

2022 IEEE D. Pederson Solid-State Circuits Award に関する松澤名誉教授の業績

1. デジタル TV・ビデオシステムの実現のためのバイポーラ ADC の開発

松下電器入社直後にそれまでのアナログ技術を用いた TV・ビデオ機器をデジタル化する技術開発が開始されました。その時の大きな課題が広帯域ビデオ信号をデジタル値に変換する A/D 変換器 (ADC) でした。通常の TV 信号用 ADC としてボードレベルのものがありませんでしたが、集積回路化されておりました。消費電力が 20W、価格が 100 万円もしました (新車が購入できる金額)。これでは民生機器はおろか業務用機器にも使用できません。1982 年に世界初の集積回路化したビデオ用 10 ビット ADC を開発し、価格・消費電力ともに 1/10 に低減しました。またハイビジョン信号は帯域が広く、75MHz 以上の変換周波数が必要でしたが、当時はそのような ADC はありませんでした。そこで 1984 年に世界で初めて変換周波数が 100MHz を超える 8 ビット 120MHz の ADC を開発し、ハイビジョンカメラの実現や 1988 年のソウル五輪でのハイビジョン中継の実現に貢献しました。その後 1990 年にハイビジョン受像機用低電力 ADC や 1992 年にハイビジョン信号光伝送用に当時の他の ADC の 4 倍の変換周波数である 300MHz 動作の 10 ビット ADC など開発しました。これらの ADC はハイビジョンシステム、業務用デジタルビデオ機器、デジタルオシロの開発を支えました。

2. 超低電力 CMOS ADC の開発とローパワーエレクトロニクスの振興

1993 年に競合に対し、1/8 の圧倒的な低消費電力を実現したビデオ用 10 ビット CMOS ADC 開発しました。それまで ADC はバイポーラ技術が使用されていました。現在の集積回路は殆どが CMOS 技術を用いていますが、当時の CMOS は速度が遅いだけでなくバイポーラに比べ精度が 2 桁も劣っていたのです。そこで、誤差電圧を容量に蓄積し、キャンセルできるようにし、更に誤差を分散させる容量補間技術を発明しました。このような様々な工夫により、精度をバイポーラ並みに引き上げるとともに消費電力を激減させました。この CMOS ADC の開発成功により ADC の CMOS 化が一気に進み、今日では ADC は全て CMOS 技術を用いるようになりました。

CMOS ADC ができるようになるとロジック回路との混載が可能になり、システム全体として消費電力を低減させることができます。これによりポータブルムービーカメラのデジタルが進みました。1994 年には携帯用民生機器に使用されているローパワー化技術について VLSI シンポジウムで招待講演を行うとともに IEEE の論文誌に寄稿しました。この講演や論文は集積回路におけるローパワー化技術の重要性を示したのですが、それまでの集積回路技術は米国を中心とする PC 用途に偏り、高速化技術一辺倒で、消費電力低減に無感心でしたが、これにより世界的に低電力化技術への関心が高まりました。1995 年には世界初のローパワーエレクトロニクスに関する国際ワークショップを提案し、企画運営いたしました。今日ではローパワーエレクトロニクスはカーボンニュートラルにも繋がる集積回路の最重要技術として認識されるようになり、精力的に開発が進められております。我々も 1997 年に適応電源制御を用いた低電力 DSP を開発し、1998 年の長

野冬季オリンピックの役員連絡に使用された腕時計型 PHS に搭載しました。多分世界初の腕時計型携帯電話だと思います。2003 年には NTT などの国内企業数社と共同で、温度差などの自然エネルギーで動作する FDSOI を用いた超低電力 LSI や、それを用いた無線情報端末を開発しました。「もったいない」の国柄である日本はローパワーエレクトロニクスにおいて主導的な役割を果たしたのです。

3. 低電力超高速 ADC の開発とアナログ・デジタル混載システム LSI の開発

1990 年代の後半に DVD が登場します。DVD レコーダーはピックアップ信号の SNR が不十分のため、イコライザーや誤り訂正技術を必要とします。このためには 7 ビット 400MHz という、計測器なみの超高速 ADC を必要とし、その消費電力が数百 mW と、民生機器に使用するには 1 桁大きすぎました。そこで定常電流が流れない CMOS フリップフロップとゲートに重みを付けて電圧を補間するゲート補間を発明し、2002 年に ADC の消費電力をそれまでの 1/10 に低減した ADC を開発しました。これにより、高速アナログ回路の CMOSLSI への混載が可能となり、2003 年にアナログを含む DVD に必要な全ての回路をワンチップに集積した、世界初の DVD 用完全ワンチップシステム LSI の開発に成功しました。この開発により DVD が小型になり、ノート PC への搭載ができるようになったほか、読出しの安定性が向上するとともに低コストになりました。このアナログ・デジタル混載システム LSI の開発成功は、その後の集積回路設計の大きな潮流になり、アナログ回路を含む大規模システムのチップ集積が進められております。スマートフォンに全ての機能を搭載できる理由の一つがこのアナログ・デジタル混載システム LSI 技術です。

4. ミリ波 CMOS トランシーバの開発

2003 年に教授として東工大に着任し、2007 年からミリ波通信の実用化を目指した総務省プロジェクトを開始しました。それまでミリ波のトランシーバは高周波特性に優れた GaAs などの化合物半導体がいわれてきましたが、集積度が低く高度な変復調技術が使用できないために超高速・大容量通信ができませんでした。そこで、岡田准教授(当時)や宮原助教(当時)とともに将来の発展を見据え、当時は性能が不十分な CMOS 技術を用いた 60GHz ミリ波トランシーバの開発を開始しました。伝送速度を上げることに對しては発振器の位相雑音の低減がポイントになりました。ミリ波ほど周波数が高いと LC 発振回路の Q が上がらず位相雑音が大きくなります。そこで、位相雑音の低い 20GHz の発振電力を 60GHz の発振器に注入し、発振器の位相が 20GHz の注入信号の位相で決まるようにすることで位相雑音電力を 1/100 に激減することができました。これにより多値変調が可能になり無線伝送速度の飛躍的な向上を実現しました。2011 年に初めてミリ波 CMOS トランシーバ LSI の発表を行い、その後はミリ波の伝送速度の世界記録を更新し続け、2016 年には 56Gbps を達成しました。また、研究室で開発した高周波 LSI とベースバンド LSI を搭載したトランシーバを開発し、PC・スマートフォン間で 6.1Gbps の実用レベルでは世界最高速の無線通信を実現しました。この成果は今日の無線通信規格である 5G の技術に引き継がれています。

少し長くなりましたが、集積回路分野における日本の存在感が低下している現在、40年程度のスパンで見ると、デジタル TV・ビデオ、ハイビジョン TV、ポータブル映像機器、DVD などのデジタルビデオ機器・システム開発に日本の果たした役割は大きく、その実現のために ADC やシステム LSI をはじめとする集積回路技術の進展や、環境にまで影響を与えるローパワーエレクトロニクスの振興に果たした日本の役割が大きいことを知っていただければ幸いです。

集積回路の開発には多くの方々の協力が欠かせません。これまで開発にかかわった多くの方々に感謝いたします。