

facebook
"keiokyuri"

K y u r i z u k a i

新版

窮理図解

2018 January
no.

27

慶應義塾大学理工学部広報誌

<http://www.st.keio.ac.jp/kyurizukai>

English versions are also available:

<http://www.st.keio.ac.jp/kyurizukai/english/index.html>

慶應理工の

システムエレクトロニクス

情報通信と計測制御を融合したスマートインフラシステム

電子工学科

く ぼ り ょ う ご

久保亮吾

(准教授)



スマートインフラシステムの実現に向け、 情報通信と計測制御の融合を図る

すべてのモノに快適なネットワーク環境を提供するために

最近よく聞くIoT (Internet of Things)。コンピュータやスマホといったいわゆる情報通信機器に限らず、すべての「モノ」がインターネットにつながるという意味である。そうならば、私たちの生活は今より便利になると考えられているが、IoTの実現には、技術的に解決しなければならない問題がある。久保さんは、情報通信と計測制御の融合が問題解決につながると考え研究を進めている。

社会で役立つシステムを つくりたい

電気回路や電磁気学などの物理を、実社会で役立つシステムに応用する。電子工学は、研究内容の実用化を常に意識した分野で、コンピュータからロボット、家庭用電気機器まで、電気で動くものなら何でも研究対象は幅が広い。最近では、電気自動車が登場し、その自動運転も現実味を帯びてきたことから、電子工学の重要性はますます増している。

この分野の研究者として久保さんは、情報通信と計測制御を融合してスマートインフラシステムを実現したいと考えている。

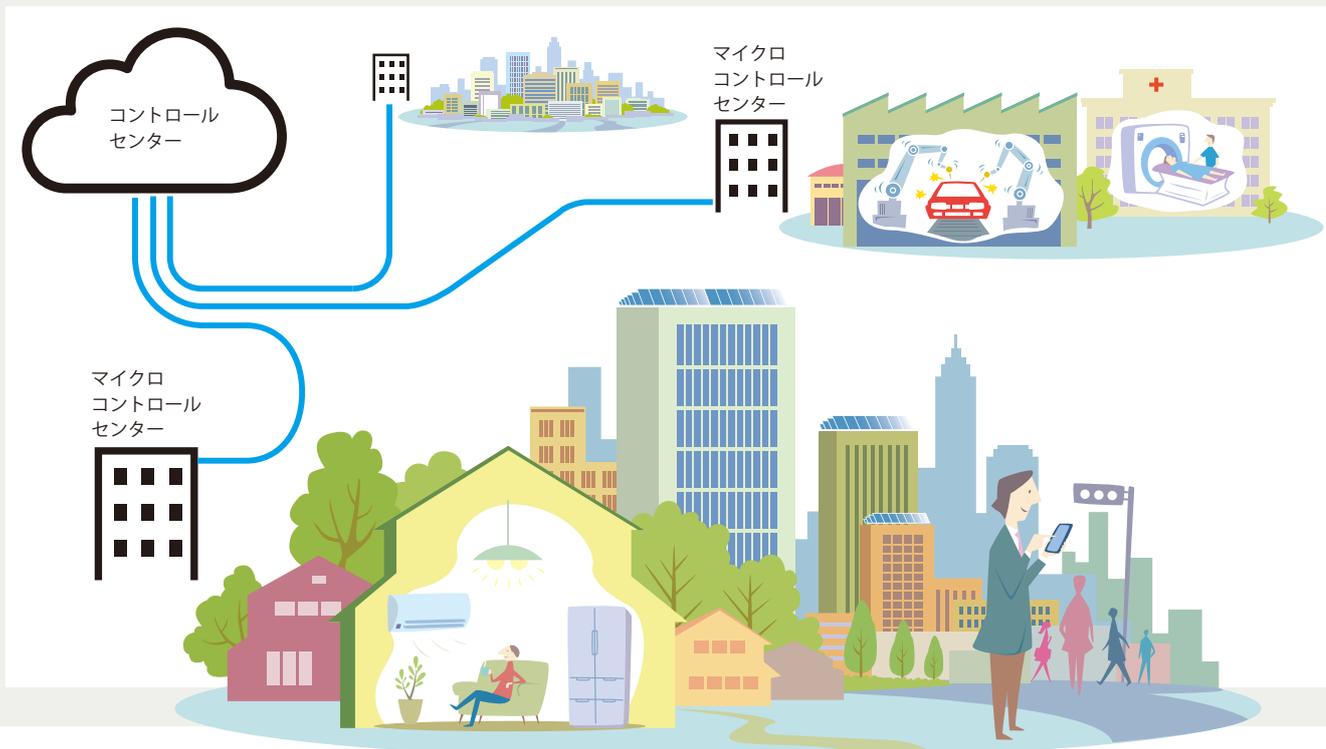
最近、すべてのモノがインターネットにつながるIoTが、私たちの生活を便利にすると話題だが、それを実現するのは簡単ではない。つながれた膨大なモノが互いにネットワーク資源を奪い合い、干渉し合うことになるからだ。この問題を解決するには、すべてのモノが協調して動作できるように工夫された「スマートインフラシステム」を構築しなければならないと、久保さんは考えている(図1)。その鍵となるのが、ネットワークを介して情報をやり取りする「情報通信」と、得た情報をもとに制御する「計測制御」の融合だと言う。

IoTの実現を阻む問題 「遅延」をなくす

「IoTにはどんな問題があるのでしょうか。例えば、工場にある部品組み立て用のロボットは、決められたロボットが決められた作業を決められた順番に行います。これが協調して動かなければ、部品を組み立てられません」と久保さん。

何台ものロボットが作業するためには、まず、最初のロボットに、コンピュータからネットワークを通して作業の指示が出される。次にコンピュータが、その指示が行われたことを確認(計測)し、2番目のロボットに次の作業の指示(制御)を出す。この一連の流れが計測制御で、この繰り返しで組み立て作業は進む。もし、この時に指示通り作業が行われたことを伝える信号の確認が遅れたらどうなるだろうか。作業が行われていないと勘違いしたコンピュータが、再び同じ指示を出してしまうだろう。しかし、実際に

図1 IoT時代を支えるスマートインフラシステム



は作業は終わっているのですが、おかしなことになってしまう。この通信の遅れを「遅延」と呼び、IoTが実現された際の大きな問題の1つとされている。

「これまでも遅延は問題になっていて、例えば、“このくらい遅れるだろう”とあらかじめ考慮に入れてロボットを制御していました。しかし、これは根本的に遅延を解決したことになっていません」と久保さん。スマートインフラシステムをつくるには、現在の巨大ネットワークの抱える問題を根本的に解決しなければならないと考えている。

問題解決法の1つが、図1のようにローカルな制御を取り入れることだ。「例えば、衝突事故が多発する交差点があって、そこを通る自動車にネットワークを通じて、衝突回避の制御を行うとしましょう。この制御は交差点内のごく限られた範囲で行えばいいので、小さな容量のマイクロコントロールセンターを交差点の近くに置いて制御すればいいのです」。一般的にインターネットで情報を送ると、情報はいったんネットワークの奥にあるメインのコントロールセンターまで行って戻ってくる。情報が往復する距離が長く、通過する装置数が多いほど、遅延は大きくなる。しかし、実際にはコントロールセンターに行く必要のない情報もたくさんある。このような情報については、コントロールセンターより手前にマイクロコントロールセンターを設置して処理すればいい。近い場所から制御すれば、通信の遅延は根本的に解消される。

情報通信と計測制御の融合とは

しかし、これでIoT時代のネットワークが抱える問題がすべて解決されるわけではない。そこで必要になるのが、久保さんが提案している「情報通信」と「計測制御」の融合だ(図2)。個々のモノに合わせて細かに制御することで、いろいろなモノがつながることで生じる問題を解決できる。

少し詳しく説明すると、ネットワークを介してモノを動かすには、目標に対して制御が行われた後、その結果を計測し

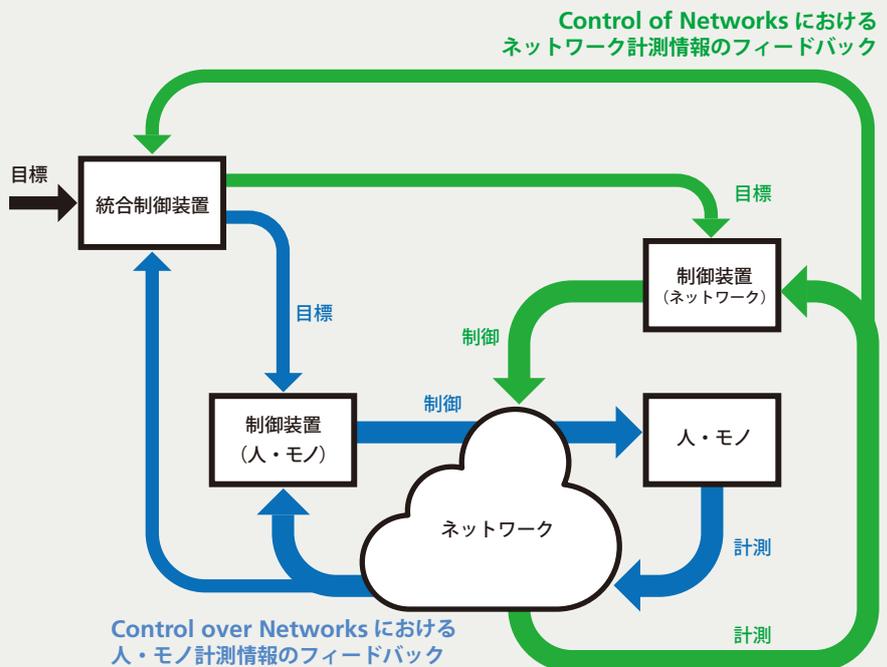


図2 久保さんが考える「情報通信」と「計測制御」の融合

て、次の制御のためにフィードバックしなければならない(図2の青、Control over Networks)。一方で、このモノを動かしているネットワーク自体が最適に動いているかも重要で、そのための計測制御のループがある(図2の緑、Control of Networks)。両者ではすでに情報通信と計測制御が融合しているが、さらにこの2つがうまく協働することによって、最適な状態でネットワークを介してモノを動かせるようにする。

こうした役割は、図1のコントロールセンターや、マイクロコントロールセンターが担っている。

快適なネットワーク社会の到来

情報通信と計測制御の融合によってできることは、広範囲にわたる。

例えば、限られたネットワーク資源では、すべての通信を速くするわけにはいかない。遅延1ミリ秒以内の通信であれば、人間が遅延を感じることはほとんどないが、これほど低遅延な通信が実際に要求されるのは前出の交差点を通る車の衝突回避や、医療機器の操作など一部のモノである。

つまり、すべてのモノがインターネットにつながり協調して動かなくてはならなくなったとき、高品質な制御が必要な

モノと、そうではないモノを選別する必要がある。それができれば、限られたネットワーク資源であっても、それぞれのモノにうまくネットワーク資源を分配できるからだ。

また久保さんは、IoTでインターネットにつながるモノには、人も含まれていると考えている。「スマホで情報をダウンロードするとき、スマホの先には人がいます。情報サービスですから、この人に満足してもらいたいです」。難しいのは人には個人差があることだ。同じ速度でダウンロードしたとしても、満足している人がいるのに、そうでない人もいる。この違いを見極めて、各人のスマホへの帯域の割り当てを柔軟に変えればスマホ利用者の満足度を最大化できる。

ほかにも電力ネットワークに対して適用すれば、快適性を維持した上で無駄のない省エネルギーの電力制御が可能になる。サイバー攻撃やネットワークの故障などの不具合が生じた場合には、最小限の被害で食い止めるために、ネットワークをどこで切り離すかといった制御もできる。

すべてのモノがインターネットの上で協調して動けるようになったとき、そこには久保さんが考えている制御技術が貢献しているかもしれない。

(取材・構成 池田亜希子)



「誘われたことには、取りあえず乗ってみよう」 という前向きな姿勢で、自分の世界を広げてきた

音楽好きの少年だった久保さんは、今、電子工学分野の研究者の道を歩んでいる。学生時代、NTT時代から研究内容は変わってきたが、オーケストラで多くの楽器がハーモニーを奏でるように、多くの分野が融合する研究という点では共通している。久保さんの選択の裏には、自身が多くの人やモノとつながりたいという気持ちがつねにある。

—どんな子供時代を過ごされたのでしょうか。

父母と祖父、伯母の5人家族で育ちました。子供の頃はピアノ講師でもあった母の影響を強く受けて、ピアノを習っていました。同じく母の影響でクラシックが好きで、ドボルザークの「新世界」などをよく聞いていました。小学生の頃は合唱部に所属して、NHK学校音楽コンクールの予選に出場するという貴重な経験もしています。

その一方で、学校の勉強では理科や社会が好きでした。友達とテレビゲームをしたり、外でスポーツをしたりすることもあつた普通の子供でした。

—高校時代のホームステイは忘れられない思い出そうですね。

小学5年生の頃から受験のために週に4～5日塾に通いました。おかげさまで中高一貫の芝中学校・高等学校に進みました。この頃の思い出といえば、高校1年生のときに2週間の短期交換留学でニュージーランドに行ったことです。初めての海外で、たどたどしい英語しか話せませんでした。とにかくコミュニケーションができたことがとても嬉しかったですね。ほかにはロトルアでマオリ族の踊りを見たことやグリーンピースにラム肉、といった食事のことを覚えています。

この頃から語学や文化に興味を持つようになりました。

—音楽や語学の道ではなく、理系を選んだのはどうしてでしょうか。

メーカー勤務だった父の存在が大きかったと思います。芝高校では、同級生の多くが理系を選択していたことも、迷わず理系に進んだ理由でした。大学は慶應の理工学部へ進学しました。

でも、音楽や言語への興味を失ったわけではありません。大学ではマンドリンオーケストラに所属して打楽器を担当したり、学内外の仲間たちと新しくオーケストラを立ち上げたりして積極的に音楽活動を続けました。オーケストラは横のつながりがあって他大学のメンバーも多かったのも、総勢50名ほどの大所帯で定期演奏会を開催したり、他大学の学園祭でオペラのオーケストラ伴奏に参加したりして楽しかったですね。

言語についても第2外国語のドイツ語のほかに、総合教育でロシア語とイタリア語を選択しました。

思い返してみると、純粋に音楽や言語を楽しんでいた部分もありましたが、音楽の和音や、言語の文法の法則性に理系的な面白さを感じていた部分もありました。

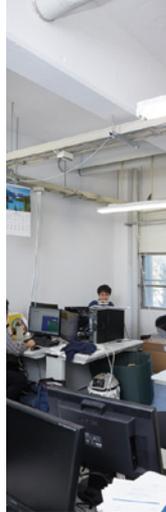
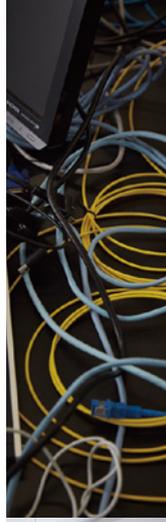
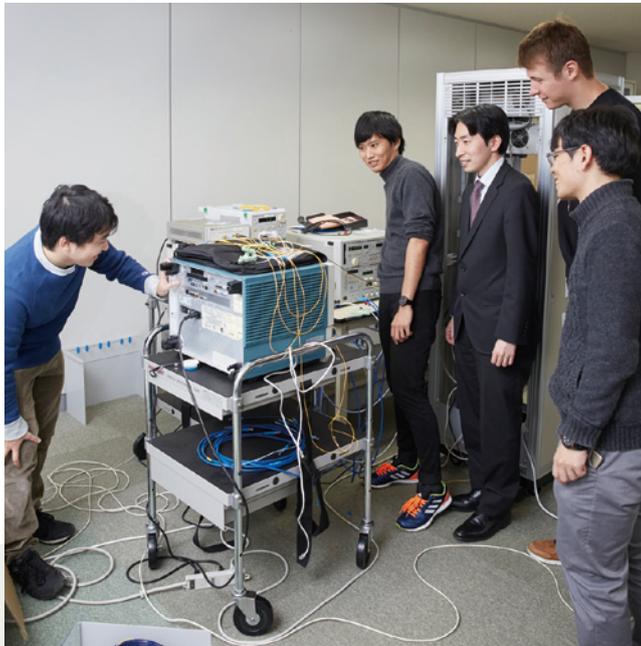
—慶應義塾大学の理工学部では何を学んだのでしょうか。

大学2年生の時の学科分けではシステムデザイン工学科を選びました。その理由は、大学には学門4(機械系)として入りましたが、その後、電気系の技術にも興味が出てきて、両分野を融合させる勉強をしたいと思ったからです。

大学4年生から、大西公平先生の研究室でロボット制御を研究しました。具体的には、ロボットアームを使って、触れた感触を遠隔に伝える研究をしていました。これは手術用ロボットの繊細な動きに必要とされる重要な研究でした。大西先生からは、制御やロボットに関する知識だけでなく、物事の本質を追究する姿勢など多くのことを学びました。

—その後はいったんNTTに就職したんですね。

研究室に所属した大学4年生の頃から、研究の道に対する漠然とした憧れが芽生えていました。また、この頃には、遠隔操作ロボットの研究をしていたこともあり、今の研究に通じる「ネットワークの制御」が面白そうだと感じ始めていました。それで修士課程で就職することにはしましたが、ネットワーク





技術の研究ができるNTTに就職したのです。NTTの研究所では、主に光通信ネットワークの研究をしていました。

NTTの研究所では、研修の一環として、入社後すぐに自ら研究テーマを立案してその研究を進めるという仕組みがありました。指導者の方と相談して多くのテーマを考えましたが、その中で私は光通信ネットワークの省エネルギー化に取り組むことに決めました。理由は、大学でモータなどの電気機器の制御の研究をしている中でエネルギー問題を身近なものとして感じていたからです。最初は、光通信ネットワークはもともと省エネルギーなシステムだからそのような機能は必要ないのでは？という意見もありました。しかし、各家庭に光通信ネットワークが入って装置数が増大すれば、その省エネルギー効果は大きいということが受け入れられて、研究はスタートしました。提案したシステムを試作して実験を行い、標準化提案を行うなど、研究成果が出始めてやりがいを感じながら仕事をしていました。

ちょうどその頃、在職ドクターとして博士号を取った私に、慶應に戻ってこないかという誘いがありました。研究はもちろんのこと教育という職業にも興味があったので、私はこの機会に大学に移ることにしたのです。こうして慶應義塾大学の電子工学科に来て、専門であるシステム制御、通信ネットワークなどをもとに、電力・通信・機械などの各種インフラをはじめ、人の行動までも含めたシステムの統合的な制御によるスマートインフラの実現をめざしています。

——最後に、母校でもある慶應義塾大学とはどのような場所でしょう？

自分のこれまでの人生を振り返ると、人とのつながりが大事だったと思います。例えば、マンドリンオーケストラに入ったのも、新人勧誘で声を掛けられたからです。学会などのつながりで声を掛けていただいて始めた研究テーマも多くあります。

もちろん自発的にやってきたことも多々ありますが、それだけでは自分の幅が広がらなかったらと思うます。一見、受け身の姿勢とも捉えられがちですが、自分からはやらないようなことにも挑戦できるというメリットがありますし、それらを活かしてオリジナルのアイデアにつなげることもできます。だから、誘われたことはできるだけやってみよう、いつも前向きに捉えるようにしています。

そういう意味で、いろいろな経歴を持った学生がいる慶應義塾はとてもいい場所です。幼稚舎から上がってきた内部生もいれば、一般入試で大学から入ってくる学生もいますし、海外経験のある学生も多くいます。多様性が豊かで、いろいろな学生がいるなという印象です。研究室も、いろいろな考え方や個性を持った人がいた方が、幅が広がります。特に、電子工学のように社会と関わる研究では、いろいろな考え方があることが重要なのです。

◎ちょっと一言◎

学生さんから：

●サイバーセキュリティと無人航空機の飛行制御を研究しています。無人航空機の研究では実際にドローンなどを飛ばすので、研究にはどうしても機械的な側面が含まれます。久保研究室では機械的な研究を行った前例はあまりないのですが、私のチャレンジしてみたいという思いを優先してやらせてもらっています。大学4年生の時には丁寧に細部まで指導していただきましたが、修士2年生の今は基本的に自由なテーマで研究させてもらっていて、適宜アドバイスをいただいています。

(取材・構成 池田亜希子)

さらに詳しい内容は
<http://www.st.keio.ac.jp/kyurizukai>

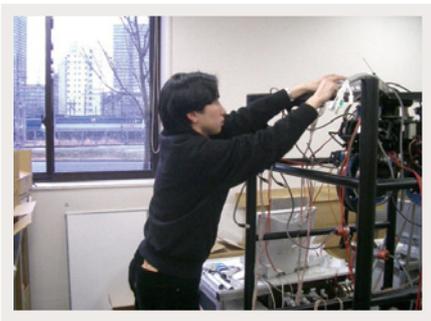
スマートを目指す研究の裏には泥臭さがある。 その泥臭さを面白いと感じてほしい。

久保 亮吾

Ryogo Kubo

東京都出身。専門はシステムエレクトロニクス。特に、通信ネットワークとシステム制御の融合について研究を行う。2005年慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科卒業。2009年同大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻後期博士課程修了。博士（工学）。2007年から2010年まで日本電信電話株式会社NTTアクセスサービスシステム研究所において光アクセスネットワークの研究に従事。2010年慶應義塾大学理工学部電子工学科助教（有期）。同学科専任講師を経て、2017年4月より現職（准教授）。





パラレルリンクマニピュレータ

学生時代はシステムデザイン工科大西公平教授の研究室でロボット制御の研究をしていました。新川崎タウンキャンパスの研究室でパラレルリンクマニピュレータの調整を行っている時の写真です。窓からJR貨物の車両基地が見えます。キャンパス周辺はだいぶ開発が進んで、当時は様変わりしています。



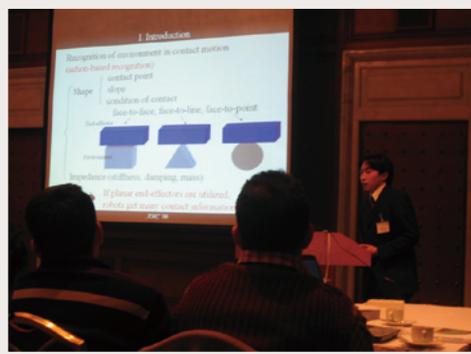
マンドリンクラブ

学部1年から4年まで慶應義塾マンドリンクラブに所属し、打楽器(パーカッション)を担当していました。写真は、歌劇「ラ・ジョコンダ」より『時の踊り』(作曲:A. Ponchielli)の演奏の様子です。この時はティンパニを担当しました。

久保 亮吾の ON と OFF

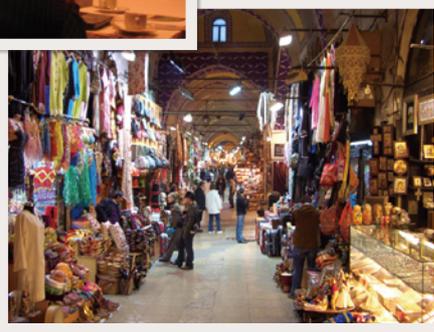
最近は意識して OFF を取るようにしています。

演奏は最近あまりしていないので、もっぱら聞く方です。



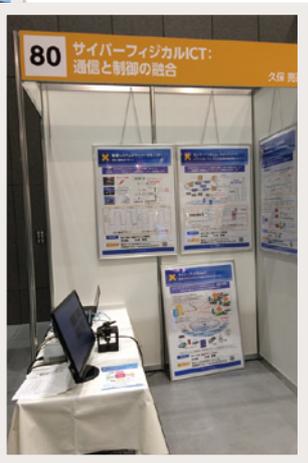
初めての国際会議

初めて国際会議で発表した時の写真です。トルコのイスタンブールで開催された AMC 2006 (The 9th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control) という運動制御に関するワークショップです。当時、所属していた研究室にトルコ人の留学生が2名いたので、彼らにイスタンブールの街を案内してもらいました。



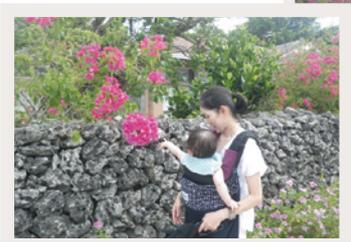
慶應テクノモール

ここ数年は毎年「慶應テクノモール(12月に東京国際フォーラムで行われている理工学部主催の展示会)」に出展しています。インフラの研究では、常に産業界やユーザを意識しておくことが重要だと考えています。研究室の学生は基本的に全員が説明員として参加します。ぜひご来場ください。

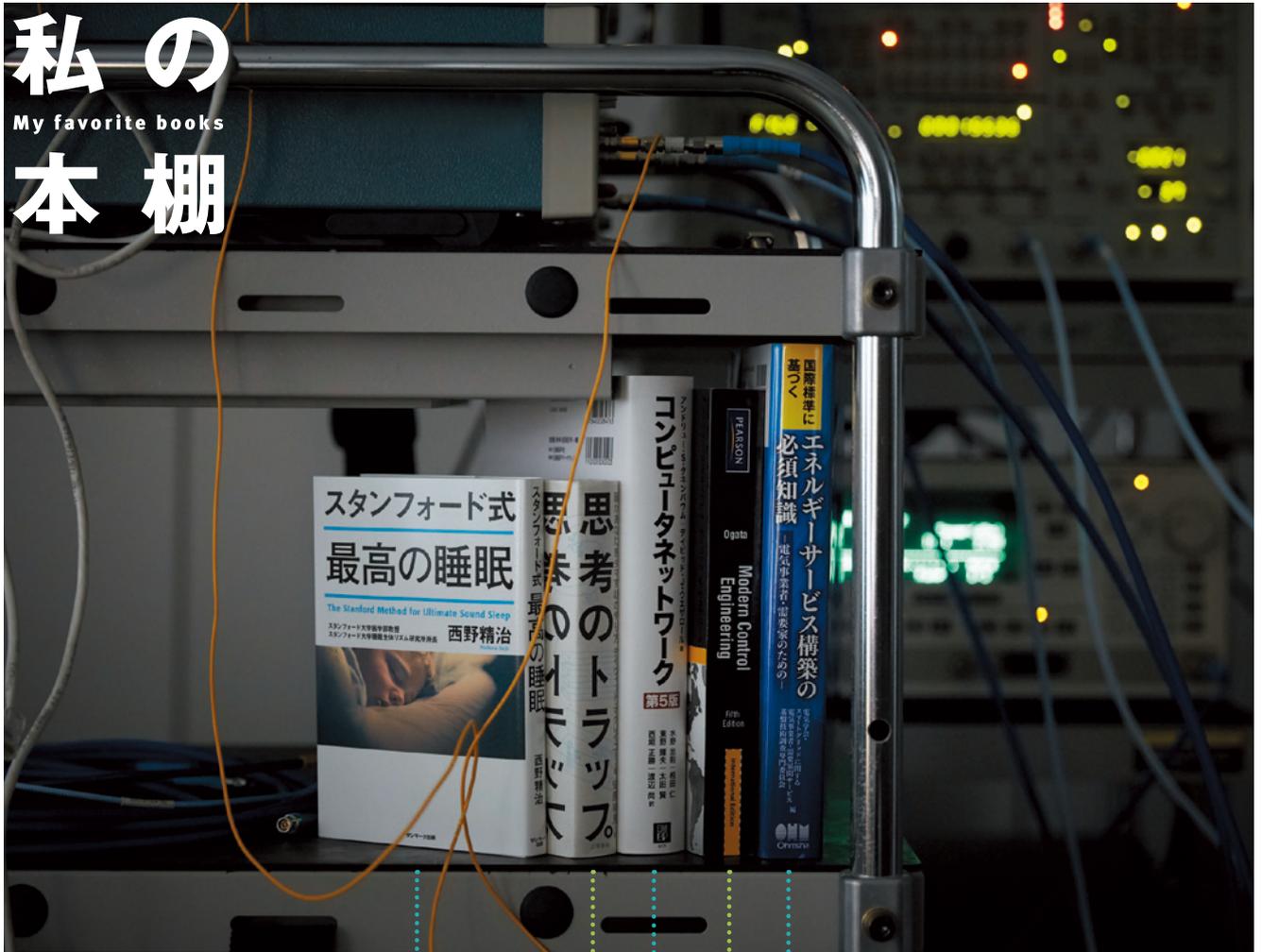


家族旅行

家族旅行で石垣島と竹富島に行きました。きれいな海、動植物、そして美味しい料理を堪能しました。



私の My favorite books 本棚



質の良い睡眠とは

● **スタンフォード式最高の睡眠**
最近読んだ本ですが、受験生や研究者には必読かもしれません。要するに、覚醒時の勉強や仕事のパフォーマンスを上げるためには、睡眠の質が重要ということです。通信ネットワークでは、QoS (Quality of Service の略で遅延などのネットワーク品質のこと) の保証が議論されますが、よい成果を出すためには Quality of Sleep (QoS) も考えないといけませんね。

情報通信 ネットワークを学ぶ

● **コンピュータネットワーク 第5版**
コンピュータ同士をつなぐ通信ネットワークが物理的にどのように構成され、どのように情報がやり取りされているのか、初学者にとっても分かりやすく解説されています。ネットワークシステム全体の概要を知りたい方にはお薦めです。A. S. Tanenbaum, D. J. Wetherall 著「Computer Networks Fifth Edition」の和訳本です。

スマートグリッドを学ぶ

● **国際標準に基づく エネルギーサービス構築の必須知識—電気事業者・需要家のための—**
電気学会のスマートグリッドに関する調査専門委員会における調査内容をまとめた本で、一部を分担執筆させていただきました。スマートグリッドは、情報通信技術を活用した次世代の電力・エネルギーインフラのことです。本書では、ユーザ視点からスマートグリッドの標準化動向やユースケースを紹介しています。最新のネットワーク技術の適用やセキュリティについての議論がユニークです。

考えさせられる一冊

● **思考のトラップ 脳があなたをダメす 48 のやり方**
「思い込み」は場合によっては研究の進展を妨げることがある一方で、適度な「思い込み」がこれまでに達しえなかった成果にたどり着く原動力になることもあります。研究に限らず様々な場面で同じような状況があると思いますが、人間の思考を理解した上で適切に判断できるようになりたいものです。

制御の基本を学ぶ

● **Modern Control Engineering Fifth Edition**
学部4年生で研究室に配属されて間もない頃、輪講(研究室メンバーが全員集まって発表を行うゼミ)で読んだ本です。制御工学の基礎から応用まで分かりやすく解説されています。英語で書かれた本ですが、制御工学をこれから学ぼうとする方にはお薦めです。

真のインターネットと電子工学

久保 亮吾

インターネットとはどのような意味でしょうか？インター (inter) は「間」を意味する言葉ですので、複数のネットワーク間を接続するネットワークという意味になります。ここで、ネットワークというのは情報通信ネットワークのことをさしています。そして、あらゆるモノがインターネットを介してつながる世界はIoT (モノのインターネット) と呼ばれています。さて、いまさら何を言いたいのか？と思った方もいらっしゃるかもしれませんが、私が申し上げたいことは、

IoT 時代において「インターネット＝情報通信ネットワーク」は真ではないということなのです。

世の中には様々な「ネットワーク」が存在しています。情報通信ネットワーク、電力ネットワーク、都市ガスネットワーク、上下水道ネットワーク、交通ネットワーク、ソーシャルネットワークなどで、将来のスマートインフラでは、これらの異種の「ネットワーク」が連携して新たなサービスを生み出すことが期待されています。つまり、異種のネットワーク同士が連携して1つの大きなネットワークを形成することになります。これが、真のインターネットの姿です。

例えば、災害時に電力ネットワークが使用できなくなった場合、EV (電気自動

車) のバッテリーに充電し、交通ネットワークを利用して電力を運ぶことができます。また、ハードディスクに保存された膨大なデータを情報通信ネットワーク上で転送するよりも、交通ネットワークを利用してハードディスク自体を輸送した方が早い場合もあります。

いずれにしても、スマートインフラを実現するためには人やモノを何らかのネットワークで繋ぎ、分野横断的な情報収集と制御を行う必要があります。情報通信分野、計測制御分野を幅広く扱うエレクトロニクス (電子工学) は、スマートインフラの構築における基盤学問であると言えます。IoT 時代を支えるべく、エレクトロニクスを学ぼうとする学生がますます増えていくことを願っています。

理工学 Information

慶應義塾大学理工学部が日本唯一の「IBM Q Network ハブ」に選ばれました

IBM Corporation がビジネスやサイエンスで応用可能な汎用量子コンピューティングシステムを構築する取り組みである「IBM Q」を2017年3月に立ち上げました。このたび、国内唯一のハブ拠点として、2017年12月、慶應義塾大学理工学部が選ばれました。量子研究、教育、広範囲にわたる業界コラボレーションのための拠点として世界各地に設立され、4大陸にわたる5つの地域拠点の1つです。IBM Q Network ハブは、本学のほか、米国の



写真提供: IBM

IBM Research、米国のオークリッジ国立研究所、英国のオックスフォード大学、オーストラリアのメルボルン大学に設けられました。

量子コンピューター

は、従来型のコンピューターと比較して、より迅速に、より効率的に複雑な経路探索を解決できるようになる可能性があります。取引戦略やポートフォリオ最適化等を行っている金融分野をはじめ、自動車、化学などさまざまな業界への応用が期待されています。

この拠点では、広範囲にわたる業界および研究機関が協力し、IBM Q システムをオンラインで使用して、量子コンピューティングを探求するための共同開発に携わることができるようになりました。また、IBM Q は世界トップの性能を誇る量子コンピューターであるため、IBM Q を用いて最先端の量子計算研究に取り組むことができるようになります。当理工学部では、現在この IBM Q にアクセスするための環境を準備しています。



編集後記

最近 IoT という言葉をよく耳にするようになりました。私の周りでもスマホからテレビの録画予約をしたり、エアコンの電源を入れたり、IoT の恩恵を受けていることが実は多かったにもかかわらず、IoT の仕組みも知らず、便利になることが当然のように思っている部分がありました。

今回、久保准教授の記事に書かれている交差点の例は、IoT の状況をとてもイメージしやすかったのではないのでしょうか。「IoT でインターネットにつながるモノには人も含まれる」という広い視野は、舞台の後方から全体を見渡しながらいんぱんに演奏する久保准教授の姿に重なります。

(萩原いずみ)

新版 窮理図解

No.27 2018 January

編集 新版窮理図解編集委員会
 写真 邑口京一郎
 デザイン 八十島博明、石川幸彦 (GRID)
 編集協力 サイテック・コミュニケーションズ
 発行者 伊藤公平
 発行 慶應義塾大学理工学部
 〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1
 問い合わせ先 (新版窮理図解全般)
 kyurizukai@info.keio.ac.jp
 問い合わせ先 (産学連携)
 kll-liaison@adst.keio.ac.jp
 web 版 http://www.st.keio.ac.jp/kyurizukai
 facebook http://www.facebook.com/keiokyuri