

1, 10, 100 ... 無限大？

- 指数関数的トレンドの光と影 -

田村 泰孝
株式会社 富士通研究所

[アブストラクト]

集積回路の性能であれ電気信号であれ実体のある何かを瞬時に 1000 倍にするのは難しい。しかしある程度時間をかければ大抵のものは 100 倍、1000 倍にできる。それにはネズミ算、正帰還など指数関数的トレンドを生み出す仕掛けを使えばよい。半導体集積回路(IC)の世界で良く知られている Moore 則もそのようなトレンドの一つである。このトレンドに沿った発展をしたことで IC の性能は飛躍的な向上を遂げ、一つのチップに集積されるトランジスタの数はこの 40 年間で 10 万倍に増加した。

本講演では指数関数的トレンドを巡って集積回路の世界で生ずる様々な限界、錯誤、そこから生ずる諸々の課題を講演者の経験に基づき紹介する。

[キーワード]

regeneration、蓮の葉のクイズ、通信ボトルネック、高速 I/O、Moore の法則

1. はじめに

半導体集積回路(IC)の世界では、チップ上に集積されるトランジスタの数やプロセッサの性能などが製造テクノロジーの世代毎に指数関数的に増加するトレンドが知られている。これが(広い意味での)Moore の法則である (1)。Moore 則に沿った発展をしたことで IC の性能は飛躍的な向上を遂げ、チップ上に集積される素子数は 1970 年から 2010 年の 40 年間で約 10 万倍に増加した。このような指数関数的トレンドの背景には、原因が結果を産みその結果がさらに次の原因となるネズミ算、言い換えれば正帰還ループの存在がある。

しかし、あらゆるネズミ算的な増加はやがては何らかの限界にぶつかる。問題は、増加を続けるネズミ達にとってはその限界が何なのか、何時やってくるのかがその本能(直感)だけではわからないことである。エレクトロニクス世界のネズミたる技術者・研究者達も殆ど同じ状況におかれている。

幸いなことに、ネズミと異なり技術者には過去を顧み将来を外挿するというオプションが与えられている。そうすれば自分が技術の流れの中でどのような方向に流されていくのかを知ることができる。想像力と運に恵まれていれば新たな技術の潮流を作る機会も出てくる。

本講演では、集積回路の世界で生ずる様々な限界、錯誤、そこから生ずる諸々の課題を講演者の経験に基づき紹介する。以下に講演の進行に従ってその概要を示す。

2. 正帰還の力と限界

何かが時間と共に指数関数的に増加するトレンドは正帰還によって作りだすことができる。Moore の法則の場合、その正帰還ループは技術を開発する側とその技術に価値を見いだす(金を払う)ユーザにより構成されていると考えられる。このループを一巡したときのゲインが正で1より大であれば、指数関数的な増加が得られる。

指数関数的なトレンドは時間さえかければいくらでも大きな増加倍率が得られるという点で非常に強力である。しかし、その強力さ故に人間の直感と合わない部分がある。その典型例がよく知られたクイズ「蓮の葉

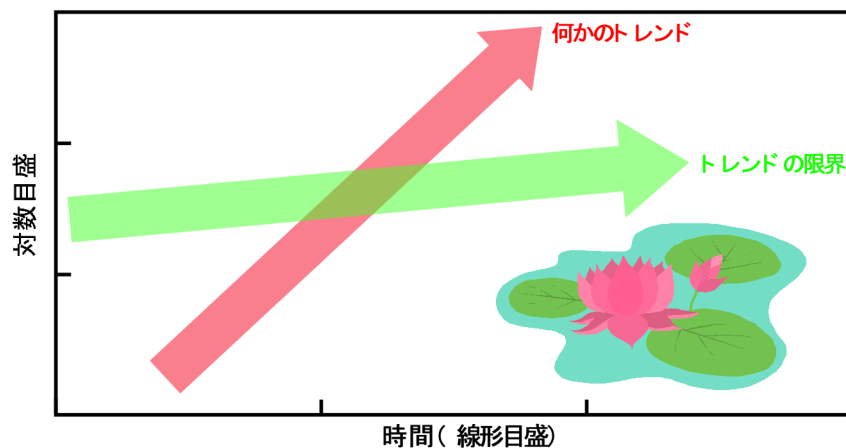


図1. 蓮の葉の錯誤

の錯誤」である(図1)。この錯誤のため、指数関数的なトレンドの下ではトレンドの限界が来る直前まで破局を予測できないという事態が発生する。

3. 技術の流れ(過去を振り返る)

ここで講演は視点を替え、エレクトロニクスの過去を振り返る。エレクトロニクスを支えてきた電子デバイスの主役は真空管、個別トランジスタ、集積回路と移り変わってきた。それぞれのデバイスが主役を張った時期(広くコンシューマーに受け入れられた時期)を大雑把に記すと、真空管が1920-1950年の30年間、単体トランジスタが1950-1980年の30年、集積回路が1980-2010年の30年間と分けられる。果たして我々がこの変化をどの程度正しく予測できていたか、また何が変化を作り出していたか等について、筆者の経験に基づいた見方を紹介する。

4. 接続ボトルネックの話

2010年から先の30年間の主役が何かを知る上で、1980-2010年の主役である集積回路がどのような限界を抱えているかを見るのが役立つ。ここでは筆者の専門分野であるチップ間接続技術の観点から技術限界およびその他の限界について述べる。技術的限界には回路速度、消費電力、そして伝送路の損失による限界が存在する。その他の限界としては集積回路の開発コストの指数関数的増加がある。高性能を要求されるハイエンド側の集積回路では、今後数年という比較的短い期間でこれらの限界にぶつかることが予想される。このような技術的プレッシャーが作り出す変化がどのようなものであるべきかについて考えてみたい。

5. 将来展望

講演の最後は、将来展望で締めるのがお約束である。筆者は予言者ではないので、将来何が起こるかではなく、常識的な仮定の基に現在何をすべきかを述べたいと考える。常識的な仮定とは、ここ10年以上専門家が述べていること -- Mooreの法則のトレンドはあと10年で終わる -- である。さらにハードウェアの進化は今後10年を越えてまだ続く必要があると仮定しよう。これは仮定というより、我々の望む未来が今後10年のMoore則進化では得られない、ということからくる希望的観測である。これらの仮定から何が言えるかについて筆者の偏った見方を示して講演を締めさせていただく。

[参考文献]

- (1) Gordon E. Moore, PROCEEDINGS OF THE IEEE, pp 82-85, VOL. 86, NO. 1, JANUARY 1998, Reprinted from Gordon E. Moore, "Cramming More Components onto Integrated Circuits," Electronics, pp. 114-117, April 19, 1965.