

理論の下限は、たくさん取ろうとすると上がる

— 海水の浸透圧 **29.7458 bar** から出る最小仕事は、回収率 **25** パーセントで **0.9508**、**75** パーセントで **1.5273 kWh/m³** — 実機の **3.0** に対する比は **2.6190** 倍で、下限は動く目標である — [論文446]

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

理論の下限は、変わらない目標だと思われている。本稿が示すのは、どれだけ取ろうとするかで下限そのものが動くことである——だから「下限の何倍か」という比も、条件を言わなければ決まらない。新しい定理も法則も主張しない。第一に、海水の浸透圧は **29.7458 bar** で、既知の **25~30 bar** の範囲に入る（第2節）。第二に、回収率 **50** パーセントでの最小仕事は **1.1455 kWh/m³** である（第2節）。第三に、これが本稿の芯である。回収率を **25** から **75** パーセントへ上げると、下限は **0.9508** から **1.5273 kWh/m³** へ **1.61** 倍になる（第3節）。第四に、実機の **3.0 kWh/m³** に対する比は、回収率 **50** パーセントで **2.6190** 倍である（第2節）。第五に、回収率をゼロに近づけると、下限は浸透圧そのものへ近づく（第3節）。第六に、分離子は「下限が固定か、要求で動くか」である（第4節）。キーワード：海水淡水化、逆浸透、浸透圧、分離の最小仕事、回収率。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——浸透圧、可逆分離の最小仕事、逆浸透の熱力学的下限はすべて既知である。装置を設計しない——膜の選び方、段数、エネルギー回収装置は主題ではない。実機のを主張しない——**3.0 kWh/m³** は代表値であり、規模・立地・前処理で動く。前処理と後処理を含めない——取水、除濁、殺菌、送水は主題ではない。分離そのものだけを見る。海水の組成を単純化する——塩化ナトリウム **0.6 mol/L** の理想溶液として扱い、活量係数も他のイオンも入れていない。どの方式が良いかを論じない——蒸発法と膜法の比較は主題ではない。既刊との関係：論文445は待っているのが反応ではなく拡散であることを示した——そこでも、どちらが律速かで打つ手が変わった。論文300は同根か別根かが判定できることを示した——「固定された下限」と「要求で動く下限」は、その基準で別根である。論文417は段数の上限が必要量で動くことを示した——そこでも、要求の側を動かすと限界が動いた。本稿は同じ形の二例目である。論文423は表が当たっていても売買が負けることを示した——そこでも、条件を言わない量が誤解を生んだ。加えたのは、浸透圧を **29.7458 bar** と出して既知の範囲と照合したこと、三つの回収率で最小仕事を並べたこと、下限が **1.61** 倍動くことを示したこと、実機との比を **2.6190** 倍と出したこと、回収率ゼロの極限を境目として置いたこと、分離子を「固定か、要求で動くか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：濃度 c 、解離数 i の溶液の浸透圧は、次で与えられる。

$$\Pi = i c R T$$

海水から真水を回収率 r で取り出すとき、可逆に行った場合の最小仕事は、製品 1 m^3 あたり次で書ける。

$$W_{\min}(r) = \Pi \frac{\ln(1/(1-r))}{r}$$

以下 $i = 2$ 、 $c = 0.6 \text{ mol/L}$ 、 $T = 298.15 \text{ K}$ とする。

観察 1.1

理論の下限は、変わらない目標だと思われる。熱力学が決めた数——そこへ向かって近づいていく、という像である。

観察 1.2

だが式には r が入っている。どれだけ取り出すかを決めなければ、 $W_{\min}$ は決まらない——下限そのものが、要求の関数である。

問い：要求を変えると、下限はどれだけ動くのか。

2. 浸透圧は 29.7458 bar である

計算 2.1：海水の浸透圧を出す。

$\Pi = 2.9746 \times 10^6 \text{ Pa} = \mathbf{29.7458 \text{ bar}}$ である。

観察 2.2

既知の $25 \sim 30 \text{ bar}$ に入る。独立な確認である——単純化した組成でも、桁と値が合う。

計算 2.3：回収率 50 パーセントでの最小仕事を出す。

$\mathbf{1.1455 \text{ kWh/m}^3}$ である。

観察 2.4

実機の代表値 3.0 kWh/m^3 との比は **2.6190** 倍である。下限の三倍弱——よくある「まだ 10 倍も無駄がある」という像より、ずっと近い。

観察 2.5

つまり改善の余地は **2.6** 倍ぶんしかない。どれだけ工夫しても、それ以上は取れない——天井に近いことを、この数が言っている。

3. 下限は、要求で 1.61 倍動く

計算 3.1：回収率を変えて、最小仕事を出す。

回収率	最小仕事 [kWh/m^3]
0.25	0.9508
0.50	1.1455
0.75	1.5273

観察 3.2

回収率を上げると、下限も上がる。**0.9508** から **1.5273** へ、**1.61** 倍——たくさん取ろうとするほど、一立方メートルあたりの最小の仕事が増える。

観察 3.3

理由は、残る側が濃くなるからである。取り出すほど、残った海水の浸透圧が上がる——最後の一滴を取り出すのが、いちばん高くつく。

観察 3.4

回収率をゼロに近づけると、下限は浸透圧そのものへ近づく。濃くならないから——境目であり、そこが本当の最小である。

観察 3.5

だから「下限の何倍か」という比は、回収率を言わなければ決まらない。同じ実機でも、**0.25** で比べれば **3.16** 倍、**0.75** なら **1.96** 倍になる——数字が独り歩きする。

4. 分離子

分離子：下限が固定か、要求で動くか。

観察 4.1

固定された下限なら、比は装置の性能だけを表す。どちらが優れているかを直接比べられる——そういう量として使われている。

観察 4.2

だが要求で動くなら、比には二つのものが混ざる。装置の性能と、どれだけ取ろうとしたか——回収率を下げれば、性能を変えずに比が良くなる。

観察 4.3

これは論文300の基準で別根である。どちらも「効率」と呼ばれる——一方は装置の量、一方は装置と要求の組の量である。

観察 4.4

論文417と同じ形である。そこでは必要量を1から10に上げるだけで、段数の上限が6から5へ落ちた——ここでは回収率を上げると下限が上がる。どちらも、限界が要求の関数だった。

観察 4.5

だから比を報告するときは、回収率を併記する。「下限の2.6倍」だけでは意味が定まらない——論文423で確率に出発点と停止条件が要ったのと、同じ形である。

観察 4.6

正直に言えば——海水を塩化ナトリウムの理想溶液として扱った。活量係数も他のイオンも入れていない——値は少し動くが、下限が回収率の増加関数であることは変わらない。

観察 4.7

最後に一つ——実機の3.0には前処理も送水も入っていない。分離そのものだけを比べている——全体の電力で比べれば、比はもっと大きくなる。

5. 点呼と結び

1. 浸透圧は **29.7458 bar**（計算 2.1）：既知の範囲に入る。
2. 回収率 **50 %** で **1.1455 kWh/m³**（計算 2.3）：最小仕事。
3. 実機との比は **2.6190 倍**（観察 2.4）：天井が近い。
4. 回収率 **0.25** で **0.9508**（計算 3.1）：下限が下がる。
5. 回収率 **0.75** で **1.5273**（計算 3.1）：下限が上がる。
6. 幅は **1.61 倍**（観察 3.2）：本稿の芯。
7. 残る側が濃くなるから（観察 3.3）：最後の一滴が高い。
8. 回収率ゼロで浸透圧に近づく（観察 3.4）：境目。
9. 同じ実機で **3.16 倍** にも **1.96 倍** にもなる（観察 3.5）：比が独り歩きする。

10. 分離子は固定か要求で動くか（観察 4.3）：論文300 の基準で別根。

結び：理論の下限は、変わらない目標だと思われている——熱力学が決めた数へ向かって近づいていく、という像である。だが式には回収率 r が入っており、どれだけ取り出すかを決めなければ最小仕事は決まらない。下限そのものが、要求の関数である。まず、下限の値そのものは信頼できる——海水の浸透圧は **29.7458 bar** で、既知の **25~30 bar** に入る。単純化した組成でも桁と値が合う。回収率 50 パーセントでの最小仕事は **1.1455 kWh/m³**、実機の代表値 **3.0** との比は **2.6190** 倍である。下限の三倍弱で、よくある「まだ 10 倍も無駄がある」という像よりずっと近く、改善の余地は **2.6** 倍ぶんしかない——天井に近いことを、この数が言っている。ところが、その下限が要求で動く——回収率を **0.25 · 0.50 · 0.75** と上げると、最小仕事は **0.9508 · 1.1455 · 1.5273 kWh/m³** と **1.61** 倍動く。たくさん取ろうとするほど、一立方メートルあたりの最小の仕事が増える——取り出すほど残った海水の浸透圧が上がるからで、最後の一滴を取り出すのがいちばん高くつく。回収率をゼロに近づけると濃くならないので、下限は浸透圧そのものへ近づく。そこが本当の最小である。だから「下限の何倍か」という比は、回収率を言わなければ決まらない——同じ実機でも **0.25** で比べれば **3.16** 倍、**0.75** なら **1.96** 倍になる。分けているものは一つ——下限が固定か、要求で動くか。固定なら比は装置の性能だけを表し、どちらが優れているかを直接比べられる。要求で動くなら、比には装置の性能とどれだけ取ろうとしたかが混ざり、回収率を下げれば性能を変えずに比が良くなる。論文300 の基準で別根であり、一方は装置の量、一方は装置と要求の組の量である。論文417 と同じ形で、そこでは必要量を 1 から 10 に上げるだけで段数の上限が 6 から 5 へ落ちた。どちらも、限界が要求の関数だった。だから比を報告するときは回収率を併記する——論文423 で確率に出発点と停止条件が要ったのと、同じ形である。正直に言えば——海水を塩化ナトリウムの理想溶液として扱い、活量係数も他のイオンも入れていない。値は少し動くが、下限が回収率の増加関数であることは変わらない。最後に一つ——実機の **3.0** には前処理も送水も入っておらず、分離そのものだけを比べている。全体の電力で比べれば、比はもっと大きくなる。

参考文献

1. van 't Hoff, J. H. (1887). Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*.
2. Elimelech, M., & Phillip, W. A. (2011). The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment. *Science*.
3. Spiegler, K. S., & El-Sayed, Y. M. (2001). The Energetics of Desalination Processes. *Desalination*.
4. Semiat, R. (2008). Energy Issues in Desalination Processes. *Environmental Science & Technology*.
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). 『食物連鎖の段数に上限があるのは、生き物の都合ではない』 [論文417]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699882
7. 山岸勇輝 (2026). 『表は当たっているのに、売買は負ける』 [論文423]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22700114
8. 山岸勇輝 (2026). 『待っているのは反応ではなく、拡散である』 [論文445]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732445

— *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)