

MOSFETのサブスレッショルド領域特性 を利用したスマートセンサLSIの開拓

北海道大学大学院情報科学研究科

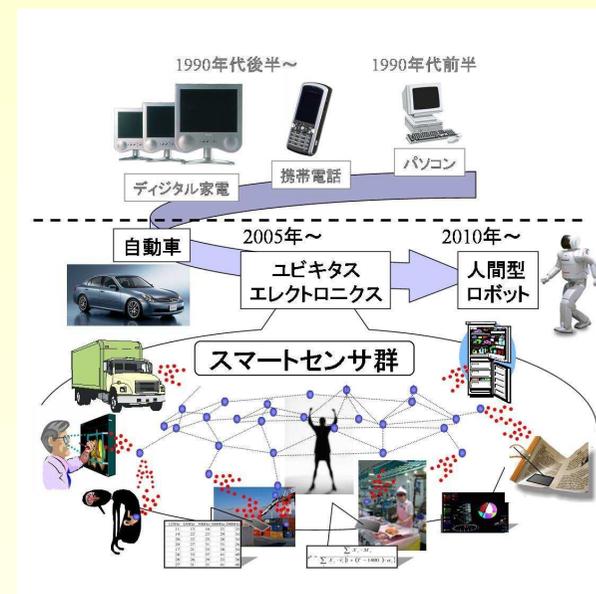
Dept. of Electrical Engineering, Hokkaido University

hirose@sapiens-ei.eng.hokudai.ac.jp

<http://argon-ei.eng.hokudai.ac.jp/~hirose/index.cgi>



情報化社会の到来により、コンピュータ市場の劇的な拡大が起こり、インターネット、イントラネット、そして携帯電話・携帯端末の普及は「デジタル情報家電」とも呼ばれる情報通信機器と家電機器との融合に見られる**新規情報機器産業**を創成している。これに伴い、LSI市場は急成長を成し遂げている。さらに、右図に示すように今後高度な成長が予測されている次世代半導体アプリケーションとして、自動車産業、IC タグ、MEMS 産業、そして人間型ロボット産業などが注目されている。特に、世の到るところに偏在するあらゆるモノや我々の持つ様々な情報端末がネットワークに接続され、それらが融合して我々の生活に有用な情報環境を生み出す新しい社会基盤として、いわゆる「**ユビキタス**」**情報環境社会**が注目されている。



次世代半導体アプリケーションの例。

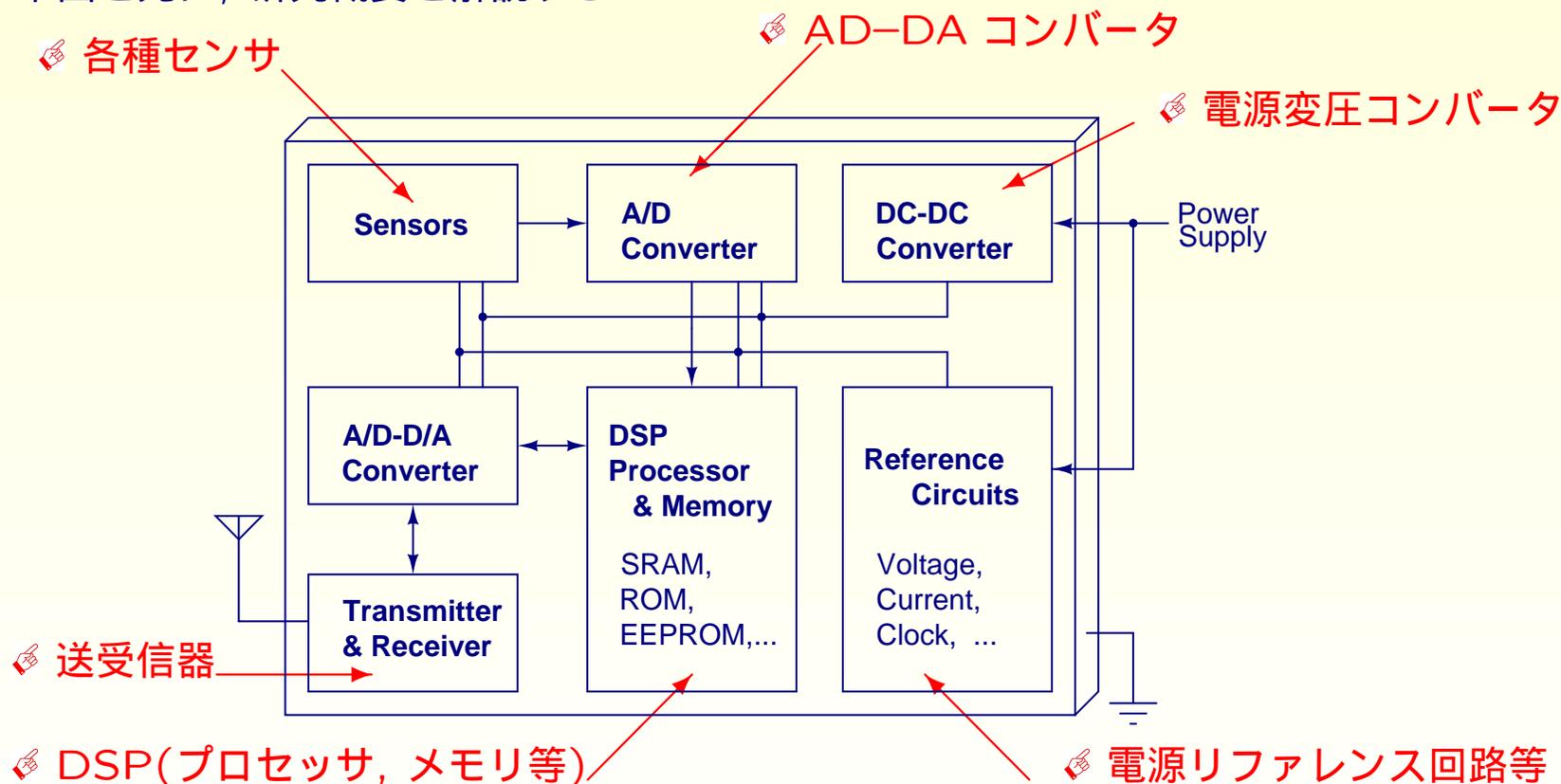
このようなユビキタス社会の実現には、「いつでも・どこでも・何とでも」通信できる技術基盤と、どこでも利用できる情報通信機器端末が重要な役割を果たす。身の回りの様々なセンサが、我々の存在や欲求、必要性等を察知し、処理・対処してくれる。携帯機器と固定装置で構成されたこのネットワークは、見えないところで自動的に様々な仕事を行ない、我々はその恩恵だけを楽しむことができる。こうした「**静かな技術**」により、「雑音」に煩わされず、仕事や本来の活動に集中することができる。

このような社会を実現するのに欠かせないのが、IC センサ、IC タグ (スマートセンサ LSI) 技術である。ID(識別情報) や物理データなどを蓄えた小さなシリコンチップと、その情報を自動的に受信して解読する読みとり装置から構成される。現在、この技術は トレーサビリティ技術 の検証段階にあり、小売りや警備、交通、そして物流など様々な産業分野で検証実験が進んでいる。IC タグが組み込まれた機器は、互いに”会話”できるように自らを自動設定し、我々のかゆいところに手が届くサービスを提供してくれるようになる。

このようなユビキタス社会を構築するためには、多種多様なスマートセンサを広範囲にわたって分散配置する必要がある。その際の問題点は、電力供給 と コスト にある。すなわち第一に、これらのスマートセンサは超小型電池を電源とするか、あるいは周囲の自然環境から電力を取得するか、いずれにしても極低電力のもとで動作しなければならない。第二には、これらスマートセンサは膨大な個数が必要であり、かつ使い捨ての使用形態となることが多いため、センサチップは廉価・低コストでなければならない。

CMOS LSI によりスマートセンサを構築することで低コスト化を実現することができる。しかし消費電力は、現行の強反転領域動作を前提とした設計手法では格段に削減することは困難である。消費電力が 数 μW 以下 のスマートセンサ LSI を実現するためには、MOSFET を サブスレッシュホールド領域 で動作させることが一つの設計手法となり得る。また、その際に現れる物理特性を有効に利用して、従来にない新しい機能スマートセンサ LSI システムを構築することができる。サブスレッシュホールド領域動作を念頭におき 回路設計手法の確立、新規 LSI アーキテクチャの開発、そして 応用システムの開拓 を行なうことは、来るべきユビキタス社会を支える LSI システムの開拓において必須の技術課題である。

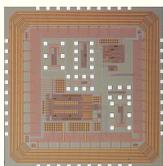
サブスレッショルド領域動作を念頭に置いたスマートセンサ LSI アーキテクチャを下図に示す。構成要素は、各種センサをはじめとして、AD-DA コンバータ、プロセッサ、メモリ、リファレンス回路、電源回路等である。センサ素子のセンシング信号を AD 変換し、CPU 等のプロセッサによりデジタル信号処理を行ない、メモリに格納する。さらに、必要に応じて外部端末との間で、命令データ・蓄積データ等の送受信を行なう。全ての回路ブロック をサブスレッショルド領域で動作させることで、**極低電力化**を実現することができる。下図を元に、研究概要を解説する。



サブスレッショルド領域動作を前提としたスマートセンサ LSI アーキテクチャ.

THE WATCHDOG CIRCUIT

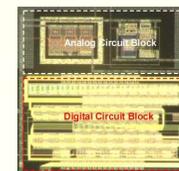
MOSFET のサブスレッショルド電流の温度依存性は、「食品や医薬品等の劣化速度の温度依存性」と 相似 の関係にある。このことを利用すると、食品等の貯蔵・輸送・配達のプロセスにおける品質劣化を模擬・監視するセンサを **CMOS ハードウェア上に構築** することができる。劣化を模擬する活性化エネルギーは食品の種類によって大きく異なるので、このセンサは広範囲な活性化エネルギー値 ($\Delta E = 0.1 \sim 0.8 \text{ V}$) に対応する必要がある。そこで、本研究では、MOSFET のサブスレッショルド領域特性を有効に利用し、またアナログ・デジタル混載構成とすることにより **広範囲の活性化エネルギー** を設定できる CMOS センサ回路を提案する。



品質劣化モニタ回路の試作チップ写真。

THE CMOS CTS CIRCUIT

携帯端末やモバイルパソコン等の電子機器における小型化・高出力化の進展に伴い、機器自体の機能だけでなく、機器の 安全性・安定性対策 が必要とされている。その場合、第一に必要なことは機器温度の監視である。従来、サーミスタ、特に温度感度のよい CTR 素子 (温度閾値を超えると抵抗値が激変する感温素子) が使用されている。しかし、この CTR 素子は閾値温度を自由には設定できず、またセラミック焼結体を使うので、CMOS プロセスとの適合性がないなどの問題点を有している。そこで、本研究では、MOSFET のサブスレッショルド特性を利用して、CTR 素子に類似した急峻な温度特性を持つ **温度検出スイッチ回路** (CTS; Critical Temperature Switch) を開発する。



研究業績

1. Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., "Watchdog sensor for assuring the quality of various perishables with subthreshold MOS circuits", 2006 Symposia on VLSI Technology and Circuits,, Honolulu, USA, Jun.13-17, 2006, accepted for presentation.
2. Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., "A CMOS watch-dog sensor for guaranteeing the quality of perishables", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer, in press.
3. 上野 憲一, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "様々な食品に対応した CMOS 品質劣化モニタセンサ", 電子情報通信学会総合大会, 東京, 2006 年 3 月, [abst.](#) 
4. 萩原 淳史, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "リセット機構を用いた温度検出スイッチ回路システム", 電子情報通信学会総合大会, 東京, 2006 年 3 月, [abst.](#) 
5. 上野 憲一, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "広範囲な活性化エネルギーに対応した CMOS 品質劣化モニタセンサ", 第 9 回システム LSI ワークショップ, 北九州, 2005 年 11 月, [abst.](#) 
6. 萩原 淳史, 廣瀬 哲也, 山田 寛之, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "CMOS サブスレッシュヨルド特性を利用した温度検出スイッチ回路", 第 9 回システム LSI ワークショップ, 北九州, 2005 年 11 月, [abst.](#) 
7. 萩原 淳史, 廣瀬 哲也, 山田 寛之, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "CMOS 回路による温度検出スイッチ", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 札幌, 2005 年 9 月, [abst.](#) 

研究業績 – contd. –

- 8 Ueno K., Hirose T., Asai T., and Amemiya Y., "A CMOS watch-dog sensor for guaranteeing the quality of perishables", Technical Program & Abstracts of the 4th IEEE Conference on Sensors, p.186, California, USA, Oct.31-Nov.3, 2005. [paper](#) 
- 9 上野 憲一, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "サブスレッシュヨルド MOSFET を用いた劣化モニタ回路", 第 18 回 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp.91-96, 軽井沢, 2005 年 4 月 [paper](#) 
- 10 上野 憲一, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "弱反転 MOSFET を用いた品質管理・温度履歴モニタ回路", 電子情報通信学会総合大会, 大阪, 2005 年 3 月 [abst.](#) 
- 11 Hirose T., Yoshimura R., Ido T., Matsuoka T., and Taniguchi K., "Watchdog circuit for product degradation monitor using subthreshold MOS current", Extended Abstracts of the 2004 International Conference on Solid State Devices and Materials, pp.150-151, Tokyo, Japan, Sep.15-17, 2004. [paper](#) 
- 12 Hirose T., Yoshimura R., Ido T., Matsuoka T., and Taniguchi K., "Watch-dog circuit for quality guarantee with subthreshold MOSFET current", IEICE Transactions on Electronics, Vol.J87-C, no.11, pp.1910-1914, 2004. [paper](#) 
- 13 廣瀬 哲也, 吉村 隆治, 井戸 徹, 松岡 俊匡, 谷口 研二, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "極低消費電力品質モニタ回路", 電子情報通信学会集積回路研究会, 大阪, 2004 年 7 月, [paper](#) 
- 14 吉村隆治, 廣瀬 哲也, 井戸 徹, 松岡 俊匡, 谷口 研二, "高精度品質保証期限モニタ回路", 電子情報通信学会誌 C, Vol.J86-C, no.9, pp.1041-1043, 2003. [paper](#) 

REFERENCE CIRCUITS

MOSFET のサブスレッショルド領域特性は、温度に対して**敏感**に変化する。従って、サブスレッショルド領域動作を前提とした回路システムを構築する場合には、安定動作を保証するための**基準電流源回路**、**基準電圧源回路**等の各種電源リファレンス回路が必須となる。そこで、本研究では、**温度変化**に対して、また、**電源電圧の変化**に対して、そのリファレンス変動率が小さな電源回路の開発を行なう。

研究業績

1. Hirose T., Matsuoka T., Taniguchi K., Asai T., and Amemiya Y., "Ultralow-power current reference circuit with low temperature dependence", IEICE Transactions on Electronics, vol.E88-C, no.6, pp.1142-1147, 2005. [paper](#) 
2. Hirose T., Matsuoka T., Taniguchi K., Asai T., and Amemiya Y., "Ultralow-power temperature-insensitive current reference circuit", Technical Program & Abstracts of the 4th IEEE Conference on Sensors, p.186, California, USA, Oct.31-Nov.3, 2005. [paper](#) 
3. 廣瀬 哲也, 松岡 俊匡, 谷口 研二, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "弱反転 MOS LSI センサのための基準電圧・電流源回路", 電子情報通信学会総合大会, 大阪, 2005 年 3 月. [abst.](#) 
4. 廣瀬 哲也, 松岡 俊匡, 谷口 研二, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "CMOS 弱反転領域で動作する電源回路の設計に関する研究", 第 8 回システム LSI ワークショップ, 北九州, 2004 年 11 月. [abst.](#) 

DC – DC CONVERTERS

MOSFET のサブスレッショルド領域動作を前提とした LSI では、回路をかなり低い電圧で動作させる。特に、プロセッサやメモリなどのデジタル回路は、MOSFET のしきい値電圧付近の 0.4 ~ 0.6 V の低電圧で動作させる必要がある。そのため、外部バッテリー等の電源電圧を チップ内 において、**高効率**で低電圧へと変換する**変圧コンバータ回路**、および変圧後の電圧微調整を行なう**シリーズレギュレータ**が必須となる。

これまで、インダクタやキャパシタを用いた多くの DC-DC コンバータが提案されている。しかし、いずれも数 mW 以上の大電力を扱うものであり、数 μ W 級の**極低電力用途**に対応できるものではない。そこで、本研究では、サブスレッショルド領域動作を前提とした LSI のための DC-DC コンバータ回路を設計・検討する。

研究業績

1. 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "サブスレッショルド MOSFET のためのスイッチトキャパシタ型 DC-DC コンバータ", 第 19 回 回路とシステム軽井沢ワークショップ, 軽井沢, 2006 年 4 月.
2. 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "サブスレッショルド領域動作 LSI のためのスイッチトキャパシタ DC-DC コンバータ", 電子情報通信学会総合大会, 東京, 2006 年 3 月. [abst.](#) 

DSP

サブスレッショルド領域動作を前提とした CMOS LSI では、デジタル回路の消費電力を抑えるために、**低電源電圧**で動作させる必要がある。そこで、本研究では、各種デジタル回路の電源電圧を MOSFET の **しきい値電圧近傍** に設定し、サブスレッショルド領域動作を前提とした CMOS LSI のためのデジタル回路の設計・検討を行なう。

研究業績

1. 宮川 敬, 廣瀬 哲也, 浅井 哲也, 雨宮 好仁, "MOS 論理ゲート回路のサブスレッショルド動作", 電子情報通信学会総合大会, 東京, 2006 年 3 月. [abst.](#) 

AD-DA CONVERTERS

各種センサの**アナログセンシング信号**を DSP 等のデジタル回路で処理するために、またデジタル処理後の信号を**アナログ信号出力**とするために、**AD-DA コンバータ**が必要になる。これまで、様々なアーキテクチャを用いた AD-DA コンバータが提案されてきた。しかし、数 μW 級の極低電力用途の AD-DA コンバータは提案されていない。そこで、本研究では、サブスレッショルド領域の極低電力で動作する LSI に適した AD-DA コンバータの設計を行なう。

送受信器

Prev.P

Next P

TRANSMITTERS / RECEIVERS

DSP 等で信号処理されたセンシングデータはメモリに格納される。その後、必要に応じて 外部端末等に出
力する際に、送信器が必要となる。また、外部命令データ等を受けとる際に、受信器が必要となる。そこで、
本研究では、待機時の電力消費を 数 nW 以下とし、送受信時の電力消費を格段に削減した送受信回路の設
計を行なう。

