回生の値打ちは速さの二乗に乗るので、最後の低速域を摩擦に任せても損は一パーセントに満たない

— **10** km/h 以下に残っているのは **100** km/h のエネルギーの **0.010000** しかなく、往復効率 **0.70** で低速域を摩擦に任せても失うのは全体の **0.007000** だけである — 分離子は、ブレーキがエネルギーを熱にするか、電荷にするか — [論文735]

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

回生ブレーキはエネルギーを取り返す。どこで取り返せるかは、速さの二乗が決めている。速さの帯ごとにエネルギーを数え、どこを諦めてよいかを出す。新しい定理も法則も主張しない。 **第一に、エネルギーは速さの二乗である——100 km/h は 50 km/h のちょうど 4.000000 倍を持つ（第2節）。** **第二に、これが本稿の芯である。低速域にはほとんど残っていない——10 km/h 以下は 100 km/h の 0.010000 しかない（第2節）。** **第三に、だから低速域を摩擦に任せても損が小さい——往復効率 0.70 のもとで、失うのは全体の 0.007000 だけである（第3節）。** **第四に、逆に速い側の一帯が重い——70 から 100 km/h の帯だけで全体の 0.510000 を占める（第3節）。** **第五に、50 km/h までを全部合わせても四分の一である——積み上げて 0.250000 にしかならない（第3節）。** **第六に、分離子は、ブレーキがエネルギーを熱にするか、電荷にするかである——止まる距離は同じでも、行き先が違う（第4節）。** **キーワード：回生ブレーキ、運動エネルギー、速さの二乗、往復の効率、速さの帯ごとの配分、熱か電荷か。**

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——運動エネルギーが速さの二乗に比例すること、回生制動が往復の効率で目減りすること、低速域では摩擦制動に切り替えることは、いずれも標準的である（ジェンタ 1997、エーサニ 2018）。代表値に精度を主張しない——往復の効率 0.70 と質量 1500 kg は桁を見るための値である。電池の側を数えない——低温や満充電で回生できないことには触れるだけで、数えない。走行抵抗を入れない——転がり抵抗や空気抵抗による減速は入れず、運動エネルギーだけを見る。実在の車両を主張しない——個別の車両や制御の設計は扱わない。坂を扱わない——下り坂での位置エネルギーの回生は扱わない。既刊との関係：論文725 は、離陸の決心速度が二つの距離の交点であり、その交点が最短を与えることを示した——そこでは制動が距離を作る量で、止まるまでに要る長さが主題だった。ここでは同じ制動が捨てている量を数える。止まるのに要る距離と、止まるときに失うエネルギーになる。加えたのは、速さごとのエネルギーを並べたこと、低速域の割合を **0.010000** と出したこと、摩擦に任せたときの損を **0.007000** と出したこと、速い側の一帯が **0.510000** を占めることを示したこと、分離子を「熱にするか、電荷にするか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：運動エネルギーは質量と速さの二乗の積の半分である。回生で取り返せるのは、その一部である。

$$E = \tfrac{1}{2} m v^2, \qquad E_{\text{回収}} = \eta E, \qquad \frac{E(v_1)}{E(v_2)} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2$$

質量 1500 kg、往復の効率 $\eta = 0.70$ を代表値として置く。

問い：回生を追う値打ちは、どこに在るのか。

2. 低速域には、ほとんど残っていない

計算 2.1：速さごとの運動エネルギーを出した。

速さ	エネルギー	kWh に直して
100 km/h	578703.703704 J	0.160751
50 km/h	144675.925926 J	0.040188
30 km/h	52083.333333 J	0.014468
10 km/h	5787.037037 J	0.001608
5 km/h	1446.759259 J	0.000402

> **観察 2.2**
>
> 100 km/h は 50 km/h のちょうど 4.000000 倍である。速さを 3 倍にすると 9 倍になる——二乗なので、速い側に急激に偏る。

> **観察 2.3**
>
> これが本稿の芯である。10 km/h 以下に残っているのは 0.010000 しかない。100 km/h の 1 割の速さに、1 割の二乗しか残らない——止まる寸前の区間は、エネルギーの帳簿の上ではほとんど空である。

3. 値打ちは速い側に集まっている

計算 3.1：100 km/h を 1 として、速さの帯ごとの割合を出した。

帯	その帯の割合	積み上げ
0 〜 10 km/h	0.010000	0.010000
10 〜 30 km/h	0.080000	0.090000
30 〜 50 km/h	0.160000	0.250000
50 〜 70 km/h	0.240000	0.490000
70 〜 100 km/h	0.510000	1.000000

> **観察 3.2**
>
> 70 から 100 km/h の帯だけで全体の 0.510000 を占める。50 km/h までの帯をすべて合わせても 0.250000 にしかならない——回生の値打ちは、速い側に集まっている。

> **観察 3.3**
>
> だから低速域を摩擦に任せる設計が成り立つ。往復効率 0.70 のもとで、失うのは全体の 0.007000 だけである——制御を簡単にするためにそこを諦めても、1 % に満たない。

計算 3.4：100 km/h と 50 km/h から止めたときに回収できる量を出した。

初速	回収	kWh に直して
100 km/h	405092.592593 J	0.112526
50 km/h	101273.148148 J	0.028131

> **観察 3.5**
>
> 一回の減速で取り返せる量は、市街地では小さい。50 km/h から止めても 0.028131 kWh である——それでも回数が多いので、市街地の走行では積み上がる。

> **観察 3.6**
>
> 電池の側には別の制限が在る。低温や満充電では受け入れられない——本稿はそれを数えないが、二乗の話とは別の理由で回生が止まることは書いておく。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、ブレーキがエネルギーを熱にするか、電荷にするかである。止まる距離は同じでも、行き先が違う——同じ制動という言葉の下で、失うか蓄えるかが分かれている。

> **観察 4.2**
>
> 論文725 と並べる。725 は、離陸の決心速度が二つの距離の交点であることを示した——そこでは制動が距離を作る量だった。ここでは同じ制動が捨てている量である。要る距離と、失うエネルギー。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。電池の受け入れも走行抵抗も実在の車両も坂も扱わず、二つの代表値は固定した——示したのは、速さの二乗という一事から出る値打ちの配分である。

5. 点呼と結び

1. 100 km/h で **578703.703704 J**（計算 2.1）：**0.160751 kWh**。
2. 50 km/h で **144675.925926 J**（計算 2.1）：四分の一。
3. 比はちょうど **4.000000**（観察 2.2）：二乗だから。
4. 10 km/h で **5787.037037 J**（計算 2.1）：ほとんど無い。
5. 割合は **0.010000**（観察 2.3）：本稿の芯。
6. 摩擦に任せた損 **0.007000**（観察 3.3）：1 % 未満。
7. 70〜100 の帯で **0.510000**（計算 3.1）：半分を超える。
8. 50 までで **0.250000**（計算 3.1）：四分の一。
9. 回収は **405092.592593 J**（計算 3.4）：100 km/h から。
10. 熱にするか、電荷にするか（観察 4.1）：分離子・論文725。

結び：回生を追う値打ちは速さの二乗に乗っているので、最後の低速域を摩擦に任せても損は一パーセントに満たない。質量 1500 kg の車は 100 km/h で 578703.703704 J（0.160751 kWh）、50 km/h で 144675.925926 J、10 km/h では 5787.037037 J しか持たず、100 km/h は 50 km/h のちょうど 4.000000 倍である——二乗なので速い側に急激に偏り、10 km/h 以下に残っているのは 0.010000 しかない。だから往復効率 0.70 のもとで低速域を摩擦に任せても、失うのは全体の 0.007000 だけである——制御を簡単にするためにそこを諦めても、1 % に満たない。逆に 70 から 100 km/h の帯だけで全体の 0.510000 を占め、50 km/h までの帯をすべて合わせても 0.250000 にしかならない——回生の値打ちは速い側に集まっている。一回の減速で取り返せる量そのものは小さく、100 km/h から止めて 405092.592593 J（0.112526 kWh）、50 km/h からなら 0.028131 kWh である——それでも回数が多いので、市街地の走行では積み上がる。電池の側には別の制限が在り、低温や満充電では受け入れられない——本稿はそれを数えないが、二乗の話とは別の理由で回生が止まることは書いておく。分離子は、ブレーキがエネルギーを熱にするか、電荷にするかである。既刊との位置——論文725 では制動が距離を作る量だった。ここでは同じ制動が捨てている量である。正直に言えば——電池の受け入れも走行抵抗も坂も扱わず、二つの代表値は固定した。

参考文献

1. Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. (2018). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. CRC Press.
2. Genta, G. (1997). *Motor Vehicle Dynamics*. World Scientific.
3. 山岸勇輝 (2026). 『離陸の決心速度は選んだ値ではなく二つの距離の交点で、その交点が最短を与える』[論文725]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23015025

— *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)