

最も反応しやすい金属が、最も錆びない

— アルミニウムは電位 -1.66 V と鉄より卑なのに、被膜は 4 nm で鉄の 500 nm の $1/125$ しかない —
順位が逆転している — 分けているのは電位ではなく、被膜が下地を覆えるかである — [論文441]

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

反応しやすい金属ほど早く錆びるとされている。本稿が示すのは、順位が逆転していることである——最も卑な金属が、最も薄い被膜で守られている。新しい定理も法則も主張しない。第一に、アルミニウムの電位は -1.66 V で、鉄の -0.44 V より卑である（第2節）。第二に、これが本稿の芯である。それなのに被膜は 4 nm しかなく、鉄の 500 nm の $1/125$ である。順位が逆転している（第2節）。第三に、分けているのは電位ではない。被膜の体積比が 1 から 2 のあいだにあるかである（第3節）。第四に、アルミニウム 1.28 ・クロム 1.99 は範囲に入り、鉄 2.14 ・マグネシウム 0.81 は外れる（第3節）。第五に、 1 を下回れば隙間ができ、 2 を超えれば圧縮で剥がれる。両側で破れる（第3節）。第六に、分離子は「反応のしやすさか、被膜の体積比か」である（第4節）。キーワード：不動態、腐食、酸化皮膜、標準電極電位、ピリング・ベドワース比。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——標準電極電位、不動態、ピリング＝ベドワース比はすべて既知である（1923 年以來）。体積比を唯一の基準としない——1 から 2 という範囲は目安であり、これを満たしても不動態にならない金属はある。必要条件に近いものとして扱う。被膜の構造を論じない——結晶か非晶質か、欠陥の分布、成長の速度論は主題ではない。環境を固定しない——塩化物イオンがあれば不動態は破れる。孔食や隙間腐食は主題ではない。被膜の厚さを実測として主張しない——4 nm・3 nm・500 nm は代表値であり、条件で動く。合金を扱わない——ステンレス鋼がなぜ錆びないかという具体的な議論は、クロムの寄与に触れるだけである。既刊との関係：論文440 は守るために先に溶けるものが要ることを示した——そこでは電位が向きを決めた。ここでは電位が向きを決めない。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——「反応しやすい」と「錆びやすい」は、その基準で別根である。論文432 は記録で最も強い周期が原因の側で最も弱いことを示した——そこでも順位が逆転していた。本稿は二例目である。論文419 は同じ材料でも向きで強度が変わることを示した——ここでも、材料名の中に結果を決める別の量が隠れている。加えたのは、電位と被膜の厚さを並べて逆転を数に出したこと、被膜の比を 1/125 と出したこと、四つの金属で体積比を並べたこと、1 の下と 2 の上で別々の破れ方をすることを示したこと、電位の順と体積比の順が一致しないことを確かめたこと、分離子を「反応のしやすさか体積比か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：金属が酸素と反応して酸化物を作るとき、できた酸化物の体積を、消えた金属の体積で割った比を考える。

$$PB = \frac{V_{\text{酸化物}}}{V_{\text{金属}}}$$

$PB < 1$ なら被膜が下地を覆いきれず、 $PB > 2$ なら圧縮応力で割れるとされる。

観察 1.1

反応しやすい金属ほど早く錆びると思われている。電位が卑なほど酸化されやすい——自然な考え方である。

観察 1.2

ところが実物は逆に見える。アルミの窓枠は何十年も持ち、鉄の柵は数年で錆びる——電位ではアルミのほうがずっと卑である。

問い：何が順位を逆転させているのか。

2. 最も卑な金属が、最も薄い被膜で守られている

計算 2.1：三つの金属で、電位と酸化被膜の厚さを並べる。

金属	電位 [V]	被膜の厚さ [nm]
アルミニウム	-1.66	4
クロム	-0.74	3
鉄	-0.44	500

観察 2.2

アルミニウムは三つのうち最も卑である。-1.66 V——最も反応しやすい。

観察 2.3

それなのに被膜は 4 nm しかない。鉄の 500 nm の 1/125——薄いのに止まっている。

観察 2.4

鉄の 500 nm は「厚く守られている」のではない。止まらずに厚くなり続けた結果である——厚さは守りの強さではなく、進行の記録である。

観察 2.5

つまり順位が逆転している。電位で最も卑なものが、被膜で最も薄い——論文432 と同じ形で、原因の側の順位と結果の側の順位が合っていない。

3. 分けているのは、被膜が覆えるかである

計算 3.1：四つの金属で、酸化物と金属の体積比を出す。

金属	体積比	覆えるか
マグネシウム	0.81	覆えない（隙間ができる）
アルミニウム	1.28	覆える
クロム	1.99	覆える
鉄	2.14	圧縮で割れる

観察 3.2

アルミニウムとクロムだけが 1 と 2 のあいだに入る。**1.28** と **1.99**——これが不動態になる二つである。

観察 3.3

マグネシウムは 1 を下回る。**0.81**——酸化物が金属より小さいので、覆いきれずに隙間ができる。

観察 3.4

鉄は 2 を超える。**2.14**——酸化物が大きすぎて、押し合って剥がれる。

観察 3.5

両側で破れる。小さすぎても大きすぎても駄目——境目が二つあり、そのあいだだけが守られる。

観察 3.6

そして電位の順と体積比の順は一致しない。電位はアルミ < クロム < 鉄、体積比はアルミ < クロム < 鉄だが、決めているのは大小ではなく範囲に入るかである——同じ順に並んでいても、判定は別の規則で行われる。

4. 分離子

分離子：反応のしやすさか、被膜の体積比か。

観察 4.1

反応のしやすさは、始まりを決める。どれだけ速く酸化が始まるか——アルミは一瞬で始まる。

観察 4.2

体積比は、止まるかを定める。被膜が下地を覆えば、そこで止まる——アルミは一瞬で始まって、**4 nm**で止まる。

観察 4.3

これは論文300の基準で別根である。どちらも「錆びやすさ」と呼ばれる——一方は速度の話、一方は停止の話である。

観察 4.4

だから「反応しやすいから危ない」は、半分だけ正しい。始まりについては正しい——止まるかどうかは、まったく別の量が決めている。

観察 4.5

ステンレス鋼が錆びないのも、鉄が変わったからではない。クロムが加わって、クロムの被膜ができるからである——体積比 **1.99** が範囲の中にいる。

観察 4.6

正直に言えば——体積比が範囲に入れば必ず不動態になる、とは言えない。被膜の構造、欠陥、環境も効く——本稿はこの比を必要条件に近いものとして扱っており、十分条件とは主張していない。

観察 4.7

最後に一つ——塩化物イオンがあれば、この守りは破れる。海のそばのアルミは孔食を起こす——**4 nm**の被膜は、条件が揃えば局所的に貫かれる。守られていることと、絶対に守られることは違う。

5. 点呼と結び

1. アルミの電位は **-1.66 V** (計算 2.1) : 最も卑。
2. その被膜は **4 nm** (計算 2.1) : 最も薄い。
3. 鉄の **500 nm** の **1/125** (観察 2.3) : 本稿の芯。
4. 厚さは守りではなく進行の記録 (観察 2.4) : 止まらなかった量。
5. アルミの体積比は **1.28** (計算 3.1) : 範囲の中。
6. クロムは **1.99** (計算 3.1) : ぎりぎり中。
7. マグネシウムは **0.81** (計算 3.1) : 下に外れる。
8. 鉄は **2.14** (計算 3.1) : 上に外れる。
9. 両側で破れる (観察 3.5) : 境目が二つ。
10. 分離子は反応のしやすさか体積比か (観察 4.3) : 論文**300**の基準で別根。

結び：反応しやすい金属ほど早く錆びると思われている——電位が卑なほど酸化されやすい、という自然な考え方である。ところが実物は逆に見える——アルミの窓枠は何十年も持ち、鉄の柵は数年で錆びるのに、電位ではアルミのほうがずっと卑である。数で見ると、順位が逆転している——アルミニウムは電位 **-1.66 V** と三つのうち最も卑なのに、酸化被膜は **4 nm** しかなく、鉄の **500 nm** の **1/125** である。鉄の **500 nm** は「厚く守られている」のではなく、止まらずに厚くなり続けた結果で、厚さは守りの強さではなく進行の記録である。論文**432**と同じ形で、原因の側の順位と結果の側の順位が合っていない。分けているのは電位ではない——酸化物と金属の体積比が **1** と **2** のあいだに入るかである。アルミニウム **1.28** とクロム **1.99** は入り、マグネシウム **0.81** とは鉄 **2.14** は外れる。**1** を下回れば酸化物が金属より小さいので覆いきれずに隙間ができ、**2** を超えれば大きすぎて押し合い剥がれる——小さすぎても大きすぎても駄目で、境目が二つあり、そのあいだだけが守られる。分けているものは一つ——反応のしやすさか、被膜の体積比か。反応のしやすさは始まりを決め、アルミは一瞬で酸化が始まる。体積比は止まるかを決め、アルミは一瞬で始まって **4 nm** で止まる。論文**300**の基準で別根であり、一方は速度の話、一方は停止の話である。だから「反応しやすいから危ない」は半分だけ正しく、始まりについては正しいが、止まるかどうかはまったく別の量が決めている。ステンレス鋼が錆びないのも鉄が変わったからではなく、クロムが加わってクロムの被膜ができるからで、その体積比 **1.99** が範囲の中にある。正直に言えば——体積比が範囲に入れば必ず不動態になる、とは言えない。被膜の構造、欠陥、環境も効く。本稿はこの比を必要条件に近いものとして扱っており、十分条件とは主張していない。最後に一つ——

塩化物イオンがあれば、この守りは破れる。海のそばのアルミは孔食を起こし、4 nm の被膜は条件が揃えば局所的に貫かれる。守られていることと、絶対に守られることは違う。

参考文献

1. Pilling, N. B., & Bedworth, R. E. (1923). The Oxidation of Metals at High Temperatures. *Journal of the Institute of Metals*.
 2. Cabrera, N., & Mott, N. F. (1949). Theory of the Oxidation of Metals. *Reports on Progress in Physics*.
 3. Pourbaix, M. (1974). *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*. Houston: NACE.
 4. Macdonald, D. D. (1992). The Point Defect Model for the Passive State. *Journal of the Electrochemical Society*.
 5. 山岸勇輝 (2026). 『三百本目の点呼 — 同根か別根かは、判定できる』 [論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
 6. 山岸勇輝 (2026). 『同じ材料・同じ形でも、置いた向きで強度が変わる』 [論文419]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699940
 7. 山岸勇輝 (2026). 『記録で最も強い周期が、原因の側では最も弱い』 [論文432]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22701583
 8. 山岸勇輝 (2026). 『守るためには、先に溶けるものが要る』 [論文440]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732388
-

— *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)