

ILC通信

M A G A Z I N E

feature

なぜILCが必要なのですか？

現代物理学の課題から読み解くILCの意義

インタビュー：道園真一郎氏（新ILCアソシエイト・ディレクター）

ILCニュース 2016

VOL
01

2016年度特別編集版

March 2017

ILC通信

MAGAZINE

編集長

大森 恒彦

編集部

小林 敦子
白形 富子
高橋 理佳
藤本 順平

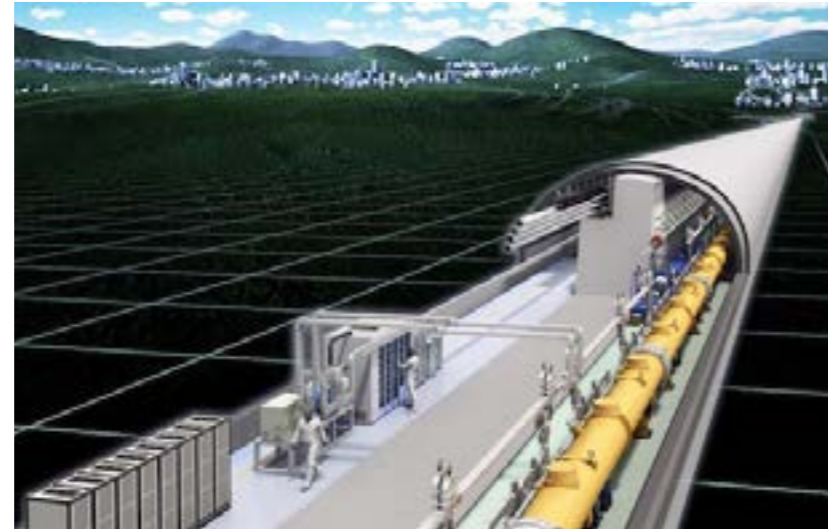
協力

リニアコライダー・コラボレーション
Rey. Hori
Sandbox Studio
Barbara Warmbein (DESY)
Web Edge

表紙

リニアコライダー・コラボレーションが
発行したパンフレット「宇宙の"素材"
の物語」の表紙のイラスト。

© Sandbox Studio, Chicago with Ana Kova



© Rey. Hori

ILC通信 2016年度特別編集版をお届けします

印刷版の ILC 通信を皆様にお届けいたします。2016年からILC通信はウェブマガジンへとリニューアルし、国際リニアコライダー(ILC)に関する情報発信に努めてまいりました。ILCを実現するための活動も、皆様のご支援のおかげで順調に進んでおります。2017年はILCの実現にとって正念場とも言える年になります。ILC 通信では今後とも皆様にウェブマガジンにてタイムリーな情報をお届けするとともに、適宜、印刷版を発行して ILC のことをよりよく知っていただくように努力してまいります。

ILC は人類にとって科学の一層の進歩をもたらすとともに、日本の未来にとって重要な役割を果たす装置であると信じております。今後とも ILC 計画へのご支援よろしくごお願い申し上げます。

ILC通信編集部 編集長 大森 恒彦

発行：ILC通信編集部

住所

〒305-0801
茨城県つくば市大穂1-1
高エネルギー加速器研究機構
2号館405室

お問い合わせ

Tel : 029-879-6291
Fax : 029-879-6246
E-mail : ilc-tsushin@ml.post.kek.jp

Web・SNS



http://www2.kek.jp
/ilc/ilc-tsushin/



ilc_tsushin



@ilctsushin

interview

"ILCは次世代・次々世代につながる貴重な科学的財産"

新ILCアソシエイト・ディレクター 道園真一郎氏インタビュー

国際リニアコライダー(ILC)はその名の通り国際的に推進されている基礎科学プロジェクトだ。活動を推進する国際組織「リニアコライダー・コラボレーション(LCC)」の執行部新メンバーである道園真一郎氏にILCの現状を聞いた。

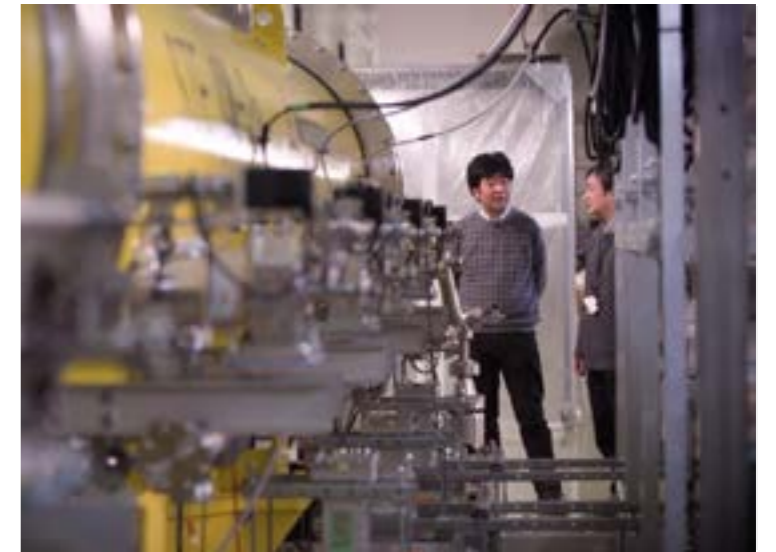


写真:KEKの超伝導RF試験施設(STF)に立つ道園氏(左) ©Web edge

高エネルギー加速器研究機構の教授である道園真一郎氏のもう一つの肩書きは「LCCのILCアソシエイト・ディレクター」である。LCCには大きく分けて「ILC」、「CLIC*」、「物理・測定器」の3つのグループがあり、道園氏はILCグループで行う加速器の技術開発について取りまとめを担う。世界的なILCの技術開発の現状について道園氏は、「順調」と語る。「ILCの加速器技術は2013年にまとめられた技術設計報告書に記載されている成熟した技術が使われています。超伝導加速器に関しては、ドイツの欧州自由電子レーザー、米国のLCLS-IIといったILCのプロトタイプともいえる超伝導電子加速器の運転・建設が進んでいます。その一方で、さらなるコスト削減を視野に入れた最新技術の応用も重要であると言う。「これからの数年は、特に米国で開発されている高電界の加速管処理に関するR&Dなどを世界で協力して進めていくことが重要です」。

日本国内での技術開発も順調だ。KEKで開発が進められている主要技術要素の一つが、ナノメートル(nm: 1mの10億分の1)精度のビーム調整技術。その技術開発は先端加速器試験施設(ATF)で行われている。「ATFのような試験加速器は世界唯一で、諸外国の研究者もATFを使ったリニアコライダーの研究開発に取り組んでいます。ATFには年間のべ1000人・日以上外国人研究者が滞在しています」と道園氏。「テスト加速器でのビームサイズは目標値は37nmで、現在41nmまで到達しています。これは世界記録です」。

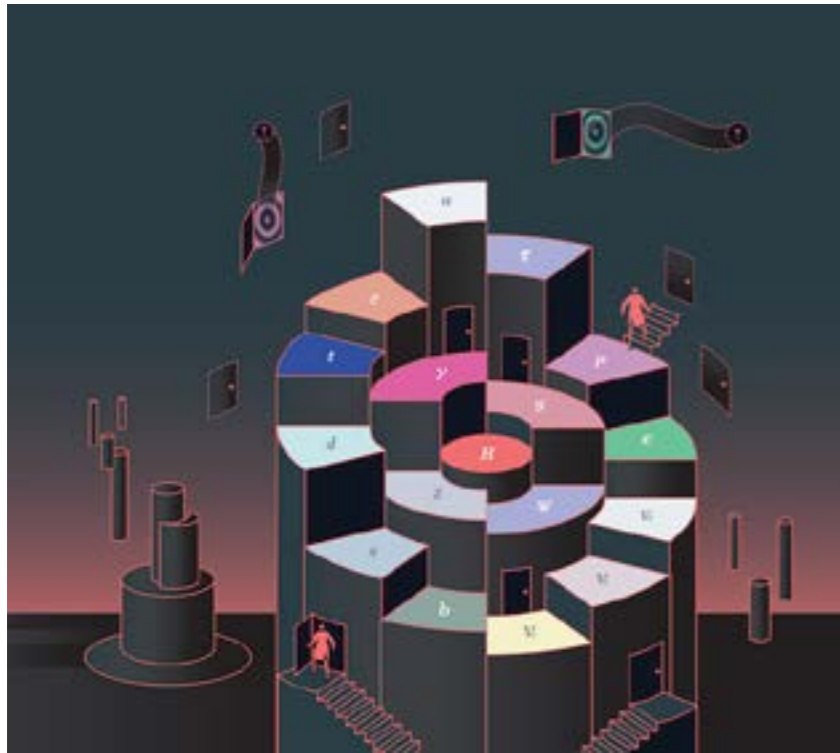
政府レベルでは、文部科学省の設置した有識者会議でILC計画に関する議論が続けられている。同会議は「ILCの性能及び科学的成果については、欧州合同原子核研究機関(CERN)の運用する大型ハドロン衝突型加速器(LHC)での成果に基づいて見極められる」との見解だ。そのため、これから数年以内になんらかの判断が出されることが予想されることから、道園氏は「研究開発の立場としては、いつ判断がでて実施できるように、地道なコスト削減や既存技術の確立に向けて努力していきたいです」と、次の展開に備えている。

ILCは建設期間が9年、運転期間もアップグレードをしながら20年位は見込まれる実験施設である。道園氏は「ILCは、建設されれば、我々の世代というより、次世代・次々世代につながる貴重な科学的財産となります」とし、ILCは未来に向けた投資だと位置付けている。「今の大学生、大学院生の方だけでなく、生まれたばかりのお子さんまで含めた"若手"の科学をリードする施設になると思っています」。ILCは、実現すれば、LHCと並ぶ大きな国際プロジェクトとなる。「ILCの規模のプロジェクトを誘致するというのは、日本国内では初めてのことと思います。日本は科学技術大国として、誘致するにふさわしい国だと思っており、日本に建設されることを期待しています。」強い思いを胸に、道園氏は日本国内の、そして世界の加速器開発をリードしている。*CLIC: CERNが計画している次々世代リニアコライダー計画。ILCとは異なる加速方式を使う。現在はベースライン設計の段階である。

なぜILCが必要なのですか？

なぜ素粒子物理の研究を行うのか？ なぜILCなのか？

現代素粒子物理学の課題からILCの意義を読み解く



宇宙はどのように始まり、これからどうなるのか？どんな仕組みで、何から出来ているのか？私たちはなぜこの宇宙に存在しているのか？

これらは、人類が神話の時代より問い続けてきた疑問である。素粒子物理学は極微の世界を探求することでその答えを追っている。そのために使う実験装置が「高エネルギー加速器」だ。

宇宙は、今から138億年ほど前に「ビッグバン」と呼ばれる大爆発で始まったと考えられている。ビッグバン直後の宇宙は超高温・超高压の超高エネルギー状態で、様々な素粒子が光速で無秩序に飛び交っていた。その後、宇宙が膨張し温度が下がるにつれ、飛び交っていた素粒子がまとまって物質を構成し、現在の夜空に見える星々や銀河のなすパターンを形成するに至ったのである。

高エネルギー加速器は、ビッグバン直後の高エネルギー状態を実験室の中に作り出す装置だ。その頃の宇宙には、現在は見当たらない多くの素粒子が存在していた。高エネルギー加速器の本格的な実験が開始された1980年代以降、たくさんの新素粒子が発見された。そして、その性質が細かく測定され、宇宙の成り立ちやその背後に隠された素粒子の運動を支配する原理と法則があぶり出された。それらの原理・法則をまとめたものが「標準理論」である。標準理論によって、すでに行われた実験を説明できるだけでなく、新しい実験で何が起きるかも予測できるようになったのである。実際、標準理論の予測とこれまでの実験結果は非常に高い精度で合致している。標準理論で存在が予測された粒子の中で唯一発見されていなかったヒッグス粒子も、2012年に欧州のLHCの実験で確

私たちは、宇宙についてまだほとんど知らないまま、その中で暮らしている

—
宇宙の"素材"の物語
「標準理論とは」挿絵
© Sandbox Studio, Chicago
with Ana Kova

認された。完璧な理論のように思える標準理論。とうとう人類は宇宙の全てを理解してしまったのであろうか？

残念ながら、人類はまだ宇宙の完全理解には程遠い場所にいる。実は標準理論が説明できるのは宇宙のわずか5%。宇宙の大半は、見えない未知の物質「ダークマター」と、真空に蓄えられた謎のエネルギー「ダークエネルギー」から構成されている。これらは標準理論で説明することはできない。私たちは、宇宙についてまだほとんど知らないまま、その中で暮らしている、ということだ。

標準理論が完成した今、素粒子物理学は宇宙の理解を劇的に変革させようという分岐点に立っている。この重要な分岐点で、水先案内人となる実験装置が、国際リニアコライダー(ILC)だ。

標準理論が宇宙の5%しか説明できないのだから、宇宙の理解を進めるため

には標準理論を超える新しい理論が必要になる。標準理論では解決できない謎に挑戦するために、これまでいくつかの新理論が提唱されてきた。そのうちのどれかが正しいのか、それとも全てが間違っているのか？新理論候補をふるいにかける鍵となるのが、ヒッグス粒子だ。

LHCで発見されたヒッグス粒子の質量は、新理論候補の予想する質量と微

妙に合致せず、どの理論にもすんなりとは当てはまらなかった。その結果を踏まえて検討した結果、今後の方向性として以下の三つの道が見えて来た。ILCはヒッグス粒子を徹底的に調べることができる。そして、これら三つの道のどれが正しいかを明らかにすることができる。つまり、今後の研究の方向性を決定づけることができるのだ。

一般に、加速器のエネルギーを高くすれば、自然界のより微細な階層が見えてくる。しかし、ILCはそのための単なる一歩ではない。ILCの実験結果がコペルニクス革命(天動説から地動説)に匹敵する知識の革命を引き起こすかもしれない。ILCは、人類の自然理解を新しい時代に導き、「宇宙の常識」を様変わりさせる大きな可能性を秘めているのである。

1 新たな次元の道

第一の道は「新たな次元」。アインシュタインの相対性理論の基礎となる時空(縦・横・高さの空間3次元と時間の1次元)の他に、隠された次元「余剰次元」が存在するという可能性が提唱されている。さらに、「超対称性理論」では、物質粒子と力の粒子が入れ替わる「新しい種類の次元」が存在するとも考えられている。

ILCでは、エネルギー保存則が成り立たない反応や、ヒッグス粒子やトスクォークの異常な振る舞いが観測される可能性が高い。いずれの場合でも、私たちの時空概念に革命が起き、究極理論に向けた大きな一歩となるのだ。

2 新たな階層の道

第二の道は「新しい階層」。ここでは、ヒッグス粒子は最も基本的な粒子である「素粒子」ではなく、内部に構造を持つ「複合粒子」であると考えられる。ヒッグス粒子が複合粒子なら、標準理論では想定されていない、さらに深い自然の階層が存在する可能性が高くなる。そして、その階層を支配する未知の新しい力も存在することになるのだ。

素粒子である電子と陽電子を衝突させるILCは、非常に精密な測定を得意とする装置だ。ヒッグス粒子を大量に生成し、その性質を徹底的に調べることができる。ILCによって、新たなより深い自然の階層への突破口が開けるのだ。

3 複数宇宙の存在の道

第三の道は「複数宇宙の存在」だ。超高性能のILCをもってしても、ヒッグス粒子やトスクォークの性質に標準理論の予測からのズレが見つからず、さらに新粒子も発見されなかった場合は、宇宙の法則が絶妙に調整されている、ということになる。人間や地球の存在すらこの調整の偶然の産物ということになるのだ。この奇妙な偶然に合理的な説明を与える考えの一つが「複数宇宙の存在」だ。ILCの実験結果によっては「宇宙があまりにもうまくできすぎているのは人間が存在するからだ」と考える「人間原理」がもしかしたら本当かも？というSFのような可能性が濃厚になってくる。

ILCの物理学、もっと詳しく知りたい方に 新パンフレット「宇宙の"素材"の物語」をプレゼント!



英語版のパンフレット。日本語版の発送は4月中旬以降を予定しています。写真: Barbara Warmbein

ILCの国際研究組織「リニアコライダー・コラボレーション」は昨年12月にILCで研究する物理学についてまとめたパンフレット(英文)を刊行しました。このパンフレットの日本語版「宇宙の"素材"の物語」が完成しました。このパンフレットでは、素粒子物理学の現在とこれからの展望、ILCから生まれる技術を解説しています。米国のイラストレーター Ana Kova氏による美しいイラスト満載のこのパンフレットをILC通信購読者様にプレゼントいたします。ご希望の方は、住所、氏名、電話番号をお書き添えの上メールでILC通信編集部宛にご応募ください。メールをお使いでない場合は編集部までお電話でご連絡ください。(月~金 9:00-17:00) 応募先は2ページに記載しております。誠に勝手ながら、お申し込みはお一人様につき1部に限りさせていただきます。皆様のご応募をお待ちしております。

ILCニュース 2016

2016年度にILC通信ウェブマガジンでお伝えしたILC関連のニュースの中から
ピックアップしてお届けします。

ウェブマガジンへのご登録はお済みですか？

タイムリーな情報提供を目指してウェブマガジンを発行しております。
ぜひご登録ください！

ご登録：<https://ws.formzu.net/fgen/S83386907/> または右のQRコードから



4月 KEK新体制発足

2016年4月、KEKのILC推進体制が刷新された。ILCプロジェクトの計画推進と研究開発の推進体制を整理し、役割を明確にしたもの。KEK機構長が主宰するエグゼクティブボードで議論、調整を行う。

5月 独、ILC支持を表明



KETワークショップのポスター。中央の図はヒッグス粒子の素粒子反応

ドイツの素粒子物理学者のコミュニティを代表する、素粒子物理学委員会 (KET)は、ミュンヘンで行われたワークショップで

ドイツの将来戦略について議論。ILCを強く支持する声明を発表した。

6月 サイエンス x ハローキティ デビュー!



ILC加速器の「クライオモジュール」にまたがる Science X Hello Kitty。世界でも珍しいメガネをかけたHello Kittyで、トレードマークのリボンにはラグランジアンマークが。

ILCの研究分野「素粒子物理学」は縁遠い世界だと感じてしまう人が多いのが現状。そんな難しくして馴染みのない科学の世界をより多くの皆様に親しんで知っていただくために、一般社団法人先端加速器科学技術推進協議会(AAA)は、サンリオの人気キャラクター、ハローキティとコラボ。「サイエンスxハローキティ」グ

ッズの販売を開始した。

売り上げの一部はILC日本誘致活動に使われます。皆様のご協力をお待ちしております！商品のお買い求めは：
Science x Hello Kitty オンラインShop
<https://sciencecity.shop-pro.jp>



9月 KEK一般公開



イベントに参加した子供達には、ビーベル賞、ゾーベル賞、ニャーベル賞のいずれかが授与された。これはビーベル賞メダル

9月4日(日)KEKの一般公開が行われ、ILCブースでは体験型イベント「素粒子を探せ!」を実施。参加した子供達に記念のメダルがプレゼントされた。

11月 ILCの模型が東京ミッドタウンに



来場者で賑わう東京ミッドタウン コートヤードに出現したILCの巨大模型。製作時には大雨に見舞われる日もあり苦労もあったが、素晴らしい模型が完成した。
写真: ©A.KONDO

10月28日～11月6日、東京ミッドタウン(東京都港区)のコートヤードで、世界的に有名な建築家の長坂常氏のインスタレーション作品「0/30km-大きさ0を求めて」を展示する「Salone in Roppongi(サローネ・イン・ロップンギ)」が「東京ミッドタウン・デザインタッチ」の一環として開催された。主催はリニアコライダー・コラボレーション。ILCの2000分の1に当たる、全長15m山脈型巨大模型は「版築」という古代建築の手法を用い製作。構築には美術や建築が専攻の大学生ら延べ300人が参加。模型中央部にはライゾマティクス社による、電子と陽電子が衝突して生じるヒッグス粒子やダークマターなどの素粒子反応が表現された。映像を見た5歳の女の子は「お山の中に宇宙ができたよ!」と両親に興奮した様子で報告していた。10日間の会期中、2万人を超える来場者が展示を楽しんだ。また、会場に設置されたILCの実物大クライオモジュールのパネルには、書き込む場所がなくなるほど多くの応援メッセージが寄せられた。

12月 ILCの国際会議 岩手県で開催



国際会議に向けて地元高校生が育てた「ILCりんご」。参加した研究者に配られ、非常に喜ばれた。

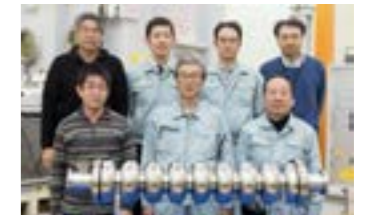
12月5日～9日、アイーナいわて県民情報交流センターとマリオス盛岡地域交流センター(岩手県盛岡市)において、リニアコライダー国際会議(LCWS2016)が開催され、世界から約300名の加速器・測定器・物理の研究者が参加した。初日には、リニアコライダー国際研究所建設推進議員連盟会長の河村建夫衆議院議員が特別講演を実施。河村氏は、「日本からは今こそ「サイエンス・ファースト」とメッセージを発信したい。そして、リニアコライダーはその新たな象徴となるものであります」と述べた。
スピーチ全文:goo.gl/R21c69
LCWS2016ウェブサイト:
<http://lcws2016.sgk.iwate-u.ac.jp>

1月 LCC新組織発足

1月1日(日)、リニアコライダー・コラボレーション(LCC)の新組織が発足した。任期は、2017年1月から3年。ディレクターは、引き続きリン・エバンス氏(元LHCプロジェクトマネージャー、

ロンドンインペリアルカレッジ教授)。副ディレクターは村山齊氏(カリフォルニア大学バークレー校教授)が続投。LCCには、研究領域に対応する3つの下部セッションが設置され、CLICセッションはスタイナー・スタブネス氏(CERN)が引き続きリードし、ILCセッションは道園真一郎氏(KEK)、物理・測定器セッションはジム・ブラウ氏(米オレゴン大学)が指揮を執る。

2月 KEK製の空洞 ILCの性能を達成

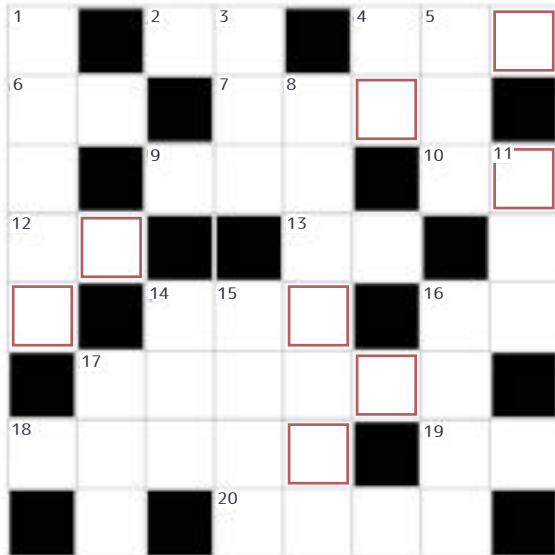


完成した2号機とKEKの空洞開発チーム。空洞は非常に純度の高いニオブから作られる。

KEKでは、ILC計画など超伝導加速空洞を多く用いる加速器の実現に向けて、製造技術の開発や、量産化に関する研究を行うために、空洞製造技術開発施設(CFF)を運用している。CFFは、KEKの中だけで超伝導加速空洞を製作できるという世界でも類を見ない特徴を持っている施設。このたび、KEK-CFF製超伝導加速空洞の2号機が完成、性能試験において、加速電界、Q値の両方で前回製作したKEK-1号機を上回るとともに、ILC加速器用加速空洞の評価基準値である35MV/mを満たす、最大加速電界Eacc=38メガボルト/メートル(MV/m)(Q0=9×10⁹)を達成、超伝導加速空洞の量産化に向けて大きく前進した。

ILCクロスワード

ILCや物理学、科学にまつわる言葉を入れて作ったクロスワードパズルです。タテ、ヨコのカギをといてマス目を埋めてください。このILC通信にも答えが書いてありますので、よく読んで挑戦してくださいね。赤いマスの文字を並べてできる言葉が答えです。解答をお送りいただくと抽選で10名様に素敵な商品をプレゼントいたします。皆様のご応募お待ちしております！



解答欄

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ヒント： 映画「バック・トゥー・ザ・フューチャー」に出てくる犬の名前

--- タテのカギ ---

- 【タテ1】 宇宙はこれから始まったと考えられています
- 【タテ3】 物事の筋道。こじつけの理由。
- 【タテ4】 微笑みの国
- 【タテ5】 15のタテを作るレアメタルの名前
- 【タテ8】 Science X Hello Kittyのリボンの中はこれのマーク
- 【タテ11】 ○○○は損気。気長に待ちましょう。
- 【タテ14】 液体に溶けること
- 【タテ15】 ILCの心臓部。串団子のような形をしています
- 【タテ17】 ギリシャ神話で9つの頭を持ったウミヘビの名前

--- ヨコのカギ ---

- 【ヨコ2】 トマトソースの中に唐辛子やスパイスなどを入れたもの
- 【ヨコ4】 (なぞなぞ) 田んぼの西にいる生き物は？
- 【ヨコ6】 物質は全てこれからできています。
- 【ヨコ7】 Science X Hello Kitty が乗っているのは○○○○モジュール
- 【ヨコ9】 科学者も意外と縁起を○○○人が多いのです
- 【ヨコ10】 「ローズポーク」は茨城県産の○○肉
- 【ヨコ12】 ベトナム語で「7」
- 【ヨコ13】 水を加えると白くなるトルコのお酒
- 【ヨコ14】 子孫の戒めとしてその家の当主が書き残したものの
- 【ヨコ16】 ○○は本能寺にあり
- 【ヨコ17】 ヒッグス粒子が見つかって完成した○○○○○○理論
- 【ヨコ18】 (なぞなぞ) 小学生しか通れないドアは？
- 【ヨコ19】 2014年にオリンピックが行われたところ
- 【ヨコ20】 $F=ma$ はニュートンの○○○○方程式

ご応募： お一人様1回限り

応募方法： 解答、お名前、住所、メールアドレスまたは電話番号をメールまたはFAXでILC通信編集部までお送りください。(連絡先は2ページに記載)
締め切り： 2017年5月末日

「ILC理解増進のための寄附金」の募集をはじめました。みなさまのご理解とご協力をお待ちしております。



KEKでは、国際リアコライダー計画の実現に向け、計画の意義を皆様に広くご理解頂く活動に用いるために、この度寄附金を募集することに致しました。本寄附金募集事業で得られた資金は、広くILC計画を周知するとともに、深くご理解いただくための活動に活用させていただきます。ILC計画に対して調査・検討が進められている今、時宜を逸することなく理解増進活動をさらに充実させるためには、皆様のお力添えが必要です。何とぞ趣旨にご賛同いただき、皆様からの温かなご支援とご協力を賜りますよう、よろしくお願ひ申し上げます。

事業の詳細につきましては、KEK寄附金ウェブサイト、または担当までお問い合わせください。また、店舗等での寄附金募集チラシの配布にご協力いただける方も募集しております。ご協力のほどよろしくお願ひ申し上げます。

ILC寄附金ウェブサイト：<http://www2.kek.jp/ilc/ja/contents/contribution/index.html> または「ILC寄附金」で検索

ILC理解増進のための寄附金担当連絡先：029-864-5131 (ILC推進準備室)