踊るバズワード ～Behind the Buzzword（6）量子コンピュータ（6）：

ひねくれボッチのエンジニアも感動で震えた「量子コンピュータ至高の技術」

https://eetimes.jp/ee/articles/2009/29/news050.html

いよいよ最終回を迎えた「量子コンピュータ」シリーズ。フィナーレを飾るテーマは「量子テレポーテーション」「量子暗号」、そして、ひねくれボッチのエンジニアの私さえも感動で震えた「2次元クラスター状態の量子もつれ」です。量子コンピュータを調べるほどに「この技術の未来は暗いのではないか」と憂うようになっていた私にとって、2次元クラスター状態の量子もつれは、一筋の光明をもたらすものでもありました。

2020年09月29日 12時30分 更新

[江端智一, EE Times Japan]

「業界のトレンド」といわれる技術の名称は、“バズワード”になることが少なくありません。“M2M”“ユビキタス”“Web2.0”、そして“AI”。理解不能な技術が登場すると、それに“もっともらしい名前”を付けて分かったフリをするのです。このように作られた名前に世界は踊り、私たち技術者を翻弄した揚げ句、最後は無責任に捨て去りました――ひと言の謝罪もなく。今ここに、かつて「“AI”という技術は存在しない」と2年間叫び続けた著者が再び立ち上がります。あなたの「分かったフリ」を冷酷に問い詰め、糾弾するためです。⇒連載バックナンバー

なぜか引っ掛かったニュースリリース

量子コンピュータの連載から、既に半年 ―― 量子論に対する知識のない状態からの、量子世界の不気味さ、気持ち悪さ、非常識さは、リアル（Real）な意味での「**Re:ゼロから始める異世界生活*)**」と言えます。

*）知った風に書いていますが、私、この超有名アニメをちゃんと視聴していません。これからフォローします。

量子コンピュータは、異世界の「魔法」や「呪い」のような超常現象を、現実世界に持ち込んで「使い倒そう」という試みに近いものです ―― いや、本当に、アニメの中の「魔法」や「呪い」の方がラクじゃないかと思えるほどです。

私は、この異世界（量子世界）における「魔法」とは「**量子重ね合わせ**」であり、「呪い」とは「**量子もつれ**」であり、そして、その異世界が「**確率だけで支配されている**」という事実に、眩暈（めまい）すら覚えます ―― 本当に、**気持ち悪い**です。

量子コンピュータとは、日常では観測できない、異世界の「魔法」と「呪い」を、本気で使い倒そうと試みる、壮大なプロジェクトです。

ですから、量子コンピュータについて、本気で調べれば調べるほどに、

―― 量子コンピュータの未来は、暗い

という気持ちになってきます。

そもそも「魔法」や「呪い」は、それ自体が非常識なものなのに、それを計算機の構成要素として組み込もうとしているのですから、その難しさはハンパではありません。

前回のコラムでも記載しましたが、

- 「**量子コンピュータは夢ではなく悪夢である**」（セルジュ・アロシュさん フランスの物理学者でノーベル物理学賞受賞者）
- 「**量子コンピュータ100年プロジェクトではなく、1000年プロジェクトである**」（チャールズ・ベネットさん ランダウアーの原理の提唱者）

[Tさんツッコミ!] 前回見過ごしてしまいましたが、ランダウアーの原理の提唱者はランダウアーさんなので、ベネットさんは

「量子暗号の提案者」などがよいと思います。

とかいう、著名な物理学者のコメント、そして、

実験用の量子コンピュータのビット数が50個くらいの現在であって、実用的な計算を行うには、6000個とか、4億5000万個が必要になるとか ーー

　そんな話ばかりを拾っていれば、まあ、暗い気持ちになるものです。

　先月は「量子もつれ」のお話をしました ーー もつれ状態にある量子対の一方の量子の状態が確定すると、**光の速度を無視して、他方の量子の状態も同時に確定する** ーーという現象について、コラム中で「**気持ち悪！**」と連呼し続けていました。

　で、今月は、量子コンピュータでは、この「量子もつれ」を、どのように使っているのだろう、ということを、ずっと調べていました ーー ですが、見つからないのです。

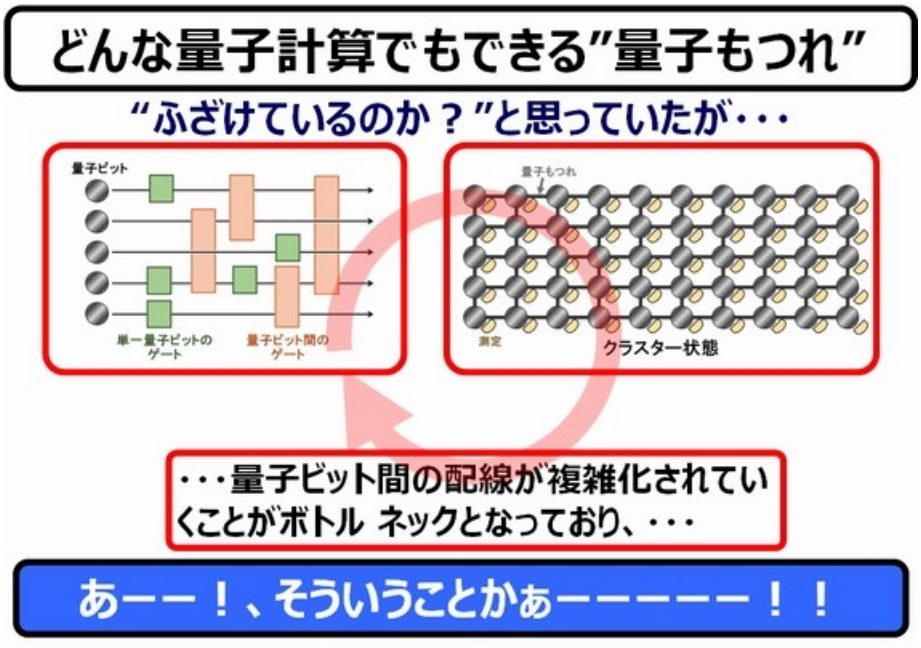
　HゲートとCNOTゲートを組み合わせると、「量子もつれ」状態の2量子ビットを作れるのは分かったのですが、それって何に使うのかが、全然見つからないのです。

　『なんなの？　これって、量子ゲートによって、**気持ち悪い量子対を製造できる、というだけの話？**』と、無力感に打ちひしがれていたとき、このニュースリリースを目にしました。

　最初に、このニュースリリースを読んだ時、ムカムカしたのを覚えています。特に私を不愉快にさせたのは、「**従来の限界を克服する、あらゆる量子計算を実行できる**」というフレーズでした。エンジニアとしての私は、このような、フレーズが死ぬほど嫌いなのです。

　「あらゆる量子計算」ができるなら、その一例でいいから、その計算の内容の方をニュースリリースに書きやがれ！と憤怒していました。

　しかし、何か引っ掛かるものを感じて、このニュースリリースを何回も読み直し、そして、「2次クラスター状態」の絵を見直している時に、『**あーー！ そういうことかーーー！！**』と叫んでいました。



　背筋がゾクっとしました。「これ、ものすごい発明じゃないか？」「何で、もっと騒がれていないんだ？（関連記事：「どんな量子計算も実行できる量子もつれ、東大が実現」」と、頭の中に『？』がポコポコと現われてきました。ーー まあ多分、**この研究開発の成功の意義を、私と同じように、多くの人も理解できなかった**のだろうと考えています。

ぶっちゃけ、「グーグルの量子コンピュータ、従来型PCよりも「1億倍高速」と発表」[*1)]なんぞ、私は目もくれませんでした（実際、調査すらしていません）。

[Tさんツッコミ!] ＊1）この記事は、Googleが導入したD-Wave Systemsの量子コンピュータ（量子アニーリング）の記事ですね。

なぜなら、私たちエンジニアは、「1億倍高速」が都合よく出現する問題を作り出し、そのデータ（これをチャンピオンデータという）をゲットするのが仕事の一つでもあり―― つまるところ、**私も「そちら側」の人間だから**です。

ちなみに、私が調査するまでもなく、この「1億倍」については、IBMが反論を出しています[*2)]。

[Tさんツッコミ!] ＊2）IBMが反論したのは、上記のアニーリングに対してではなくて、量子超越性論文の方です。

そもそも、この手の数値（1億倍だの、1万年だの）を使ったニュースリリースは、反論までがワンセットです。これは”予定調和”であり、”定型フォーマット”であり、”お約束”であり、”様式美”なのです。

しかし、夢みる世の中の多くの人とは違い ―― **”1億倍”だの、”1万年”だのという数字ごときで、私のような、ひねくれたボッチのエンジニアをだますことはできません。**

最終回といったら最終回です

こんにちは、江端智一です。

今回は、量子シリーズの最終回です。**ええ、もう、最終回といったら最終回です。**もう、これ以上、私は異世界（量子世界）の怪奇現象を理解した上で、それを他の人に説明するという作業にホトホト疲れ果てたのです。

なので、今回は、私の中で残っている、量子コンピュータの疑問点を、全部ぶっこんだ上で、強制終了します。今の私の望みは、この連載が終ったら、部屋の中に積み上げられている量子関係の論文を、高笑いしながら、全て焼却することです。

[Tさんツッコミ!] 焼却する前に、これまでの連載の参考文献をリストアップして公開してもらえると、私も含め後進のためになるのでありがたいです。

最終回である今回は、

（1）バズワードを量子本の”タイトル”から考えてみた件、（2）今回の量子コンピュータに関する江端の勉強方法、（3）量子もつれのアプリケーションとしての「量子テレポーテーション」と「量子暗号」および（4）量子コンピュータのスケーラビリティ問題を解決する「**2次元クラスター量子もつれ**」、の4点について、お話をしていきたいと思います。

私を助けてくれた資料たち

今回の連載で、私は、「量子コンピュータ」というものが、現時点でどんな状態にあるのかを、かなり客観的に把握することができました。つまり ―― **現実の問題を解くことのできる量子コンピュータは、まだ世界に1台も存在していない** ―― です。

しかし、「量子コンピュータ」が実現する未来については、疑ってはいません（時間はかかるでしょうが）。

これは、以前のAIの連載「「シュタインズ・ゲート」に「BEATLESS」、アニメのAIの実現性を本気で検証する」で、

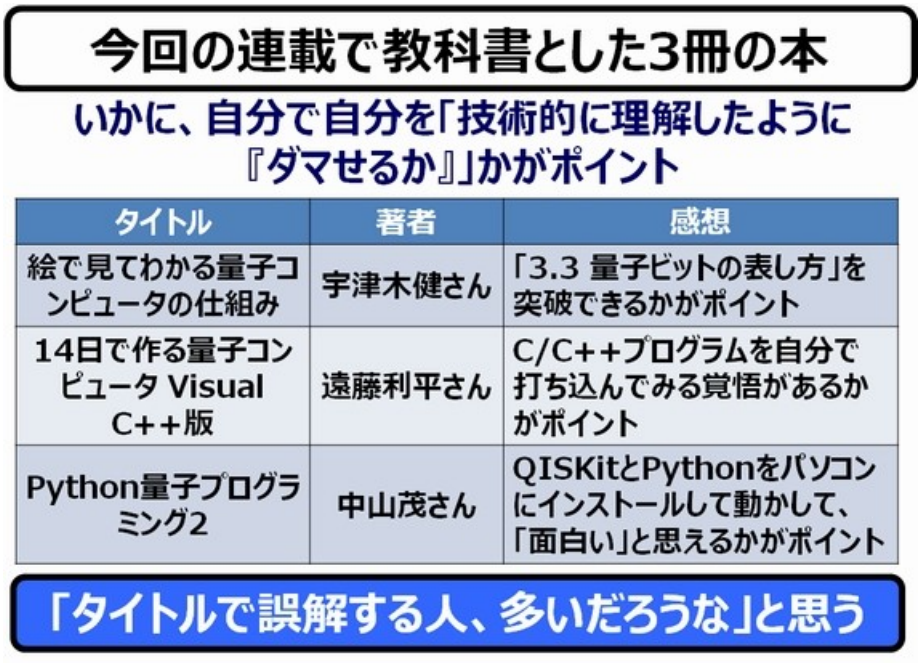
> 私は「人間と同じような知能を持った人工知能（AI）は存在しない」を、帰納法的に立証し、「将来もそのようなAIは登場してこない」を、演繹法的に導いたと確信しています。

と述べていることと比較して、明らかな違いがあります。

一方、世の中の、現状の量子コンピュータに対する認識には、かなりバラツキがあるように思えます。これは、自称技術ライターたちの無勉強に原因があると思っていますが、この他、世の中で出版されている量子コンピュータ関連の書籍の「タ

イトル」にも問題があるように思えます。

例えば、以下は私が、今回の連載で、ずっと読み続けてきた本です。



上記の本は、量子コンピュータを理解する上で、大変助けて頂きましたが、この本を、最初から最後まで読み切れる人が、どれくらいいるかというと、ほとんどいないと思います（私の場合、この連載がなければ、絶対に読み切ることはなかったと断言できます）。

なにより、この本のタイトルです。

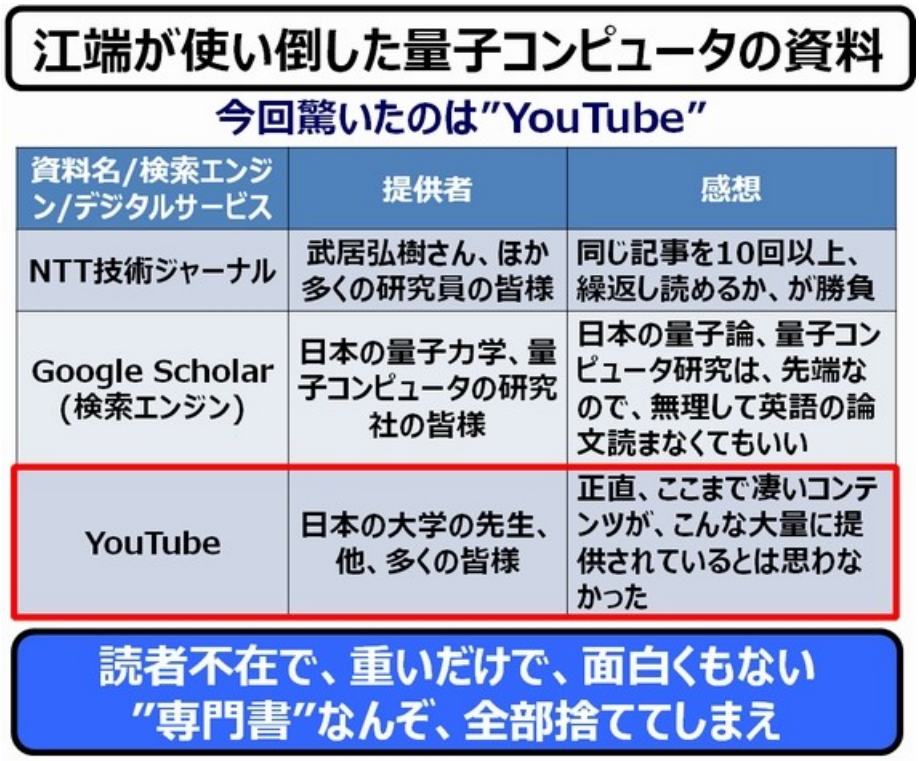
この本のタイトルは、**適正です**。誇大な表現もなく、本の内容を完結に表現しています。著者や出版社に悪意があるなどと1mmも思っていません。一一 が、ITエンジニアもなく、量子力学/化学を扱う学生でもなく、量子コンピュータの研究員でもない人が、こういう本が並んでいる本屋の書架を見て、どのように思うでしょうか？

まるで 一一

- 「自宅や職場にパソコンがある様に、量子コンピュータが実存しており」
- 「その気になれば、Raspberry Pi（ラズパイ）のように14日間で量子コンピュータを自作することができて」
- 「Pythonプログラムを使って、量子コンピュータをサクサクと動かせる」

かのように、錯覚してしまうことはないでしょうか。私は心配しています。なにしろ、自称「テクニカルライター」の理解ですら、あの体たらくなのですから。

ところで、「資料」と言えば、今回は、以下の資料に大変助けられました。



複雑な行列式をいじり回すだけで「量子コンピュータ」の本を標榜している書籍や資料と比較して、「NTT技術ジャーナル」は、ちゃんとした"モノ(有体物、デバイス、実験装置、エネルギーの単位や時間)"を、キチンと日本語で記載されていて、突出して優れていたと思います。

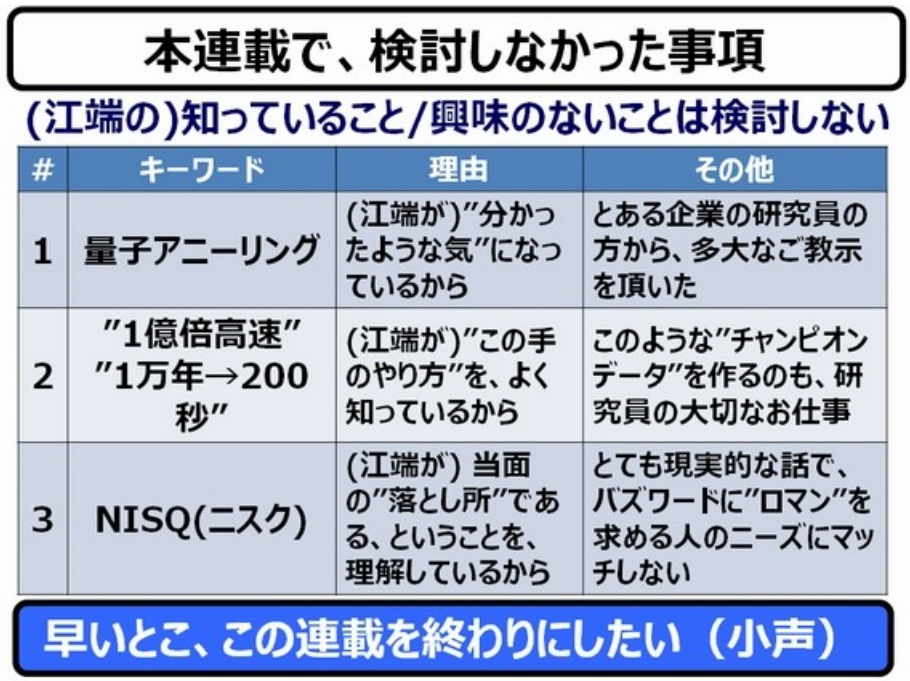
それと、**なんやかんや言われつつも、日本の量子コンピュータ研究は、世界のトップレベルにあるのは事実** です(後継者問題や、研究資金など問題山積とは思いますが)。Google Scholarを使って、潤沢な日本語の論文がたらふく読める、という幸せ(というか、読まざるを得ない不幸せ)をかみ締めていました。

そして、今回驚いたのは、YouTubeです。私、シュレディンガー方程式と、量子井戸、ベルの不等式については、全部YouTubeで概要を知りました ―― 私の中では、**難解な数式と、読者の理解に寄り添う姿勢に欠ける、いわゆる「専門書」は、YouTubeの理解を補助する為の「参考書」に成り下がりました**[*)]。

*)まあ、YouTubeには、誤解、うそ、デタラメの記載も結構多いので、当面は「専門書との併用」が正しいかもしれません。

興味がないことは、ふっ飛ばします

さて、最終回ということなので、今回のシリーズで、私が検討"しない"と決めたことも明らかにしておきたいと思います。基本は、「私(江端)が知っていること」「私(江端)に興味がないこと」は、全部ふっ飛ばすこととしました。



#1のアニーリングについては、学生のころ散々、コーディング（プログラミング）してきて、なんとなく分かっているような気になっていますし、とある企業の研究員の方から、半導体デバイスを使ったアニーリングについて教えてもらったので、今回は「量子ゲート方式」だけを検討することにしました。

#2の「1億倍」とか「1万年」については、既に前述した通りです。

#3のNISQ（ニスク）とは、「Noisy Intermediate-Scale Quantum device」（ノイズあり中規模量子デバイス）のことで、量子エラー訂正が不十分で50～100量子ビット程度の量子コンピュータのことです。

つまり、現状の実験用量子コンピュータのスペック（51量子ビット～）に適合させる、現実的な量子コンピュータのことで、本連載の本命は、NISQであるとさえ言えます。

が、私は思いました ―― **NISQは読者ウケしないだろう**、と。

これまでの連載で、読者ウケが良かったのは、第1回の「量子重ね合わせ」と、前回（第5回）の「量子もつれ」という、**奇怪な量子現象**であり、量子コンピュータの仕組みそのものは、（説明に苦労が多い割に）読者のウケは良くなかったように思えます。

―― ぶっちゃけ、量子コンピュータがどういう仕組みであれ、それが動くならば、どーだっていい

と、（この連載を担当している）私ですら思います。いわんや読者の方がそう考えるのは、当然とも思えます。

私は、自分の興味さえあれば、読者を無視してもコラム執筆を強行します。しかし、NISQには、「量子重ね合わせ」や「量子もつれ」のような衝撃は、期待できないだろうなぁ、と自分でも思ってしまったのです。

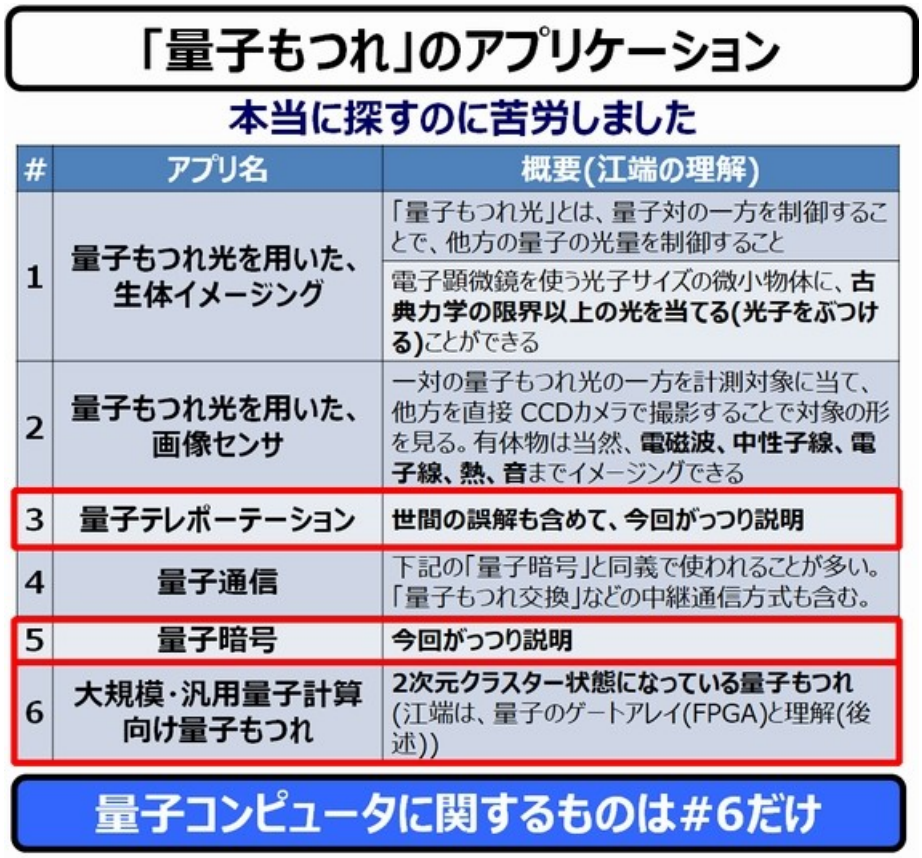
盛大に誤解されている「量子テレポーテーション」

では、ここから、今回の最終回のテーマ「量子もつれ」のアプリケーションと、量子コンピュータへの応用についてお話を始めたいと思います。

「**量子もつれ = 気持ち悪！**」については、前回のコラムをご一読して頂くとして、今回は、「量子もつれ」を現実に使ったアプリケーションを調べてみました ―― が、正直、調査はかんばしくありませんでした。

[Tさんツッコミ！] あまり文献に強調されていませんが、量子もつれは、代表的な量子アルゴリズム（江端さんが第2回で記載されていた「ショアやグローバーのアルゴリズム」など）のほぼ全てで自然に用いられています。というか量子もつれのな

い量子計算は一部を除いてほとんど無力です。



#	アプリ名	概要(江端の理解)
1	量子もつれ光を用いた、生体イメージング	「量子もつれ光」とは、量子対の一方を制御することで、他方の量子の光量を制御すること
		電子顕微鏡を使う光子サイズの微小物体に、**古典力学の限界以上の光を当てる(光子をぶつける)**ことができる
2	量子もつれ光を用いた、画像センサ	一対の量子もつれ光の一方を計測対象に当て、他方を直接 CCDカメラで撮影することで対象の形を見る。有体物は当然、**電磁波、中性子線、電子線、熱、音**までイメージングできる
3	量子テレポーテーション	**世間の誤解も含めて、今回がっつり説明**
4	量子通信	下記の「量子暗号」と同義で使われることが多い。「量子もつれ交換」などの中継通信方式も含む。
5	量子暗号	**今回がっつり説明**
6	大規模・汎用量子計算向け量子もつれ	**2次元クラスター状態になっている量子もつれ**(江端は、量子のゲートアレイ(FPGA)と理解(後述))

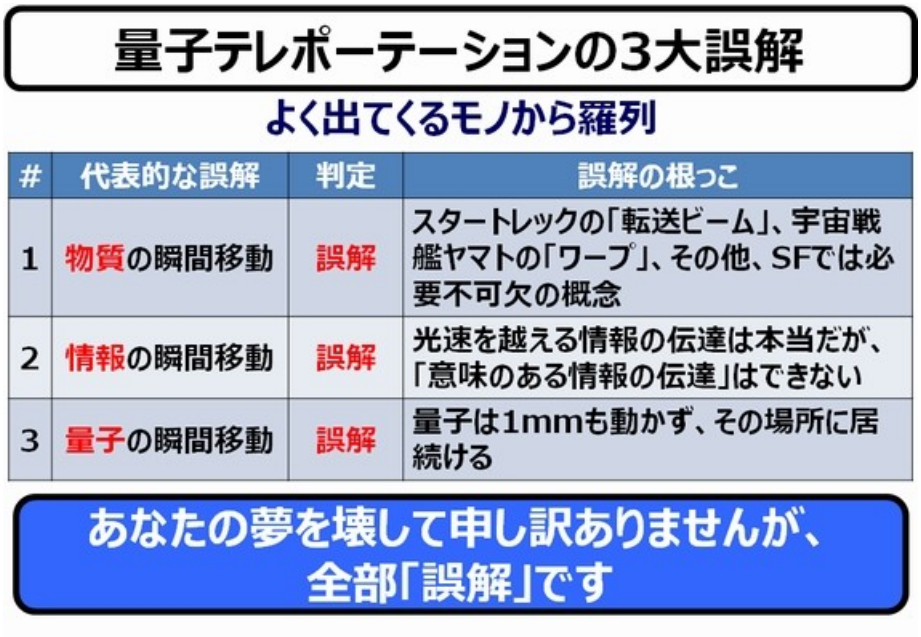
　正直、#1、#2のような、量子の「もつれ(=連動)」を使って、電子顕微鏡の光源を増量することや電磁波や熱や音の”形”まで読み取ることができることなど、まったく知りませんでした(個人的には興味津々なのですが、割愛します)。

　「量子もつれ」のメインのアプリケーションは、やはり#3の「量子テレポーテーション」と、#5「量子暗号」ですが、これらも「量子コンピュータの計算手法」そのものの話ではないです。しかし、この2つについては、有名どころの話であり、そんでもって、多くの人が「勘違いしている」話でもありますので、がっつり説明したいと思います。

　多分、あまり知られていないのは、#6の「2次元クラスター状態になっている量子もつれ」になると思います。これが本日のメインとする予定です。

　それでは始めます。

　まず、「量子テレポーテーション」から説明しますが ーー これはもう、本当に、**壮大に「誤解」されています**。

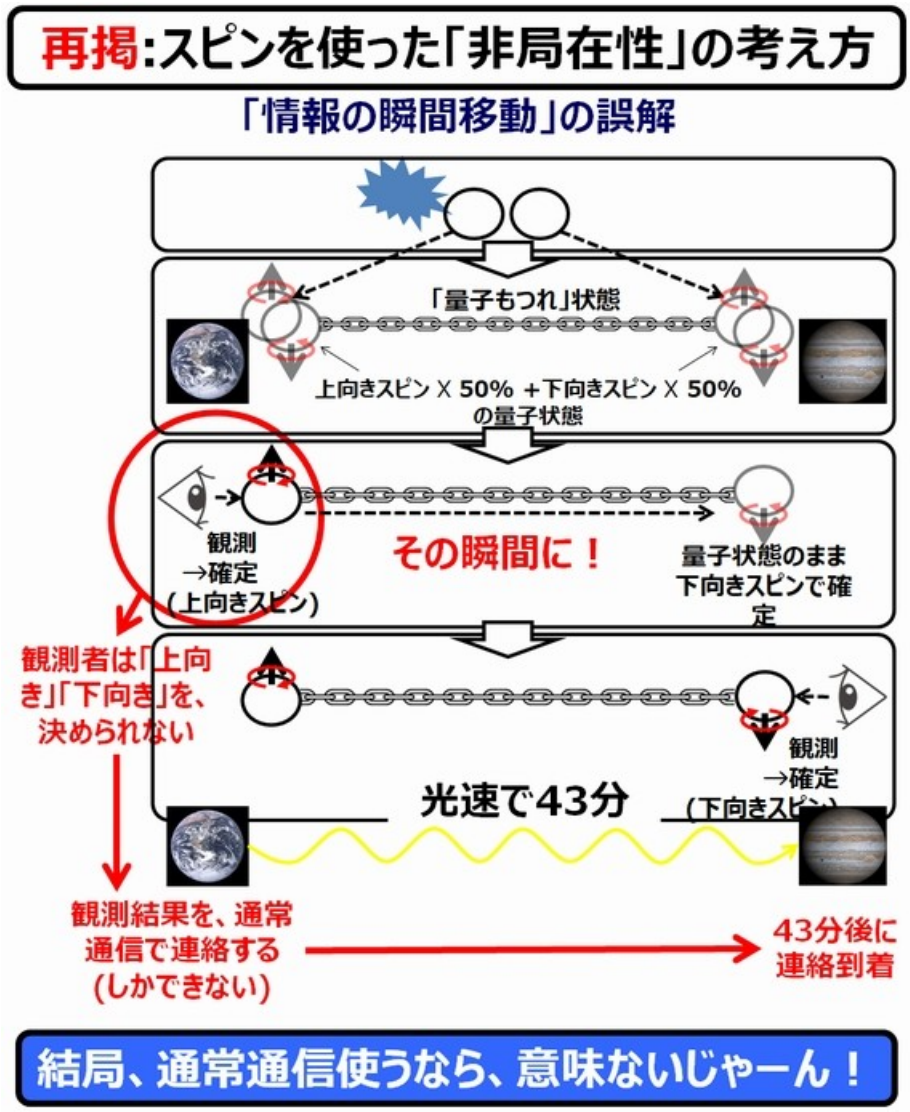


そもそも量子テレポーテーションとは、物質の移動ではありませんし、さらに言えば、量子の移動ですらありません。ぶっちゃけ、情報の移動ですらないので、その内容はテレビやインターネット通信の話よりもショボイです。

どうして、これが「転送ビーム」やら「ワープ」の話にまで発展してしまうのか ―― 一言で言えば**「量子テレポーテーション」という言葉が悪い**のです。

では、「情報の瞬間移動」の誤解からお話しましょう。

下記は、前回のコラムで使った「量子もつれ」の概要を示す図（再掲）です。



量子もつれでは、量子対の一方の量子状態を観測によって確定させると、他方の量子状態は、瞬時（同時）に確定します。つまり、**確定状態は、光速を突破して伝わっているのです。これは事実です。**

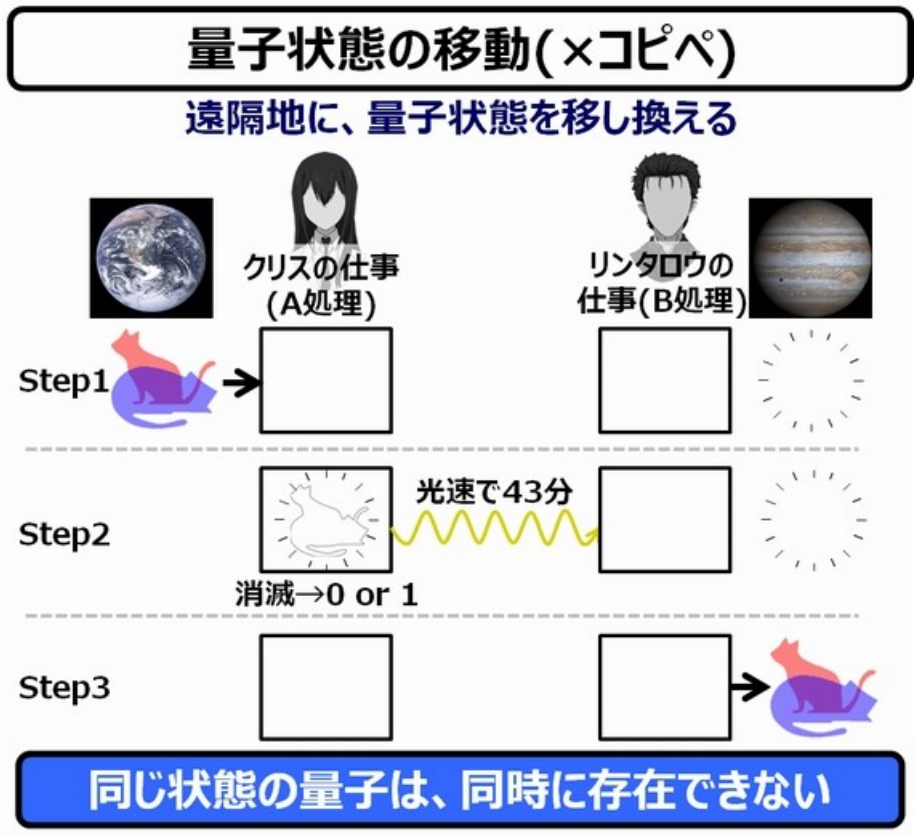
ところが、**地球の観測者は、量子のスピンの状態を決めることができません。**上向きか下向きかは、確率50%で決まるのを、「**指をくわえて見ていることだけ**」しかできません。

木星の観測者も観測することによって、地球の観測者が観測した結果の逆の結果（地球で「上向き」を観測された後であれば、木星では「下向き」）が、100%観測されますが ーー 結局のところ、地球の送信者は、自分の送りたい情報を送ることができないのです。

もちろん、観測結果を通常通信で送ることはできますが、それなら、そもそも「量子もつれ」を使う必要すらありません。つまり、**量子もつれを使った通信は、100%不可能である**、ということなのです。

上記の#1の「物質の移動の誤解」は、#3の「量子の移動の誤解」とまとめて説明できます。「量子テレポーテーション」とは、「量子から成る物質」を転送することではありません。地球で「確定していない量子状態」と完全同一の量子状態を木星の量子に「確定していない量子状態」として**写して移す**（×コピペ）することです。

いわば、確定してない量子の”状態”だけを、別の量子に移し換えることに過ぎません。しかも、その移し換えは、通常通信の速度（光の速度）を越えることができません。

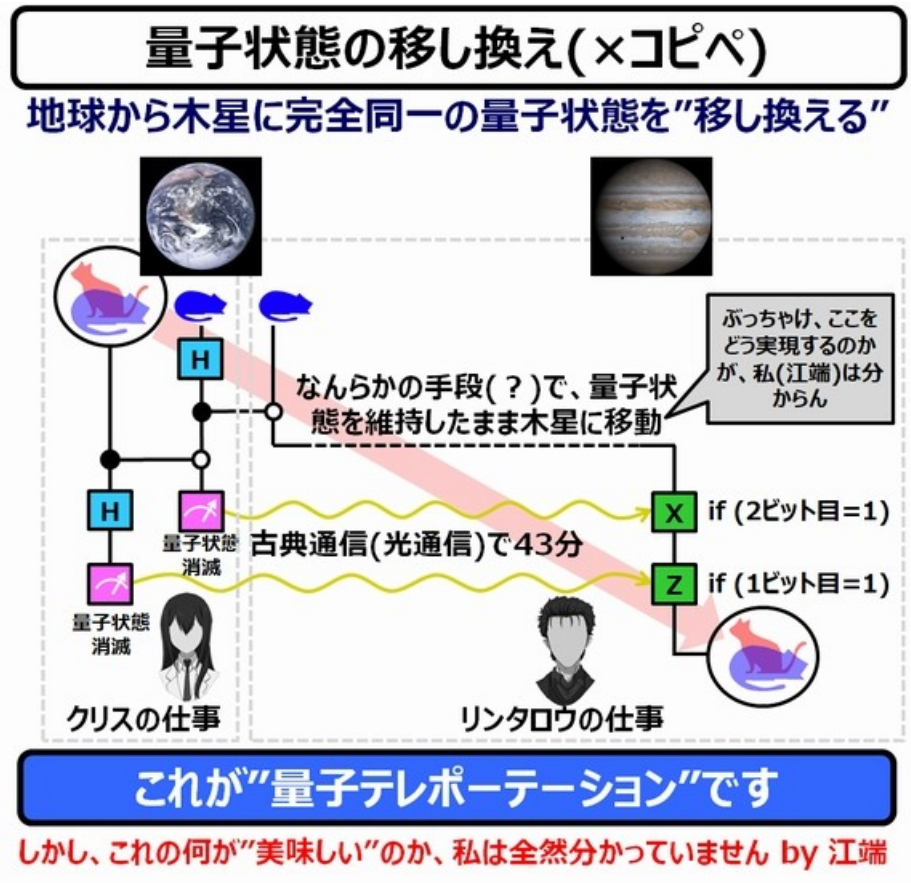


ここで、量子テレポーテーションの興味深いところは、まず地球上で観測をして、この結果得られた通常の値（デジタル値）を、通常通信で木星に送信するということです。

地球上で観測することによって結果、地球上にある量子状態は消滅（確定）してしまいます。しかし上記のデジタル値を、木星に送信することで、木星でこの量子状態を復元することができるのです。

つまり、同じ量子状態は、世界に同時に2つ存在できない ―― これが、「量子」が「テレポーテーション（移し換えられた）」した、ということで、**一方を破壊（量子状態を確定）して、もう一方で再構築（量子状態を復元）する** ―― これが、量子テレポーテーションの正体です。

この量子テレポーテーションを、もう少し詳細に説明します。



まず、地球上で、クリスは0猫を使ってHゲートとCNOTゲートを使った量子もつれ状態にある量子対を作成して、その一つの量子をリンタロウに渡します。

リンタロウは、この量子を、量子状態を維持したまま木星に移動します。ちなみに量子状態のコヒーレンス時間は0.0001秒程度ですが、木星までの距離（43光分）の移動時間は、核融合エンジンを搭載した貨客船であっても約40時間かかるようです（出典:さよならジュピター by 故小松左京先生） ーー が、"そこ"は、全力で無視することとします。

さらにクリスは、自分の量子と、量子テレポーテーションの対象の量子との間で、量子もつれを起こして、それぞれの状態を観測によって確定した値（そのデジタル値）を、通常通信を使って木星に送信します。

リンタロウは、自分の持っている量子に、このデジタル情報に基づく1量子ゲート計算を行うことで、地球上にあった量子状態を、木星で再構築することができます ーー そんでもって、

ーー で、これ（量子テレポーテーション）が、一体何の役に立つの？

が、（私にとっては）大問題なのです。

物質を転送するでもなく、情報を転送するでもなく、遠方で量子状態を再構築して、どんなアプリケーションができるのかが、私にはさっぱり分からないのです（**誰か教えて下さい（本気）**）。

「量子暗号」は分かりやすいアプリケーション

さて、この「（私にとっては）さっぱり分からない量子テレポーテーション」に対して、「量子暗号」は、用途が明確で、100%役に立ち、現時点においても利用できるアプリケーションです。

そもそも、インターネットの安全は、RSA暗号というものによって担保されています。RSA暗号についての説明は割愛しますが、一言で言えば、RSA暗号は「**破られることを前提とした暗号**」である、ということです。

潤沢な計算能力と十分な時間があれば、かならずコンピュータで破ることができます。

ただ、現時点で「潤沢な計算能力（例:スパコンレベル）と十分な時間（例:100年間）」というものなので、破られることは心配しなくて良い、ということになっていたのです ―― **量子コンピュータが現実味を帯びてくる前までは**。

現時点では、量子コンピュータの計算能力はショボイ（というか、まともな計算すらできていない）ので、心配する必要はありません。

しかし、「**理論上、量子コンピュータによって、RSA暗号が無力化されること**」が確定している ―― これは、人類に対する脅威であり、全ての人間のプライバシーが侵害されるディストピアの到来とも言えます*）。

*）あるいは、秘密ごとが一つもないユートピアの到来、という見方もできます。

そして、今はどんなにショボくとも、量子コンピュータは、現実にGoogleやIBM、D-Wave Systemsで動かされています。ディストピアへの第一歩は踏み出されてしまったのです。

ですから、

―― どのような量子コンピュータが出現してこようとも、絶対に破れない暗号

が必要となるのです。それが、量子暗号です。

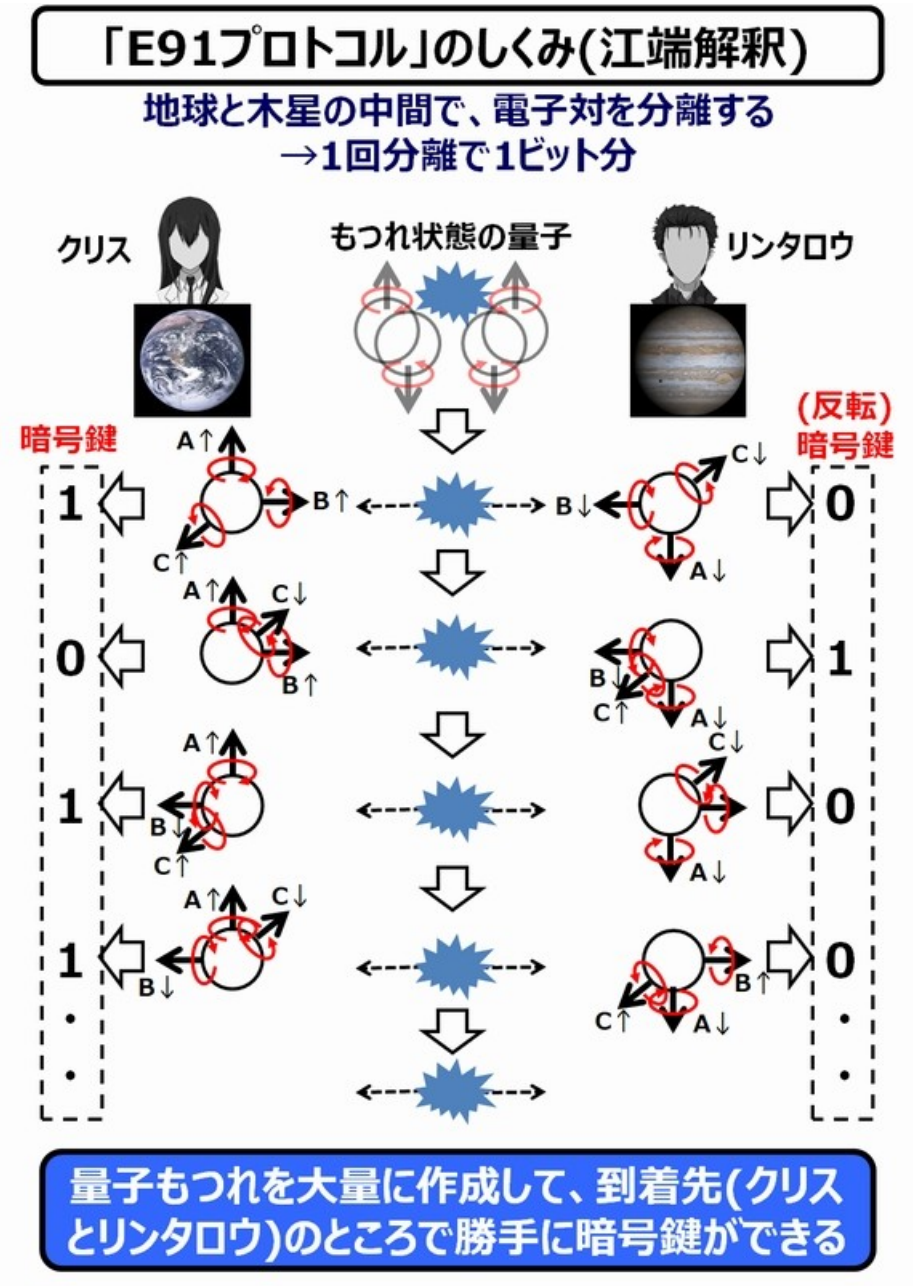
［Tさんツッコミ！］正確に言うと、「量子暗号」とは別に、対量子コンピュータ向け暗号方式（耐量子計算機暗号）が開発されています。

「E91アルゴリズム」

今回は、この量子暗号の中でも、前回説明した「ベルの不等式」を利用する、「E91アルゴリズム」の概要について説明します。

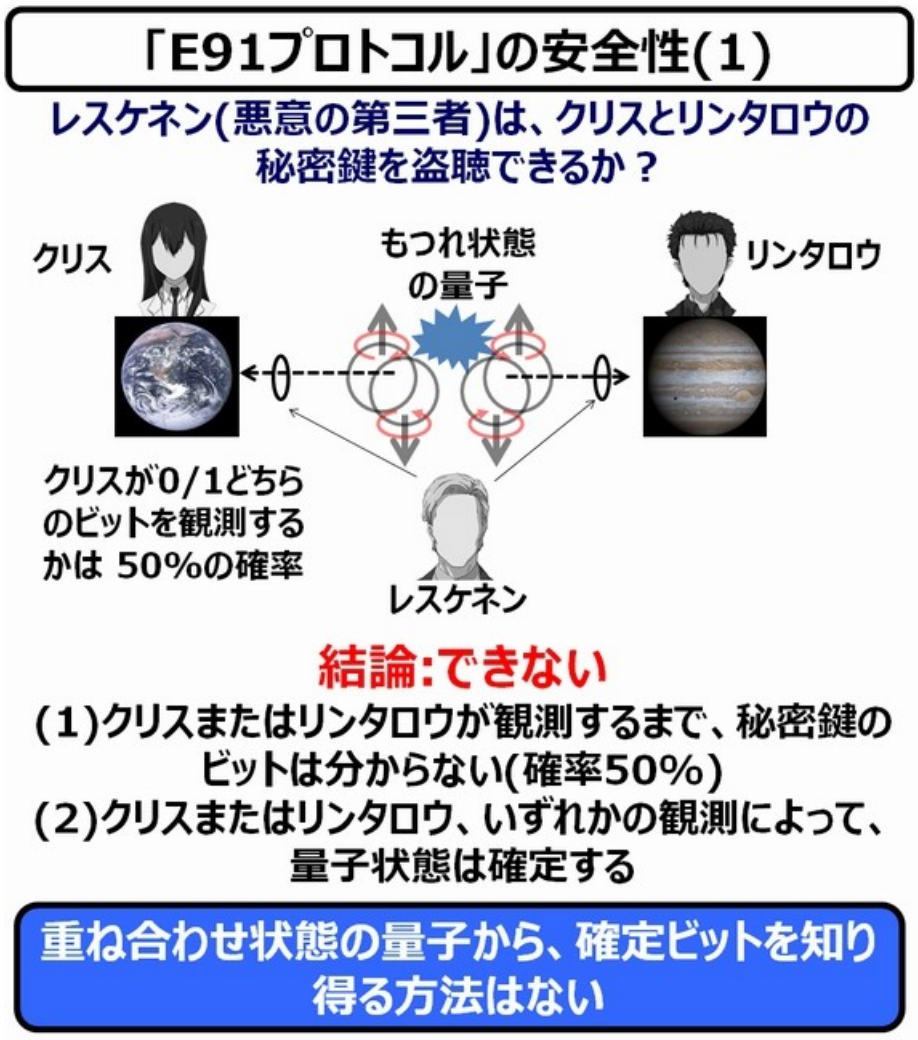
量子もつれ状態にある量子のペアを大量に発生して、その量子を分離して別々の場所に届け、それを確定したデジタル値の列を暗号鍵として使う、というものです。

暗号鍵を構成するデジタル値（ビット）は、通信する2人のいずれかが観測することで確定します ―― 秘密鍵の内容を誰も（量子の送信者も）知らないし、誰も決定できない、という点において、従来の秘密鍵の概念からはかけ離れています。



地球と木星の中間地点で惑星として軌道している「量子もつれ発生装置」から発射された量子が、クリスまたはリンタロウのところに到着、観測された時に、0または1の値が決定し、いずれかが（上記の図では、リンタロウが）そのビット列の反転を、暗号鍵と使えば足ります。

しかし、この「E91プロトコル」は、本当に安全な秘密鍵の配送を実現しているでしょうか？ここに、悪意の第三者（レスケネン教授）を登場させて考えてみます。



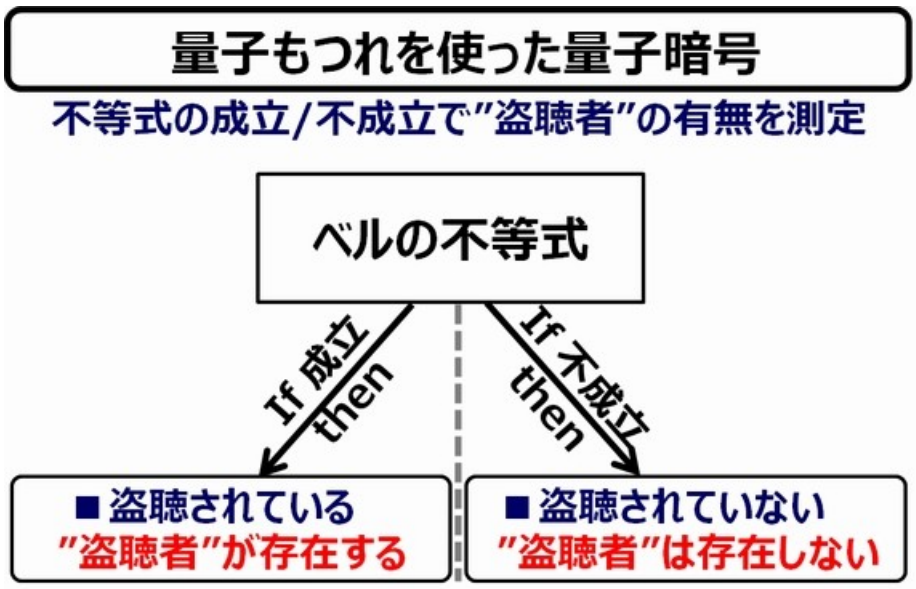
まず、レスケネン教授は、空中を飛んでいる量子の軌跡を発見したとします。しかし、レスケネン教授は、量子状態である量子から、クリスまたはリンタロウのところで確定するデジタル値（0/1）を知る手段がありません。その状態にある量子は、確率50%でいずれの値にもなりえるからです。

しかし、レスケネン教授が、空中を飛んでいる量子を把握して、この状態をあえて確定してしまい、その確定後の情報を、クリスとリンタロウの両方に送ってしまえばどうでしょうか。レスケネン教授は、暗号鍵の情報を100%知っていることになるので、クリスとリンタロウの通信は、レスケネン教授には筒抜けになります。

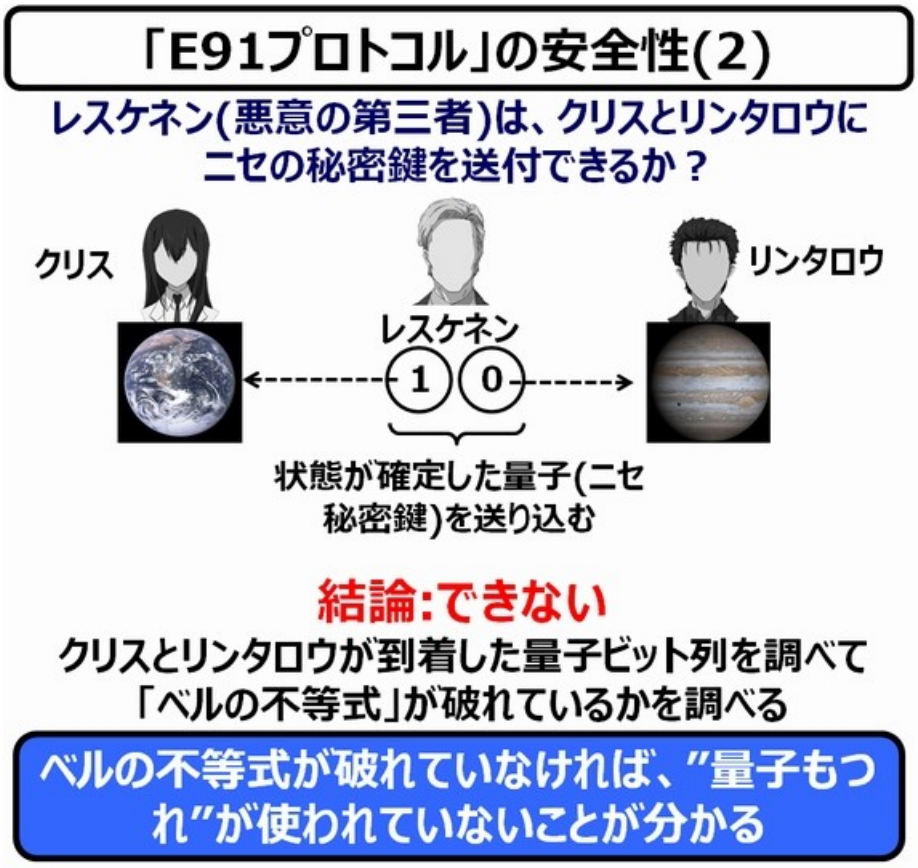
しかし、これもできないのです。

前回の「ベルの不等式」をもう一度見てみましょう。このベルの不等式が「破れている」ことが、各種の実験で確認されたことによって、アインシュタインさんの主張が退けられ、ボーアさんの確率に基づく量子論の正しさが証明されました（「神はサイコロを振りまくっている」by江端）。

さて、この考え方を、E91プロトコルに当てはめると、こんな感じになるはずです。

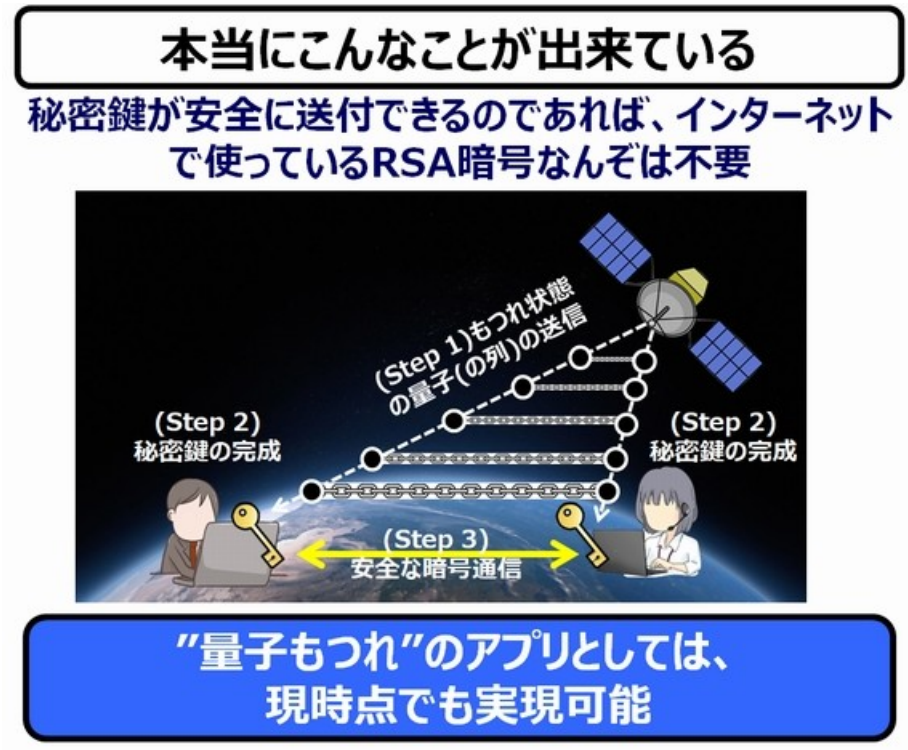


つまり、クリスとリンタロウが、ベルの不等式の計算を行い（もちろん秘密鍵の情報は使わず、観測機の干渉チャネル情報を使い）、不等式が成立していれば、盗聴者（レスケネン教授）が存在したとして、その鍵を捨ててしまいます。ベルの不等式が破れることが確認できるまで（盗聴者が諦めるまで）、鍵を捨て続ければ良いのです。



かなり詳細を端折った説明になってしまいましたが、つまるところ、**量子もつれを使った秘密鍵の配送は、盗聴ができず、「なりすまし」をしても、それがかならずバレてしまう**ということです。

実際に、人工衛星を使った、量子もつれによって生成した量子を配布して、秘密鍵を生成する実験が成功しています。



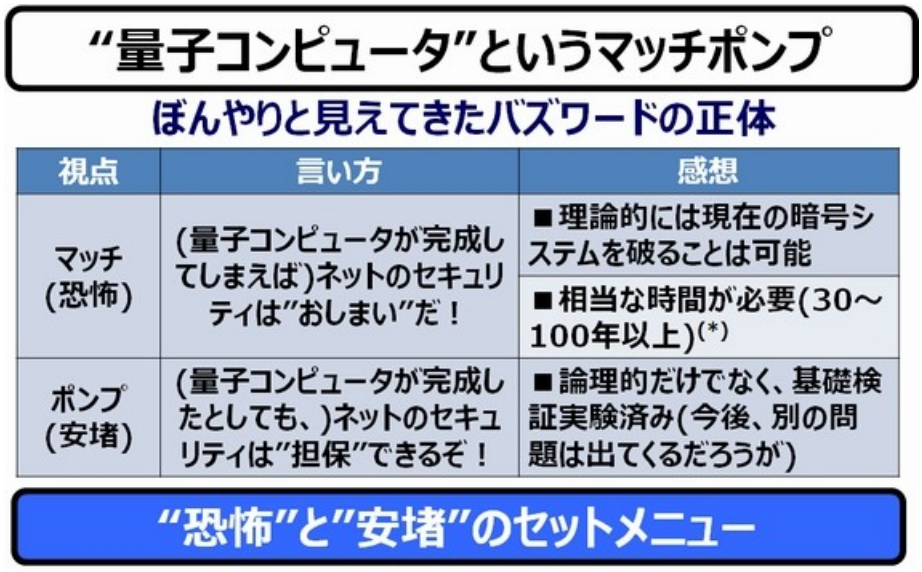
この実験は、2017年6月、中国がオーストリアと北京（Googleマップで約8000km）の2箇所に秘密鍵（800kバイト）を行ったという実験（実験衛星「墨子号」）が有名です（参考［外部サイトに移動します］）が、（あまり知られていませんが）我

が国においても、その一年前に、1箇所への光子の送信に成功しています（関連記事：「NICT、超小型衛星で量子通信の実証実験に成功」）。

別に人工衛星を使わなくても、光ファイバーを使った光子通信でも可能であり、現時点においても実現可能な技術となっています（RSA暗号は、まだまだ使えますので、無理して量子暗号を使う必要はないと思いますが）。

［Tさんツッコミ！］光ファイバーを使った通信は、通信距離に課題があり、数100キロ以上は中継機がないと通信できません。量子情報を扱う量子中継器は現在研究段階です。

と、ここまでで量子暗号の概要についてお話しましたが、これを調べている最中、私は、量子コンピュータは、量子暗号とセットになって、**結構エゲツないマッチポンプになっている**ことに気が付きました。



つまり、**量子コンピュータは、未来のインターネット社会の崩壊をもたらす悪魔の装置であり、しかし、その崩壊を量子暗号が救う、というストーリー**です。キーワードは、いずれも「量子」です。

どうやら、量子物理／化学の中でも、特に計算や通信へのアプリケーション「**量子IT**」への投資（技術だけではなく、基礎教育も）を怠る国は、**量子ITの先進国の食い物にされる** ―― ようです。

実際、今回のコロナ禍によって、**我が国が相当なIT後進国である**ことが、定量的に明らかにされてしまいました。そもそも、我が国が未だに「技術大国」であるなどと、真面目に信じているエンジニアは存在しませんし（もしいたら、そいつは単なるバカ）、「デジタル庁」なる省庁の創設構想で、我が国の国民のITリテラシーの低さを、国内外に公に認めたことになっています。

相変わらず、投稿掲示板の書き込みで身元が割れないと信じているバカが、連日のように逮捕されていますし、我が国の中小企業（の社長クラス）の多くが、リモートワーク環境を導入できない（**SkypeやZoomのインストール程度のことすらもできない**）という事実に、私は慄然（りつぜん）としています。

「量子IT」は、インターネットの仕組みが「子どものおもちゃ」に見えるくらいの、絶望的な難しさです。ですから、量子論の理解を、国民に強いることはできませんが、「量子IT」の概要と効果（このコラムで記載している程度の内容）を理解できる程度にはなっておかないと ―― **我が国は「食われる側」に転落する**。

まあ、そういう未来も、私たちの選択肢の一つではあるとは思いますが ―― これまでずっと我が国が侮っていた近所の国から、**「引きずり降ろされ」て、逆に「侮られる」ようになる**、というプロセスは、かなり辛いものです。私たちエンジニアは、かなり以前（バブル崩壊後くらい）から、これを思い知らされ、そのツラさを骨身にしみて感じてきたのです。

閑話休題。

ひねくれエンジニアも震えた「2次元クラスター量子もつれ」

しかし、ここまでお話してきた「量子もつれ」のアプリケーションは、電子顕微鏡であったり、イメージング装置であったり、通信方式の話です。これらは、量子コンピュータのハードウェアやソフトウェアに直接関わる話ではありません。

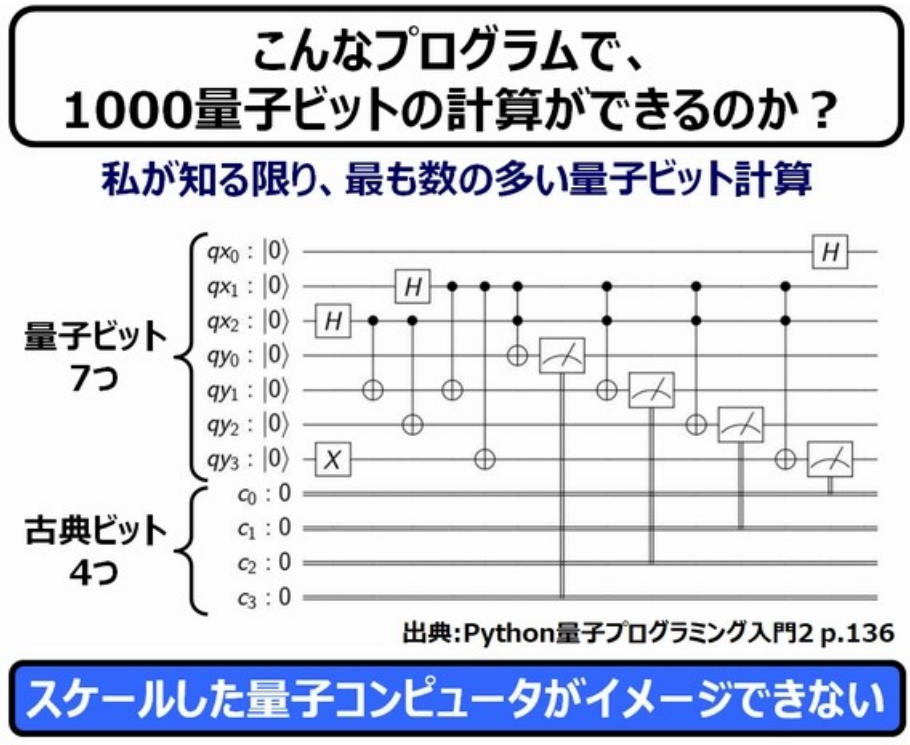
もちろん、量子コンピュータのHゲートとCNOTゲートによって「量子もつれ」を作れることによって、これらの量子を製造することができるようになるのは事実ですが、私は「量子もつれ」が、量子コンピュータの機能となっているものを知りたかったのです。

では、ここから、本シリーズ最終回にふさわしい、**私のような、ひねくれたボッチのエンジニアを震撼せしめた**、量子コンピュータの至高の技術 ーー「**2次元クラスター量子もつれ**」の江端風の解説を始めたいと思います。

さて、量子コンピュータの本を読めば、誰であっても以下のような図を見ることになると思います。実はこれ、量子コンピュータのプログラムです。

以下のC言語のプログラムと同じようなものです。

```
#include <stdio.h>
int main（）
{
   printf（“Hello world!”）;
   Return 0;
}
```



上図は、GUIイメージで記載されていますので、実際のプログラム（Python）は、こんな感じになります*)。

*）ビット計算をしているという意味では、右図のアセンブラプログラミング（1980年代の8ビットコンピュータZ80プログラムです）の方が近いかもしれません。

```
1 8000H:                    ORG  8000H
2
3 8000H:    3E13            LD   A,13H
4 8002H:    C628            ADD  A,28H
5 8004H:    76              HALT
6
7 8005H:                    END
```

```
from qiskit import *
from qiskit.tools.visualization import *  import math
bx = 3 #量子ビット数  by = 4 #量子ビット数  cn = 4 #古典的ビット数
qx = QuantumRegister（bx,'qx'）
qy = QuantumRegister（by,'qy'）
c = ClassicalRegister（cn,'c'）
qcx = QuantumCircuit（qx, c）
qcy = QuantumCircuit（qy, c）
qc = qcx + qcy
for i in range（bx）:
qc.h（qx[i]）  qc.x（qy[3]）
qc.cx（qx[2],qy[1]）
qc.cx（qx[2],qy[2]）
qc.cx（qx[1],qy[1]）
qc.cx（qx[1],qy[3]）
qc.ccx（qx[1],qx[2],qy[0]）
qc.ccx（qx[1],qx[2],qy[1]）
qc.ccx（qx[1],qx[2],qy[2]）
qc.ccx（qx[1],qx[2],qy[3]）
for i in range（by）:
qc.measure（qy[by-1-i], c[i]）
r = execute（qc, Aer.get_backend（'qasm_simulator'））.result（）
rc = r.get_counts（）
print（rc）
plot_histogram（rc）
circuit_drawer（qc）
```

上記のpythonプログラムは、私が教本の中で見つけた、最も複雑なプログラムですが、それでも対象としているのは、たかだか"7ビット"です（ちなみに、コンピュータで1文字の英数を表現するには、最低でも8ビット必要です）。

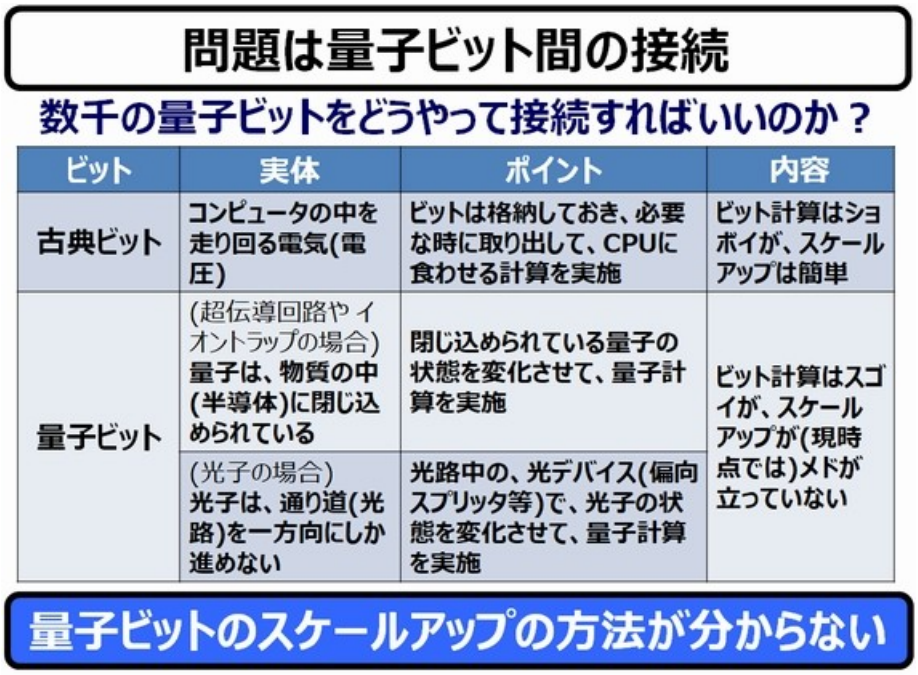
ですから、こういう言い方は、かなり卑怯（ひきょう）ではあるのですが ―― この7つの量子ビットと、4つの古典ビットを操作するだけの量子プログラムは、1文字すら表現できないショボイプログラムとも言えるのです*）。

*）量子ビットは、古典ビットと全く違う性質（量子重ね合わせ）があるので、この言い方は全く不当です。

（NISQではない）量子コンピュータを、まともに使うのであれば、6000量子ビットが必要と言われているのに ―― たかだか数十ビットの量子コンピュータのハードウェアと、ビット単位でしか操作できないプログラミングでは、全くお話になりません。

まあ、プログラムのコンパイラの方は、正直全然心配していません（私でもコンパイラの作成方法はイメージできます）が、**量子コンピュータの量子ビット数のスケールアップは、絶対に避けられない問題**です。

特に問題は、量子ビットの取り扱いです。古典ビットと量子ビットは、その取り扱い方法が違う ―― というか、はっきり言えば、私には「真逆」に見えるほどです。



　簡単に言えば、量子ビット（0猫／1猫）には、その場所からピクリとも動かない（超伝導回路、イオントラップ）、または、動くけどそのコースが固定されていて、それ以外のコースから外れることができない（光路）、という、面倒くさい制約があるのです。

　量子ビットが動かせない、または、量子のコース動かせないなら、夥しい数の量子ビット間の結線、または、コースを作らなければなりませんが、これは想像を絶するスケールとなります*）。

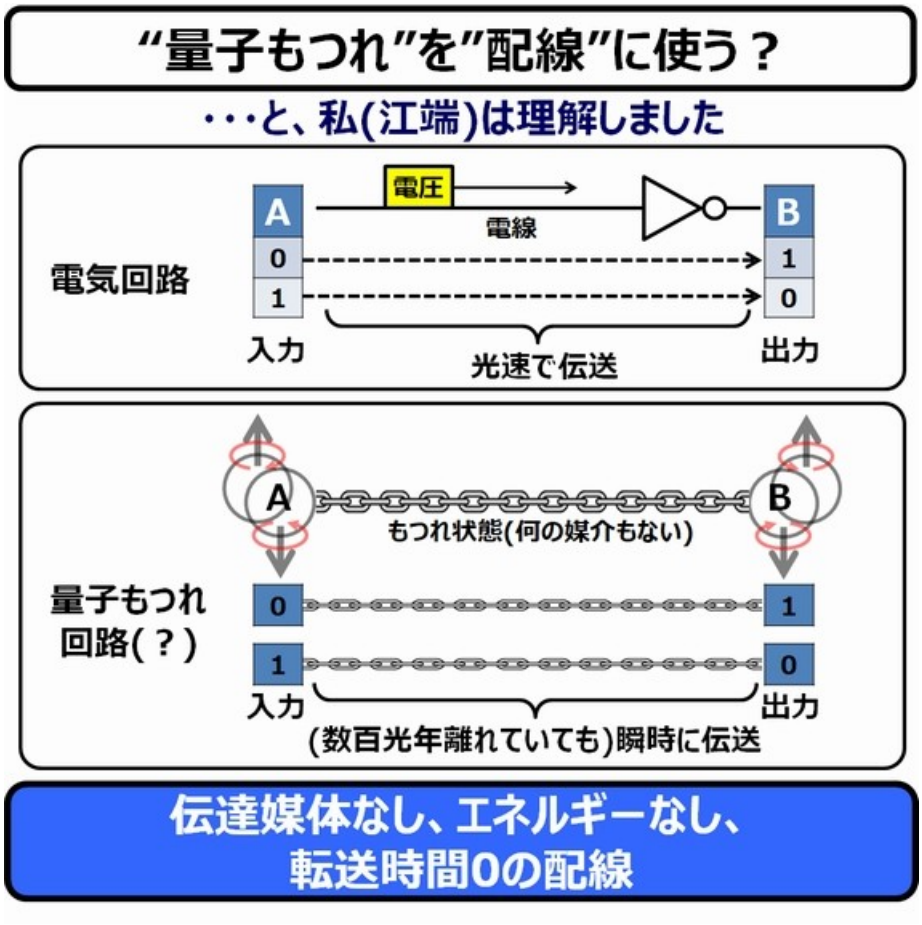
*）「1量子ビットを制御してみよう」で、51量子ビット（IBM 2017年11月）の計算機を作るのに、仮に1光路の重量を”1グラム”としても、2兆キログラム（322億人分の体重）が必要になる、という話をしました。

　この話が、ここで冒頭の、『**あーー！　そういうことかーーー!!**』の話につながります（プレスリリース）。

　つまり、

―― 「量子もつれ」を、「配線」に使う

です。



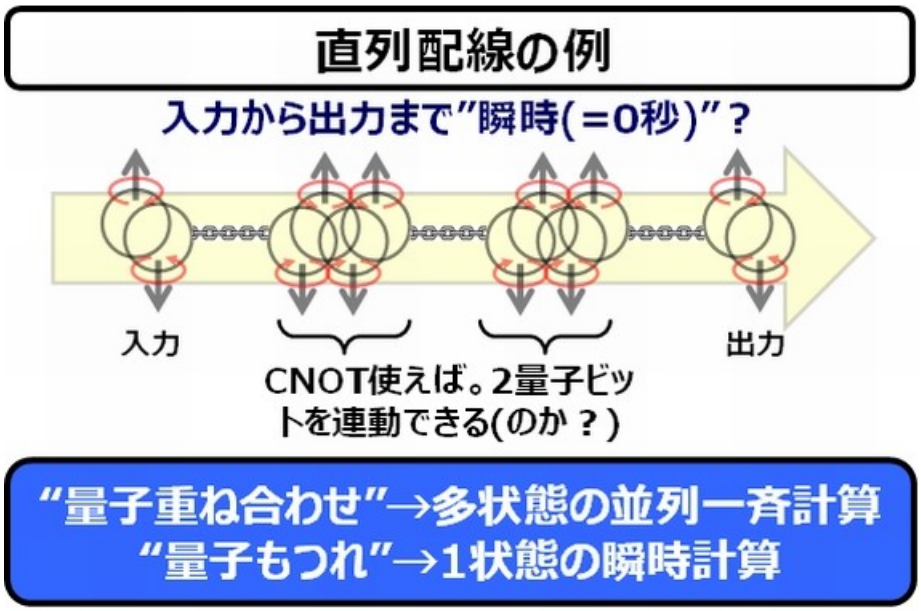
量子もつれとは、2つのペアとなっている量子がもつれている（連携している）状態です。

一方の状態が確定すれば、他方の量子が、宇宙のかなたにあったとしても、（光速を無視して）瞬時に伝搬します。そして、当然ながら、その量子の間に、何があろうとも（物質はもちろん、電磁波や、重力、そしてブラックホールがあろうとも）、まったく無関係につながっているのです。

―― 伝達媒体なし、エネルギーなし、転送時間0の配線

の実現です。

以下の図は、これを私なりに理解して、ブレークダウンしてみた図です（詳細は間違っている（CNOTを使っている等）と思いますので、専門家の方のご指摘をお待ちします）。

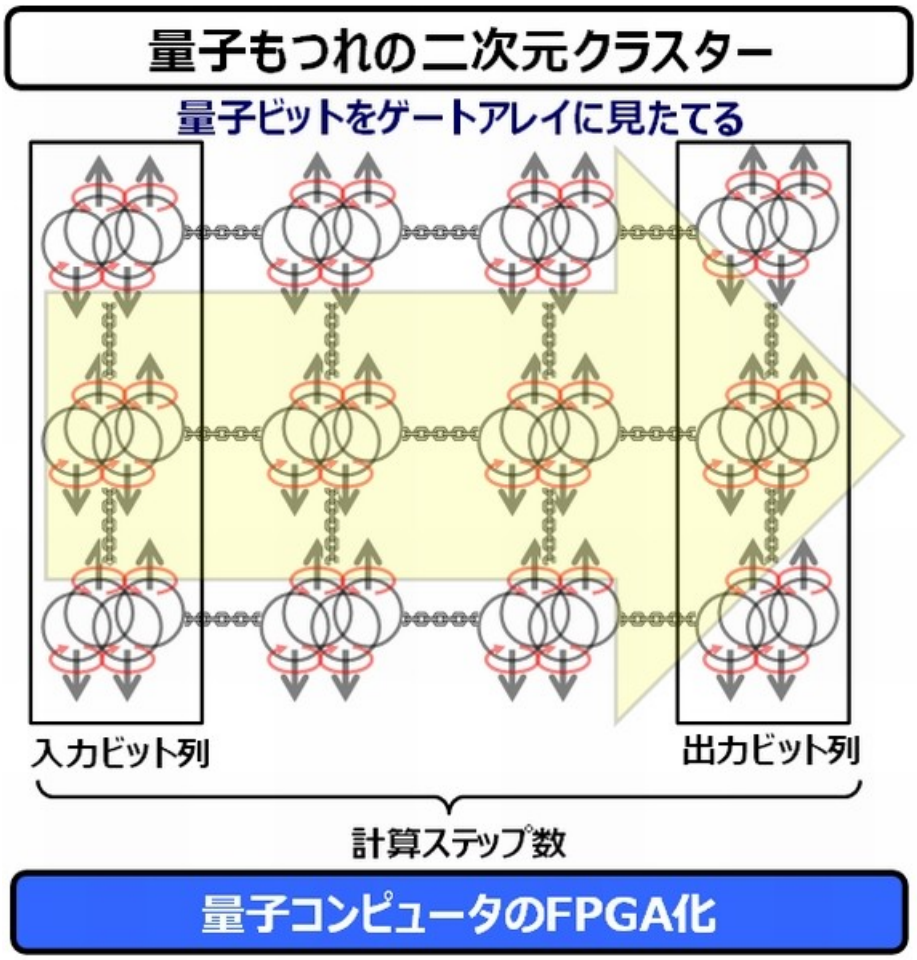


「入力」と同時に「出力結果」が分かってしまうコンピュータって、どの世界線の魔法だよ、と思いました。

[Tさんツッコミ!] クラスター状態を使った量子計算（測定型量子計算）は、大規模なクラスター量子もつれを準備した上で、量子ビット測定→測定結果から次の測定方法を計算→量子ビット測定→・・・を逐次的に繰り返す必要があるので、一瞬で計算が終わるわけではありません。

もっとも、これも詳細に詰めてみれば、技術的課題は山積になるとは思いますが、取りあえず、現時点で、この可能性を完全に否定できる要因はありません ーー だって、「量子もつれ」は、もはや簡単に作り出すことができて、実際に実用化（量子暗号）もされているのですから。

さて、このニュースリリースでは、この量子もつれの「2次元クラスター状態」の作成にも成功しています。



これが持つ意味は何かと言われれば『**量子コンピュータのFPGA化**＊)』です。

＊）念のため……。Field Programmable Gate Arrayとは、直訳すれば「現場で構成可能な回路アレイ」のことで、自分が欲しいICやLSI（×プログラム）を、さくっと作ることができるデバイスです。普通にLSIを設計、増産すると億単位のお金が必要となりますが、FPGAなら1個200円くらいから入手可能です。

- 量子コンピュータを「プログラム」ではなく、量子コンピュータの「回路そのものを変更」してしまう ーー
- そして、量子間の結線は、「量子もつれ」に押しつける ーー

多量子ビット問題、結線問題、など、私の気持ちを暗くさせてきた、量子コンピュータのスケーラブル問題が、（理論上は）これで解決可能です。

いや、それどころか、量子もつれを使えば、FPGAのような集積化すら不要です。地球と木星でバラバラに回路を作っても、それを瞬時連動させることも（理論的には）可能なはずです。

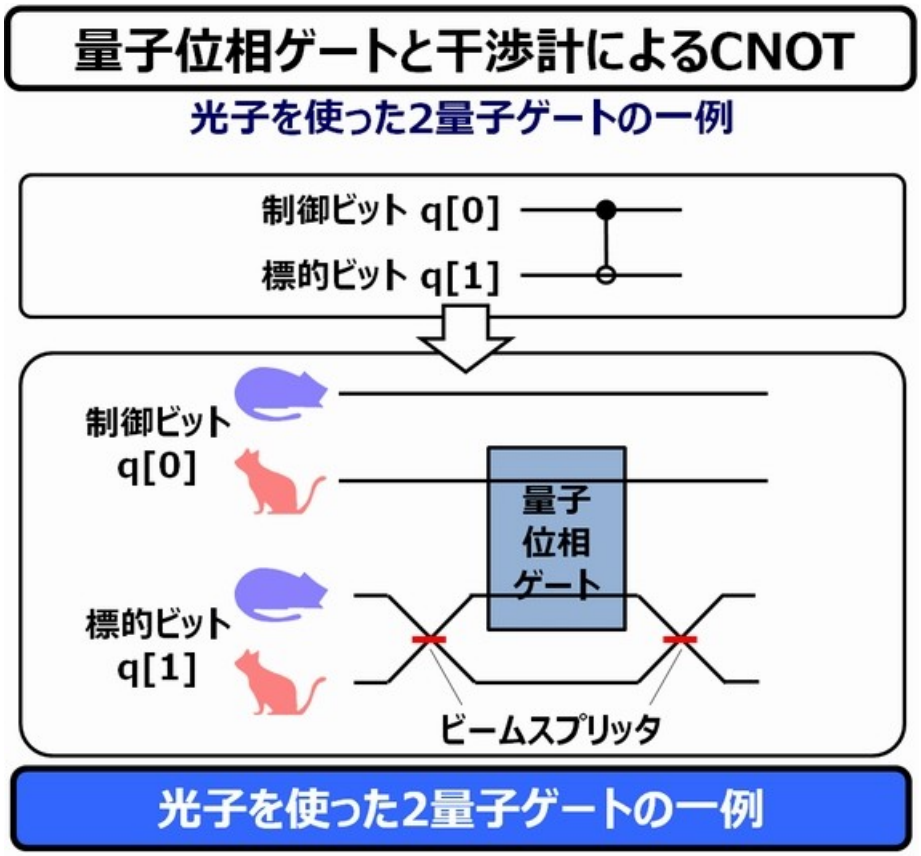
光の速度を無視して構わない、宇宙レベルの超広域超分散コンピューティング ーー そんな話、私は、SFですら読んだことがありません（単に、私が読んでいないだけかもしれませんが）＊)。

＊）「コヒーレンス時間は、どうするのだ」とか「観測のタイミング同期を、どうするのだ」というツッコミは、”今は忘れる”の方向で（**私は今、気分がいいのです**）。

で、このニュースリリースを、もっと読み込むと、さらにすごいことが書いてありました ーー 名付けて「量子もつれの大量製造装置」です。

［Tさんツッコミ！］（江端さんは盛り上がっているようですが）このニュースリリースを持ち上げてしまうと、江端さん自身が「バズワード発生装置」になってしまうので十分ご注意ください。実際、このニュースリリースの方法も、他方式と同様にまだまだ、課題山積みの方式です。

この話をする前に、ちょっと光子を使った量子もつれの製造方法を簡単に説明します。



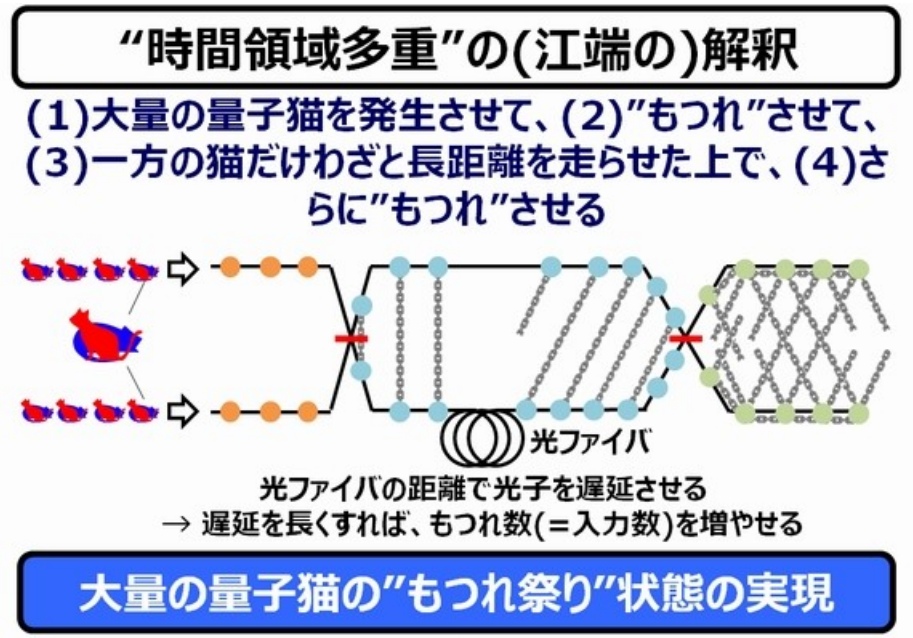
上図は、光子を使ったCNOTゲートの作り方の概要図になります。この前段にHゲートをつっこめば、光子を使った「量子もつれ」の製造が可能となります。

[Tさんツッコミ!] このニュースリリースの量子計算の方式は、単一の「光子」を使った方式ではなく、「光子」の重ね合わせ状態である「特殊な光の量子状態（スクイーズド状態）」を使った方式なので、「光の量子状態を使った量子もつれ生成の一例」と説明するのが良いと思います。

ところが、このような回路を普通に使った場合、光子の対が1個製造できるだけのもので、あくまで実験レベルの話です。

しかし、このニュースリリースの中で登場する「時間領域多重」というのは、簡単にいえば、光を単位時間ごとにぶった切って、それを量子の単位として、連続してぶっ放し続ける ―― 量子計算の繰り返しを実現する、というものです。

古典コンピュータで言うところの、クロックパルスのようなもの（？）ですが、単に、「光を連続的に遮断する」のではなく、スクイードな光 ―― 量子ゆらぎがコントロールされた光の波の束（波束）を作り出しているという点で、単なるパルス光とは異なります。



で、そこからの発想がすごい。まず、このスクイード光源から発射された量子（~~光子~~）をもつれ状態にした後、その一方だけを光ファイバーを使って、わざと遅延到着させます。

[Tさんツッコミ!] 上記で説明した通り「光子」ではありません。

しかし、量子もつれは、状態を確定させない限り、宇宙のかなたでもつながっていますので、光ファイバーによる遅延ごときでは「もつれ」は切れません。

さらにここからの発想が、もっとすごい。この遅延していない量子と遅延している量子を、さらにもう一度「もつれ」させます。「もつれ」の「もつれ」が発生して、もう、**「もつれ祭り」状態**です。

こうして、もつれを続けることによって、ある量子を突つけば（観測すれば）、その観測が、複数の量子にゼロ時間で伝搬する、「配線レスの量子回路」が完成することになります。

もっとも、この研究の内容を見る限り、現時点では、FPGAのように自由な量子回路を自由自在に作り出せる訳ではないでしょう。また、他の量子デバイス（超伝導半導体やら、イオントラップ等）で同じ仕組みが作れる訳でもないでしょうが ーー とりあえず、ベルトコンベア的な「量子もつれ」を使った量子回路の製造方式には目処が立ったと思います。

ーー エンジニアとしての私は、”1億倍”やら”1万年”なんぞより、”モノ作りのプロセスを具体的にイメージできる”ということの方が、はるかに”萌える”のです*）。

*）このあたりが、数学者や、基礎研究者と、モノ作りエンジニアとの違いだと思います。

量子コンピュータの連載の開始から、調べるたびに気分が陰鬱になっていた私は、この最終回で、ようやく、顔を上げることができる希望 ーー 量子コンピュータの未来を信じるに足る「技術」を知るに至ったのです。

[Tさんツッコミ!] 江端さん、**盛り上がっているところ大変恐縮です**が、量子コンピュータオタクの私としては、この技術について"も"、「**江端さんの現時点の量子コンピュータの所感をひっくり返すに足る技術かどうか** 」は、もう少し時間をかけた詳細な再調査を、強くお勧めしたいです。ニュースリリースの記載内容に対する、**江端さんご自身のコメント**（例:「バラ色の未来の話がやたら多くて困る」等）も思い出してください。

量子コンピュータを「使って」みよう

「量子コンピュータは、おおむね理解している」などと言っている奴は、まあ、うそつきか、矯正不能のバカであると認定して構いません ーー だって「量子コンピュータ」は、まだ、この世の中に完成形として存在していないのですから。

一方、私たちエンジニア（特にITエンジニア／IT研究者）は、量子コンピュータについて「全く知らない」と正直に白状することも、それはそれで、（キャリア的に）問題です。少なくとも、「量子IT」という観点で見れば、「量子暗号」などは、10年以内のスコープに入る可能性は高いからです。

ならば、私たちITエンジニア／IT研究者に限って言えば、「量子コンピュータ」について、**他人に対して、知っているようにだまし、また、自分自身に対してすら、知っているとだます**必要があります。

とは言え、今更、シュレディンガー方程式や、不確定性原理、ベルの不等式や、ラビ振動について勉強しろ、などというムチャなことは言いません。量子論については、むしろ「手を出さないこと」をお勧めしたいくらいです（下手すると精神を病みます）。

そこで提案です。

「量子コンピュータのシミュレーターを使ってみたことがある」「IBMの量子コンピュータを使ってみたことがある」を **たった一度だけで良い**ので、試みてみて、量子コンピュータについて「**全く知らないわけではない**」という「言い訳」を作ってみるのはいかがでしょうか。

ではまず、「量子コンピュータのシミュレーターを使ってみたことがある」の言い訳の作り方から始めてみたいと思います。

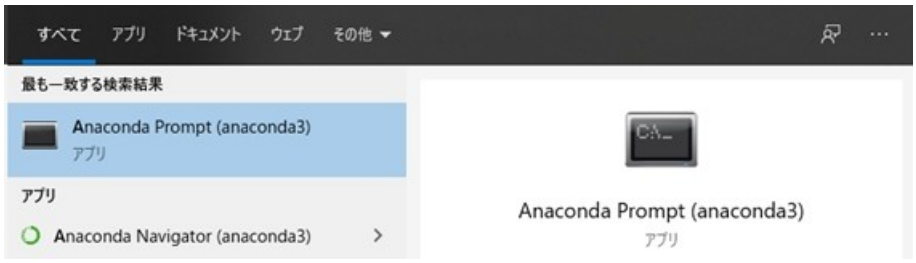
Qiskitというのは、量子コンピュータ用のシミュレーターです。「もし、この量子コンピュータが、このパソコンの中にインストールされていたら、こういう風に動くはず」を模擬してくれるものです（量子コンピュータがPCにインストールされる訳ではありません（当たり前））（参照：Wikipedia）。

以下に、私の使っているPC、Windows10 Boxで、私が動かした通りの内容を記載していきます。

［Step 1］AnacondaとJupyter notebookのインストール

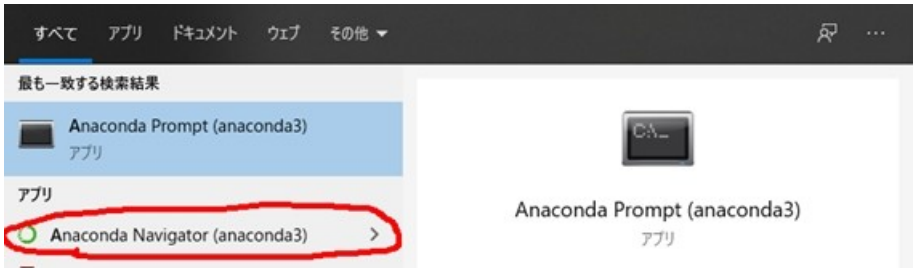
https://www.anaconda.com/download/ とhttp://jupyter.org/ から、それぞれインストールします。

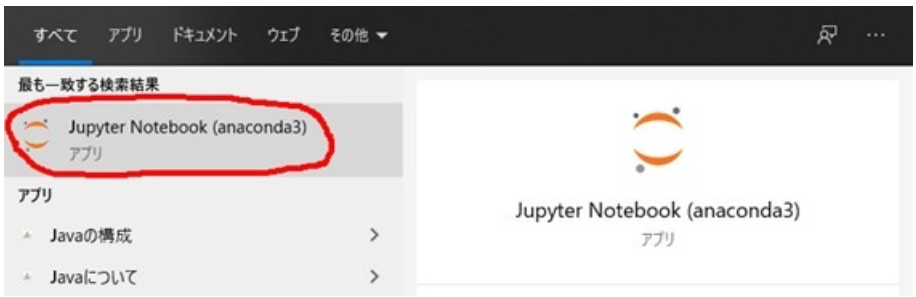
［Step 2］Anaconda Prompt（anaconda3）を起動し、qiskitをインストール



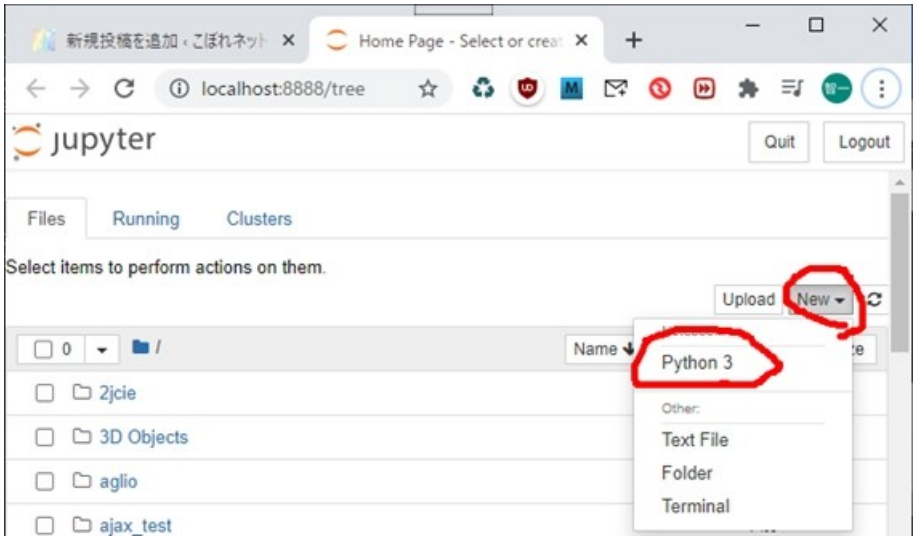
>**conda list**でqiskitがインストールされているか、確認できます。

［Step 3］Anaconda Nabigation（anaconda3）と、Juypyter Notebook（anaconda3）を起動

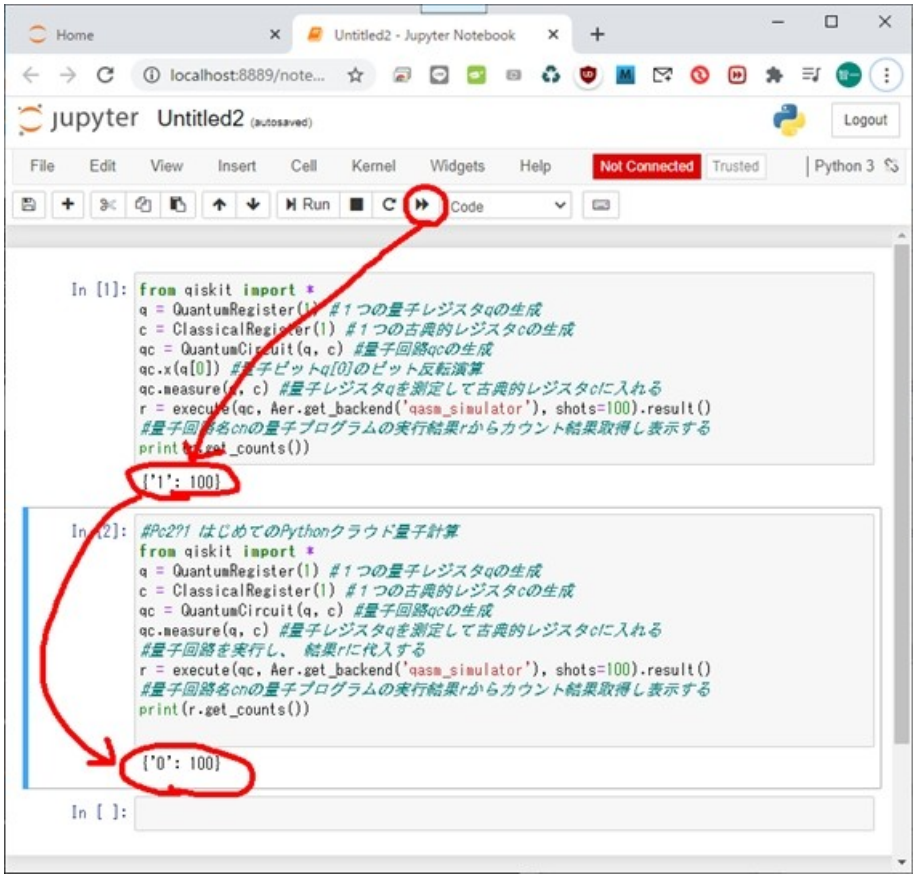




［Step 4］python3を選択



［Step 5］プログラムを打ち込んで計算



上記のプログラムは、qc.x(q[0])の、量子ビットq[0]の反転の有無だけの違いがあるだけの、単純なプログラムです。上のプログラムでは、100回の中100回、確定（デジタル）値が”1”となっており、下のプログラムでは、”0”になっています。

これで「量子コンピュータ用のシミュレーターQiskitを使ったことがある」と主張してもうそにはなりません。これで、当初の目的は達成されます。

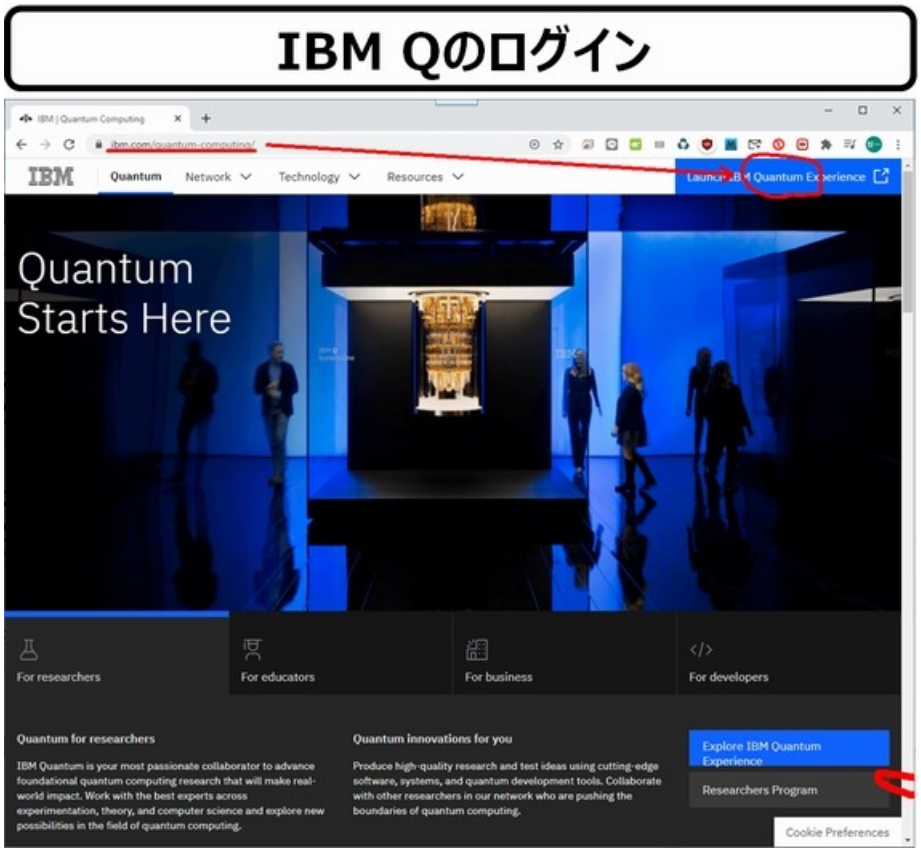
ちなみに、このPythonプログミングについては、書籍を購入したり、ネットで検索したりすれば、簡単にいくつかみつかりますので、興味のある方は調べてみてください。

「IBM Q」を使ってみよう

では、次は本命、「IBMの量子コンピュータ、「IBM Q」を実際に動かしてみたことがある」の言い訳の作り方を説明しま

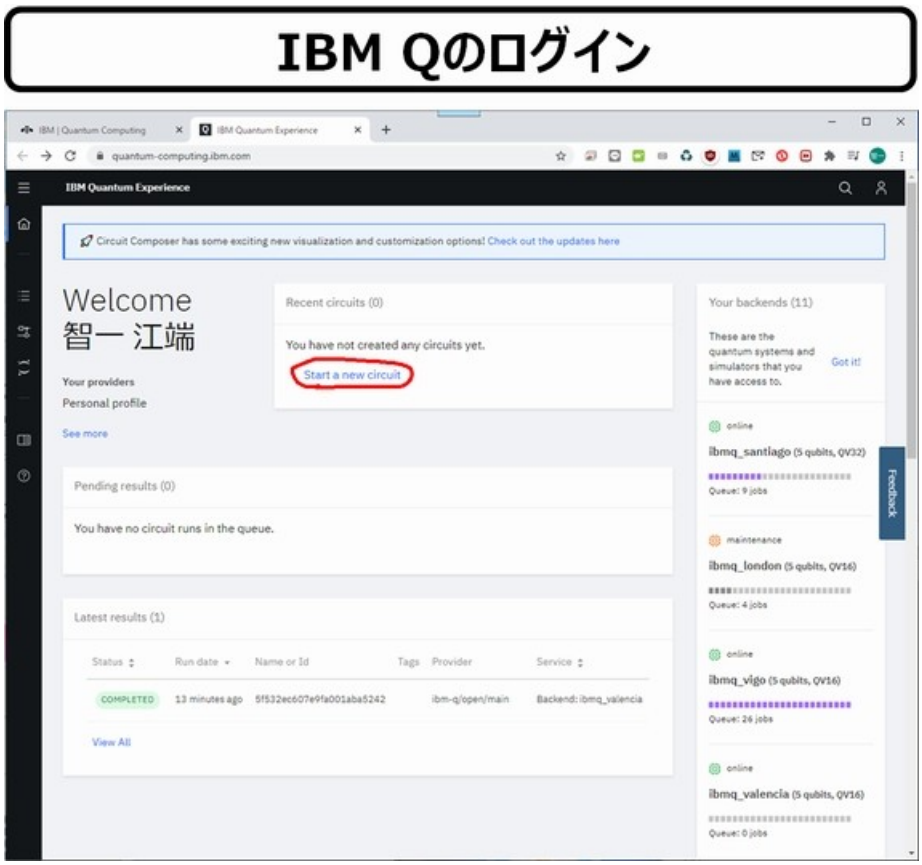
す。せっかくですので、「IBM Q」で「量子もつれ」を作ってみましょう。

［Step 1］IBM Qのサイトにログイン



（私の場合、せっかくつくったIBMのアカウントでログインできなかったので、Googleのアカウントからログインしました。）

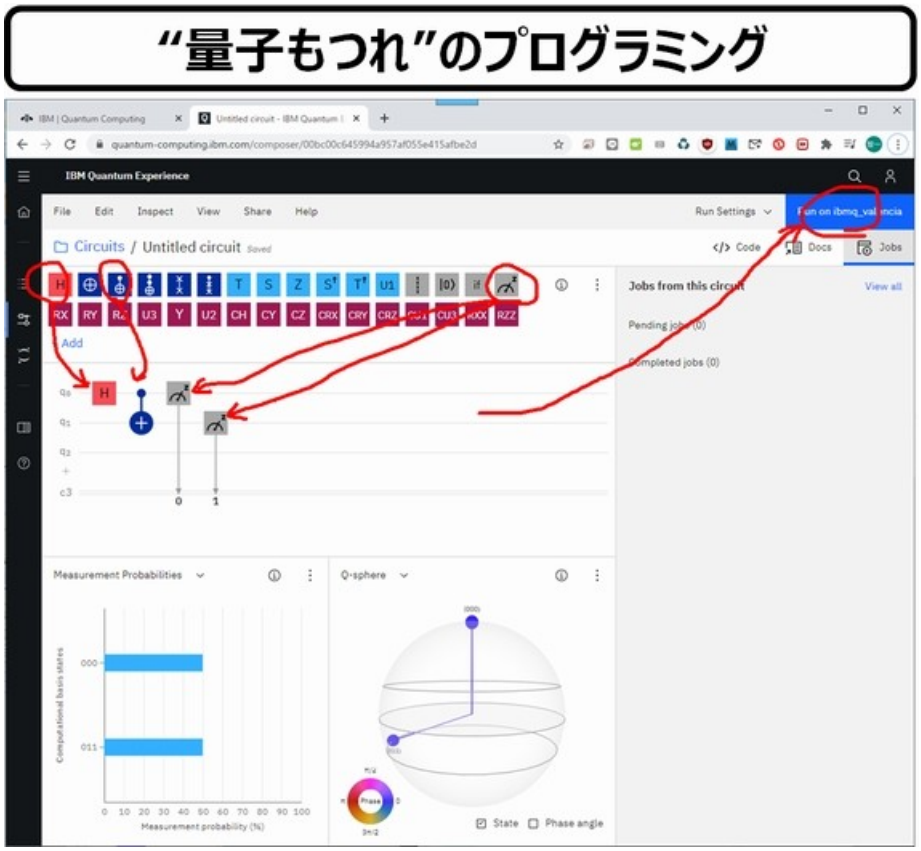
［Step 2］“Start a new circuit”をクリック



ちなみに、画面右側に見えているリストが、IBMが提供している量子コンピュータの一覧です。現在、街行列入っているジョブ数なども見えます。

［Step 3］量子プログラミングをGUIで作成

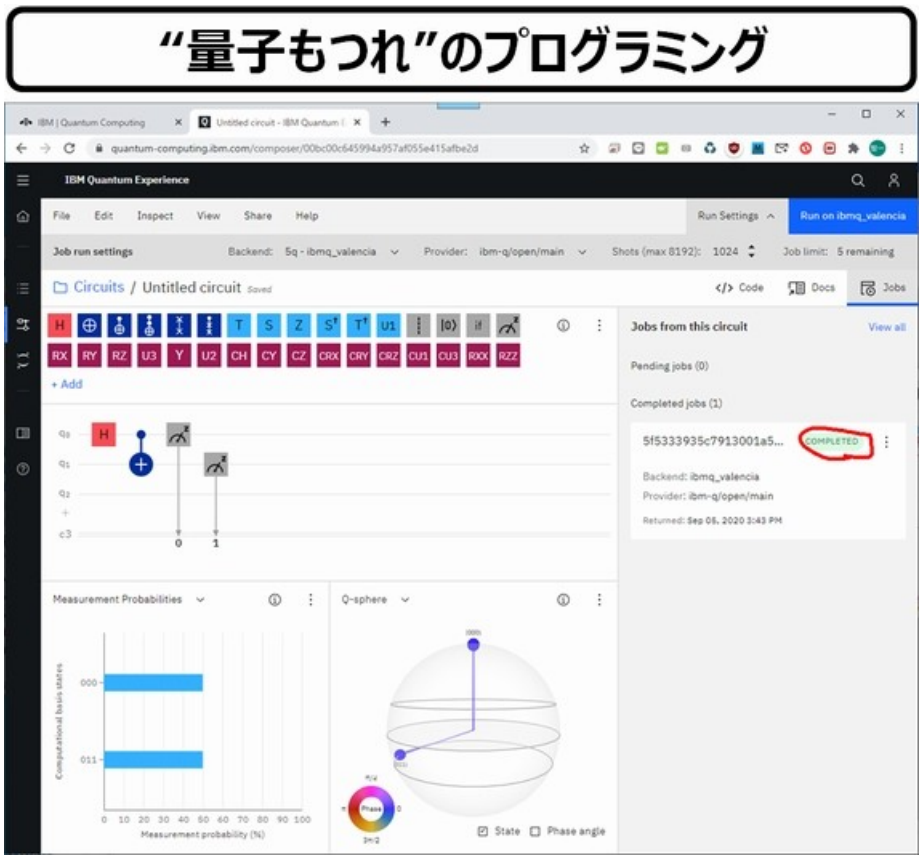
ここでは3量子ビットの量子コンピュータ を選んでいますが、2量子ビットだけ使えれば十分なので、このままでも構いません。



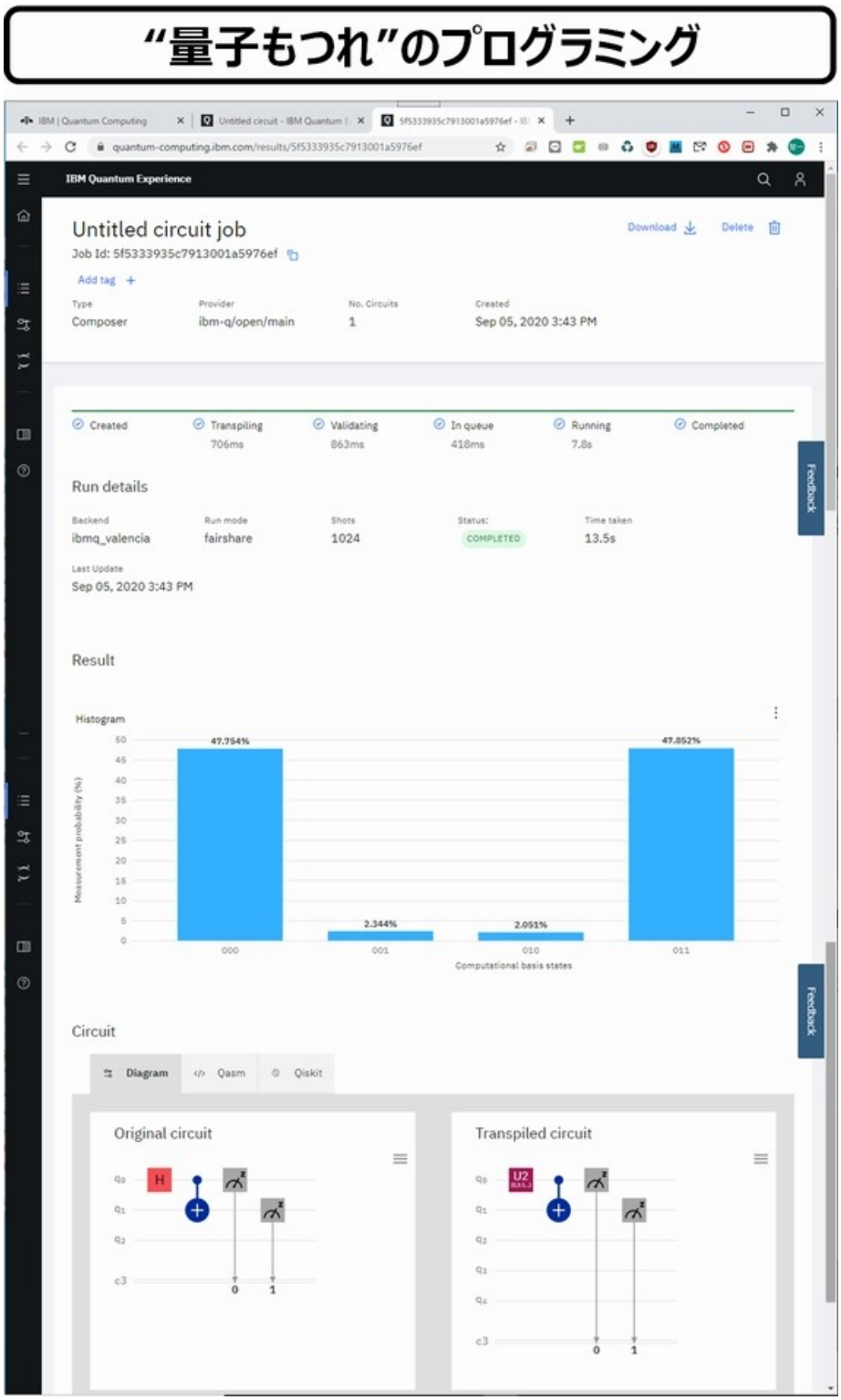
図に示すように、HゲートとCNOTゲートを組み混んで、計算後に、それぞれのビットを観測するようにしてください。

［Step 4］計算結果を確認

ジョブの計算が終われば、”COMPLETED”が表示されるので、これをクリックします。



クリックすると、計算結果が出力されます。



試行回数1024回で、“00”と”11”が、おおむね50%で表れていますので、予想通りの計算結果になっています。しかし、論理上、出るはずのない”01”も”10”も出てきています。これが量子コンピュータの特性の一つです。確率論に基づく量子計算では、この計算結果も正しいのです（なので、1024回も計算を繰り返すことになります）。

[Tさんツッコミ！] 江端さん、これは明らかな間違いです。理論上でてきてはいけない状態は、確率的にも出てきてはいけません。ですから、これはただのノイズ（実機の不完全性）です。

今回、「量子もつれ」を作ってみたので、0量子ビットまたは1量子ビットの一方を確定（観測）すれば、他方も確定するはずですが、当然ながら、IBM Qで、そういう検証はできません（答えが出力されている段階で、観測は完了している訳ですか

ら）。

ところで、この計算結果が「本当にIBMの量子コンピュータを使って計算したものか」は、私は知りようがありません。もしかしたら、私のジョブは、IBMのサイトの中のシミュレーター（Qiskit）で計算されて、その結果が戻されただけかもしれません（悪意のある邪推）。


「IBM Q」 画像：IBM

だとしても ―― あなたは、**「量子コンピュータ “IBM Q”を使って計算をやってみた」と、堂々と主張していいのです**。IBMのポータルサイトからアクセスして使ってみたという事実があれば十分です。

そして、それを主張する際には、上記の「計算結果の誤差」の話や、あるいは「量子もつれの現象までは確認しようがなかった」だのと、テキトーに散りばめることで、話の信ぴょう性を高めることができます。

こうして、あなたの部署で、あなたが「**量子コンピュータ マスター**」の称号を得られることは間違いありません。

大丈夫です ―― エンジニアや研究者（量子コンピューアの研究開発をしている人間を含めて）を含めて、現時点において、**量子コンピュータの完成形を知っている人間など、この地球上にただ一人として存在していないのですから** 。

では、今回の内容をまとめます。

【1】本連載「踊るバズワード ～Behind the Buzzword」の量子コンピュータの最終回です。**ええ、もう、最終回といったら最終回**です。量子論という異世界生活の非常識の理解を説明にほとほと疲れ果て、最終回としないと、もう私（江端）のHP（ヒットポイント）とMP（マジックポイント）が尽きてしまうと判断したからです。

【2】「世間が、実用可能な量子コンピュータが存在しているかのように錯覚している理由 」について考察してみました。これは、量子コンピュータを理解せずに記事を量産する自称テクニカルライターだけではなく、本屋に並べられている「**量子コンピュータの本のタイトル**」にも原因があるのではないかという仮説を展開しました。また、最終回ということで、私が今回の量子コンピュータの勉強で使わせて頂いた資料やサービスをご紹介しました。この中でも**”YouTube”が突出して優れていた**ことを説明しました。

【3】量子コンピュータが実現する計算の一つである「量子もつれ」について、そのアプリケーションを探してみたところ、あまりかんばしい結果が得られなかったことを説明しました。その中でも特に、「量子テレポーテーション」についての**世間の壮大な誤解**（瞬間移動だの、瞬間情報伝達だの）を解消し、正しい「量子テレポーテーション」（量子状態の移動）の説明を試みました。

【4】「量子もつれ」について、**現時点で既に実用化のメドが立っている「量子暗号」**についてE91プロトコルを例に、その概要を説明しました。併せて、量子コンピュータと量子暗号通信が、マッチポンプの関係にあり、量子コンピュータの研究開発を進めないと、我が国は**量子ITの先進国に「食われる側」に転落する**、という未来予測を行いました。

【5】現時点で、量子コンピュータの最大の問題点の一つである「量子ビットのスケーラビリティ（大規模化）」について、「**２次元クラスター量子もつれ**」の有する驚愕のポテンシャルを理解（？）した上で、その意義を、（1）量子コンピュータをプログラムではなく、**量子コンピュータの回路そのもの** を変更し、（2）**膨大な量子間の結線を「量子もつれ」で代替する**ことにある、という江端の独断に基づく解説を強行しました。

【6】量子コンピュータの完成形を誰も知らないこの世界にあって、「自分だけは知っている」と、**世界と自分をだます方法**として、量子コンピュータのシミュレーターQiskitと、実験用量子コンピュータ”IBM Q”を、**1回だけ試しに使ってみる**ことを提言し、その具体的な手順について説明しました。

以上です。

それはやがて「自分だけの本物」となる

私は連載の第1回で、連載予定のマイルストーンを書いていますが、蓋を開けてみれば、これらの予定が一つも守られていなかったことが、よく分かります。

私は、自分の興味が向くままに、さまざまに検討の素材を変えていき、猫、ブロッホ球、虚数、デバイス、絶対零度の作り方、と迷走を続けました。イオントラップから量子シミュレーターの話に至っては、もはや量子コンピュータとは何の関係もありません。

さらに前回の「量子もつれ」については、その**不気味さ**を長々と説明し続け、量子コンピュータに関する部分は、残りの2ページという ーー 量子コンピュータの解説コラムとしては、編集部が全文却下しても、文句は言えないコラムだったと思っています。

今回に至っても、最終的に量子コンピュータの話になんとか着地させている（「二次クラスター量子もつれ」の話）ものの、そこまでの話は、量子テレポーテーション、量子暗号は、ともに量子コンピュータとは直接関係はありません（とまでは言えないかな？）。

「関係がない」と言えば ーー この連載は、「バズワードに関わる関係者全員を糾弾する」が目的なので、量子コンピュータは、その「材料」であれば十分だったはずです。

何も、量子世界という異世界に踏みいって「魔法（=量子重ね合わせ）」や「呪い（=量子もつれ）」に発狂寸前になるまで付き合う必要はなかったのです*）。

*）実際にこの連載が始まってから、私のセルシン（精神安定剤）の摂取量が増えました。

ただ ーーー方で、こうも思うのです。

私は、興味のあることだけに興味を示し、その疑問を自分なりの答えで埋めていき、その結果、**残った空白**が、「世界中の誰のものでもない、私だけの量子世界/私だけの量子コンピュータ」になったのではないか ーー と。

非効率的で、場当たりで、本質的な部分を迂回し、稼働効率5%を切るような、バカげた勉強の仕方であっても ーー『（偏っていたとしても）自分なりの量子の世界を理解することはできた』、そして、『（ゆがんでいたとしても、間違っていたとしても）自分だけの量子コンピュータを（頭の中で）動かし始めることはできた』 ーー と思うのです。

ただ、そのためには**残った空白**が明瞭になるほどに、膨大な論文を読み尽くし、山のような計算をし尽くし、あらゆる表現方法を考え抜き、必要なら誰にだって助けを求めるために頭を下げに行くことが必要で ーー それは本当に大変で、そんなことをするくらいなら『量子コンピュータは分からない/分からなくていい』と一言言ってしまう方がはるかにラクです。

まあ、実際に、第1回の題目を「**「量子コンピュータ」は分からなくて構わない**」として、既に「逃げ」を打ってはいたのですけどね。

私がこれまでの連載で行ってきた、「テーゼ」→「疑問」→「自分なりの解釈」の放浪は、明らかな迷走であり、読者不在の暴走であり、関係者（監修を引き受けて下さったTさん、編集担当者のMさん、そしてレビューアの後輩）を、相当に困惑させるものだったと思います。

しかし、それでも、これらの人々を全員犠牲にしてきたとしても、**「世界中の誰のものでもない、私だけの量子世界／私だけの量子コンピュータ」のためには、全て意味があった**と、私は信じているのです。

無駄なことは何一つなかった。私は、私のためだけに、この連載を完遂し、そして、私が壊れる前に、この連載からの撤収を決断したのです。

量子コンピュータは、いずれ必ず完成します ーー ただし、それが私の生きている間に具体化するかどうかは分かりませんし、仮に具体化したとしても、それは私の思い描く量子コンピュータとは似ても似つかないものになる ーー それは分かっています。

だから、量子コンピュータの勉強なんて、意味はないのかもしれません ―― が、それでも、私はあえて言いたいと思います。

「バズワード」で納得するな。他人の説明を信じるな。安易で受けいれやすい言葉や説明に流れるな。そして、自分の中にある乏しい知識と狂気だけでその技術を見据えろ、と。

そうやって見えてきたものは ―― たとえ、狂った頭と目で認識したものであったとしても ―― もはや「バズワード」ではありません。

それは ―― 「**自分だけの本物**」です。

「量子コンピュータに愛されないエンジニア」

後輩:「**お疲れ様でした** ―― もう、この一言に尽きますね。江端さんの熱意と読者の興味が、これほどまでに、かみ合わずに空回りする『痛々しい江端コラム』は初めてですよ」

江端:「うん、まあ。”量子猫”やら、さまざまなコンセプトを導入して、なんとか読者の興味を引こうとしたのだけど、結果としては、『量子コンピュータ』よりは、『奇怪な量子現象の話』に全部持っていかれた、という感じがする」

後輩:「江端さんの記事を読んで、量子コンピュータを『理解した』、または、『理解したような気になっている』人って、どれくらいいるんでしょね」

江端:「正直、それは厳しい問いだな。そもそも、私の中ですら、『量子コンピュータが完成している』と言える状態にないから」

後輩:「このシリーズの江端さんの努力はもちろん、その作品にしたって、かなり良いものだと思いますよ。だから、私には、江端さんの”プレゼン力”に問題があったとは思えないんですよ」

江端:「じゃあ、何？」

後輩:「この際ですから、はっきり言いますよ。『量子コンピュータ』って、実は、量子コンピュータのオタクとか、量子コンピュータの研究員とか、そういう、ごく一部の、選ばれた人間だけにのみに”見える”対象なんじゃないでしょうか」

江端:「……それって、選民思想」

後輩:「違います。「民（たみ）」によって選ばれるのではありません。「愛」によって選ばれるのです。これは『**量子コンピュータに愛されないエンジニア**』というコンセプトで説明できるはずです」

江端:「この連載のパクリか？」

後輩:「江端さんは、既に英語というものを「愛」という観点から論じられていますよね。『**英語に愛されない者は何をしても愛されない**』―― あの時、江端さんが確立したテーゼ「英語は相思相愛のみで成立する。**英語に対する努力の多くは報われずに終わる**」は、もちろん多くの人を絶望させたかもしれませんが、同時に多くの人も救ってきたと思うんです」

江端:「つまり、それは、「**量子コンピュータに愛されない江端は、何をしても愛されない**」という事実の認定から始めろ、と？」

後輩:「そうです。江端さんは量子コンピュータに対して、この半年の間、膨大な愛を注ぎ続けてきました。しかし、**量子コンピュータは江端さんを愛していないんです**。だから、今回のシリーズ、こんなにも**スベっているんですよ**」

江端:「おい……ちょっと、待て」

後輩:「私は、もう、これ以上、江端さんを見ていられないですよ。江端さんが、スクールカーストの上位にいる学校一の美少女にアタックをかけ続けて、そして振られ続ける痛い日々を ―― 『江端さん！　江端さんの器量では、彼女（量子コンピュータ）は振り向いてくれないんです！　いい加減に分かってください！　**努力だけでは、なんともならないことがこの世の中にはあるんです！**』 ―― と。私は、今回の江端さんの連載を読み続けながら、嗚咽（おえつ）を押え切れませんでした」

江端:「……」

後輩:「江端さんを愛してくれる技術はたくさんあるじゃないですか。ラズパイでも、GPSでも、C++でも、EtherCATでも、それこそ、江端さんが憎悪する”AI”というコンセプト*)すら、それも愛の一態様です。でも、それでいいじゃないですか。量子コンピュータは、しょせんは量子の世界 ―― 異世界の住人です。江端さんとは、そもそも、住む世界が違うんですよ」

連載:「Over the AI――AIの向こう側に」

江端:「……」

後輩:「江端さんは、わずか半年だったけど『いい夢を見ていた』と思っていればいいんです ―― その痛みは、いつか、江端さんにとって、優しい思い出になる日がきます。私がそれを保証します」

江端が”本気”で、”全文”読み込んだ資料一式

　散々お世話になったTさんから、「(印刷した論文を) 焼却する前に、これまでの連載の参考文献をリストアップして公開してもらえると、私も含め後進のためになるのでありがたいです」と言われた以上、もうそりゃリスト作るしないですよね。

　というわけで、「江端が最後のページまでたどりついた資料」であって、「江端。本当に読んだのか?概要を説明できるんだろうな?」と問い詰められても、狼狽(うろた)えない、と自信のあるものをピックアップしてみました。

　念のため一言申し上げますが ―― **お勉強自慢しているわけじゃないんだからね!**

【1 江端の3大教本】

1.1 絵で見てわかる量子コンピュータの仕組み

1.2 14日で作る量子コンピュータ Visual C++版

1.3 Python量子プログラミング2

【2 量子論】

2.1 シュレディンガー方程式の固有状態の数値計算

2.2 初めての量子化学　12.　シュレディンガー方程式の導出

【3 基本】

3.1 量子情報基礎

3.2 量子コンピューターの基礎

3.3 「量子計算機の研究動向に関する調査」

3.4 [技術解説]高速化の鍵は量子の「もつれ」や「重ね合わせ」―― 量子コンピューターの原理を知る

3.5 量子の世界 ―物理的世界の不思議―

3.6 【量子コンピュータ】第一回「量子ビットと重ね合わせ」(10分)

【4 量子計算/量子ゲート】

4.1 高校数学からはじめる量子コンピュータ

4.2 高校数学からはじめる量子コンピュータ2

4.3 1-3. 複数量子ビットの記述

4.4 【量子コンピュータ】第2回「量子計算と万能ゲート」（8分）

4.5 【量子コンピュータ】第3回「量子ビットのルールと1Qbitユニタリ変換」（8分）

4.6 【量子コンピュータ】第4回「量子エンタングルメントと制御NOTゲート」（5分）

4.7 多機能2量子ビット演算素子

4.8 【量子コンピュータ】第6回「グローバーの量子探索アルゴリズムと量子計算の限界」（13分+おまけ1分）

【5 計算ツール】

5.1 量子情報処理へ向けた表計算プログラミング

5.2 工学者のための量子計算基礎の基礎

【6 デバイス】

6.1 半導体量子ドットによる量子情報デバイス

6.2 不確定な世界

6.3 固体量子情報デバイスの現状と将来展望

6.4 微かな光の不思議な世界

【7 量子ドット】

7.1 量子ドットを用いた量子情報デバイス

7.2 半導体量子ドットによる量子情報デバイス

7.3 半導体二重量子ドットを用いた電荷量子ビット

7.4 量子ドット

7.5 半導体二重量子ドットを用いた電荷量子ビット

7.6 【上級】量子コンピュータへの応用も？“半導体量子ドット”の拡張に成功

7.7 【1日目】量子井戸の電子状態と量子ビットの表現

7.8 【2日目】量子井戸の電子状態の基礎実験1：電磁波による状態遷移

7.9 【3日目】量子井戸の電子状態の基礎実験2：静電場による電気分極

7.10 【4日目】量子井戸の電子状態の基礎実験3：2重量子井戸で量子ビットを改良！

7.11 【5日目】1量子ビット万能量子ゲートを設計しよう！

【8 量子スピン】

8.1 半導体スピン用いた量子情報処理

【9 冷却/レーザー系】

9.1 冷却原子系を用いた量子シミュレーション

9.2 冷却イオンの量子状態制御

9.3 レーザー冷却イオンの周辺技術と応用

9.4 レーザー冷却技術とその応用

9.5 光量子中の冷却気体を用いた光子シミュレーション

9.6 イオントラップを用いた量子情報処理

9.7 Rb 原子のRydbergブロッケード実現のための高出力・高安定 480nm

【10 量子の局所性】

10.1 ベル不等式:その物理的意義と近年の展開

10.2 ベル不等式の意味

10.3 量子論の非局所性とBell-CHSH不等式

10.4 量子の非局所性の厳密検証に成功――新方式の量子コンピュータにも道

【11 量子もつれ】

11.1 レーザー励起リドベルグ原子を用いた量子もつれ状態の生成とその量子情報への応用

【12 量子暗号】

12.1 【量子コンピュータ】第5回「新カード紹介」（量子暗号と量子テレポーテーションの下準備）

【13 量子テレポーテーション】

13.1 量子テレポーテーション

13.2 量子テレポーテーションってなに？仕組みを直感的にわかりやすく解説

13.3 【量子コンピュータ】第5回「新カード紹介」（量子暗号と量子テレポーテーションの下準備）

【14 その他】

14.1 高速計算を革新する量子計算技術

【15 ソフトウェア】

15.1 Qiskit

15.2 Qiskit 入門

15.3 Bloch-Sphere-Visualization

15.4 quantum-state-spheres

Profile

江端智一（えばた ともいち）

日本の大手総合電機メーカーの主任研究員。1991年に入社。「サンマとサバ」を2種類のセンサーだけで判別するという電子レンジの食品自動判別アルゴリズムの発明を皮切りに、エンジン制御からネットワーク監視、無線ネットワーク、屋内GPS、鉄道システムまで幅広い分野の研究開発に携わる。

意外な視点から繰り出される特許発明には定評が高く、特許権に関して強いこだわりを持つ。特に熾烈（しれつ）を極めた海外特許庁との戦いにおいて、審査官を交代させるまで戦い抜いて特許査定を奪取した話は、今なお伝説として「本人」が語り継いでいる。共同研究のために赴任した米国での2年間の生活では、会話の1割の単語だけを拾って残りの9割を推測し、相手の言っている内容を理解しないで会話を強行するという希少な能力を獲得し、凱旋帰国。

私生活においては、辛辣（しんらつ）な切り口で語られるエッセイをWebサイト「こぼれネット」で発表し続け、カルト的なファンから圧倒的な支持を得ている。また週末には、LANを敷設するために自宅の庭に穴を掘り、侵入検知センサーを設置し、24時間体制のホームセキュリティシステムを構築することを趣味としている。このシステムは現在も拡張を続けており、その完成形態は「本人」も知らない。

本連載の内容は、個人の意見および見解であり、所属する組織を代表したものではありません。