系統の慣性が決めるのは、周波数が沈む底の深さであって、落ち着く先ではない

— 慣性を 4 倍にしても周波数の底は 1.745117 倍しか浅くならず、落ち着く先はどれも −0.238095 Hz で、調速の垂下率と負荷の周波数特性だけで決まる — 分離子は、問うているのが途中の底か、落ち着く先か — [論文789]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

— From thinking to syncing. —

要旨

回っている発電機の重さ（慣性）が小さい電力系統ほど、電源が抜けたとき周波数が大きく下がる、と言われる。一つの地域の簡単な模型で、電源が抜けた直後の落ち方、途中の底、落ち着く先を、慣性を変えて数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、初めの落ち方は、慣性に反比例する——慣性定数 2・4・8 秒で −1.250000・−0.625000・−0.312500 Hz/秒（第2節）。 第二に、途中の底は、慣性が小さいほど深い——−0.746571・−0.563236・−0.427806 Hz（第2節）。 第三に、けれど底は、慣性に反比例しない——慣性を 4 倍にしても底は 1.745117 倍しか浅くならない（第2節）。 第四に、これが本稿の芯である。落ち着く先は、慣性に依らない——三つとも −0.238095 Hz で、調速の垂下率と負荷の周波数特性だけで決まる（第2節）。 第五に、落ち着く先を決めているのは、調速である——調速がなければ −5.000000 Hz まで落ちる（第2節）。 第六に、分離子は、問うているのが途中の底か、落ち着く先かである——「慣性の小さい系統は周波数が大きく下がる」は、どちらを言うのかを言うまで真偽が決まらない（第3節）。 キーワード：電力系統、周波数、慣性定数、調速、周波数の底、電源の脱落。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——発電機の揺動方程式、慣性定数、周波数の初めの変化率が慣性に反比例すること、調速の垂下率で落ち着く周波数が決まることは、いずれも既知である（クンドゥール 1994、マホフスキーほか 2008）。一つの地域だけを見る——地域どうしの揺れ、電圧、保護装置の動作、負荷の切り離しは入れない。値は代表値である——脱落 10 %、負荷の周波数特性 1、垂下率 0.05、調速の時定数 2 秒は比べるための値で、実在の系統の数は主張しない。調速を一つの遅れで表す——タービンや制御の細かい形は入れない。電源の選び方を論じない——どの電源を増やすべきかは述べない。既刊との関係：論文356 は、電流は流れているのに仕事をしていないことを示した——その射程注記は過渡を扱わず、定常の正弦波だけを扱うと明記していた。そこでは定常の中で、流れる電流と仕事をする電力を分けた。ここでは電源が抜けて定常が壊れた直後を追い、周波数の沈む底と落ち着く先を分ける。論文783 は、潮汐の行き着く先は角運動量だけで決まり、そこに着く時間は散逸で決まることを示した——行き着く先と途中を別の量が決めるという同じ型が、ここでは電力系統に出る。加えたのは、三つの慣性で初めの落ち方・底・落ち着く先を並べ、底が慣性に反比例しないこと（**1.745117** 倍）を示したこと、数値の積分と行列の指数関数による閉じた形の二通りで底を出したこと、落ち着く先 **−0.238095** Hz が慣性に依らず、調速がなければ −5.000000 Hz になることを示したこと、分離子を「途中の底か、落ち着く先か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：周波数のずれ Δf と調速による出力の増え ΔP_g を、定格に対する割合で書く。電源が ΔP_L だけ抜けると、慣性定数 H、負荷の周波数特性 D、垂下率 R、調速の時定数 T_g で次のように動く。

$$2H\,\frac{d\Delta f}{dt} = \Delta P_g - \Delta P_L - D\,\Delta f, \qquad T_g\,\frac{d\Delta P_g}{dt} = -\frac{\Delta f}{R} - \Delta P_g$$

$$\left.\frac{d\Delta f}{dt}\right|_{t=0} = -\frac{\Delta P_L}{2H}, \qquad \Delta f_\infty = -\frac{\Delta P_L}{D + 1/R}$$

50 Hz、$\Delta P_L = 0.1$、$D = 1$、$R = 0.05$、$T_g = 2$ 秒と置く。

問い：慣性の小さい系統では、周波数はどれだけ下がるのか。

2. 落ち方、底、落ち着く先

計算 2.1：三つの慣性定数で、RK4 の数値積分と、行列の指数関数による閉じた形の二通りで周波数を追った。底の二通りの差は最大 4.077×10^{-14} Hz だった。

慣性定数	初めの落ち方（式・数値）	底（時刻）	49.8 Hz を切る時刻	落ち着く先
2 秒	−1.250000・−1.249843 Hz/秒	−0.746571 Hz（1.047 秒）	0.166 秒	−0.238095 Hz
4 秒	−0.625000・−0.624961 Hz/秒	−0.563236 Hz（1.578 秒）	0.335 秒	−0.238095 Hz
8 秒	−0.312500・−0.312490 Hz/秒	−0.427806 Hz（2.437 秒）	0.685 秒	−0.238095 Hz

比べ：調速なし（慣性 2 秒）では、40 秒後 −4.999773 Hz、落ち着く先（式）−5.000000 Hz。

> **観察 2.2**
>
> 初めの落ち方は、慣性に反比例する。慣性を 2 秒から 8 秒にすると、初めの落ち方は −1.250000 から −0.312500 Hz/秒へ 4 分の 1 になり、49.8 Hz を切る時刻は 0.166 秒から 0.685 秒にのびる。

> **観察 2.3**
>
> 途中の底は深さが変わるが、慣性に反比例しない。底は −0.746571・−0.563236・−0.427806 Hz で、慣性を 4 倍にしても 1.745117 倍しか浅くならない——落ちるのが遅いあいだに調速が追いつき、底の深さには慣性と調速の速さの両方が効く。

> **観察 2.4**
>
> これが本稿の芯である。落ち着く先は、慣性に依らない。三つの慣性のどれでも落ち着く先は −0.238095 Hz で、式 $-\Delta P_L/(D+1/R)$ に慣性は入っていない——慣性が決めるのは途中の底の深さと落ちる速さで、どこに落ち着くかは調速の垂下率と負荷の特性が決める。

> **観察 2.5**
>
> 落ち着く先を決めているのは、調速である。調速がなければ落ち着く先は −5.000000 Hz で、40 秒後にはすでに −4.999773 Hz に達している——慣性はこの落ち方を遅くするだけで、止めはしない。

3. 分離子

観察 3.1

分離子は、問うているのが途中の底か、落ち着く先かである。途中の底なら慣性が小さいほど深く（-0.746571 対 -0.427806 Hz）、落ち着く先なら慣性に依らず -0.238095 Hz である——「慣性の小さい系統は周波数が大きく下がる」は、どちらを言うのかを言うまで真偽が決まらない。

観察 3.2

論文356・論文783 と並べる。356 は定常の正弦波の中で、流れる電流と仕事をする電力を分けた。783 は潮汐の行き着く先と、そこに着く時間を別の量が決めることを示した——ここでは定常が壊れた直後を追い、783 と同じ型——行き着く先と途中を別の量が決める——が電力系統にも出ることを数えた。

観察 3.3

言わないこと。地域どうしの揺れ、電圧、保護、負荷の切り離し、実在の系統の数、電源の選び方は扱わない——示したのは、慣性が途中を決め、落ち着く先を決めないことである。

4. 点呼と結び

1. 初めの落ち方 -1.250000 Hz/秒（計算 2.1）：慣性 2 秒。
2. 初めの落ち方 -0.312500 Hz/秒（観察 2.2）：慣性 8 秒で 4 分の 1。
3. 底 -0.746571 Hz（計算 2.1）：慣性 2 秒。
4. 底 -0.427806 Hz（計算 2.1）：慣性 8 秒。
5. 底の比 1.745117（観察 2.3）：反比例しない。
6. 落ち着く先 -0.238095 Hz（観察 2.4）：本稿の芯。
7. 調速なし -5.000000 Hz（観察 2.5）：調速が決める。
8. 49.8 Hz を切る 0.166 秒と 0.685 秒（観察 2.2）：時間の余裕。
9. 二通りの底の差 4.077×10^{-14} Hz（計算 2.1）：数値と式が一致。
10. 途中の底か、落ち着く先か（観察 3.1）：分離子・論文356・論文783。

結び：系統の慣性が決めるのは、周波数が沈む底の深さであって、落ち着く先ではない。**50 Hz** の系統で **10 %** の電源が脱落すると、慣性定数 **2・4・8** 秒で初めの落ち方は **−1.250000・−0.625000・−0.312500 Hz/秒**、底は **−0.746571・−0.563236・−0.427806 Hz** になる——落ち方は慣性に反比例するが、底は慣性を **4** 倍にしても **1.745117** 倍しか浅くならない。落ち着く先はどれも **−0.238095 Hz** で、調速の垂下率と負荷の周波数特性だけで決まり、調速がなければ **−5.000000 Hz** まで落ちる——慣性は途中を決め、行き着く先は決めない。分離子は、問うているのが途中の底か、落ち着く先かである。既刊との位置——論文**356** は定常の中で電流と電力を分けた。ここは定常が壊れた直後を追い、論文**783** と同じ型が電力系統にも出ることを数えた。正直に言えば——一つの地域の簡単な模型で、電圧も保護も実在の系統の数も扱っていない。

参考文献

1. Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill.
2. Machowski, J., Bialek, J. W., & Bumby, J. R. (2008). *Power System Dynamics: Stability and Control* (2nd ed.). Wiley.
3. 山岸勇輝 (2026).『電流は流れているのに、仕事をしていない』[論文356]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697124
4. 山岸勇輝 (2026).『潮汐の行き着く先は角運動量だけで決まり、そこに着くまでの時間は散逸で決まる』[論文783]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23015318

— From thinking to syncing. —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)