

JST news

未来をひらく科学技術

News & Topics

5

May
2020





研究成果

未来社会創造事業
大規模プロジェクト型
研究課題「クラウド光格子時計による時空間情報基盤の構築」

超高精度な光格子時計でアインシュタインに挑戦 東京スカイツリー展望台では地上より時間が速く進む

重力の違いで時間の進み方は変わるのか。物理学者アインシュタインが唱えた一般相対性理論の検証実験に、日本が世界に誇る超高精度な光格子時計が挑みました。舞台は東京の新たなシンボル、東京スカイツリー（東京都墨田区）です（図1）。

一般相対性理論では、地球の中心に近く重力が強い場所ほど時計はゆっくり時を刻み、標高が高く重力が弱い場所ほど時間が速く進みます。東京大学大学院工学系研究科の香取秀俊教授が開発した光格子時計（表紙写真）は、100億年で1秒しかずれない精密な原子時計で、極めてわずかな時間の遅れも捉えます。

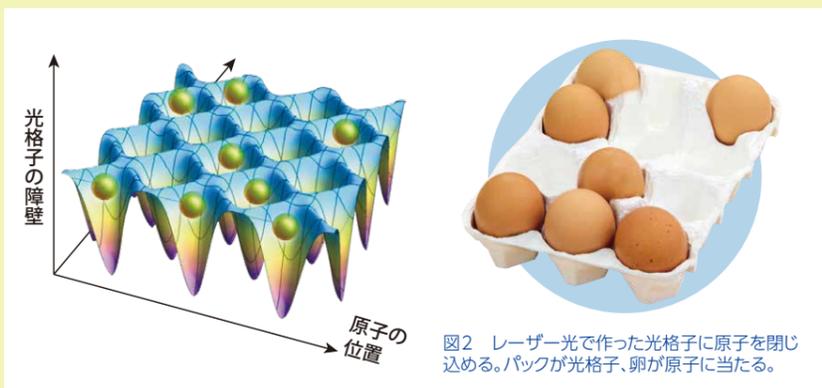


図2 レーザー光で作った光格子に原子を閉じ込める。パックが光格子、卵が原子に当たる。

2001年、香取教授は特別な波長のレーザー光で作った卵パックのような格子状の入れ物に、100万個ものストロンチウム原子を一つずつ収め、原子の振りの振動数を一度に観測することを考案しました（図2）。当時の原子時計研究では奇想天外な発想でしたが、14年には現在の秒を定義するセシウム原子時計を100倍以上も上回る驚異的な精度を世界に先駆けて達成しました。

16年には、15キロメートル離れた理化学研究所（埼玉県和光市）と東京大学（東京都文京区）の実験室に設置した光格子時計の時間を比較し、標高差の測定にも成功しました。香取教授の次の目標は、何十台もの装置を組み合わせて構成する光格子時計のシステムを小型化、軽量化して、実社会で役立つ道具にすることでした。レーザー装置の自動化や遠隔操作を図り、実験室の外でも安定に動作する時計を開発しました（図3）。

この持ち運びできる光格子時計を東京スカイツリーの地上階と高さ450メートルの展望台に設置し、19年3月28日から4月5日にかけて計測した

ところ、展望台の時計は1日当たり約10億分の4秒速く進んでいて、一般相対性理論の予測通りの結果が得られました。2台の時計の時間のずれを標高差に換算すると約452.6メートルとなり、国土院が測量した展望台の高さともほぼ一致しました。

原子時計は今や日常生活を支える身近な存在です。セシウム原子時計はGPS（全地球測位システム）衛星に搭載され、スマートフォンやカーナビに正確な位置情報を提供しています。光格子時計を全国各地に設置して光ファイバーでつないだ時空間情報インフラを構築し、地震や火山活動に伴う地殻変動の把握や地下資源の探査に活用する——。そんな未来社会を香取教授は描いています。

持ち運びできる世界最高精度の光格子時計の開発、その時計を用いた実験室以外の公共の場での測定は、いずれも世界で初めての試みで、光格子時計の実用化へ大きな一歩となりました。「予想もしなかった光格子時計の新たな使い道を探して、日常生活をより便利に豊かにするのに役立てたい」と香取教授は

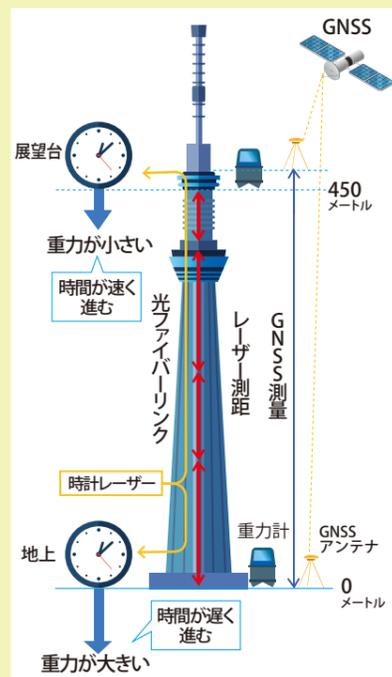


図1 地上階と展望台に設置した2台の時計を光ファイバーで結んで周波数を比較した。同時にGNSS（全球測位衛星システム）やレーザーを用いた従来の測量手法でも標高差を計測した。

期待しています。
人類は有史以来、正確な時間を追い

求めてきました。21世紀に誕生した光格子時計はいかに新たな科学の礎を

築き、時計の常識を超えた応用を拓いていくのか、目が離せません。

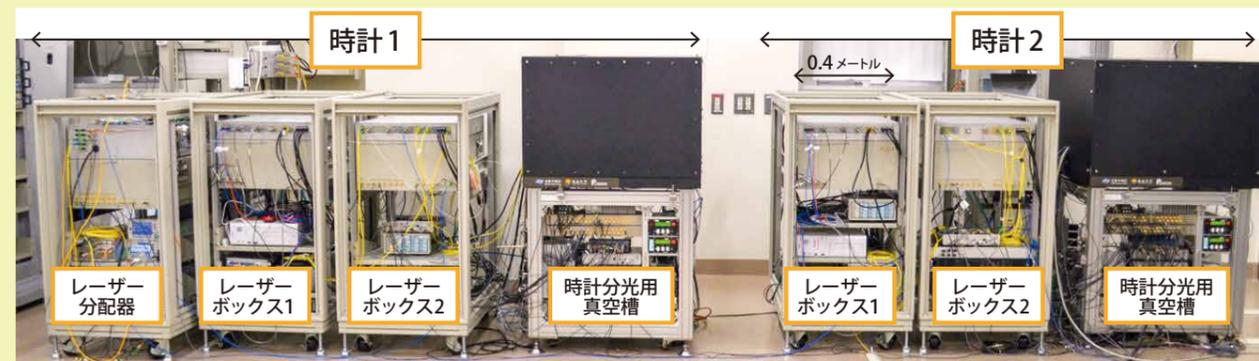


図3 持ち運びできる光格子時計。実験室では2台の光格子時計の運転に17台のレーザー装置を使っていた。

研究成果

産学共同実用化開発事業（NexTEP）
開発課題「植物由来機能性新素材の製造技術」

トチュウ由来の天然ポリマーを量産化 持続可能な素材として新産業への展開に期待



図1 中国山西省で栽培されているトチュウ

中国原産の落葉高木であるトチュウ（図1）は、樹皮が古くから生薬として使われていましたが、葉も健康茶として昭和の末に商品化され、平成の頃には杜仲茶がブームになりました。

一方、トチュウの種子からは油脂が採れますが、果皮は残さとなっていました。果皮には、トランス型ポリイソブレン（TPI）という天然ポリマーが含まれています（図2）。一般にポリイソブレンはゴム製品など高弾性樹脂の化学工業原料として重要です。中でもTPIは、スポーツや医療用部材として使用されますが、大部分が石油由来のナフサから製造されていました。

かつて杜仲茶を製造・販売していた日立造船と、大阪大学の馬場健史准教授（現九州大学教授）らは、最適な溶媒の

選定などを経て、高純度のTPIを効率良く得られる量産化技術を開発しました。改良を重ねた結果、トチュウ由来のTPIの製造コストを開発初期の約8分の1にまで抑え、抽出純度99.8パーセント、年産10トン規模の精製システムの開発に成功しました。



図2 トチュウの実の長さは約4センチメートルで、果皮（外皮と渋皮）と種子から成る。破断させると糸を引く白い粘性物質がTPI。実の乾燥重量に対して10パーセント程度のTPIが含まれる。

トチュウ由来のTPIは、バイオ素材では珍しく軟質素材として利用できる、熱を加えるとゴム素材に変化するなどの特徴があります。また、他の硬質バイオ樹脂に数パーセント混ぜ合わせることで、耐衝撃性の硬質樹脂に加工することもできます。

これまで3Dプリンター用フィラメントやゴルフボールなどの素材として使われ、最近では化粧品の成分としても採用されました（図3）。植物性素材という特徴を生かし、さらに新たな用途に展開する可能性があります。地球環境を守る持続可能な素材として、新産業への貢献が期待されます。



図3 TPIは、3Dプリンター用フィラメント（上）、ゴルフボール（中）、化粧品（下）の成分などに使われている。

光照射で細菌が集まるハニカム基板を開発 物質生産やウイルス検出へ期待

有用細菌を生きのまま高密度に集める技術はさまざまな用途で期待されています。金属ナノ薄膜にレーザー光を照射したときに生じる発熱が引き起こす対流を利用して微小な物質を集める方法は近年盛んに研究されていますが、平らな基板では広範囲の熱伝導により大半の細菌が死滅してしまうという難点がありました。

大阪府立大学 LAC-SYS 研究所の床波志保副所長、飯田琢也所長らが細菌を濃縮する基板として着目したのは、ハチの巣や昆虫の複眼などで見られるハニカム構造です。

マイクロメートルサイズの水滴を

鋳型として細孔が密に並んだハニカム状のポリマーフィルムを自己組織的に作製し、その表面を厚さ50ナノメートルの金でコートした、高効率の光発熱基板を開発しました(図1)。その隔壁に裏側から赤外レーザーを照射すると細孔内には熱を伝えず効率良く対流を発生し、細菌を細孔に捕捉できます(図2)。

棒状でべん毛を持つ緑膿菌と、皮膚常在菌の一種である黄色ブドウ球菌で試したところ、80~90パーセントと高い生存率で1平方センチメートル当たり100万~1000万個の高密度で細菌を捉えられました(図3)。また、

電流を発生する細菌の一種であるシュワネラ菌で実験したところ、レーザーの照射点を増やすほど電流密度が増大することがわかり、有機物を代謝して電子を放出する機能を保ったままシュワネラ菌が濃縮されていることが示されました。

有用細菌を高密度に濃縮して微生物デバイスとして利用すれば、有機物の分解による下水処理やバイオエタノールなどの物質生産への利用が見込まれます。細菌の代謝機構の基礎研究にも貢献できる他、悪性細菌やウイルスの検出などにも利用可能です。

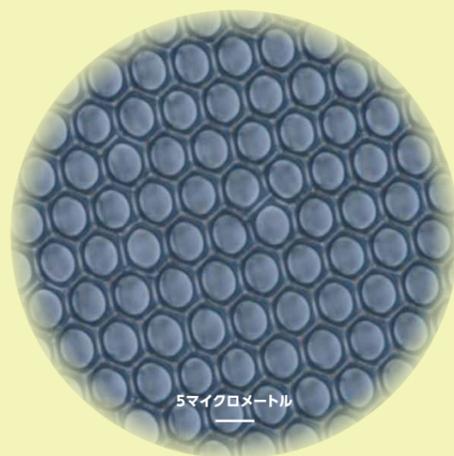


図1 ハニカム基板の顕微鏡写真

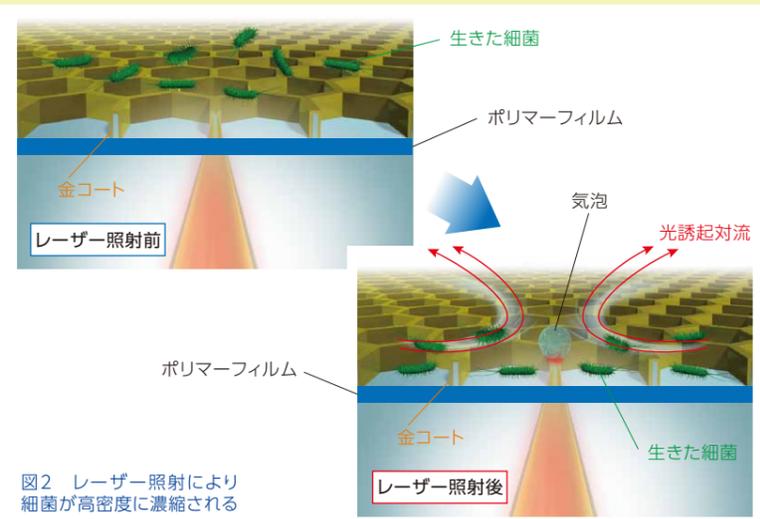


図2 レーザー照射により細菌が高密度に濃縮される



図3 実験に用いた細菌

わずか1分子の活性から酵素の種類を識別 疾患の早期発見へ新たな道筋

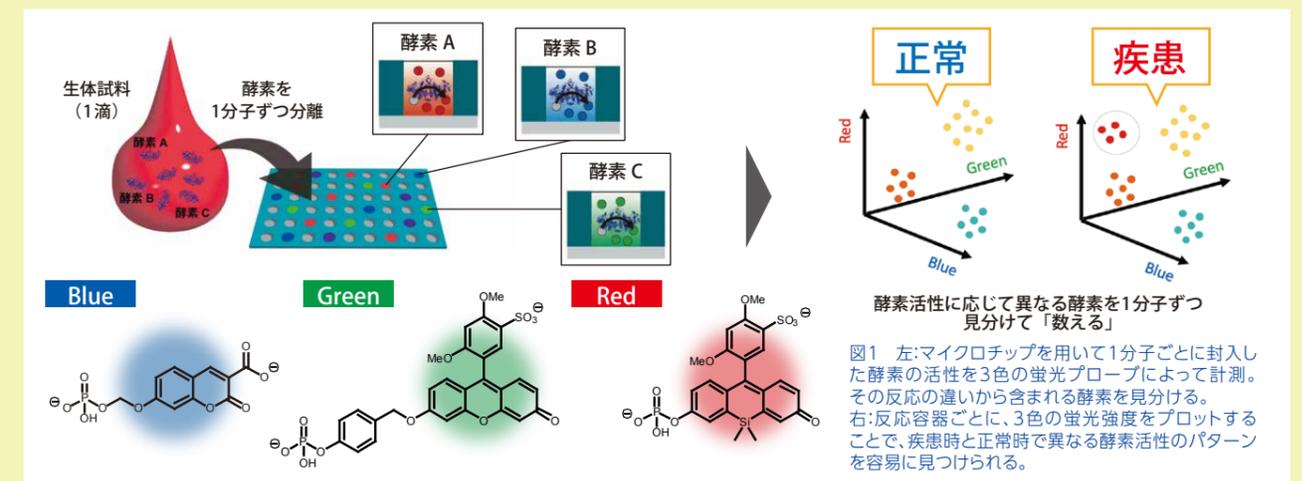


図1 左:マイクロチップを用いて1分子ごとに封入した酵素の活性を3色の蛍光プローブによって計測。その反応の違いから含まれる酵素を見分ける。右:反応容器ごとに、3色の蛍光強度をプロットすることで、疾患時と正常時で異なる酵素活性のパターンを容易に見つけられる。

酵素は生体内でさまざまな化学反応を触媒するたんぱく質で、生命の維持には欠かせません。生体内に数千種類以上が存在するといわれ、疾患と関連して活性に異常が生じる酵素も見つかります。血液中に含まれる疾患関連酵素は疾患を早期に発見するための指標(バイオマーカー)として広く用いられていますが、検出感が低く、ごく少量しか存在しない酵素を見つけ出すことは困難でした。東京大学大学院薬学系研究科の小松徹特任助教らの研究グループは、分野の異なる2つの技術を組み合わせ、この問題を解決しました。

鍵となる技術の1つが酵素1分子の

活性計測で、1000兆分の1リットル程度の反応容器に酵素1分子を封入して活性を調べる方法です。数十万個の反応容器が並ぶマイクロチップに希釈した酵素溶液を流し込むことで酵素を封入し網羅的に解析しますが、血液のように多種類の酵素を含む試料の場合、それぞれの容器にどのような酵素が入っているかまではわからず、よく似た活性を持つ酵素を区別することはできませんでした。

そこで組み合わせるのが、活性の違いから酵素の種類を識別する技術です(図1)。酵素と反応すると蛍光を発する複数の蛍光分子(蛍光プローブ)を用いて、それぞれの色の蛍光強度を反応

容器ごとに計測してグラフ化します。蛍光プローブの構造は色ごとに少しずつ異なるため、わずかな反応性の違いから酵素の種類を見分けられるのです。

この方法を使い、肝臓障害などさまざまな疾患と関連するリン酸エステル加水分解酵素の1種であるALPを、由来組織によるわずかな違いによって区別して検出することに成功しました(図2)。また、糖尿病患者の血液では、小腸由来のALPで活性が高くなっていることも見いだしました。

さらに、この方法を脂質や核酸を代謝するENPPという酵素群にも適用し、これまで血液からは検出されていなかったENPP-3というサブタイプを検出しました。その活性は膵臓がん患者で有意に高まることも突き止めています。

1分子レベルの活性から酵素を高感度で検出し、識別する技術の開発により、疾患の要因や指標となる酵素の発見への新たな道筋が示されました。今後、革新的なバイオマーカーの探索や確度の高い診断技術の開発など、早期診断につながる新たな技術基盤の確立が期待されます。

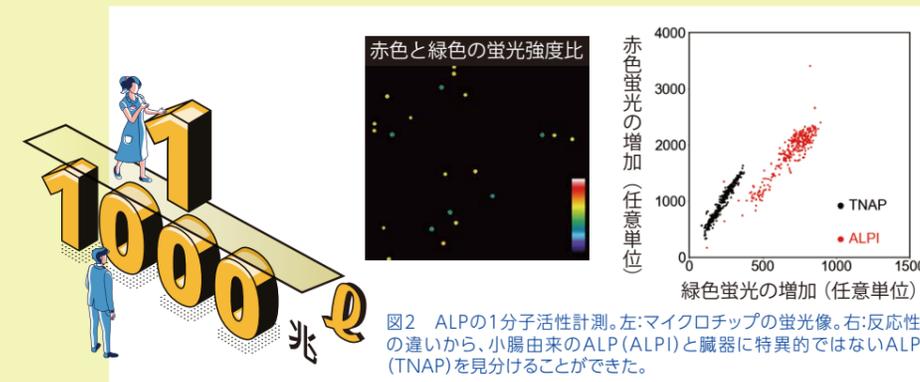


図2 ALPの1分子活性計測。左:マイクロチップの蛍光像。右:反応性の違いから、小腸由来のALP(ALPI)と臓器に特異的ではないALP(TNAP)を見分けることができた。



デジタル技術が変える、科学技術とその在り方 分野横断・融合の視点から俯瞰するシリーズ最新刊を発行

ビッグデータや人工知能(AI)が世界規模で話題になり始めてから、およそ10年が経過しました。これらデジタル技術の進展を受けて、科学研究や企業における製品・サービス開発の在り方も大きく変化させる「デジタルトランスフォーメーション(DX)」が進みつつあります(図1)。

そこでJST研究開発戦略センター(CRDS)では、報告書「デジタルトランスフォーメーションに伴う科学技術・イノベーションの変容」を2020年4月に発行しました。この報告書では、デジタル技術が科学研究や研究開発にどの程度浸透してきたかを横断的に俯瞰し、課題と今後の展望、さまざまな学問分野間の相違や世界と日本の比較などについて、各分野に精通したCRDSフェローが共同で執筆しています。

ビッグデータやAIは今や日常生活においても耳慣れた言葉となり、これらの技術を用いた問題解決プロセスそのものも日々発展を続けています(図2)。リアルタイムかつ精緻に状況を把握・予測し、膨大な選択肢の中から網羅的に検証して、大規模で複雑なタスクを自動実行する。かつてはこうした技術は情報科学の分野に限られたもので、利活用には高いハードルがありました。今では創薬や素材研究など情報科学の枠を越えて広がり、科学技術・研究開発の取り組みそのものをも変容させつつある、と捉えられます。

一方で、技術が実世界で革新を興すには、人材育成や社会制度などの面でも対応が必要です。人々に求められる能力やスキルが急激に変化する中、どのような人材育成・再教育のシステム

データが変える科学技術



図1 デジタルトランスフォーメーションの拡がり

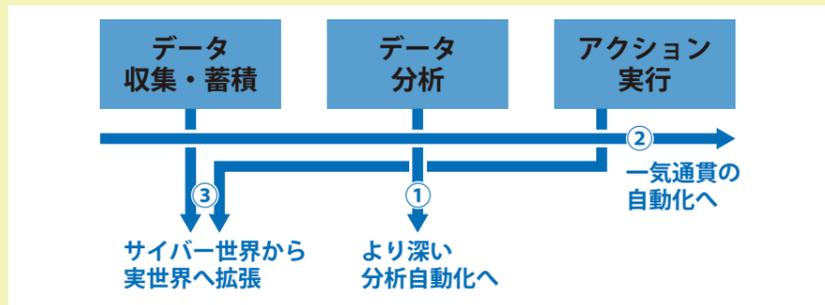


図2 問題解決プロセスの技術的発展の方向

が必要でしょうか。属性や行動履歴のような個人情報のプライバシー保護について、社会や人々の受容性を考慮した制度設計や規制緩和の施策とは、どのようなものでしょうか。これらに唯一の正解はないかもしれませんが、今後の指針を示して課題を考える上では、1つの学問分野に閉じず、こうした広い視野から問いかけることも欠かせません。

この報告書は、CRDSが「ディシプリン(学問分野)を越えて」の意を込めて「Beyond Disciplines」と題して、分野横断・分野融合の視点で取りまとめた報告書シリーズの最新刊です(図3)。これまでに発行した「研究力」や「ELSI(倫理的・法的・社会的課題)/RRI(責任

ある研究・イノベーション)」に関する報告書は国の政策立案や産業界の戦略立案などに広く活用されています。電子書籍(Amazon Kindle版)も順次発行していますので、本書と併せて、ぜひ読んでみてください。

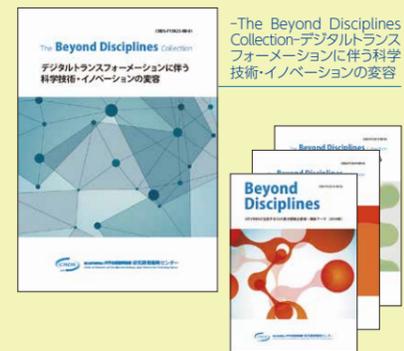


図3 CRDSが発行する報告書「Beyond Disciplines」

2050年の100億人・100歳時代をデザインする CHANCEで議論された未来像を公開



JSTは産学官民の連携による、分野や領域を超えた「共創」を展開するための枠組み「未来社会デザインオープンプラットフォーム(CHANCE)」を2018年に立ち上げました。賛同の輪は徐々に広がり、現在は13機関・3個人が名を連ねています。

これまでにCHANCEでは、「ありたい未来社会」をデザインするさまざまな活動を重ねてきました。中でもJSTは、2050年を1つの重要なタイミングと捉えています。世界の人口が約100億人に達し、その半数程度が100歳以上まで生きるといわれているためです。このままでは人類の生存基盤ともいえるさまざまな資源が不足すると予測されており、この課題の解決に向けた取り組みは、産業界や学界など分野を問わず急務となっています。

そこでCHANCEに賛同する新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)、三菱総合研究所と共に「2050日本

Network of Networks高度化に向けたワークショップ」を企画しました。3者による勉強会などを経て、2月にJST東京本部(東京都千代田区)で開催されたワークショップには、CHANCE賛同機関など20機関から約60人が参加。30年後の「水」「食料」「素材・資源」を切り口とした、互いの専門性をぶつけ合う濃密な議論が行われました。



ワークショップの様子。和やかな雰囲気自由な発想を次々と生み出した。

未来社会デザインオープンプラットフォーム(CHANCE)

<https://chance-network.jp/>



報告書はこちら

ワークショップでは、水、食料、素材・資源が相互に影響し合うことや、「循環」が共通のキーワードであることなどが浮き彫りとなり、「水の偏在」「食品ロス」「資源の循環」の重要性が共有されました。課題解決に向けては、これまでの社会が築き上げてきた価値観を変えていく必要性なども指摘されました。

議論された未来像は、報告書「つくりたい2050年の社会～水・食・資源から～」にまとめ、CHANCEホームページ上で公開しました。この報告書を「ビジョン」として共有することで、さまざまな分野で活動するプレイヤーによる具体的な取り組みの推進へとつなげていきます。今後もJSTは、CHANCE 賛同機関などとの共創活動により、課題解決への貢献を目指します。



JSTのおすすめサイト



「科学と社会」推進部

科学をいっぱい楽しもう! SCIENCE CHANNEL KIDS

暮らしの中の身近な題材から最先端の技術まで、科学技術の世界を親しみやすい映像でお届けする動画ライブラリ「SCIENCE CHANNEL」。ビー玉から電車まで、さまざまなものの「できるまで」を追った人気コーナー「ザ・メイキング」など、皆さんの気持ちをワクワクさせる動画を集めた特設ページを公開しました。科学の魅力に、きっと夢中になれるはずです。

<https://sciencechannel.jst.go.jp/kids/>



バイオサイエンス
データベースセンター (NBDC)

生命科学データベースに関する 情報をブログで発信

NBDCは、生命科学データベースに関する日本の中核機関です。国内外のさまざまな機関と連携し、データの共有、統合やデータを利活用するための技術開発、整備などに取り組んでいます。研究者やスタッフが執筆するブログでは、データベース利活用に役立つ情報や、生命科学分野のホットピックスの解説、新型コロナウイルスに関する研究データやウェブリソースなどもまとめて紹介しています。

<https://biosciencedbc.jp/blog/>



お知らせ

新型コロナウイルス感染拡大防止のため、JSTnewsは一時的に制作規模を縮小して発行します。毎号楽しみにして下さっている皆様には申し訳ございませんが、ご理解くださいますようお願い申し上げます。

JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に積極的に貢献していきます。



日本科学未来館

こちら未来館 オンラインで開館中!

日本科学未来館のウェブサイトでは、新型コロナウイルスに関する素朴な疑問に答えるQ&Aや感染症のプロに聞いてみるニコニコ生放送、家庭で楽しみながら学べる動画コンテンツ、科学コミュニケーターによるブログ記事など、さまざまな科学技術情報を発信しています。オンラインで未来館を訪ねてみてください。

<https://www.miraikan.jst.go.jp/info/2003051425634.html>



「科学と社会」推進部

みんなで科学を楽しもう! サイエンスウィンドウ for KIDS

「科学技術×未来社会」を合い言葉に、子供から大人までわかりやすい情報を発信し、よりよい未来の実現に取り組む科学技術を伝えるウェブマガジン『Science Window』。子供達がワクワクしながら楽しめるコンテンツを集めたサイトを公開しました。じっくり読める特集記事や気軽に楽しめる漫画「カガクのめばえ」など、ぜひご家族でお楽しみください。

<https://sciencewindow.jst.go.jp/kids/>



編集長：安孫子満広
科学技術振興機構 (JST) 広報課
制作：株式会社伝創社
印刷・製本：株式会社丸井工文社



発行日/令和2年5月15日
編集発行/国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) 総務部広報課
〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ
電話/03-5214-8404 FAX/03-5214-8432
E-mail/jstnews@jst.go.jp JSTnews/https://www.jst.go.jp/pr/jst-news/



最新号・バックナンバー