

量子コンピュータ開発の 現状と将来



東京工業大学 理学院
西森 秀稔

プロフィール

[トップ](#)[著 書](#)[論 文](#)[講演（国際）](#)[講演（国内）](#)[解説・【報道】](#)[English !\[\]\(de95854c7ee024cfadc48187bbb781b2_img.jpg\)](#)

- ◆ プロフィール
- ◆ TITPACK Ver. 2
- ◆ 学位論文 (PDF)
- ◆ 研究室へ

学歴

- ・ 1977 東京大学理学部物理学科卒業
- ・ 1982 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了

職歴

- ・ 1981 米国カーネギーメロン大学 研究員
- ・ 1982 米国ラトガース大学 研究員
- ・ 1984 東京工業大学理学部 助手
- ・ 1990 東京工業大学理学部 助教授
- ・ 1996- 東京工業大学理学部・大学院理工学研究科(2016年より理学院) 教授
- ・ 2011-15 東京工業大学大学院理工学研究科理科学系長・理学部長

社会貢献

- ・ 1996-99, 2003-05 日本物理学会理事
- ・ 2011-12 日本物理学会論文賞選考委員長
- ・ 2006-09, 2011-17 日本学術会議連携会員
- ・ 2005-06 文部科学省科学技術・学術審議会専門委員
- ・ 2003-07 国際純粋・応用物理学連合 統計物理学部会(IUPAP C3) 委員・幹事
- ・ 2004-06 英国物理学会論文誌 数理物理学分冊 統計物理学編集責任者 (Journal of Physics A, Statistical Physics Editor)
- ・ 2006-08, 2013-15 東京大学物性研究所人事協議会委員
- ・ 2015- 仁科記念財団運営諮問委員
- ・ 2015- 京都大学数理解析研究所運営委員
- ・ 他, 各種公的機関(大学, 研究所, 研究資金配分機関, 財団等)の委員多数



量子コンピュータ



Customers of D-Wave

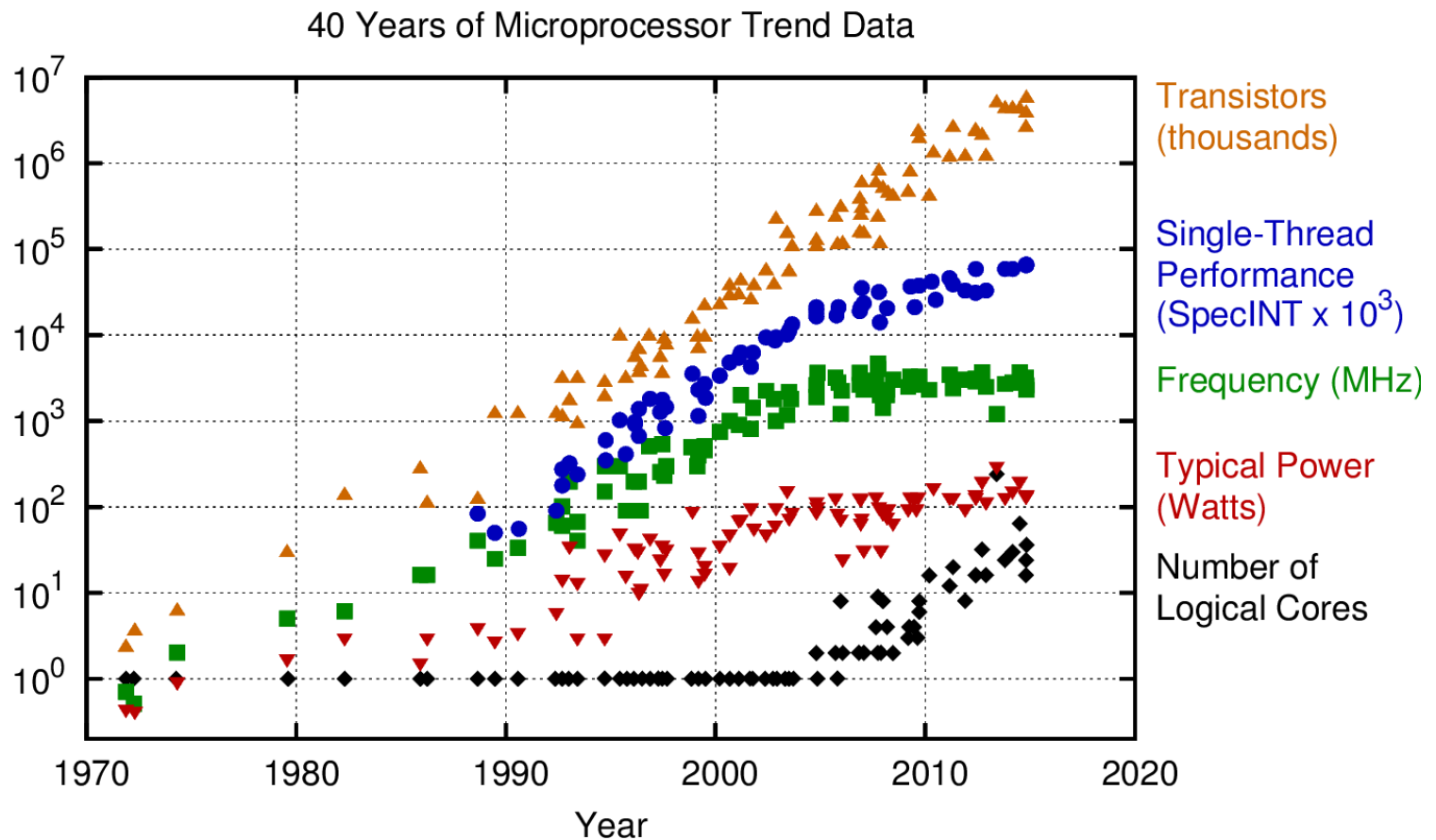


量子人工知能研究所

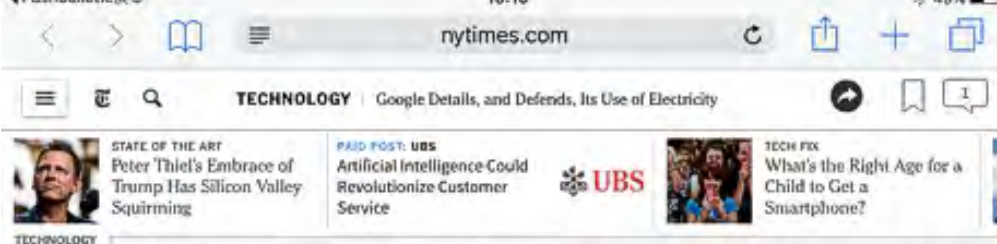


Los Alamos国立研究所

ムーアの法則の終焉



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2015 by K. Rupp



Google Details, and Defends, Its Use of Electricity

By JAMES GLANZ SEPT. 8, 2011



A Google data center in Hamina, Finland, is housed in a former paper mill. Google

Google disclosed Thursday that it continuously uses enough electricity to power 200,000 homes, but it says that in doing so, it also makes the planet greener.

Every time a person runs a Google search, watches a YouTube video or sends a message through Gmail, the company's data centers full of computers use electricity. Those data centers around the world continuously draw almost 260 million watts — about a quarter of the output of a nuclear power plant.

Googleの使用電力量は20万軒の家庭の電力、つまり原発の発電量の1/4に相当する。
検索1回あたりの電力は60Wの電球を17秒光らせる量に相当する。

New York Times (2011)

The Surprisingly Large Energy Footprint of the Digital Economy [UPDATE]

Our computers and smartphones might seem clean, but the digital economy uses a tenth of the world's electricity — and that share will only increase, with serious consequences for the economy and the environment

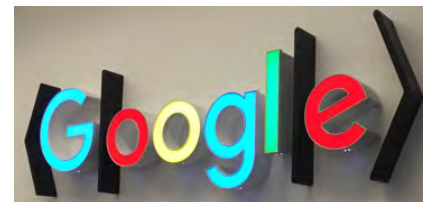
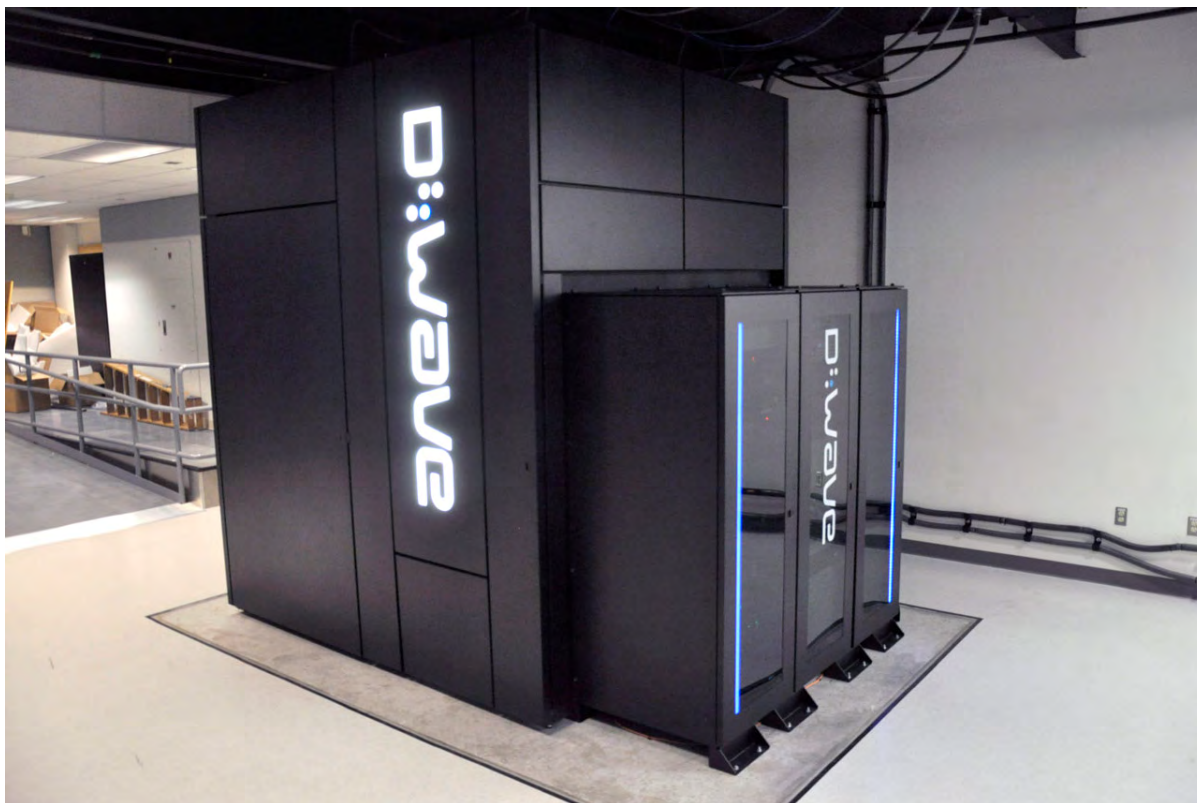
By Bryan Walsh @bryanwalsh Aug. 14, 2013

The iPhone is just one reason why the information-communications-technologies (ICT) ecosystem, otherwise known as the digital economy, demands such a large and growing amount of energy. The global ICT system includes everything from smartphones to laptops to digital TVs to — especially — the vast and electron-thirsty computer-server farms that make up the backbone of what we call “the cloud.” In his report, Mills estimates that the ICT system now uses 1,500 terawatt-hours of power per year. That’s about 10% of the world’s total electricity generation or roughly the combined power production of Germany and Japan. It’s the same amount of electricity that was used to light the entire planet in 1985. We already use 50% more energy to move bytes than we do to move planes in global aviation. No wonder your smartphone’s battery juice constantly seems on the verge of running out.

ITが消費する電力は世界の発電量の10%を消費している。これはドイツと日本の総発電量の合計に相当し、全世界の航空機が消費するエネルギーの総量より5割多い。

TIME Magazine, 2013

量子コンピュータ



スーパーコンピュータとの比較

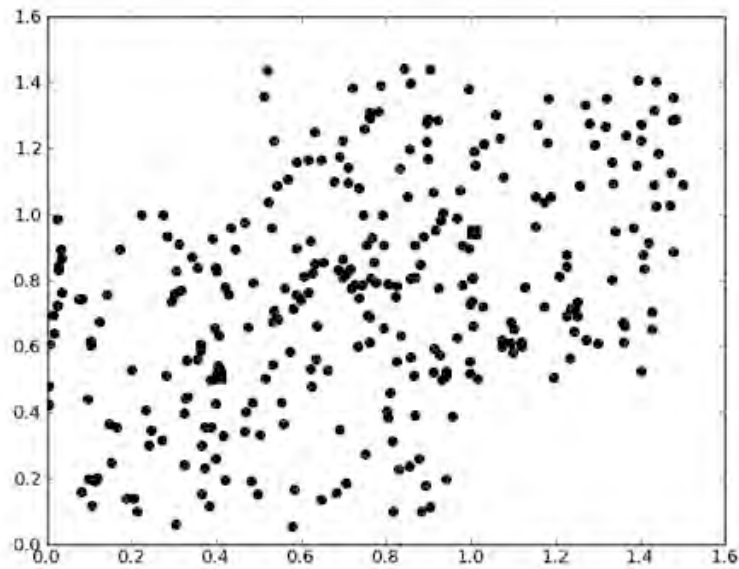
	スーパーコンピュータ	量子コンピュータ
目的	高度な数値計算や データ処理のすべて	限られた目的に大きな力を発揮 (暗号解読, 創薬のための量子シ ミュレーション, 人工知能のための 機械学習の効率化など)
強み	既存技術 汎用性	特定の問題には「馬鹿力」を発 揮する。超伝導技術を使えば電 力消費量はごく少ない。
弱み	規模の大型化による電力消費の膨 大化で持続可能性が問われる。京 の電気代は1日600万円, ポスト京 はその5倍以上? 微細加工技術の限界。	微細な世界の量子力学を使うた め, 製造や制御が難しい。
見通 し	今後も使い続けられるが, ピークス ピードの競争は持続可能でない	2, 3年で, 限られた問題に対し ては実用化。

量子計算の2つの方式

	ゲート模型	量子アニーリング
目的	万能計算 (現在のコンピュータ上位互換)	組み合わせ最適化問題
強み	劇的な高速化が保障されている アルゴリズムが数個ある。 素因数分解(暗号解読), 量子シミュレーション, 機械学習など	ノイズに強い。最適化問題は, 機械学習(人工知能)など社会的 影響が大きい問題を含む。
弱み	ノイズに非常に弱い。ノイズに強 くするには膨大な規模が必要。	劇的な高速化が保障されている 社会的にインパクトのあるアル ゴリズムがまだない。
開発の 現状	10量子ビット程度	約1100量子ビット (D-Wave 2X)
見通し	10年スケールではノイズ耐性の ある実用システムは困難。 誤り訂正を入れないなら数年で 相当な段階か。	通常のコンピュータとの組み合 わせによる利用が始まろうとして いる。

機械学習・人工知能の例

Clustering (分類)



First application of quantum annealing to IMRT beamlet intensity optimization

Daryl P Nazareth and Jason D Spaans

Published 1 May 2015 • © 2015 Institute of Physics and Engineering in Medicine

Physics in Medicine and Biology, Volume 60, Number 10

daryl.nazareth@roswellpark.org

Department of Radiation Medicine, Roswell Park Cancer Institute, Buffalo NY 14263, US

Received 3 November 2014

Accepted 2 April 2015

Published 1 May 2015



Daryl P Nazareth and Jason D Spaans 2015 *Phys. Med. Biol.* **60** 4137

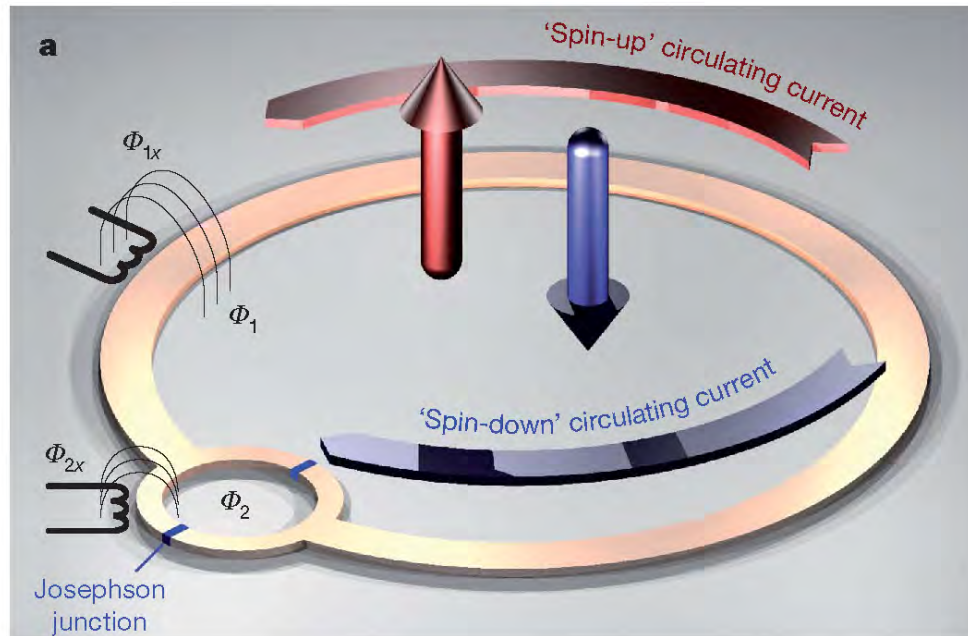
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9155/60/10/4137>

Buy this article in print

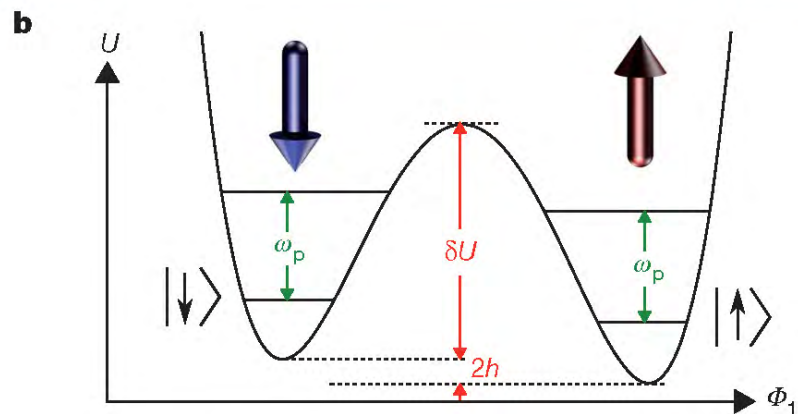
Abstract

Optimization methods are critical to radiation therapy. A new technology, quantum annealing (QA), employs novel hardware and software techniques to address various discrete optimization problems in many fields. We report on the first application of quantum annealing to the process of beamlet intensity optimization for IMRT.

超伝導リング

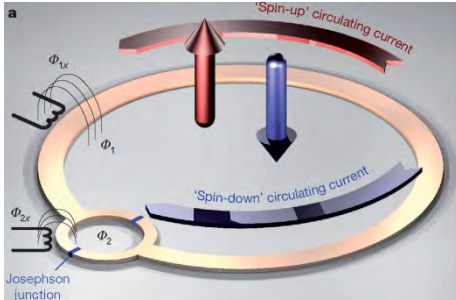


1と0が同時に存在

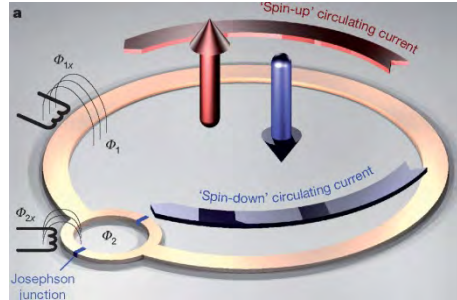


Johnson *et al.*
(Nature 2011)

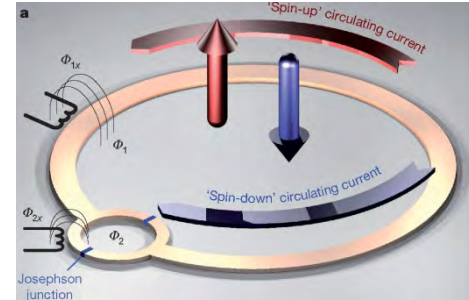
2



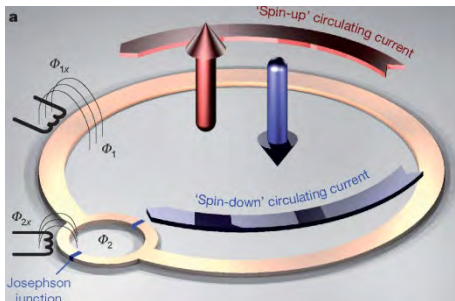
$4=2^2$



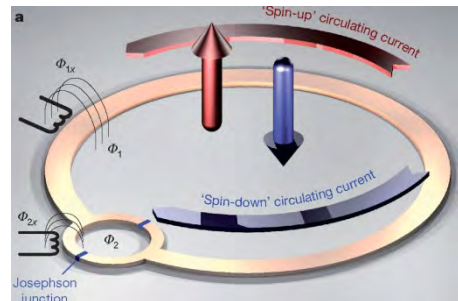
$8=2^3$



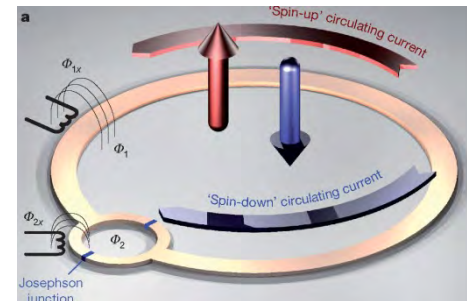
$16=2^4$



$32=2^5$



$64=2^6$



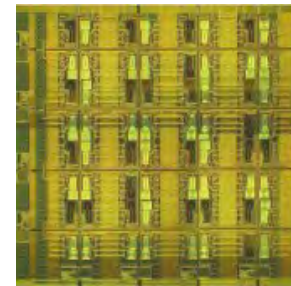
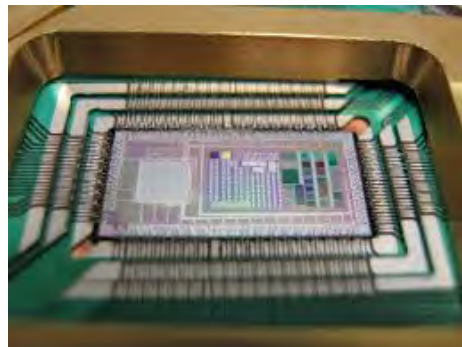
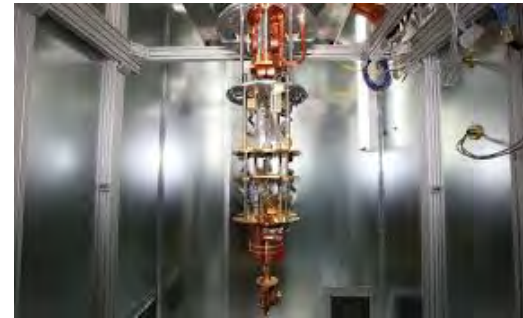
$$2^{1024}$$

=17976931348623159077293051907890247336179769
789423065727343008115773267580550096313270847
732240753602112011387987139335765878976881441
662249284743063947412437776789342486548527630
221960124609411945308295208500576883815068234
246288147391311054082723716335051068458629823
9947245938479716304835356329624224137216

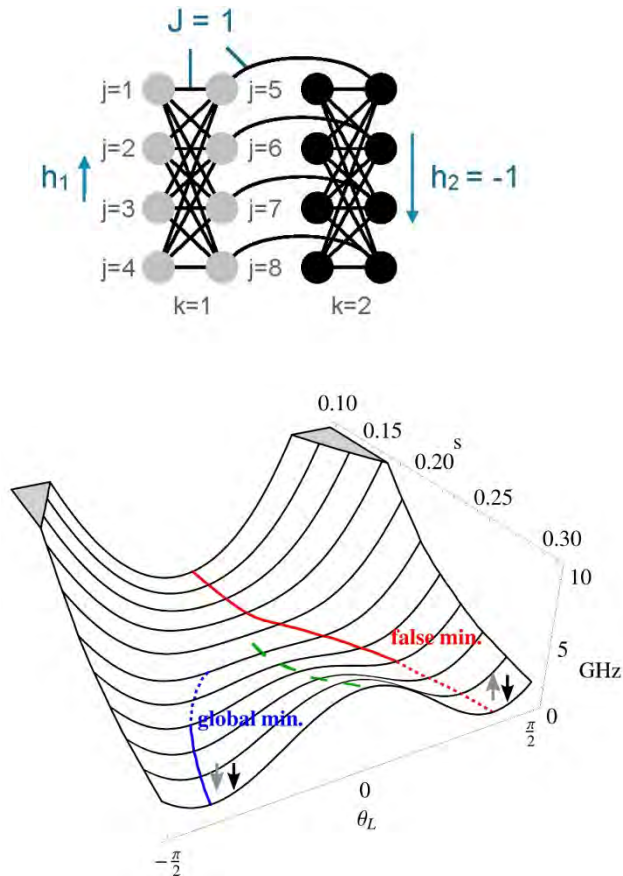
$$= 1.797693134862316 \times 10^{308}$$

参考：宇宙にある原子の数はおよそ 10^{90} 個

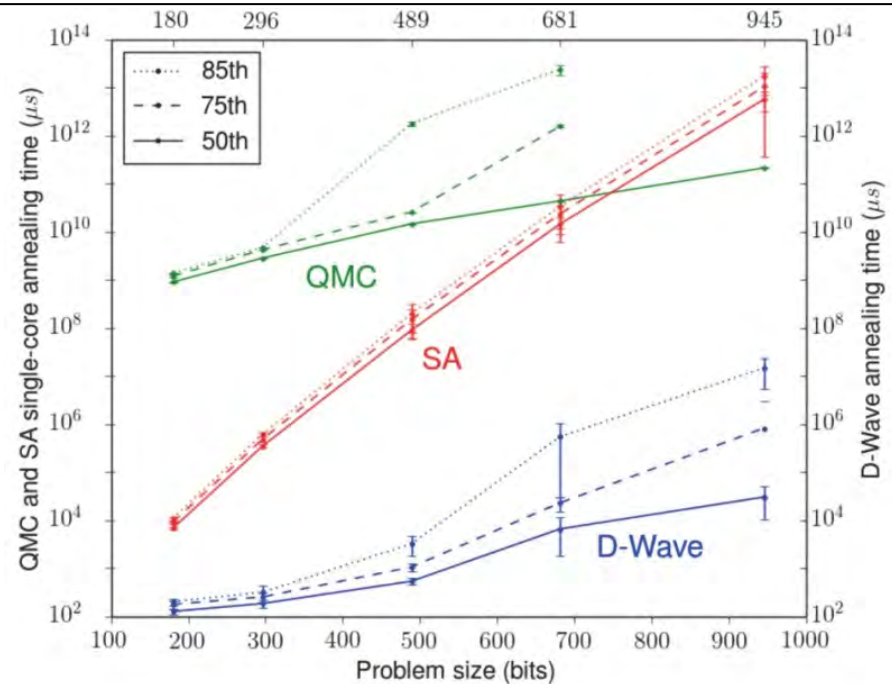
D-Wave 2X: 1000量子ビット



D-Wave 2Xが特に速い例



Denchev et al, 2015

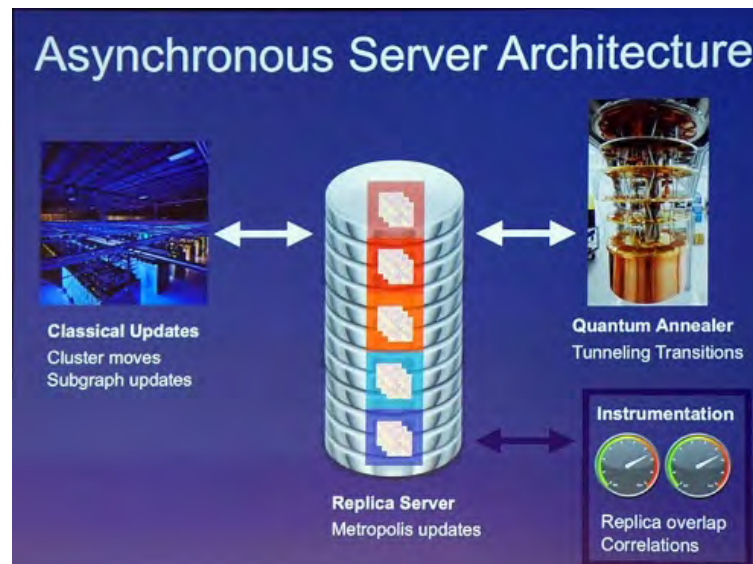


DW2X は、シングルコアでSAやQMCを走らせたときに比べると1億倍速い。

SAとQMCのデータを取るのに15万Kwh !!

Googleの動向

- 独自に量子コンピュータを開発。
- 世界最初, 世界最大の量子データ処理センターを構築中。
- 通常のコンピュータと量子コンピュータのハイブリッド構築。
- 新たな産業分野を開拓して世界をより良くすることにより, 結果的に膨大な利益が得られることを期待している。



米国国家プロジェクト IARPA QEO

- 高度な性能を持つ量子アニーリングマシンの開発計画
- ハイリスク・ハイリターン
- 焦点を明確に絞って膨大な研究資金を投入
- 米国を中心に世界中からトップクラスの研究者を結集
- 量子アニーリングによる高度量子コンピューティングで米国の主導権を狙う。
- 人工知能の開発, 投資・金融の最適化, 物資やエネルギー配送の最適化など

IBM's \$3 Billion Investment In Synthetic Brains And Quantum Computing

IBM thinks the future belongs to computers that mimic the human brain and use quantum physics...and they're betting \$3 billion on it.



The screenshot shows the Fortune magazine website. The top navigation bar includes a menu icon, the word "FORTUNE", and a "SUBSCRIBE" link. Below this, there are tabs for "NEWS", "POPULAR", "VIDEOS", and "FORTUNE 500". A search icon is also present. The main content area features a large article titled "Alibaba's cloud unit teams with Chinese researchers on quantum computing" with a sub-headline "Alibaba's cloud unit teams with Chinese researchers on quantum computing" and a date "JULY 30, 2015". To the right of the article, there is a banner for "#DoWhatYouCan" featuring a hand holding a pen and the Samsung logo. Below the banner, there is a section for "TECH" and "QUANTUM COMPUTING" with a link to "See the Fortune 500 list".

Microsoft Research's biggest area of investment is quantum computing

JORDAN NOVET MARCH 10, 2016 11:06 AM

TAGS: MICROSOFT, MICROSOFT RESEARCH, QUANTUM COMPUTING, STRUCTURE DATA, TOP-STORIES

Intel to invest \$50 million in quantum computer research

By Joel Hruska on September 4, 2015 at 7:30 am [24 Comments](#)