



第14回原子力機構報告会

スピンによるエネルギー の有効利用と展望

令和元年11月12日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

原子力科学研究部門 原子力科学研究所

先端基礎研究センター

スピン-エネルギー変換材料科学研究グループ

研究主幹 家田淳一

課題

近未来の到来が予見されるモノのインターネットIoT社会では各種センサー群が年間1兆個を超えるペースで増大。その電源確保には、既存の発電・給電手法にとらわれない発想が必要となる。
(新知見の創出)

解決策

スピンによる量子技術を利用

スピンの持つ本質的な整流効果を利用した新しい発想のセンサー、自分で駆動して同時に複数の情報をモニタリングする素子の開発に道を拓く

将来成果

- ・ スピン量子技術の基礎学理を樹立
- ・ ミクロ分散型の電源でIoTの自律動作を実現
- ・ 耐放射線性を備えた電子素子の開発にも寄与

将来ビジョン「JAEA 2050 +」 具体的テーマ

安全の追求

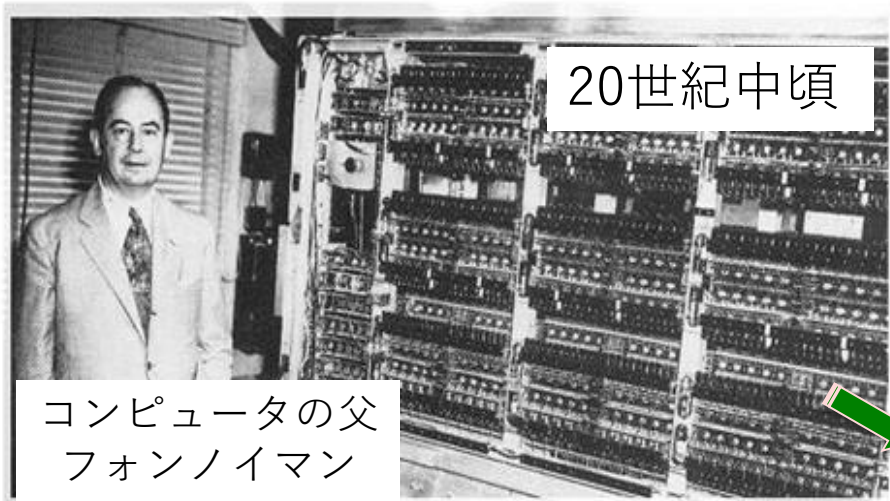
革新的原子炉システムの探求

放射性物質のコントロール

デコミッショニング改革

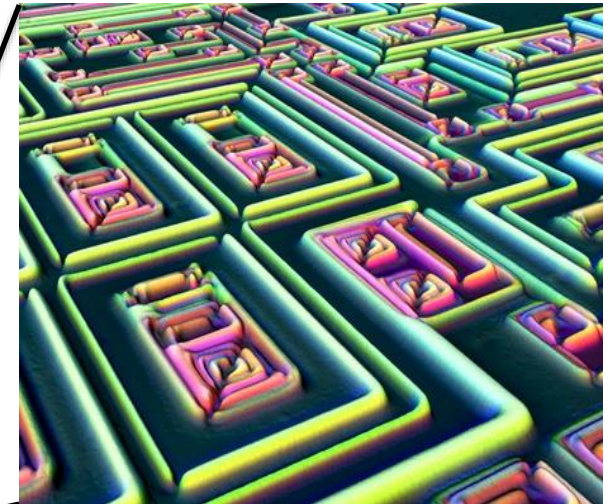
高度化・スピノフ

新知見の創出



20世紀中頃

コンピュータの父
フォンノイマン



現在

2011年度ニコン顕微鏡写真コンテスト
“Small World”：マイクロチップの表面

より小さく、より高速に！

莫大な電力消費と発熱の問題！！



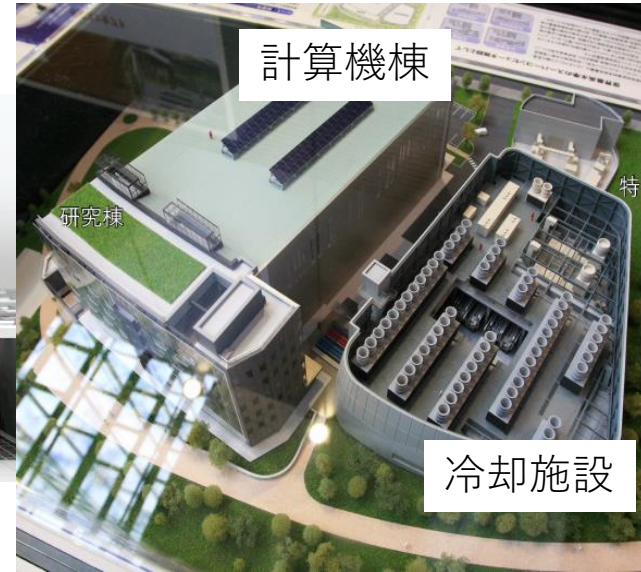
パソコンの内部

目玉焼きが焼ける温度



1秒間に1兆回の演算性能を実現
(京=10,000,000,000,000,000)

計算機と同じサイズの冷却施設が必要



計算機棟


研究棟

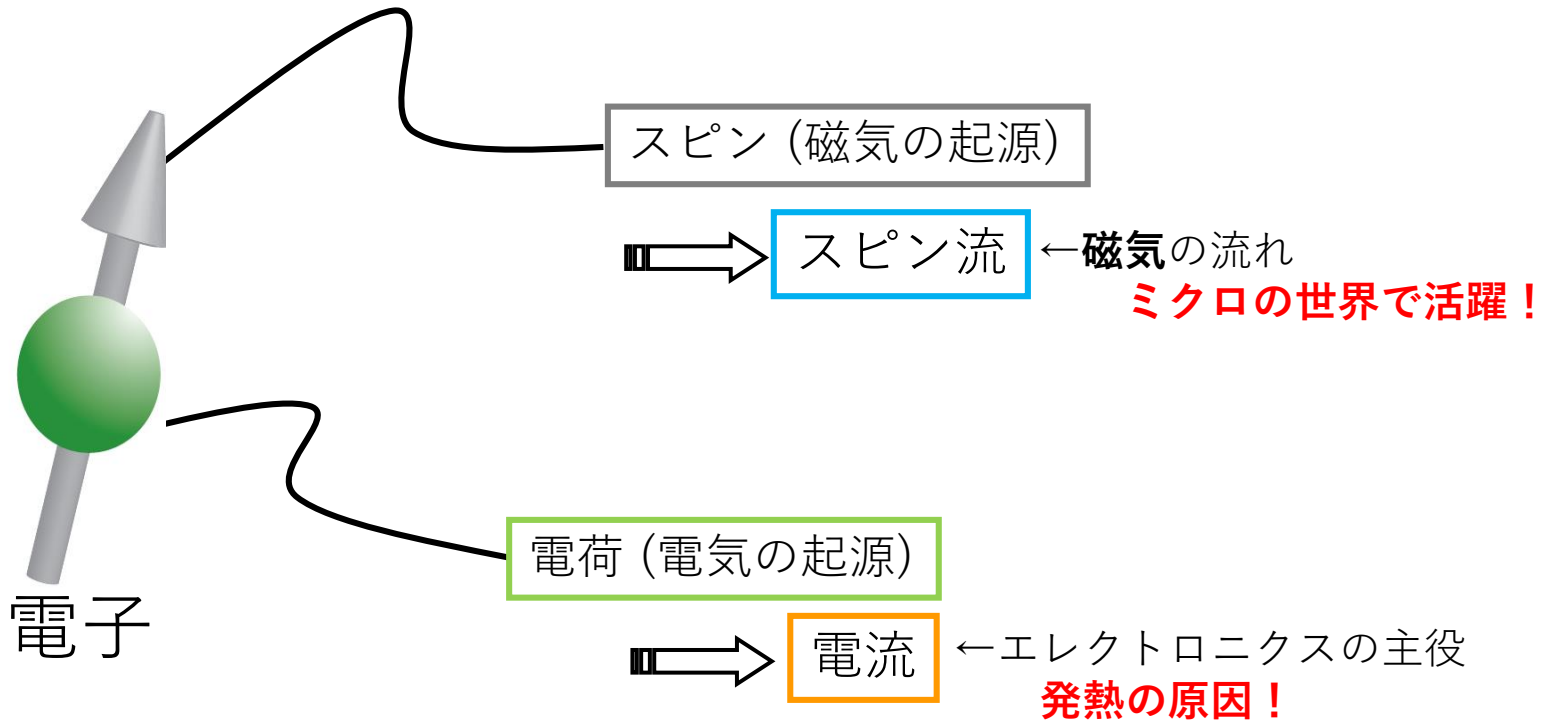
冷却施設

 情報はエネルギーを食う

そこで

グリーンIT

-  IT自身の省エネ
-  ITによる省エネ



電気と磁気のハイブリッド素子

微細加工技術で利用可能になった！
100ナノメートル領域で電気より高効率に！！



The Nobel Prize in Physics 2007



HDD読み取りヘッド

⇒磁気センサーの技術革新
省エネ + 小型化



米：Everspin社、2019年下期より
28nm世代STT-MRAMの量産開始

日：SPIN-ORBITRONICS
TECHNOLOGIES株式会社

磁気ランダムアクセスメモリ

⇒メモリ素子の技術革新
省エネ + 耐放射線

微細加工でスピンは室温動作する！

センサー 1 兆個の社会

電源どうするの？
そんなに必要か？

スマートセンサー

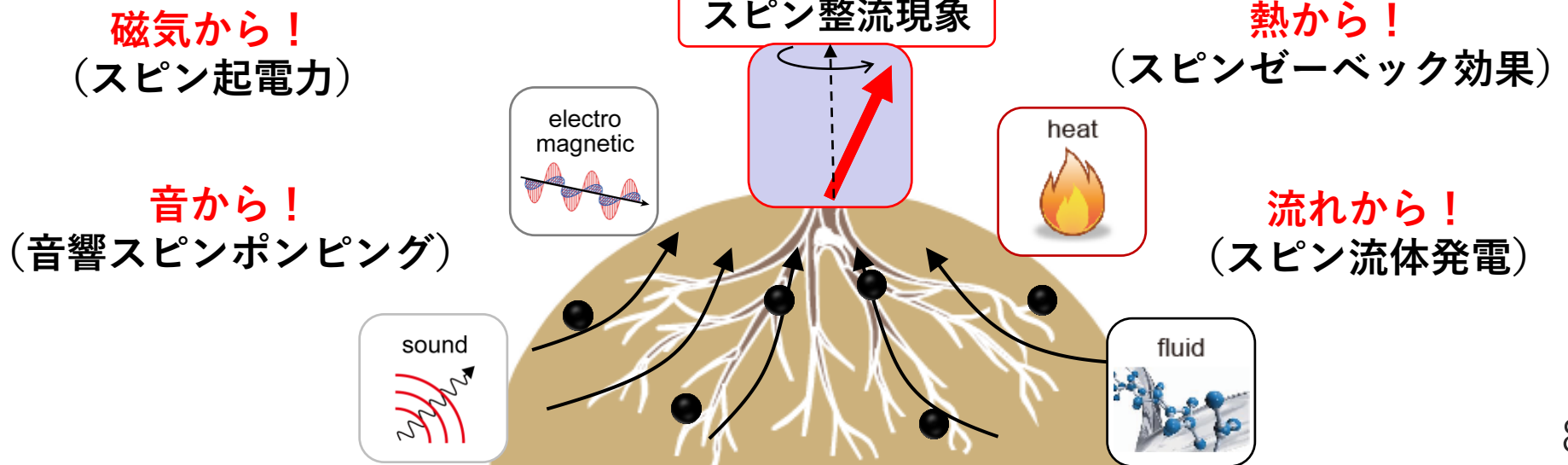
-  自立電源
-  複合センシング

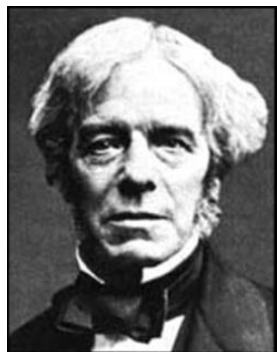
スピンによる エネルギーハーベスタ

Spin-Energy Harvester



量子効果によるエネルギー変換



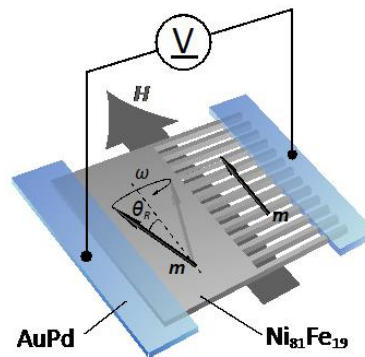


誘導起電力 (1831)

$$V_{\text{EMF}} = - \frac{dF}{dt}$$

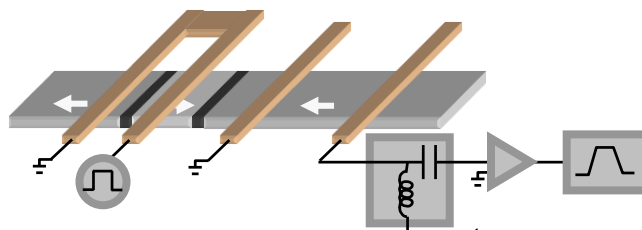
M. ファラデー

発電機の基本原理



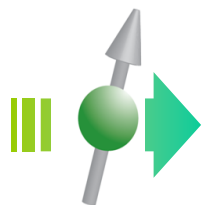
AuPd Ni₈₁Fe₁₉ (東北大と共同)

Phys. Rev. Lett. **107**, 236602 (2011)



(NIMSと共同)

Phys. Rev. Lett. **108**, 147202 (2012)

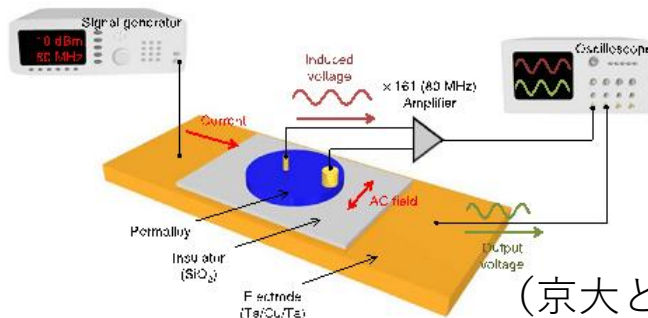


スピン起電力 (2007)

$$V_{\text{SMF}} = - \frac{\hbar}{2e} \frac{dW}{dt}$$

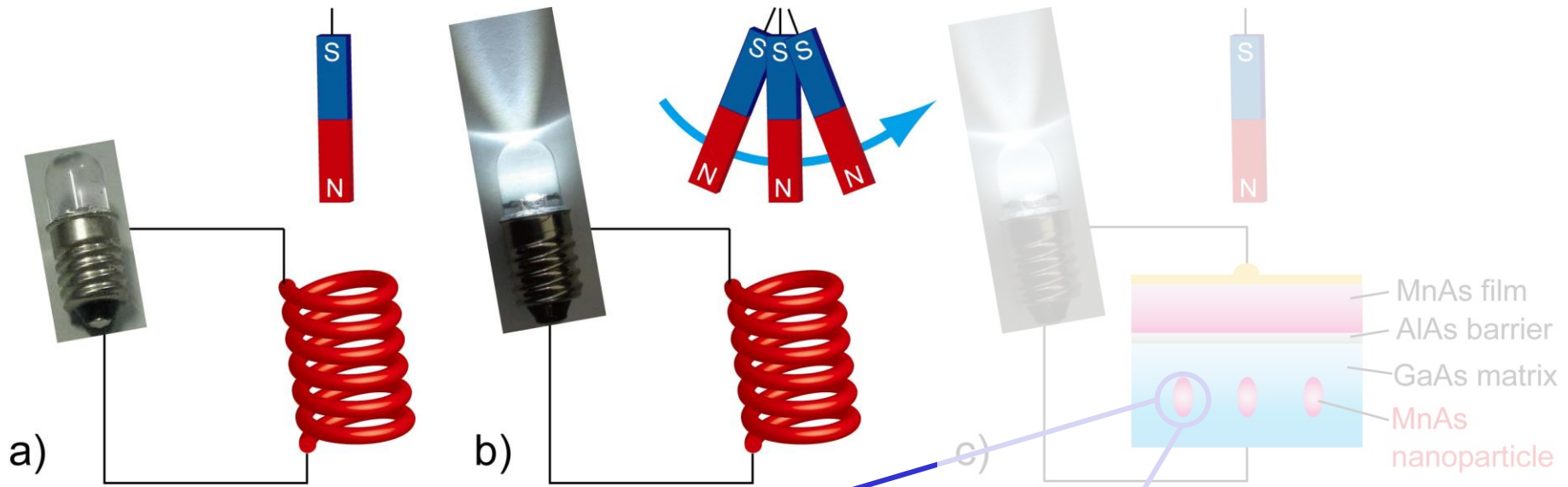
スピンによる発電の新原理

J. Ieda & S. Maekawa, "Spinmotive force"
in *Spin Current 2nd ed.* (Oxford Univ. Press, 2017).



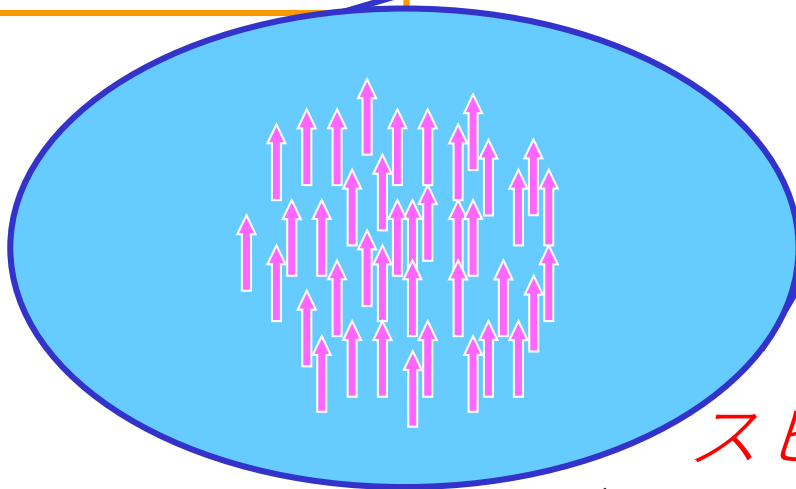
(京大と共同)

Nature Commun. **3**, 845 (2012)



通常の誘導起電力

スピン起電力



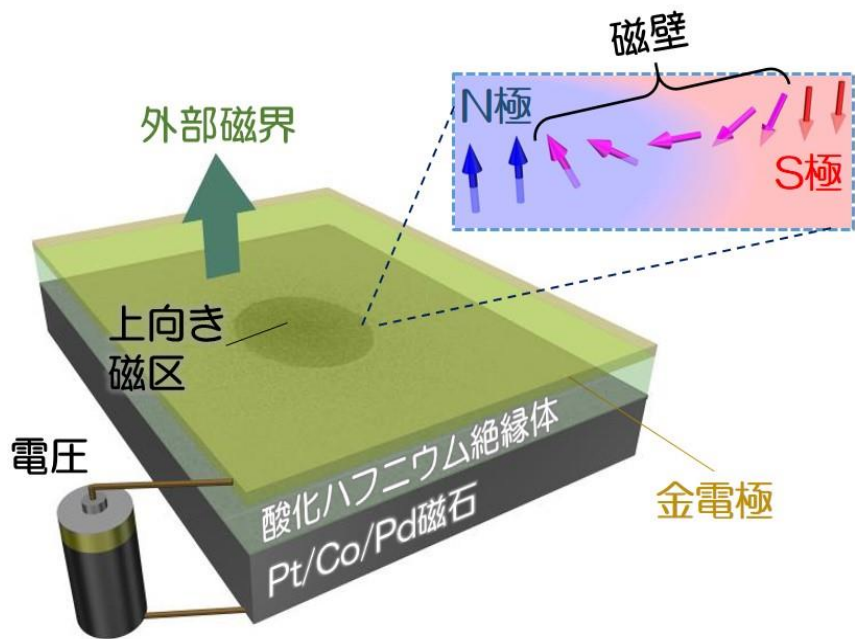
磁気エネルギー

電気エネルギー
(電力)

スピン量子電池!

(動力や化学反応熱フリー、非接触給電)

磁性多層膜の電界制御

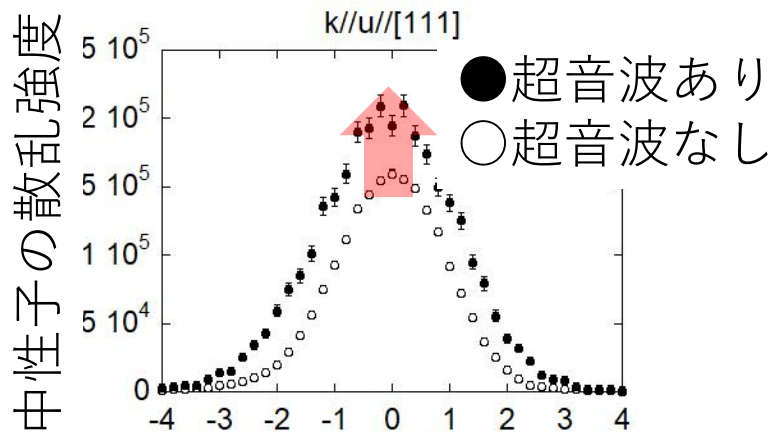
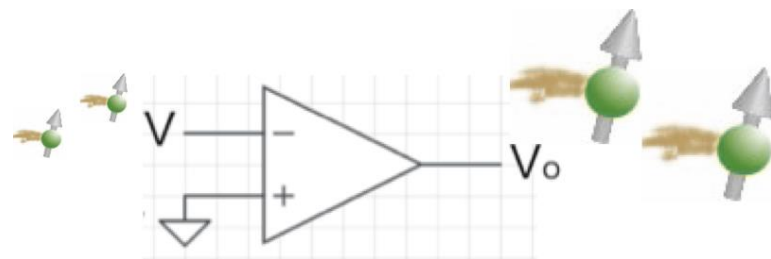


(東大と共同)

Science Adv. **34**, eaav0265 (2018).

2018年12月JAEAプレス発表
科学新聞1面、他で報道

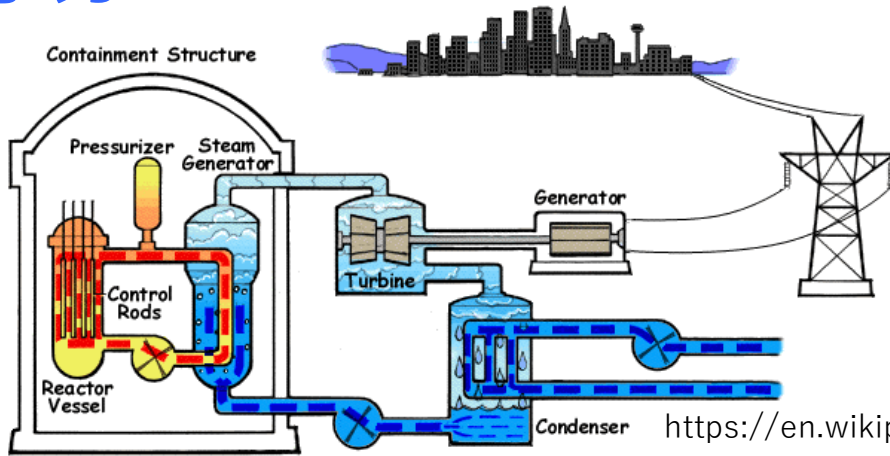
超音波によるスピン流増幅



マグノンのエネルギー (meV)
(J-PARC BL02 DNAで測定)

2018年JAEA理事長ファンド
「萌芽研究開発制度」
優秀発表賞

原子力



大規模、集中的

出力：ギガワット（100万kW）
サイズ：100万平米
燃料：低濃縮ウラン

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_plant

「新原子力」の射程には…

超小規模、分散的

出力：ナノ～マイクロワット
サイズ：ナノ～マイクロメートル
「燃料」：磁気、熱、振動、渦、…

