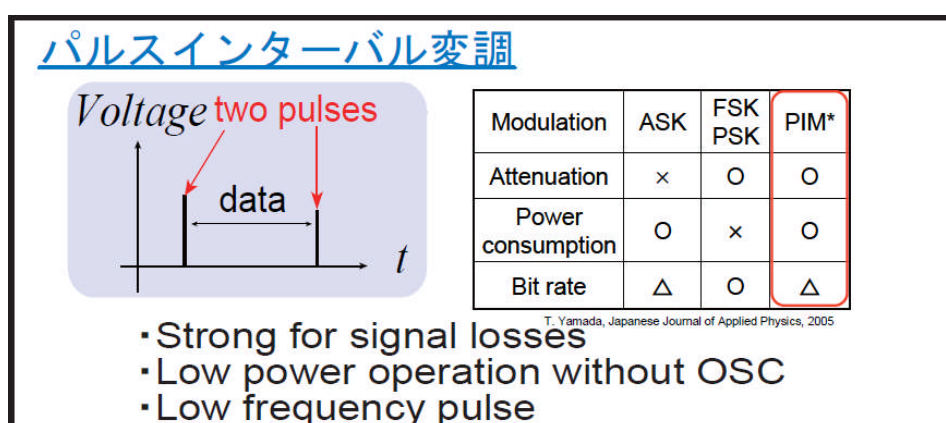
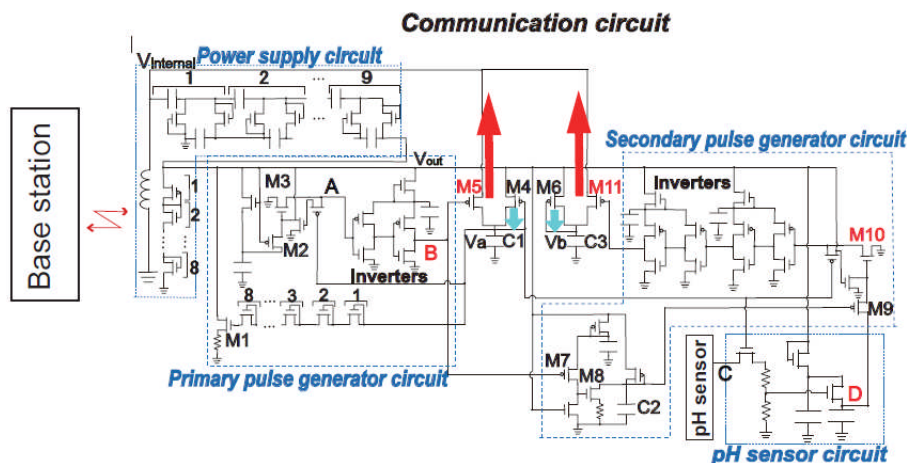


図 3 パルスインターバル変調

(四) 提案する通信回路の構成

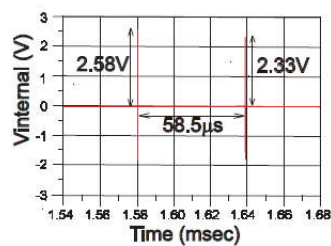
日常的な診断や健康管理に用いやすいように低侵襲かつ扱いやすい大きさが期待できるバッテリーレスセンサモジュールを用いたin vivo無線通信用システムのPIM変調回路について検討した。人体からの減衰を考慮して通信仕様を検討し、バッテリーレスなin vivo無線通信回路を設計した。ADSによりシミュレーションを行ったところPIM変調を行っていることを確認した。これによって電池を使用せず、より安全体内の生体情報を測定するセンサモジュールの実現可能性が示された。にまた、実際に0.35 μ mCMOSプロセスでTEGの試作を行っている。今後はベースステーションやアンテナについても検討していく予定である。

提案する通信回路の構成

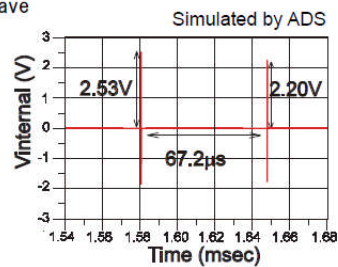


Simulation results

Base station frequency: 13.56MHz sine wave



(1) pH2



(2) pH3

図 4 提案する通信回路の構成

(五) ISFETを用いたpHセンサ回路

求められる要素。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ 日常生活の中で定常的にpHを測定可能であるもの。
 - ・ 装着時に違和感がなく、また口腔容積の小さい小児なども装着可能であるようなもの。
 - ・ 複数点のpHを同時にリアルタイムで測定できるようなもの。
- 小型かつ低消費電力で、唾液流を阻害しないワイヤレスのpHモジュールを目指す。

現状の測定システム。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ 電極を口腔内に器具によって固定。
 - ・ 有線で体外の通信装置に測定値を伝送。
- 配線による唾液流の阻害…信憑性に難。

提案する測定システム。具体的には次のようなものが挙げられる。

- ・ ワンチップに集積したセンサにより唾液のpH分布・推移を計測。

- ・ 無線通信によって測定結果を伝送可能。
- より苦痛の小さい状態で正確にpHモニタリングが可能となる。
- ISFET(Ion Sensitive Field-Effect Transistor)。
- ・ ICチップ上の電極部にイオン感応膜を塗布。
- ・ 溶液のイオン濃度に応じて電極間に電位を発生。
- 反応イオンをH⁺ にすることによりpHセンサとして動作。
- ・ 標準CMOSプロセスからのポストプロセスで形成。
- ワンチップ型pHセンサとして集積が期待。

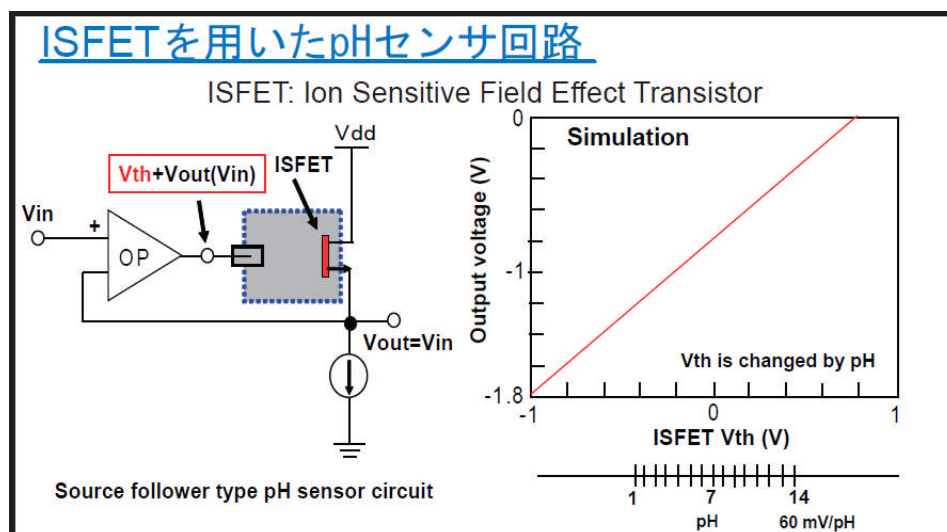


図 5 ISFET を用いた pH センサ回路

四、ディスカッション

in-vivo無線通信チップを用いることで高感度診断薬の開発や、これを外部から認識・制御するデバイスを組み合わせたシステムを開発することが可能となる。つまり、無駄なく薬剤キャリアを送達するので、微量の薬剤で高い効果を引き出す。また、in-vivo無線通信チップには映像化機能や、治療や磁気音響診断を可能とする優れた機能があるので、他法と比べると優位性が高い。

さらに本研究プロジェクトでは、患者がLSI技術を応用した微小なモニター・オン・チップを装着することによって、in-vivo無線通信チップから得られる情報をリアルタイムにモニタリングできる技術を開発し、在宅型医療におけるユビキタスモニタリングへと発展させて、患者の生活活動範囲の拡大を目指す。

五、結論

社会に役立つ明快なアプリケーションや目標に、大学の研究シーズを活用して解決の道筋をつけていく研究スタイル。大学機関というポートフォリオの中には、このように社会を強く意識したソリューション研究という役割もあって然るべきだと思っている。具体的に期待できる成果としては、以下のものが挙げられる。

(1) リアルタイム生体内モニタリング

- 口腔内のみならず全身の健康状態を把握。
 - ・ インプラントデバイスにより体内を観察。
 - ・ 日常生活の中における健康診断。
- テーラーメイドの予防医療が実現。

(2) 高度医療社会の実現

- 自覚症状の少ない疾病の予兆を探知。
 - ・ 生活習慣病医療の問題点を改善。
 - ・ 早期発見によるリスクの軽減。
- 早期治療による治療の簡素化・短縮化。
 - ・ 少子高齢化に伴う医療費の高騰を抑止。
- 健康への不安を払拭し、より多くの人が充実した毎日を送れる社会へ。

(3) 新たな情報インフラの構築

- BANを用いた健康・医療・福祉サービスシステム。
 - ・ 高精度で取得した生体情報を安全に、かつスムーズに扱うネットワークインフラを構築。
- 先端LSI技術を基盤としたユビキタス社会。
 - ・ SoC, SiPによるシステム集積技術を用いたヘルストロニクスの実現。
 - ・ More than Mooreの考え方による半導体技術産業の拡大・活性化。