



特集

フィードフォワード・フィードバックと経営の関係

内山 章

九州電力株式会社 経営管理室

Akira_Uchiyama@kyuden.co.jp

BPD研究分科会報告
Business Process Dynamics

要旨: システム・ダイナミクスは、社会システム系に関わる事象間の因果関係を整理の上、シミュレーションを通じ、動的な動きを把握することに活用されていることが多い。

一方、システム・ダイナミクスの元となっている制御理論を見てみると、動的な動きを把握することから更に踏み込み、これらの動きを積極的に活用し、制御を通じ、目的を達成しようとしている。

今回、制御理論における「フィードバック」「フィードフォワード」に着目し経営を鳥瞰するとともに、経営に「フィードバック制御」「フィードフォワード制御」を意識して導入することの意義について述べる。

1. フィードバック制御・フィードフォワード制御

制御には、必ず「目的」があり、その「目的」を達成するために、何を制御するのか(制御対象)、制御する量はどのくらいか(制御量)、制御のために何をどのくらい操作するのか(操作量)が必要である。

制御量は結果、操作量は原因と言うこともできる。¹⁾

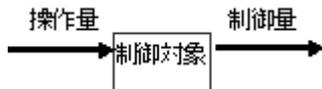


図1 制御の基本構造

1.1 フィードバック制御

フィードバックとは、結果(制御量)が原因(操作量)に戻ることであり、ループ構造をなしている。

フィードバックは、正のフィードバック、負のフィードバックに分類されるが、各々、発散、収束するという特徴を有する。

フィードバック制御は、これらのフィードバックの特徴を踏まえつつ、望ましい制御量としての基準量を達成できる、即ち、制御量と基準量の差(誤差)をなるべく小さくなるよう操作量を調整することである。

車の運転で例えると、自動車が制御対象、法定速度が基準量、現在の速度が制御量、アクセルの踏み込む量が操作量である。また、坂道の勾配などの外乱が存在する。運転手が現在の速度を把握し、アクセルを踏み、自動車が反応するまでタイムラグが生じるがこれが遅れである。

フィードバック制御は外乱という不確定要因がある中においても、誤差を基準に制御する点で、不確定要因を克服するためのツールとも言える。

しかし、遅れが大きいと、誤差が小さくできない欠点

もある。

なお、誤差が小さい状態で安定化させるには、一般的に、収束に向かう特徴のある負のフィードバックが活用されることが多い。

また、発散の特徴を持つ正のフィードバックについても、例えば、エスカレート現象²⁾のように発散が望ましくない場合は、別途対策を講じることにより制御する場合もある。

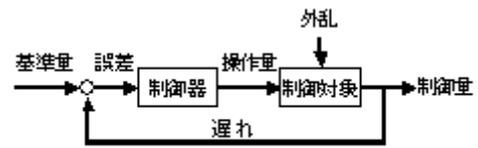


図2 外乱のあるフィードバック制御の構造

1.2 フィードフォワード制御

制御対象に対する正確な知識があり、外乱が存在しない場合は、制御量 = 基準量となる操作量を計算し操作すれば、制御量と基準量と一致させることができる。

即ち、フィードフォワード制御とは、制御量の現在値を用いず、操作量を決める制御である。

フィードバック制御では制御量の現在値を用いるため、遅れを伴い操作が後手になるが、フィードフォワードでは制御量の現在値に依存しないため、先手を打った操作ができる。

しかし、実際には外乱が存在しており、その外乱を予測の上、操作量を決めるため、予測が外れた場合、制御量は基準量と一致しなくなる。¹⁾

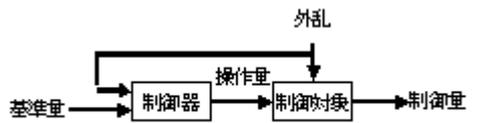


図3 外乱のあるフィードフォワード制御の構造

2. フィードバック制御・フィードフォワード制御の視点から見た経営

「経営」というものを、制御の構造という面から眺めてみると、一例として、以下のとおりに例えられる。

- ・ 制御対象 経営自体
- ・ 制御量 業績評価指標などの経営指標
- ・ 基準量 経営目標
- ・ 制御器 事業計画、経営ツールなど
- ・ 遅れ 改革のスピード、意思決定などの遅れ

通常、「経営」に当たっては、将来予測やリスク評価を行い、短中期的な見通しの元で、具体的な事業計画を立案するが、これはフィードフォワード制御の考え方に相当する。

一方、短中期的な見通しに差が生じた場合、柔軟に予算を見直したり、計画を年々ローリングさせたりするが、これはフィードバック制御の考え方に相当する。

つまり、「経営」のフレームワークに、フィードバック・フィードフォワード制御を相互に取り入れている。経営改革を実現できない状況においては、以下のように、フィードバック・フィードフォワードの効果がだに弱くなっている。

経営環境の不透明感が大きく、1年先も見通せない状況下であること

経営改革などには痛みを伴う部分が多く、実現までには時間がかかること

重厚長大産業に見られる人件費や設備関係費などの固定費ウェイトの高い状況では、需要変動に弾力的な対応ができないこと

例えば、上記 ~ に対し、どのような改革が実際に行われているかを例示すると以下のとおりである。

に対しては、デシジョン・ツリーなどの不確実性を伴う意思決定やリスクマネジメントの手法を適用する など

に対しては、意思決定機構の改革など、スピード経営を指向する など

に対しては正社員を減らすなどの人件費の変動費化や需要に応じて小規模の設備を作っていくなどの設備関係費の変動費化などを行う など

つまり、今の経営改革は、フィードバック・フィードフォワードの効果が出やすい企業体質への変革を行っているとも言うことができる。

3. 簡易経営モデルによる検証

今回、経営におけるフィードバック・フィードフォワードの効果を見るに当たって、以下の簡易 SD モデルを作成し、POWERSIM を用い構築し、シミュレーション期間を1年間（シミュレーションステップ 1 週間）として、1年後の利益・製品在庫等の分布をモンテカルロシミュレーションを用い算定した。

需要動向については、振動を伴いつつ増大する場合 期待値が一定であるが振動を伴う場合 振動を伴いつつ減少する場合 に分類し、 については、設備投資と利益、 については、製品在庫と利益に着目した。

なお、簡易 SD モデルにおける Verbal Model は以下のとおり。

〔Verbal Model〕

- 生産計画に基づき、生産された製品を販売動向（需

要）に応じ販売するというシンプルなプロセスを持つ企業が資本金1億円で設立

- 生産設備に対する初期投資は5億円で500個/週の生産規模を持つ。
- 設備の減価償却は10年の定額法で残存率を0%
- 製品1個当りの販売価格は7000円
- 製品1個当りの材料費は2000円
- 製品在庫1個当り保管料は100円/個
- 追加増資はせず、借り入れで資金調達。金利は設備資金、運転資金ともに5%で一定
- 税・配当は発生しない

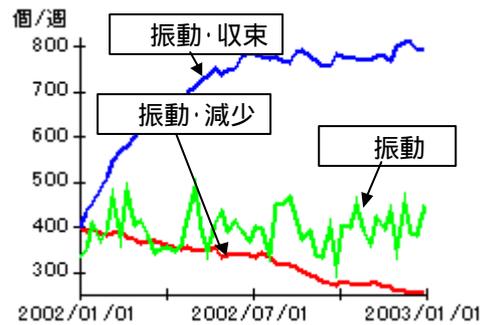


図4 需要動向（イメージ）

3.1 需要が振動を伴いつつ増加する場合

設備投資を制御対象、増設規模を制御量と捉え、需要動向、生産計画を以下のとおりとした。

（需要動向）

- 現時点の400個/週から以下の式に従い、収束値800個/週に向う。（但しYは需要、uは収束速度）

$$dY = u(800 - Y)dt + \sigma dZ$$

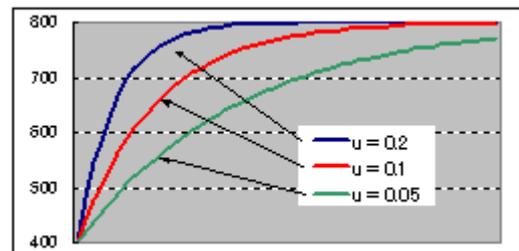


図5 u の変化に伴う需要動向の変化（ $\sigma=0$ の場合）

（フィードフォワードモデルの場合：以下 FFM）

- 需要が500個/週となった時点で1か月以内に需要が800個/週と予測し、3億円（300個/週増産可能）増設する
- 需要の1週間遅れの値を生産個数とする
- 建設期間は4週間

（フィードバックモデルの場合：以下 FBM）

- 需要と生産可能な製品個数の差が20個/週となった時点で設備投資額を0.2億円（18個/週増産可能）する。なお、生産可能な製品個数が800個/週まで

増設可能

- 需要の1週間遅れの値を生産個数とする
- 増築された設備は小規模であるため、建設期間は2週間で、FFMに比べ、生産効率が10%低下する

$u = 0.2$, $\sigma = 20$ 個/週, 即ち、振動が少なく、収束速度が速い場合には、利益はFFMの方が高くなった。
(FFM: 平均=93.4 百万円, FBM: 平均=89.6 百万円)

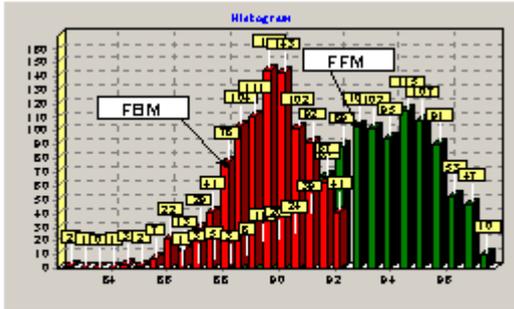


図6 利益の分布(1年後)

これは、結果としてFFMにおける予測精度が高く、FFMに比べ、FBMの方が需要動向の急速な伸び生産が追いつかなかったため、売上を売る機会を逸したためである。

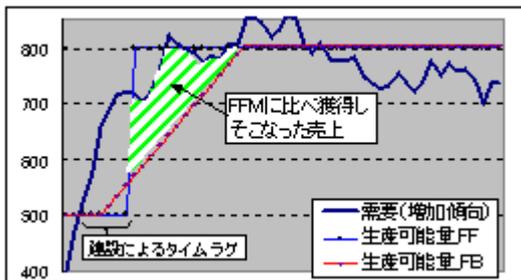


図7 需要と生産可能量との関係

一方、収束速度が鈍化し、振動が大きくなった場合($u = 0.05$, $\sigma = 40$ 個/週), FBMの方が生産効率が悪いにもかかわらず、利益が高く、標準偏差の小さいリスクの低い利益構造となった。

(FFM: 平均=69.9 百万円, 標準偏差 = 13.6

FBM: 平均=73.5 百万円, 標準偏差 = 9.3)

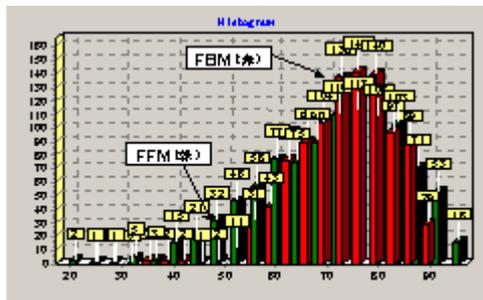


図8 利益の分布(1年後)

3.2 需要の期待値は一定であるが振動を伴う場合
設備投資を制御対象、増設規模を制御量と捉え、需要動向、生産計画を以下のとおりとした。

(需要動向)

- 需要は平均 500 個/週, 標準偏差 50 個/週の正規分布に従うランダム値をとる

(FFM)

- 需要が1か月以内に需要が600個/週と予測し、1億円(100個/週増産可能)増設する

- 需要の1週間遅れの値を生産個数とする

- 建設期間は4週間

(FBM)

- 需要と生産可能な製品個数の差が20個/週となった時点で設備投資額を0.2億円(18個/週増産可能)する。なお、生産可能な製品個数が600個/週まで増設可能

- 需要の1週間遅れの値を生産個数とする

- 増築された設備は小規模であるため、建設期間は2週間で、FFMに比べ、生産効率が10%低下する

やはり、FBMの方が生産効率が悪いにもかかわらず、利益が高く、利益の高い方に裾野の広い分布となった。
(FFM: 平均=53.7 百万円, FBM: 平均=57.4 百万円)

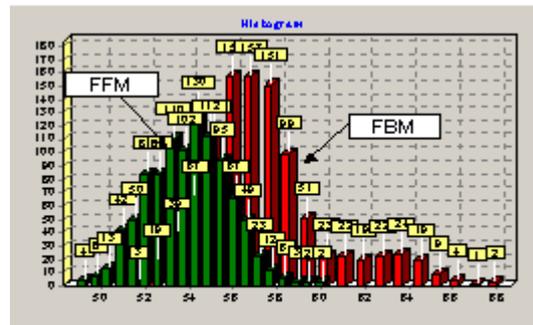


図9 利益の分布(1年後)

なお、この場合は「3.1 需要が振動を伴いつつ増加する場合」における $u = 0$ に相当する。

つまり、需要動向が鈍化・横ばいとなった状況で不確実性が高い場合、生産効率が若干低下したとしても、フィードバックの考え方をを用い、需要動向に合わせて小規模な設備を作っていくことが安定的な利益確保に繋がると言える。

3.3 需要が振動を伴いつつ減少する場合

需要が減少傾向にある場合、容易に設備の破棄はできないため、製品在庫と利益に着目し、生産計画を制御対象、生産個数を制御量と捉え、需要動向、生産計画を以下のとおりとした。

(需要動向)

- 現時点の400個/週から年平均50%減少するが、その減少は振動を伴っており、振動幅は平均0%/週, 標準偏差2%/週の正規分布に従っている

(FFM)

- 生産計画は製品在庫を全く勘案せず，過去の需要動向から，現時点の需要 400 個 / 週から毎週，年平均 30% 減少すると予測し，これを生産個数とする (FBM)
- 生産計画は需要動向を見ながら決定する。具体的には需要の n 週間遅れの値を生産個数とする

FBM の n=1 週間とした場合，FBM・FFM の利益は以下のとおりで FBM の方が高くなった。
(FFM: 平均=16.4 百万円, FBM: 平均=19.7 百万円)

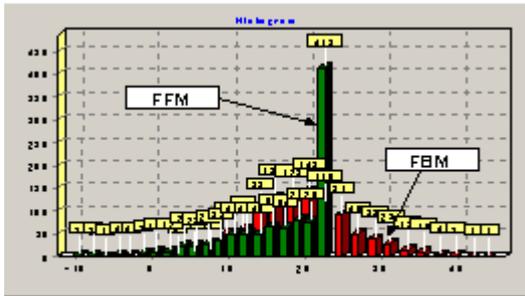


図10 利益の分布(1年後)

FBM の n=1 と n=4 の時を同様にモンテカルロシミュレーションを行うと，利益が悪化(19.7 17.9 百万円)しており，その主要因は製品在庫で，図 1 1 のとおり大幅増となっており，フィードバックにおける「遅れ」が重要な要素であることがわかる。

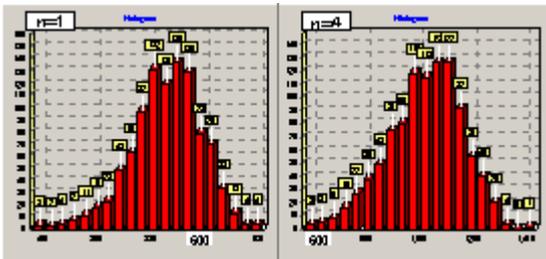


図 1 1 製品在庫の分布 (1 年後)

また，需要動向における振動が少なく (標準偏差 2 0.2% / 週) になった場合，即ち，生産計画の精度が上

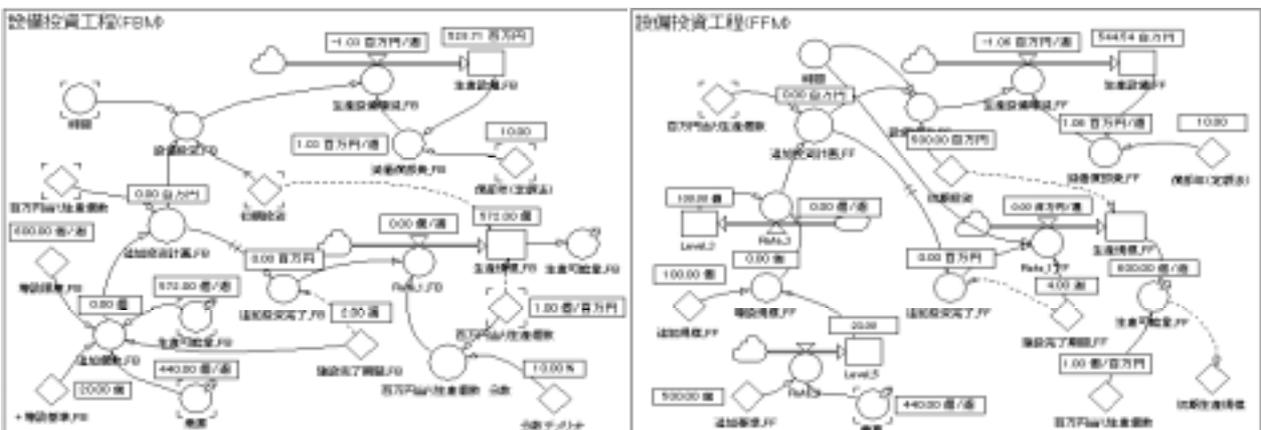


図 1 3 POWERSIM による簡易 SD モデル (抜粋)

がった場合の FFM と，n=4 の場合の FBM を比較すると，利益は FFM の方が高くなっており，フィードフォワードにおける「予測精度」は，フィードバックにおける「遅れ」と同様に重要な要素であることがわかる。

(FFM: 平均=20.1 百万円, FBM: 平均=18.0 百万円)

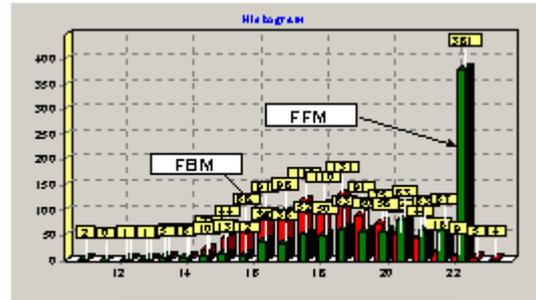


図 1 2 利益の分布 (1 年後)

4 . おわりに

今回，経営のフレームワークに対するフィードバック・フィードフォワードの導入状況について定性的に述べるとともに，需要動向・在庫・設備投資の関係に着目した簡易 SD モデルでこれらの効果を検証した。

不確実性が高い経営環境においては，予測精度の向上は困難であるため，フィードバック制御の考え方を意識的に経営のフレームワークに取り入れていくことが重要である。しかし，その前提条件は「遅れ」を極力無くすことである。

また，「3 . 1 需要が振動を伴いつつ増加する場合」での結論は，リアルオプション理論における段階的オプションと同様である。

もっと，フィードバック・フィードフォワードを意識して見てはどうだろうか。

参考文献

- 1) 木村英紀「制御工学の考え方」P56～92 2002 年
- 2) ダニエル・キム / バージニア・アンダーソン「システム・シンキングトレーニングブック」P123～136 2002 年