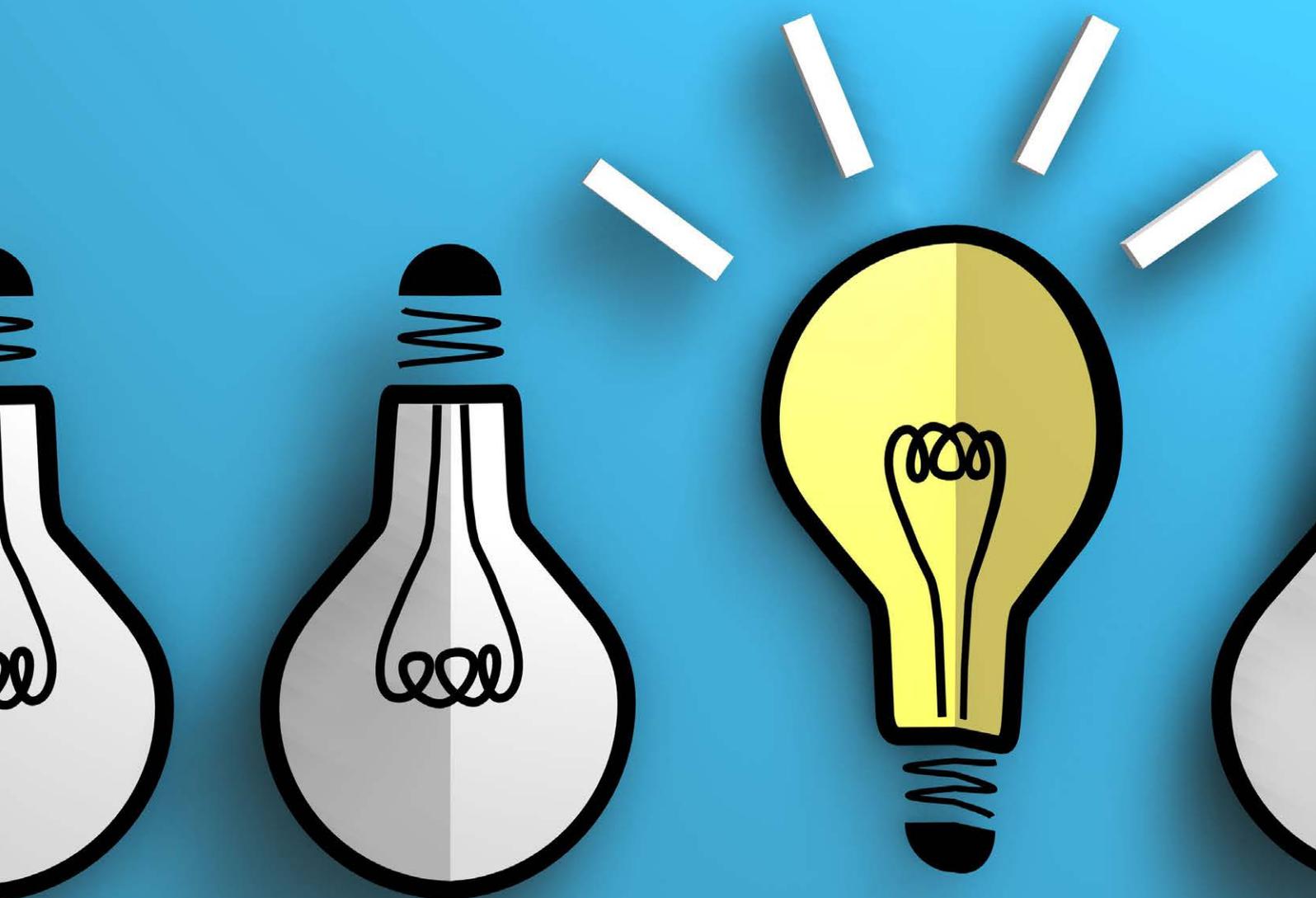


MIT Technology Review

Published by KADOKAWA / ASCII

Emerging Technology 2019

読者が選ぶ arXiv の注目研究 12 本





CONTENTS

- 001 スパコンと量子コンピューターは結局どちらが速いのか？
- 006 脳コンピューティングのブレイクスルー、超伝導ニューロンを設計
- 010 マウントゴックス破綻、データマイニングで新事実が浮上
- 014 謎の「第9惑星」の正体は原始ブラックホールか？英天文学者が提唱
- 018 5Gの先にあるモバイルの未来——6Gが形作る世界を予想する
- 022 客観的実在は存在せず？量子力学の逆説「ウィグナーの友人」を初実験
- 026 「戦争のない世界」は実現可能か？600年分のデータ分析した結果
- 030 なぜ搾取は起きるのか？東大研究者が「囚人のジレンマ」で解明
- 034 AIの次なる挑戦は「サッカー」、Googleがシミュレーターを公開
- 038 Google、ニューラル・ネットで「ゲシュタルトの法則」を確認
- 042 機械学習で古代文字を解読、「線文字B」を自動翻訳
- 047 ブラックホール周囲の惑星は居住可能か？NASA 科学者が検証

「Emerging Technology from the arXiv」は、コーネル大学が運営するプリプリントサーバー「arXiv（アーカイブ）」に掲載された論文の中から、特にユニークな研究を紹介・解説するMITテクノロジーレビューの人気コーナーだ。2019年に同コーナーで紹介した80本の研究論文の中から、特にMITテクノロジーレビューの読者に多く読まれた記事を12本紹介する。

スパコンと 量子コンピューターは 結局どちらが速いのか？

量子コンピューターの性能が従来の最も強力なスーパーコンピューターを凌駕する「量子超越性」の達成が近いと言われている。しかし、従来のコンピューターと仕組みのまったく異なる量子コンピューターの性能をどのように測定し、比較すればよいのだろうか。

「トップ 500 (TOP500)」プロジェクトは、世界で最も強力なコンピューターのランキングを年 2 回発表する。このランキングは非常に注目を集めており、大きな影響力がある。世界の超大国がランキングを支配しようと競っているが、本記事の執筆時においては中国が最多であり、229 台のコンピューターがランクインしている。

米国は 121 台のコンピューターしか載っていないが、この中には世界で最も強力な、テネシー州オークリッジ国立研究所のスーパーコンピューター「サミット (Summit)」が含まれている。サミットは 143 ペタフロップス (1 秒間に 14.3 京回の浮動小数点演算) を記録した。

このランキングを決めるのは、一連の線形方程式を解く Fortran (フォートラン) のサブルーチンを集めたリンパック (Linpack) と呼ばれるベンチマーク・プログラムだ。この方程式を解

くのかかる時間でコンピューターの速度を測るわけだ。

性能評価におけるベンチマークの選択については、議論が尽きない。コンピューター・アーキテクチャは通常、特定の問題を解決する目的で最適化されており、そうした問題の多くはリンパックの問題とは大きく異なっている。たとえば、量子コンピューターは、リンパックの問題を解決するのにまったく適していない。

そしてこのことが重要な疑問を提起する。特定の種類の問題に関しては、最も強力なスーパーコンピューターを凌駕しようとしている量子コンピューターだが、正確には一体どれほど強力なのだろうか？ 問題は、量子コンピューターの性能をどのように測定し、それを従来のコンピューターの性能とどう比較するかだ。

カリフォルニア州マウンテンビューの米航



IBM Research; OLCF at ORNL | Flickr

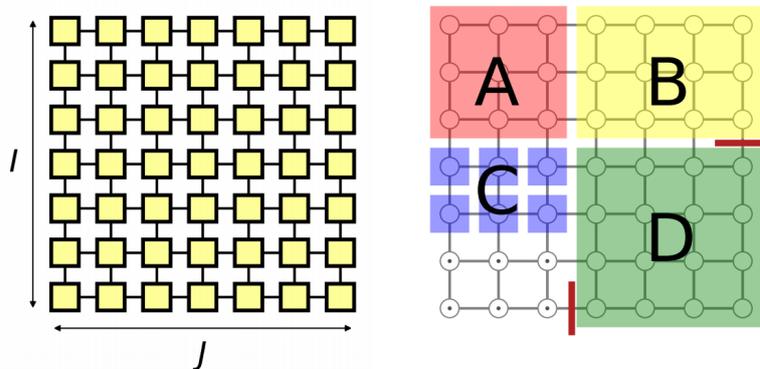
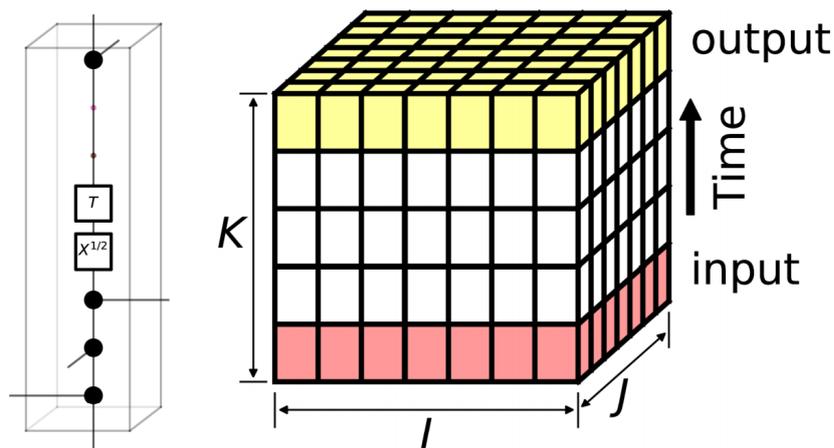
空宇宙局エイムズ研究センター（NASA Ames Research Center）にある量子人工知能研究室（Quantum Artificial Intelligence Lab）のベンジャミン・ビラロンガらのチームによる研究のおかげで、1つの答えが得られている。ビラロンガらは、従来のデバイスと量子デバイスの両方で動作するベンチマーク・テストを開発し、両方のデバイスによる性能の比較を可能にしたのだ。

チームはさらに、世界で最も強力なスーパーコンピューターであるサミットで、単精度演算で281ペタフロップスの平均性能を維持しつつ、新しいテストを実行した。その結果は、量子コンピューターがランキングにおいて量子超越性を最終的に確立するために達成しなければならないベ

ンチマークとなる。

量子コンピューティング能力の優れた測定基準を見付けるのは容易ではない。第一に、高度に専門化された限られたタスクであれば、量子コンピューターが従来のコンピューターより優れていることは、コンピューター科学者たちは以前から分かっていた。そうだとすると、そうしたタスクのいずれについても現時点では、特段うまく実行するのに十分なほど強力な量子コンピューターは存在しない。その理由の1つは、量子コンピューターはエラー訂正ができないからだ。

そこで、ビラロンガらのチームは、量子コンピューティング能力に関するより根本的なテストを探求した。現在ある初歩的なデバイスと将来に



登場するより高度な量子コンピューターのいずれでもうまく機能し、さらに従来のコンピューター上でもシミュレーションが可能なテストだ。

彼らを選んだのは、ランダム量子回路を使って量子カオスの発展をシミュレーションする問題だ。このプロセスは強力なエラー訂正を必要としないため、単純な量子コンピューターで実行できるうえ、ノイズに埋もれてしまった結果を除外するのが比較的簡単である。

従来の機械でも、量子カオスのシミュレーションは容易に実行できる。しかし、従来のコンピューター

が量子カオスのシミュレーションを実行するのに必要とする電力は、シミュレーションに含まれるキュービットの数とともに指数関数的に増加する。

2年前に物理学者たちは、少なくとも50キュービットを備えた量子コンピューターであれば、従来のスーパーコンピューターに対して量子超越性を達成できると判断した。

しかし、スーパーコンピューターがアップグレードされるにつれて、目標値は絶えず変化している。たとえば、サミットの現在の性能は、143

ペタフロップスで記録を塗り替えた、前回の11月のランキングの時よりも、はるかに増大している。実際、オークリッジ国立研究所は、2021年までに1.5エクサフロップス（1秒間に150京回の浮動小数点演算）の処理性能を備えた機械を作る計画を明らかにした。つまり、こうした機械の能力を、新しい量子コンピューター的能力に対して継続的に比較できることが、ますます重要になっているのだ。

NASAとグーグルの研究者は、従来の機械でランダム量子回路のシミュレーションを実行する「キューフレックス (qFlex)」と呼ばれるアルゴリズムを作成した。そして2018年、キューフレックスが、72キュービットの「ブリッスルコーン (Bristlecone)」と呼ばれるグーグルの量子コンピューターの性能をシミュレーションし、同等のベンチマークを達成できることを示した。この実験には、NASAエイムズ研究センターの20ペタフロップスの演算処理能力を持つスーパーコンピューターが使用された。

ビラロンガらはサミットを用いて、はるかに大

きな量子デバイスの性能をシミュレーションでできることを示した。「スーパーコンピューター全体で281ペタフロップスの平均性能を維持して、49キュービットと121キュービットの量子回路をシミュレーションしました」。

121というキュービット数は、既存の量子コンピューターを超えている。つまり、現在のランキングでは、従来のコンピューターの方が、わずかだが、やはりまだ優れているわけだ。

しかしこの競争は、やがて従来のコンピューターが負ける運命にある。今後数年以内に100キュービット以上を備えた量子コンピューターを開発する計画がすでに始まっているからだ。そして、量子コンピューターの処理能力が加速するに従い、これまで以上に強力な従来型コンピューターを開発するという挑戦は、すでに減速を余儀なくされている。

従来型コンピューターの新たな開発を制限する要因は、もはやハードウェアではなく、それらを動かし続けるための電力だ。すでにサミットの稼働には14メガワットの電力を必要とし、

中規模の町全体を十分に照らす電力に匹敵する。「このようなシステムを10倍に拡張するには140メガワットの電力が必要となり、法外に高価なものになるでしょう」とビラロンガのチームは述べている。

対照的に、量子コンピュータは経済的だ。電力は主に、超伝導部品の冷却に使われる。たとえば、グーグルのブリッスルコーンのような72キュービットのコンピューターでも、約14キロワットの電力しか必要としない。ビラロンガらは、「キュービット数が増加しても、消費電力が大幅に増加するとは考えられません」と語る。

そのため、エネルギー効率でのランキングでは、割合すぐに量子コンピューターが従来のコンピューターにすべて取って代わる運命にある。

いずれにせよ、量子超越性が到来しつつある。今回のビラロンガの研究から考えると、量子超越性を証明するベンチマークはキューフレックスである可能性が高い。❏

参照：アーカイブ (arXiv) arxiv.org/abs/1905.00444 : Establishing the Quantum Supremacy Frontier with a 281 Pflop/s Simulation : 281 ベタフロップスのシミュレーションによる量子超越性に関する新領域の確立



GETTY

脳コンピューティングの ブレークスルー、超伝導ニューロンを設計

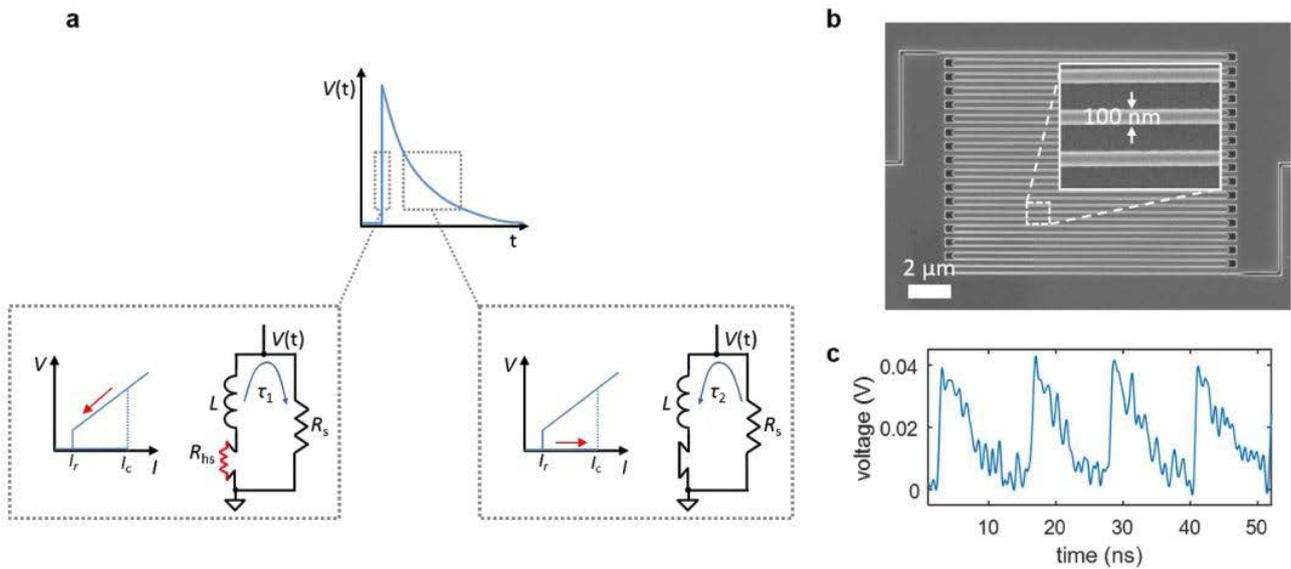
MIT の研究者たちが、超伝導ナノワイヤーを用いて、
生物のニューロンに似た特性を持つ人工ニューロンを設計した。実行速度と消費電力の両面で、
生物のニューラル・ネットワークに匹敵する性能を持つデバイスを構築する基盤となる可能性がある。

人間の脳は、科学の知る限り、最も卓越したコンピューティング装置だ。現代のマイクロプロセッサのギガヘルツのクロック速度に比べ、人間の脳はわずか数ヘルツというカタツムリのような速度で動作している。

脳の強みは、毎秒 10 億もの多数の計算を同時に実行できるところだ。従来のコンピュータでは

まだ解決できていない問題（運転、歩行、会話など）を脳が簡単に解決できるのは、この並列処理のおかげだ。

さらに印象的なのは、脳がポリッジボウル（お粥を入れるボウル）程度の大きさのサイズで、これらすべてを実行するということである。これに比べて、世界で最も強力なスーパーコンピューター



は、大きな町よりも大量の電力を消費する。

コンピューター科学者たちが人間の脳のコンピューティング性能をニューラル・ネットワークで複製したいと考える理由はそこにある。

しかしこれは、「言うは易く行うは難し」だ。通常のチップをニューラル・ネットワークとして稼働するようにプログラミングすることは可能だが、それには莫大なコンピューティング能力と大変なエネルギーを要する。

コンピューター科学者たちは、人工ニューロンを作り、それを脳のようなネットワークで接続できないかと考えている。これが実現すればエネルギー効率が大幅に向上する可能性があるが、脳の効率に近い設計を考え付いた人はこれまで誰もいなかった。

しかし、それも今日からは過去の話になりそうだ。マサチューセッツ工科大学 (MIT) のエミ

リー・トゥーメイが2人の同僚とともに、多くの点で本物の脳のような働きをするナノワイヤー製の超伝導ニューロンを設計したのだ。このデバイスのエネルギー効率は、少なくとも理論的には、脳の効率に匹敵し、これまでのコンピューティング機器よりはるかに効率の高い新世代の超伝導ニューラル・ネットワークを構成できるという。

基本的な知識について少し記しておこう。ニューロンは、神経に沿って移動する電氣的スパイクまたは活動電位の形で情報を符号化する。脳のようなネットワークでは、ニューロンはシナプスと呼ばれるギャップによって互いに分離されている。

これらのシナプスを經由して伝達される情報は、接続先のニューロンの発火を促すか、あるいは発火を妨げるかのいずれかの影響を与える。実際、ニューロンはこの仕組みにより、論理ゲート

のような役目を果たしており、複数の入力に対して1つの出力を生成する。

生物のニューロンは、こうしたことを可能にする多くの重要な特性を持っている。たとえば、生物のニューロンは、入力信号があるしきい値レベルを超えない限り発火せず、一定期間が経過するまでは再び発火しないこと（不応期）などが知られている。スパイクは移動した距離の情報を符号化するので、スパイクが軸索（神経線維）に沿って移動する時間も重要となる。

人工ニューロンは、これらの特徴をできるだけ多く再現できなくてはならない。しかし、通常それには複雑な回路が必要になる。

トゥーメイらは、超伝導ナノワイヤー特有の非線形特性を利用すれば、ニューロンのような動作が可能だと指摘している。この特性は、ナノワイヤーを流れる電流が一定のしきい値を超えると超伝導現象が崩壊することによって発生する。

これが起こると、抵抗が突然増加して電圧パルスが発生する。このパルスはニューロンの活動電位に似ており、それを用いて第二の超伝導

ナノワイヤーによって生成された別のパルスを変調すれば、より脳の働きに近いシミュレーションが可能だ。

この性質を使って、生物のニューロンの多くの特性を有した単純な超伝導回路が作成できる。トゥーメイらは、超伝導ニューロンが発火しきい値、不応期、および移動時間を持ち、それらは回路の特性などによって調整できることを示した。

重要なのは、トゥーメイらの超伝導ニューロンが他のニューロンの誘発や抑制にも使えるという点だ。この「ファンアウト」の特性はネットワーク構築の鍵となるが、今までの超伝導ニューロンの設計では実現できなかった。

さらに、超伝導回路はほとんど電力を消費しない。トゥーメイらの計算によれば、このタイプの超伝導ニューラル・ネットワークは、生物のニューラル・ネットワークの効率性に匹敵する可能性があるという。

ここで用いられている「性能指数」は、ニューラル・ネットワークが1ワットの電力を使用して毎秒実行できるシナプス演算の数だ。トゥーメイ

らが提案したネットワークは、1ワットあたり、1秒間に約 10^{14} のシナプス操作が実行可能で、人間の脳に匹敵する。「ナノワイヤのニューロンは、電力と速度の両方の観点から、非常に競争力のあるテクノロジーになる可能性があります」。

もちろん、制約もいくつかある。おそらく最も重要なものは、超伝導ニューロンが接続できる先のニューロンの数がわずかに握りしかないことだろう。これとは対照的に、人間の脳内にあるそれぞれのニューロンは、近隣の何千ものニューロンと接続している。また、トゥーメイらの設計は、今のところ単なる設計に過ぎない。

しかし、シミュレーションの結果は有望だ。トゥーメイらは、「今回の分析で、ナノワイヤ・ニューロンが低電力人工ニューラル・ネットワークの進歩にとって有力な候補であることが示されました」と述べる。

その可能性は重要だ。トゥーメイらは、超伝導ニューラル・ネットワークは、超伝導ニューラル・ネットの形状をしたまったく新しいコンピューター・ハードウェアの基礎となる可能性があると

いう。これらのチップは、超伝導相互接続を使用したネットワーク化が可能なので、熱放散が発生しない。

「最終的には、大規模なニューロモーフィック・プロセッサとなり、パターン認識のようなタスクを実行するスパイクング・ニューラル・ネットワークとして訓練されるか、大規模で生物に近いネットワークのスパイクング・ダイナミクスのシミュレーションに使われるでしょう」とトゥーメイらは述べている。

これは非常に興味深い研究だ。しかし、興奮が高まる前に、原理を証明するための実証実験をする必要があるだろう。✚

参照：arxiv.org/abs/1907.00263 : A Power Efficient Artificial Neuron Using Superconducting Nanowires : 超伝導ナノワイヤを使った電力効率の良い人工ニューロン

**eムックは、MITテクノロジーレビュー
有料会員限定サービスです。
有料会員はすべてのページ（残り42ページ）を
ダウンロードできます。**

ご購入はこちら



<https://www.technologyreview.jp/insider/pricing/>

No part of this issue may be produced by any mechanical, photographic or electronic process, or in the form of a phonographic recording, nor may it be stored in a retrieval system, transmitted or otherwise copied for public or private use without written permission of KADOKAWA CORPORATION.

本書のいかなる部分も、法令または利用規約に定めのある場合あるいは株式会社 KADOKAWA の書面による許可がある場合を除いて、電子的、光学的、機械的処理によって、あるいは口述記録の形態によっても、製品にしたり、公衆向けか個人用かに関わらず送信したり複製したりすることはできません。