

原子力産業におけるパラダイムチェンジ (超小型炉の経済性)

概要 / 目的:

Lovering博士は近年、出力10 MWe以下の超小型炉の研究を重点的に実施しています。超小型炉を商用化するにはどうすればよいか、経済競争性をもたせるにはどうすればよいかといった問いに対する回答を検討しています。分散型電源とコミュニティのマイクログリッドとしての利用を想定すれば、このサイズの超小型炉は100%再生可能エネルギーを想定した場合よりも安価で信頼性が高いこと、ディーゼル燃料が1リットル当たり\$1以上の場合にはコスト的にディーゼル発電と匹敵すること、さらに超小炉の資本コストは\$15,000/kW以下であることがわかりました。しかし超小型炉の均等化発電原価(LCOE)は資本コストに左右されるため、超小型炉の技術がこの隙間市場で商用化されるには、今後工場製作が繰り返し行われコストが下がる「学習効果」にかかっています。

そのため今回は、超小型炉の「規模の経済:economies of scale」対「工場製作の経済:economies of volume」のトレードオフについて考えます。超小型炉が大型炉や化石燃料にコスト的に匹敵するために必要な損益分岐売上高を、過去の原子力施設建設と、類似のエネルギー技術のパラメータを使って計算します。また、エネルギー技術全般の学習率のデータから、様々なサイズの超小型炉の学習率を予測します。

講演者紹介:

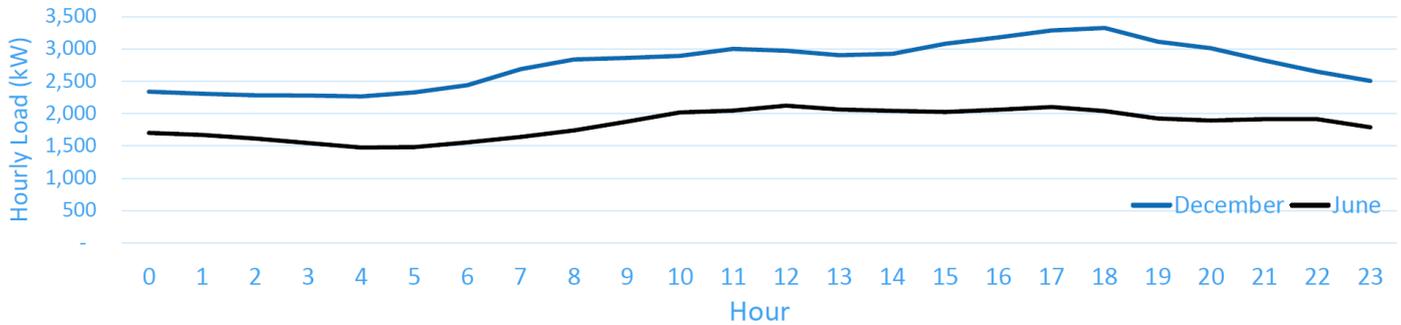
Jessica Lovering博士は、原子力政策に取り組む新しい組織、Good Energy Collectiveの共同設立者です。彼女は最近、カーネギーメロン大学で工学と公共政策の博士号を取得しました。彼女の博士論文は、商業的な核貿易が国際的な安全基準にどのような影響を与えるか、また超小型原子炉をコミュニティレベルでどのように展開できるかに注目したものでした。

現在は、Energy for Growth Hubのフェローとして、サハラ以南のアフリカにおける先進的な原子力の導入方法を研究しています。彼女は以前、ブレイクスルー研究所(エネルギーと環境に関する人々の考え方を変える先駆的な研究機関)のエネルギー・プログラム・ディレクターでした。ブレイクスルー研究所では、気候変動と経済発展の解決策の一環として、原子力技術の革新に拍車をかけてコストを下げ、導入を促進する政策を模索していました。



市場調査

Community A Load Profile for Min/Max Days

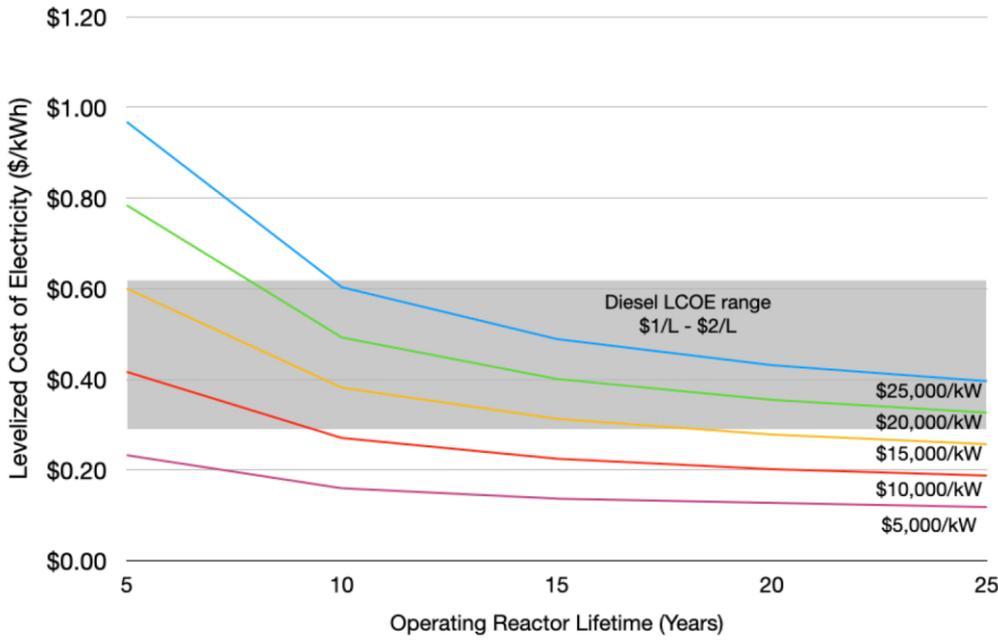


	Load	Average Load (MW)	Peak Load (MW)	Load factor	Peak Month	Day-to-Day Variance	Timestamp Variance
Comm. A	Elec.	2.41	3.66	0.66	Feb.	3.96%	2.70%
Comm. B	Elec.	1.18	1.77	0.67	Feb.	4.47%	3.65%
Fairbanks Hospital	Elec.	1.49	2.35	0.64	May	13.16%	8.58%
	Therm	1.47	4.47	0.33	Dec.	16.79%	9.19%
UW Madison	Elec.	208	329	0.63	Jul.	7.47%	3.86%
	Therm	107	229	0.47	Jan.	16.13%	6.72%

	Lowest Cost	Lowest Cost, Zero-Carbon
Including Nuclear	3MW Nuclear + 3.3MWh Battery LCOE = \$0.16/kWh	3MW Nuclear + 3.3MWh Battery LCOE = \$0.16/kWh
Excluding Nuclear	4.1MW Diesel + 6MW Wind LCOE = \$0.29/kWh	54MW PV + 21MW Wind + 325 MWh Battery LCOE = \$1.0/kWh

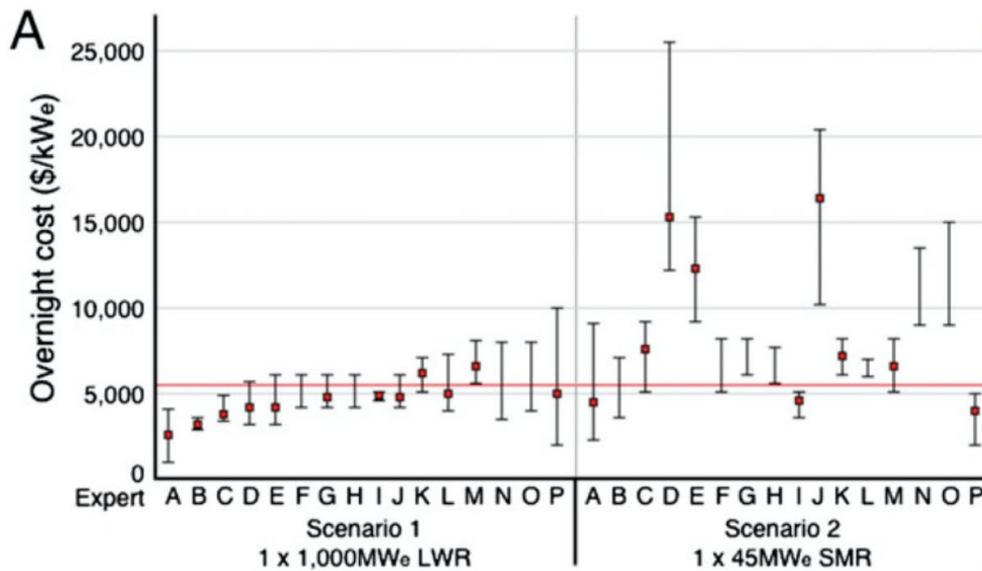
コミュニティの負荷プロファイルを考慮した場合、3MWの原子力発電 + 3.3MWのバッテリーは、4.1MWのディーゼル発電 + 6MWの風力発電、または54MWのPV(太陽光発電) + 21MWの風力発電 + 325MWのバッテリーよりも安価というシミュレーション結果になった。

Nuclear LCOE vs. Lifetime & Capital Cost



原子力にはコスト面での可能性があるが、将来のSMRやマイクロリアクターのコストについてはコンセンサスが得られていない。

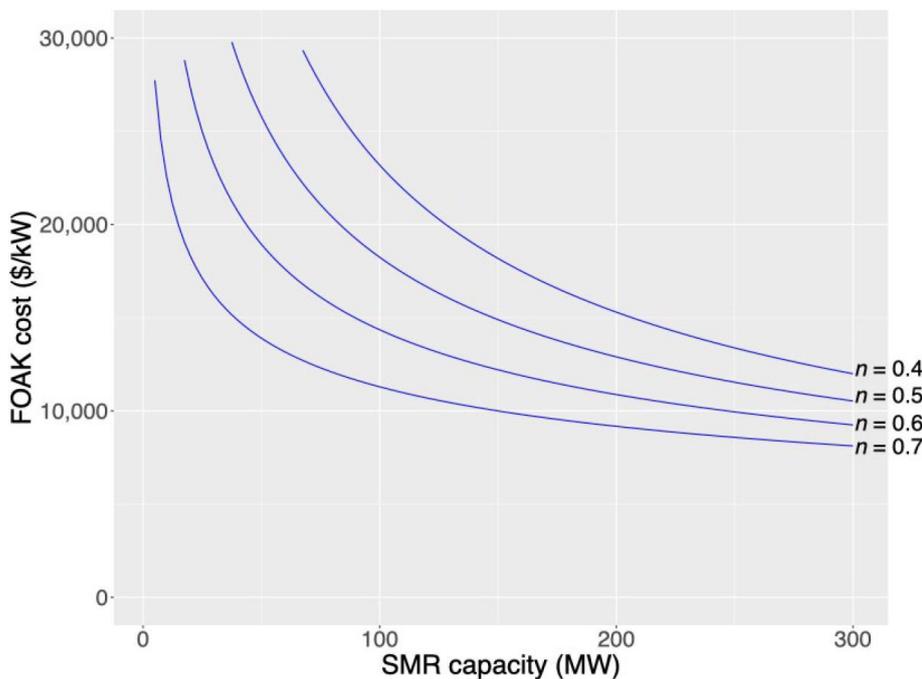
従来のスケーリング関係式を適用すると、マイクロリアクターは高価になりすぎる。高い学習率を得る必要がある。



Froese et al. (2020): \$130,000/kW. 3MW
Moore (2016): \$35,000/kW. 10MW

Oklo: \$6,700/kW. 1.5 MW

NuScale: \$4,400/kW. 12x 60MW



$$Cost_{SMR} = Cost_{NPP} \times \left(\frac{SMR MW_e}{NPP MW_e} \right)^{n-1}$$

OCC= \$5500/kW、
Capacity= 1100MWという
ベースプラントを用いたス
ケーリング関係式。

マイクロリアクター
(<10MWe)

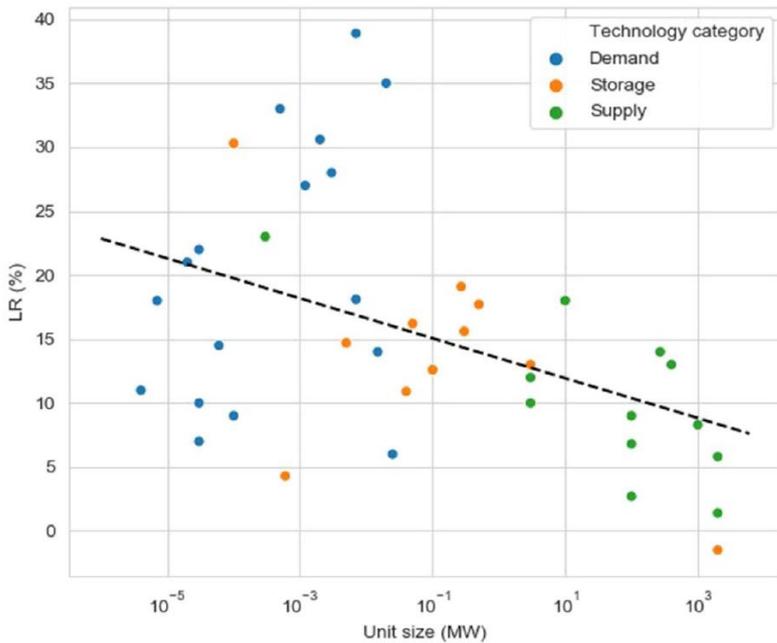
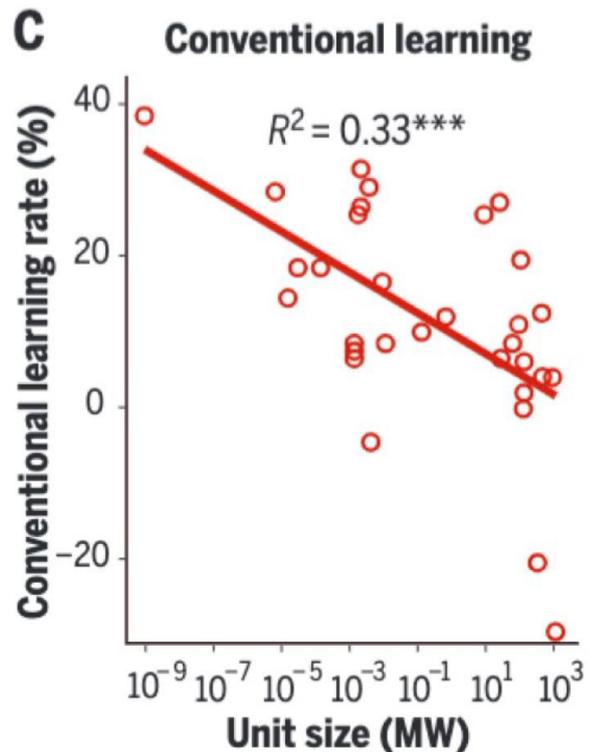
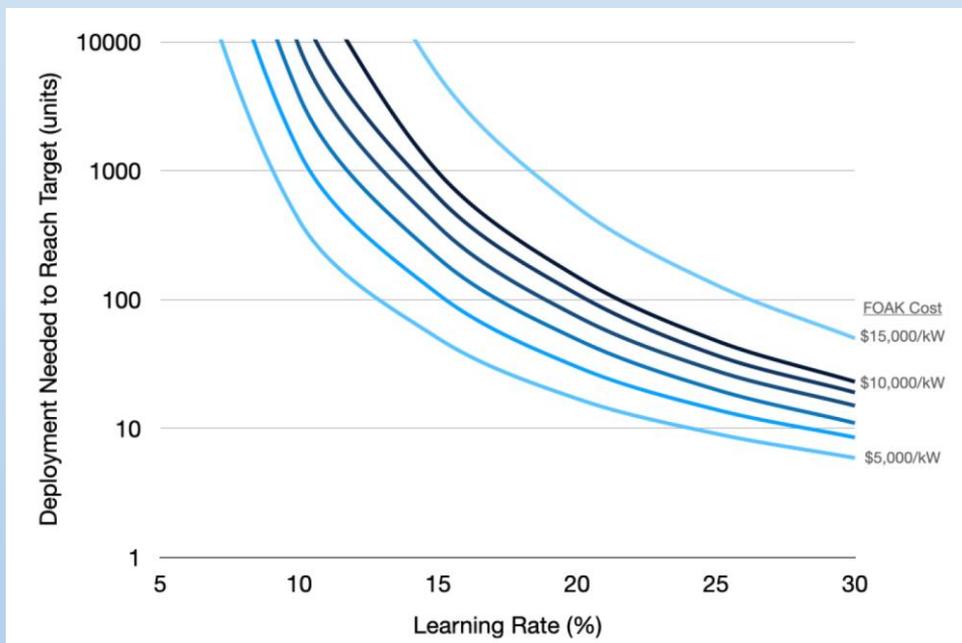


Figure 1. LRs for 41 Energy Technologies

The logarithmic fit shows a negative relation between unit size and observed LR. The logarithmic parameter ($a = -0.68$, $R^2 = 0.22$) translates into a 1.5% decrease in LR for each order of magnitude increase in unit size.



学習率は、技術カテゴリーよりもサイズに依存する傾向が強い。
学習率が高ければ、経済性のある目標ユニット数は低くなる(損益分岐点)。



- マイクロリアクターは、コスト競争力を高めることができれば、安全保障上のメリットをもたらし、原子力新規参入国にとって魅力的な概念となる。
- オフグリッド展開を考えると、マイクロリアクターのコンセプトは、経済的にディーゼル燃料と競合できる可能性がある。
- ただし、規模を拡大してグリッド電力として考えると、コストを大幅に削減する必要がある。
- 20%以上の学習率で、プラントが量産されれば、このようなコストダウンは可能。