

2022年2月11日(金)

シリコンサイクルとフィードバック制御

フィードバックは工学で最も重要な概念である

群馬大学 電子情報部門 小林春夫

最近の半導体をめぐる一般報道を見聞きし関連書を読み動画を見ていると、半導体産業の景気の波であるシリコンサイクルはシステム制御理論とのアナロジーがあるのではないかと、(少なくとも定性的な)説明が付くのではないかと思いついた。

供給不足、供給過剰の波、すなわち景気の波が大きいことはシステムが不安定に近いと解釈できる。フィードバック制御理論の教えるところによると、フィードバックシステムが不安定になるのは下記の時である。

- ① フィードバックループの遅延が大きい
- ② フィードバックループの利得が大きい

制御工学の導入的な付録の例で薬品濃度が一定にならない(システムが不安定)のは次の場合である

- ① 薬品を入れてから結果を観測するまでの遅延が大きいとき
- ② 現在の濃度と目標濃度の差に応じてバルブを開く量、閉じる量が大きいとき(利得が大きい)

半導体産業で「遅延が大きい」というのは例えば次に対応すると解釈できよう。

- ・半導体に関係した装置メーカーの方「好況のときはお客さん(半導体メーカー)はすぐもってこい(すぐ納品してくれ)と言ってくるが、対応するのが大変だ」
 - ・工場建設に時間がかかる、建設を検討・計画して稼働するまでに時間がかかる
 - ・IC設計・製造に時間がかかる
- いたるところで時間がかかる。

半導体産業で「利得が大きい」というのは例えば次に対応するであろう。

- ・工場、設備、設計、製造に大きな費用が掛かる。
- ・市場が大きい

一方、「不況の時に投資すると効果的」というのはフィードフォワード制御、予測制御により遅延を小さくすることと解釈できよう。

20年近く前になるが、当時三洋電機半導体事業部の名野隆夫さんにMOSモデルの講義を研究室にてしてもらった。そこで「BSIM2は数学モデルでありあまり広まらなかったが、BSIM3は物理モデルでMOSのデバイス物理を反映しているので使いやすく広まりつつある」との説明を記憶している。BSIM3はデバイスパラメータ値、プロセスパラメータ値を少し変更するとMOSの特性がどうなるのかという予測(Prediction)ができるのがよいと開発元のカルフォルニア大学バークレー校のグループが(当時)主張しているという話が強い記憶に残っている。

一方、2021年ノーベル物理学賞を真鍋淑郎先生が受賞する。

“For the physical modeling of Earth’s climate, quantifying variability and reliably **predicting** global warming.”

私はこの分野を全く知らなかった。その関連記事を読むと、地球の気候モデルを開発しその空気中の二酸化炭素の含有量を変更すると地球温暖化等を予測できるというのが非常に印象的である。BSIM3 MOS デバイスモデルと共通する予測(Prediction)ができるという話を知る。現在起こっている現象を説明できるだけでなく、条件が変わったときの現象も予測できる。モデリング技術とはこれが重要なのかとはたと気が付いた。

工学ではモデルを立てシステムの設計・解析を行うことがが、このモデルに基づく予測というのは共通する重要な概念かと考える。またモデルは基本的に物理に基づき少し数値計算で合うようにチューニングの要素を含めるくらいがよい、すなわち物理モデルをベースとして少し合わせみの数学的要素を入れるくらいが良いようだ。

制御理論でモデル化すると、半導体産業・技術を良い方向に導けるのではないか。大きな景気変動の波を抑制できる、すなわち安定化するためには制御理論からヒントを得ることができるかもしれない。モデル、指針があると見通しが良くなる。

制御工学でのモデリングの様々な考え方は北森俊行先生から学んでいる。学生時代は理解できなかったが、長年工学分野の経験を積みその内容がわかってきたように思う。

半導体産業・関連経済の動きがシステム制御理論でモデル化し、どのようにしたら(パラメータ値を変更したら)どのようになるのかという予測ができるようになるというような研究が成立するのではないかと思う。

付録

フィードバック制御により不安定になる例

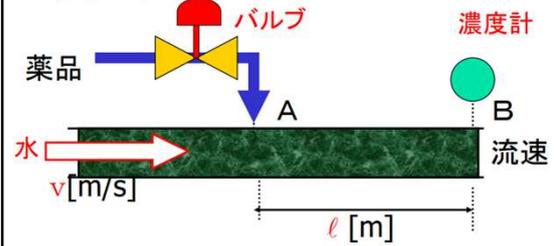
薬品濃度が一定にならない（システムが不安定）のは次の場合である

- ① 薬品を入れてから結果を観測するまでの遅延が大きいとき
- ② 現在の濃度と目標濃度の差に応じてバルブを開く量、閉じる量が大きいとき（利得が大きい）

1

フィードバック制御により不安定になる例

■ 化学プラント

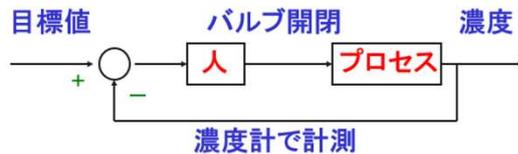


バルブの開閉によって薬品濃度を一定

AB間の時間遅れ l/v [s]

2

時間遅れがあることを知らない人が、このプロセス(バルブの開閉)を手動で制御する場合を考える。

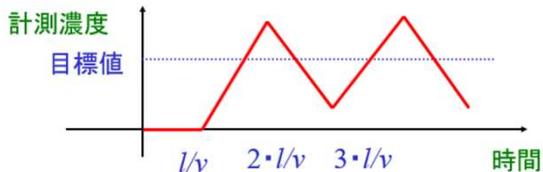


3

濃度が目標値より低かったとする。

- ・バルブを少し開け、濃度を上げようとする。
- ・しかし、時間遅れ l/v [s]があるので最初は濃度計の出力は最初は少しも上がらない。
- ・そこでバルブをどんどん開ける。
- ・ l/v [s]後に急に濃度が増し、目標値を越えて行き過ぎてしまう。

4



これは「シマツタ」と思い、バルブを閉め始める。濃度はすぐには下がらない。いつまでたっても濃度は目標値に整定しない。

不安定

5

フィードバックシステムの安定化

薬品濃度が一定にならない（システムが不安定）のは次の場合である

- ① 薬品を入れてから結果を観測するまでの遅延が大きいとき
- ② 現在の濃度と目標濃度の差に応じてバルブを開く量、閉じる量が大きいとき（利得が大きい）



安定化するためには

- ① 遅延を小さくする
- ② 利得を小さくする
- ③ 遅延があることを知り 予測制御をする

6