NIMS NOW

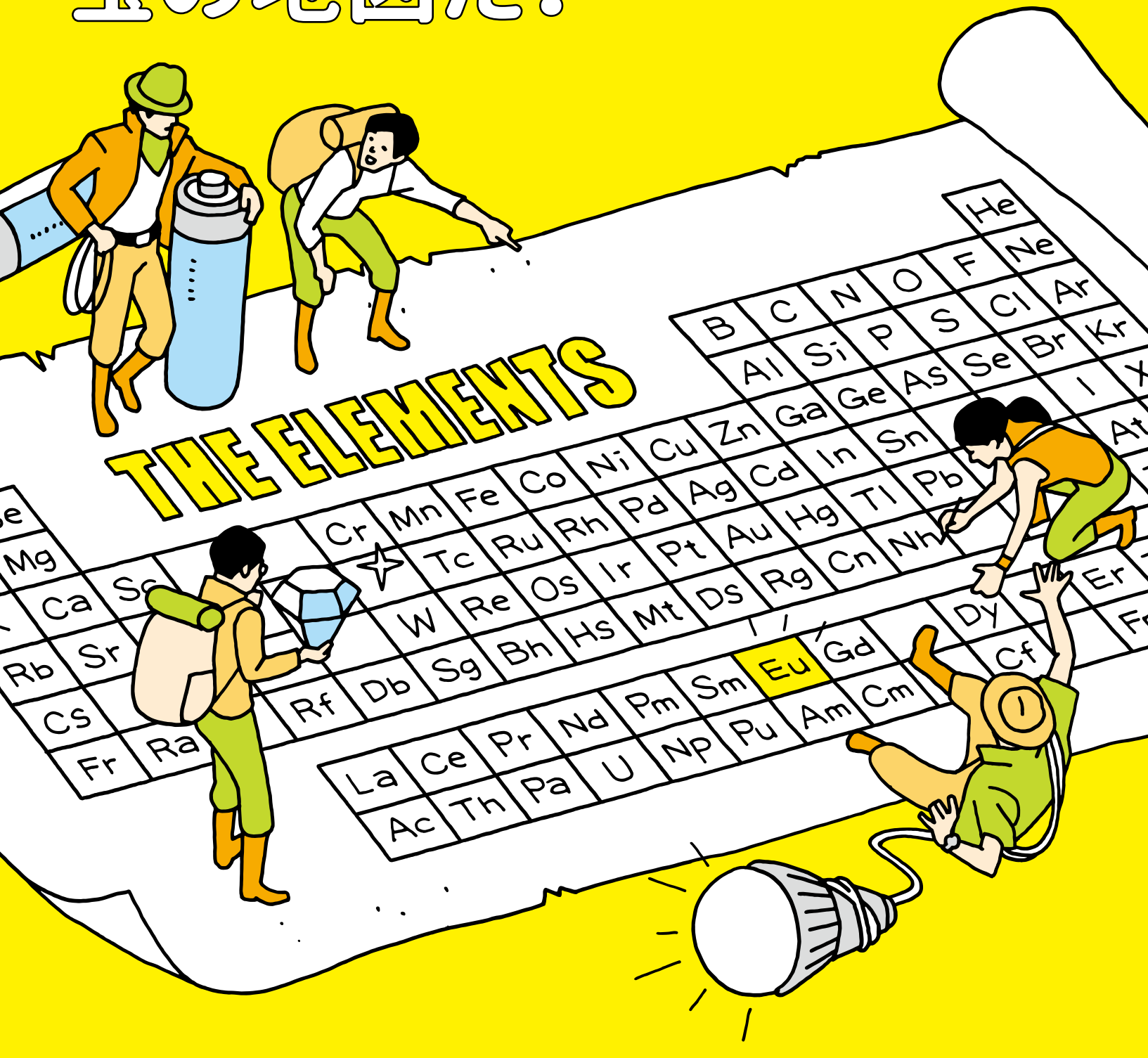
NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE

2019 2

元素周期表 150周年記念

元素周期表は、宝の地図だ！

物質 材料

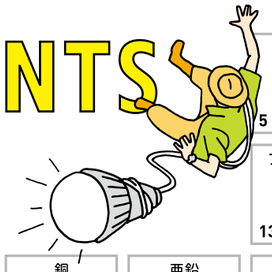


NIMS NOW
NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE
2019 2

元素周期表 150周年記念 物質 材料

元素周期表は、宝の地図だ！

THE ELE MENTS



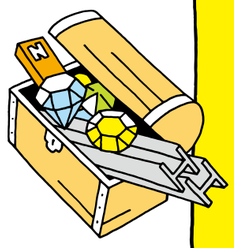
水素
H
1 1.008

元素名（日本名）
元素記号
原子量
[ ]は代表的な同位体の質量数
原子番号

	1族	2族	3族	4族	5族	6族	7族	8族	9族	10族	11族	12族	13族	14族	15族	16族	17族	18族
1周期	水素 H 1 1.008																	ヘリウム He 2 4.003
2周期	リチウム Li 3 6.941	ベリリウム Be 4 9.012											ホウ素 B 5 10.81	炭素 C 6 12.01	窒素 N 7 14.01	酸素 O 8 16.00	フッ素 F 9 19.00	ネオン Ne 10 20.18
3周期	ナトリウム Na 11 22.99	マグネシウム Mg 12 24.31											アルミニウム Al 13 26.98	ケイ素 Si 14 28.09	リン P 15 30.97	硫黄 S 16 32.07	塩素 Cl 17 35.45	アルゴン Ar 18 39.95
4周期	カリウム K 19 39.10	カルシウム Ca 20 40.08	スカンジウム Sc 21 44.96	チタン Ti 22 47.87	バナジウム V 23 50.94	クロム Cr 24 52.00	マンガン Mn 25 54.94	鉄 Fe 26 55.85	コバルト Co 27 58.93	ニッケル Ni 28 58.69	銅 Cu 29 63.55	亜鉛 Zn 30 65.38	ガリウム Ga 31 69.72	ゲルマニウム Ge 32 72.63	ヒ素 As 33 74.92	セレン Se 34 78.97	臭素 Br 35 79.90	クリプトン Kr 36 83.80
5周期	ルビジウム Rb 37 85.47	ストロンチウム Sr 38 87.62	イットリウム Y 39 88.91	ジルコニウム Zr 40 91.22	ニオブ Nb 41 92.91	モリブデン Mo 42 95.95	テクネチウム Tc 43 [99]	ルテニウム Ru 44 101.1	ロジウム Rh 45 102.9	パラジウム Pd 46 106.4	銀 Ag 47 107.9	カドミウム Cd 48 112.4	インジウム In 49 114.8	スズ Sn 50 118.7	アンチモン Sb 51 121.8	テルル Te 52 127.6	ヨウ素 I 53 126.9	キセノン Xe 54 131.3
6周期	セシウム Cs 55 132.9	バリウム Ba 56 137.3	ランタノイド 57-71	ハフニウム Hf 72 178.5	タンタル Ta 73 180.9	タングステン W 74 183.8	レニウム Re 75 186.2	オスミウム Os 76 190.2	イリジウム Ir 77 192.2	白金 Pt 78 195.1	金 Au 79 197.0	水銀 Hg 80 200.6	タリウム Tl 81 204.4	鉛 Pb 82 207.2	ビスマス Bi 83 209.0	ポロニウム Po 84 [210]	アスタチン At 85 [210]	ラドン Rn 86 [222]
7周期	フランシウム Fr 87 [223]	ラジウム Ra 88 [226]	アクチノイド 89-103	ラザホージウム Rf 104 [267]	ドブニウム Db 105 [268]	シーボーギウム Sg 106 [271]	ボーリウム Bh 107 [272]	ハッシウム Hs 108 [277]	マイトネリウム Mt 109 [276]	ダームスタチウム Ds 110 [281]	レントゲニウム Rg 111 [280]	コペルニシウム Cn 112 [285]	ニホニウム Nh 113 [278]	フレロビウム Fl 114 [289]	モスコビウム Mc 115 [289]	リバモリウム Lv 116 [293]	テネシン Ts 117 [293]	オガネソン Og 118 [294]

ランタン La 57 138.9	セリウム Ce 58 140.1	プラセオジム Pr 59 140.9	ネオジム Nd 60 144.2	プロメチウム Pm 61 [145]	サマリウム Sm 62 150.4	ユウロピウム Eu 63 152.0
アクチニウム Ac 89 [227]	トリウム Th 90 232.0	プロトアクチニウム Pa 91 231.0	ウラン U 92 238.0	ネプツニウム Np 93 [237]	プルトニウム Pu 94 [239]	アメリシウム Am 95 [243]

ガドリニウム Gd 64 157.3	テルビウム Tb 65 158.9	ジスプロシウム Dy 66 162.5	ホルミウム Ho 67 164.9	エルビウム Er 68 167.3	ツリウム Tm 69 168.9	イッテルビウム Yb 70 173.0	ルテチウム Lu 71 175.0
キュリウム Cm 96 [247]	バークリウム Bk 97 [247]	カリホルニウム Cf 98 [252]	アインスタイニウム Es 99 [252]	フェルミウム Fm 100 [257]	メンデレビウム Md 101 [258]	ノーベリウム No 102 [259]	ローレンシウム Lr 103 [262]



元素をめぐる数字

150年
メンデレーエフが周期表を発表してから経った年数

118個
発見されている元素の数

84個
NIMSの研究者が扱ってきた元素の数

「超合金」に含む元素の数
高温に耐える合金づくりにはたくさんの元素を使う。一方、Si のようにひとつの元素で高い機能を発揮することも。「超合金」P.10

10個

9,750,000円
最も高価な元素の値段
*1kg あたり、2019 年 2 月時点 「元素のお値段」P.13

15カ国
※NIMS調べ。諸説あり
元素を発見した国の数
2015 年に日本が加わり、元素を発見し命名権を得た国は15カ国に。ちなみに発見数が多いのは、イギリス、アメリカ、ドイツ。

物質を構成するすべての元素が並んだ「元素周期表」。
試験勉強のために必死で暗記したにすぎない、無味乾燥な表だと感じているかもしれません。

でも、材料科学者にとっては違います。
元素を組み合わせ、その機能を探っていく物質・材料の世界では、
周期表は大いに頼りになる存在です。

どの元素を選び、そしていくつ使うのか——
組み合わせ方は膨大で、その分だけ新材料の可能性は広がっています。
材料科学者は、地平線の見えない荒野を前に、探索に果敢に挑む冒険家のようなものです。

そんな中、元素のエッセンスを立ちどころにつかむことができる周期表は、
材料科学者にとって進むべき道を照らす “宝の地図” なのです。

今なお、たくさんの材料が誰かに見つけだされるのを待っていることでしょう。
地図と情熱をたずさえ、今日も材料をめぐる冒険はつづきます。

さあ、冒険に出かけよう!

私の周期表

周期表を見れば、材料と科学者の個性が明らかに?!
材料科学者の “宝の地図”、お見せします。

半導体材料　川村史朗さん……P.6
触媒材料　阿部英樹さん……P.7
生体材料　菊池正紀さん……P.8
超伝導物質　磯部雅朗さん……P.9
超合金材料　川岸京子さん……P.10
電池材料　野村晃敬さん……P.11
GUEST! 花火　山﨑芳男さん（株式会社 山﨑煙火製造所）……P.12

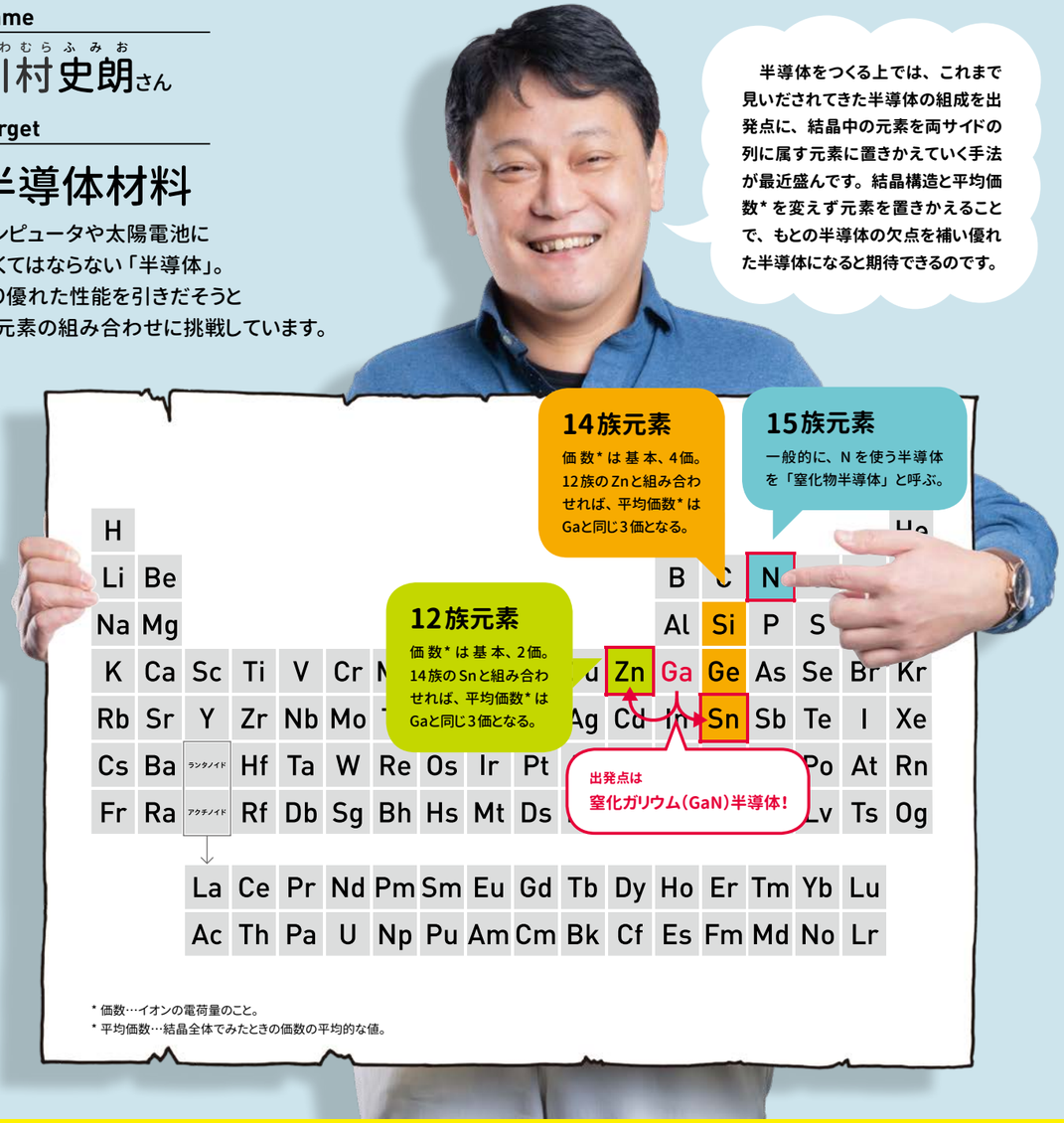
Name

川村史朗（かわむらふみお）さん

Target

半導体材料

コンピュータや太陽電池に
なくてはならない「半導体」。
より優れた性能を引きだそうと
新元素の組み合わせに挑戦しています。



こんな研究をしています！

21世紀の光を変えた青色LEDは、新しい半導体の発見によって実現しました。13族のGaと15族のNを組み合わせた、GaN半導体です。その後、GaNの結晶構造を保ったまま、Gaを同じ13族のAlやInと置きかえ、さまざまな波長の光を出す半導体がつくり出されてきました（AlN、InN半導体）。こうした発光する材料は、反対に光を吸収する材料にもなり、とりわけGaNやInN半導体は太陽電池の材料として有望視されていますが、GaやInは地球上で希少なため高価です。

そこで私は、平均価数*という考え方によってGaN半導体のGaを、周期表で両サイドの列にあたる12族、14族の元素に置きかえようと考えました。12族、14族には地球上に豊富に存在するため安価で、毒性がない元素がいくつもあるのです。私は実際に、6万気圧という超高圧をかけて高品質な $ZnSnN_2$ 半導体を合成することに世界で初めて成功しました。現在は、高性能な次世代太陽電池の実現に挑戦しています。

半導体を合成する超高圧合成装置

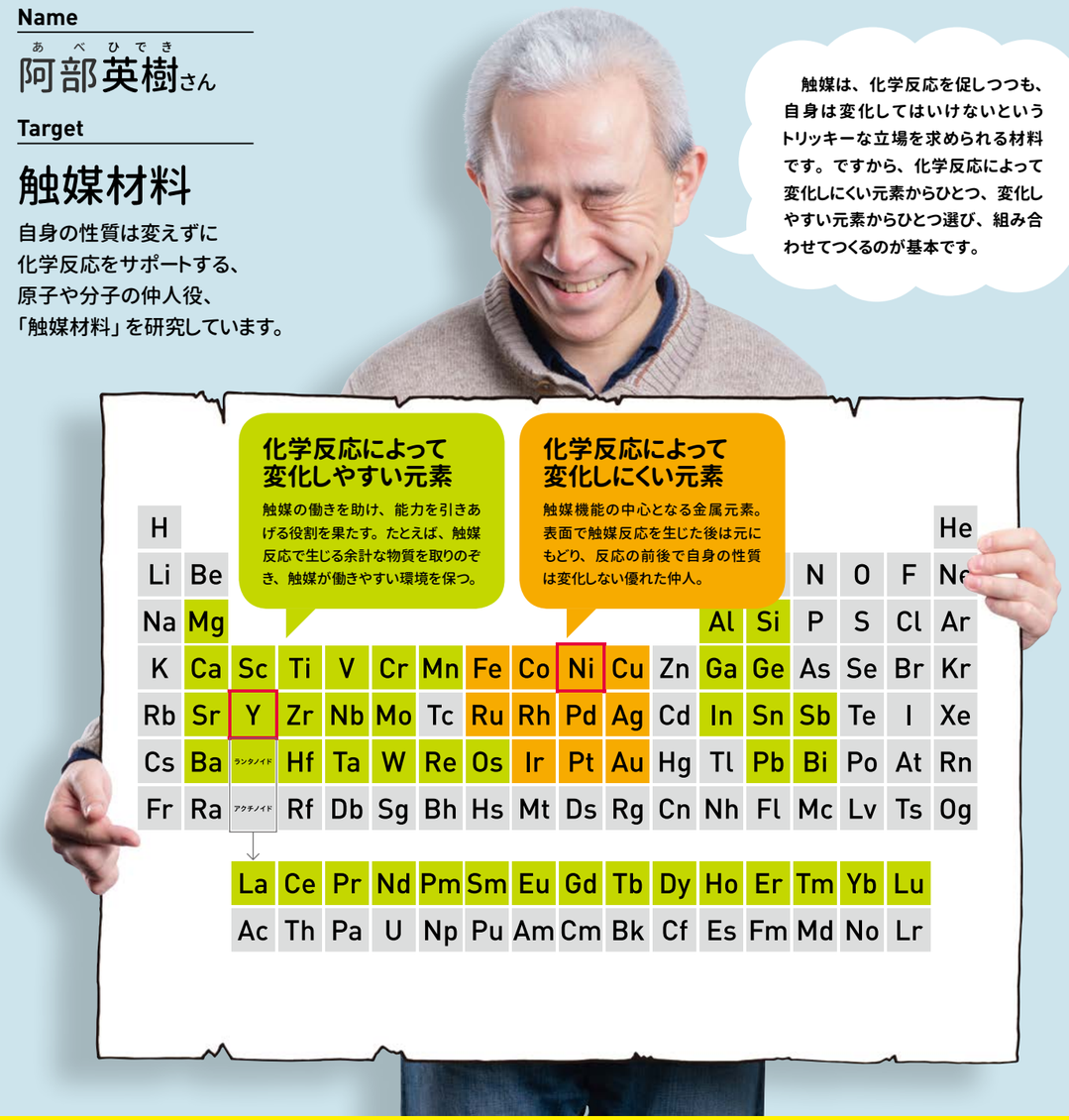
Name

阿部英樹（あべひでき）さん

Target

触媒材料

自身の性質は変えずに
化学反応をサポートする、
原子や分子の仲人役、
「触媒材料」を研究しています。

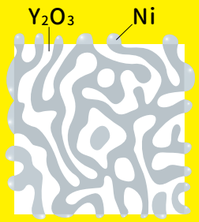


こんな研究をしています！

これまで、自動車の排気ガスを浄化する材料など、さまざまな触媒の研究開発に取り組んできましたが、いま特に力を入れているのが“水素をつくる材料”です。水素は地球上にたくさん存在しますが、それ単体ではなく、ほとんどが化合物として存在しています。ですから、水素を自動車などの燃料としてつかうには化合物から水素を取りだす必要があるのです。そこで役立つのが触媒です。

水素を含む化合物の代表は、天然ガスの主成分、メタン（CH_4）。高温下でメタンと水蒸気を触媒を使って反応させることで、水素と一酸化炭素に分離することができます。今、そうした触媒はすでに実用化されていますが、私はさらにその効率を上げようと、酸化イットリウム（Y_2O_3）の土台（担持体）にNiが根を生やした「根留触媒」と呼ばれる新構造の触媒を開発。1000時間連続の水素製造で性能が低下しないことを確かめました。今は触媒の合成規模の拡大をはじめ、工業化へ向けた試みをつづけています。

詳しい研究紹介は→→『NIMS NOW vol.18 no.5』P.10



担持体にNiが根を生やした「根留触媒」

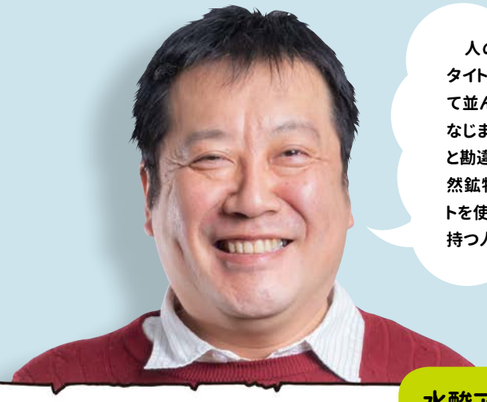
Name

菊池正紀（きくちまさのり）さん

Target

生体材料

単に欠けた部分をうめるだけでなくやがて骨そのものと同化していく、人の体とよくなじむ「人工骨」の研究開発をしています。



人の骨は２つの物質（水酸アパタイトとコラーゲン）が向きをそろえて並んでいます。人工骨をこれとよくなじませるには、体に“自分の骨”と勘違いさせることが大切。そこで天然鉱物として存在する水酸アパタイトを使って、人の骨とよく似た構造を持つ人工骨を開発しました。

＼こんな研究をしています！／

骨を速くきれいに治そうと、さまざまな人工骨の研究開発が進められてきました。その中で“Mg や Sr などの元素を加えると治りが速まる”といった報告もなされてきましたが、私たちは骨の素材である水酸アパタイトとコラーゲンだけで、自然治癒するのと同じくらい速く骨を治せる人工骨づくりに成功しています。コラーゲン繊維に沿ってナノサイズの水酸アパタイトが整列した、本当の骨とよく似た構造をつくる技術を開発したのです。この人工骨は体に“自分の骨”と認識されてまるで本当の骨のようにスムーズに新しい骨へ置きかわっていくので成長過程にある子どもにも適しています。しかも、開発した人工骨はセラミックス製のものと違って弾力性があり、骨の欠損部にフィットすることから治療効果が高く、すでに整形外科領域で応用されています。

今後も、体に大きな負担をかけずに注入できるペースト状の人工骨や抗菌性の高い人工骨、金属製インプラントと骨の結合を加速するコーティング材など、快適な暮らしに貢献できるような材料開発を進めていきたいと思っています。

弾力性を持つ人工骨

Name

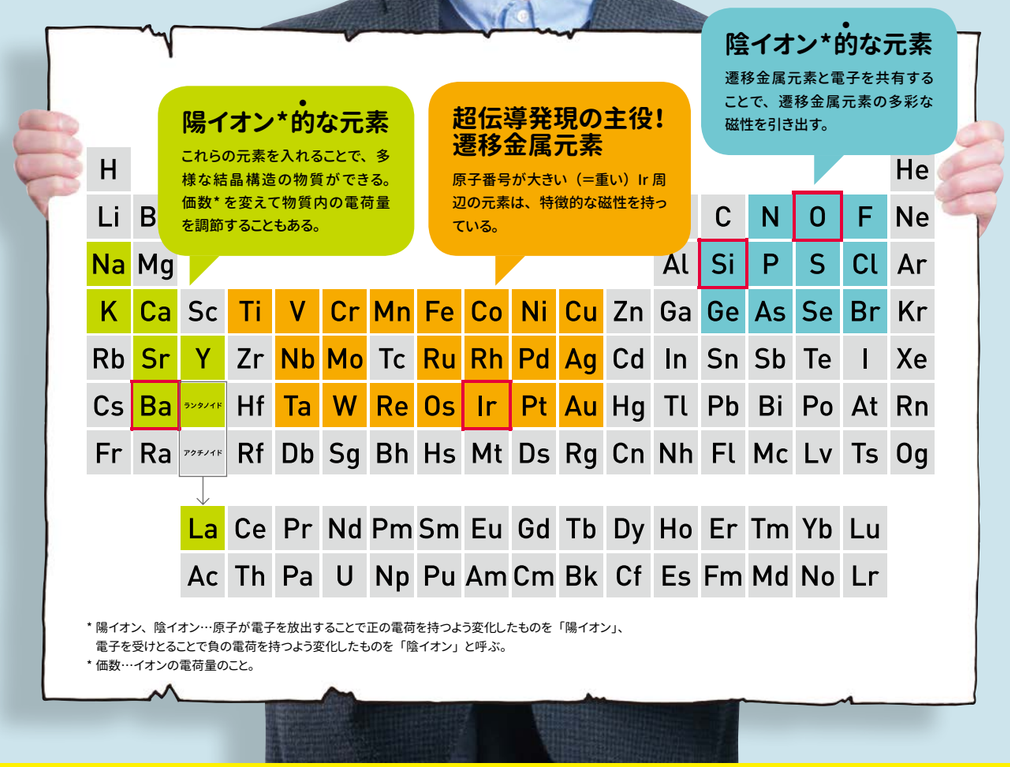
磯部雅朗（いそべまさあき）さん

Target

超伝導物質

低温で電気抵抗がゼロになる現象「超伝導」。その性能を飛躍的に向上させ得る新しいメカニズムを持つ物質をつくり出すことを目指しています。

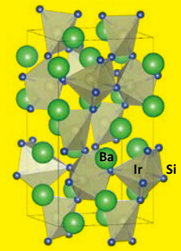
「磁性」を起源とする超伝導物質を探しています。遷移金属元素（磁性元素）と他のさまざまな元素を組み合わせて新しい化合物を合成します。周期表を、たとえば以下のような3つの領域に分けて、その中から元素を選び組み合わせて物質設計を行います。



＼こんな研究をしています！／

超伝導は、冷やしたときに２つの電子が一組となった「クーパー対」をつくることで起こります。クーパー対の結合力（２つの電子をくっつける“糊”）が強いほど、超伝導は破れにくくなります。従来、その“糊”は原子の熱振動（格子振動といいます）が起源と考えられていました。しかし、1986年に発見された酸化物高温超伝導では、Cuの「磁性」が関係していることが分かりました。以降、磁性を起源とする超伝導物質の探索が積極的に進められるようになりました。私もその魅力に取りつかれた研究者の１人です。

当初は主に Cu 周辺の元素を含む化合物を探索していましたが、ここ数年は Ir 周辺の原子番号が大きい（＝重い）元素に着目しています。磁性の源には“軌道”と“スピン”の２つがあります。Cuの場合はスピンが主役ですが、Ir のような重い元素ではスピンと軌道の両方が強く関与するので、それを起源とした新しいメカニズムの超伝導ができないかと考えています。この発想のもと、ごく最近、新しい超伝導物質 $BaIrSi_2$ を発見することに成功しました。



新超伝導物質 $BaIrSi_2$ の結晶構造

Name

川岸京子（かわぎしきょうこ）さん

Target

超合金材料

航空機や火力発電所の中で
超高温に耐える「超合金（超耐熱合金）」。
燃費の向上に不可欠な、より耐熱性が高い
合金づくりに挑戦しています。

金属元素をベースに複数の元素をスパイスのように加えることで、単独の金属では出せないような性能を発揮させることができます。加える元素の数はなんと 10 種類にも及びます。金属中の原子や結晶同士の結びつき具合が性能のカギを握ります。

こんな研究をしています！

航空機のエンジンや火力発電所のガスタービンの中は、1000℃以上もの超高温。そこで活躍するのが「超合金」です。最新型のボーイング787 のエンジンを構成するタービン動翼には、NIMS 生まれの Ni ベースの超合金が使われています。このタービン動翼の耐熱温度を上げることができれば燃費が高まる上に CO_2 の排出も大幅に抑えることができるので、超合金の進化が待ち望まれています。

超合金に加える元素にはそれぞれ役割があり、配合の比率を少し変えるだけで特性が大きく変化します。耐熱性や強度、サビにくさ……さまざまな性能が求められる超合金の設計は複雑で、NIMS が開発した「合金設計プログラム」による特性の予測が欠かせません。2012 年にはシミュレーション結果をもとに、Re や Ru を加えることで世界最高の耐用温度（1120℃）を持つ超合金の開発に成功しました。今後は、開発した材料を社会で広く使ってもらうために、低価格かつ製造しやすい合金の開発にも挑戦していきたいと思っています。

超合金を使った航空機のタービン動翼

Name

野村晃敬（のむらあきひろ）さん

Target

電池材料

電気をためて繰りかえし使える蓄電池。
高容量化を目指して私が研究しているのは
“究極の蓄電池”との呼び声高い
「Li 空気電池」です。

エネルギー密度が高い電池をつくるには、軽くて電子を出し入れしやすい元素が最適です。だから、電池の基本構成要素である「正極」「負極」「電解液」に使う元素はどれも、周期表で 1、2周期目に並ぶ元素が中心になります。

* 活物質…電気をつくる反応に寄与する物質

こんな研究をしています！

世の中に最も普及している「Li イオン二次電池」の性能が限界に近づきつつある中、高容量化の切り札に挙げられるのが「Li 空気電池」です。どちらの電池も Li が正極と負極の間を行き来することで電気をつくったりためたりする点は同じですが、Li 空気電池は活物質の O_2 を空気から取りこむ分、電池を軽く小さくできるので高容量化には有利です。

試作した Li 空気電池（左はコイン型、右はスタック型）

Li 空気電池で効率よく電気をつくるには、正極で空気から取りこんだ O_2 とイオンになった Li がたくさん出会って反応すること、そしてそれによってできた Li 酸化物が次から次へと取りこまれる O_2 と Li の反応を邪魔しないことが大切です。そのため、正極には「多孔質カーボン」と呼ばれるたくさん孔を持ち表面積が大きな材料を使います。一方、電気をためるには今度は逆に Li 酸化物が Li と O_2 に別れて元の場所に戻る必要があるので、スムーズな別れをサポートする電解液や添加剤の探索にも取り組んでいるところです。と同時に、大容量化に向けて電池を何層にも重ねた構造（スタック型）を試作するなど、一日も早い実用化に向けて挑戦をつづけています。

GUEST!

Name

山崎芳男（やまざきよしお）さん（花火師）

株式会社 山崎煙火製造所

Target

花火

夜空にきらめく一瞬の芸術、花火。
古くからの伝統を守りつつ、
新しい表現や環境にやさしい花火を目指して、
日々探求をつづけています。

Message from 山崎さん

花火の色が“炎色反応”であることは有名ですが、価格と安全面から、花火に使うのは Na（黄）、Sr（紅）、Ba（緑）、Cu（青）のわずか 4 種類。これらを組み合わせることで、多彩な色と濃淡をつくり出しています。さらに、色以外の効果をつくり出しているのは Mg や Al、Ti といった金属の粒子です。これらを配合することで、一瞬のまばゆい輝きやゆっくりと儚く散る光など、光に豊かな質感を与えることができます。それら火薬の配合、“星”と呼ばれる火薬玉の並べ方……すべてが仕上りに大きく影響するので複雑ですが、そこが花火師の腕のみせどころです。

特に、私の自慢は“銀点滅”です（花火写真、一番外側の光）。最後にすべての光が消え去るタイミングをそろえるのが難しいのですが、私は 10 号玉 * と呼ばれる大輪の花火でそれを実現するべく、Mg と Al の配合や“星”をつくる工程をつぶさに見直していきました。試行錯誤の甲斐あって、つくり上げた花火は花火界の最高栄誉である「内閣総理大臣賞」に輝きました。このように、先代から受け継がれた“レシピ”に改良を加えながら、日々理想の花火を追求しています。

*10 号玉…開いたときの直径は 320m。約 700 個の“星”を使う。

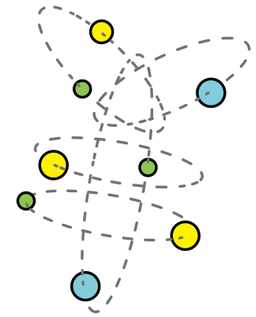
Message from 松永さん

まさに元素のチカラの結晶である美しい花火も、大事なのは見た目ばかりではありません。打ちあげた後に燃えつきず落下してしまうゴミを減らすためにロケットで培われた技術を応用するなど、実は最新科学と融合しながら進化をつづけています。

COLUMN

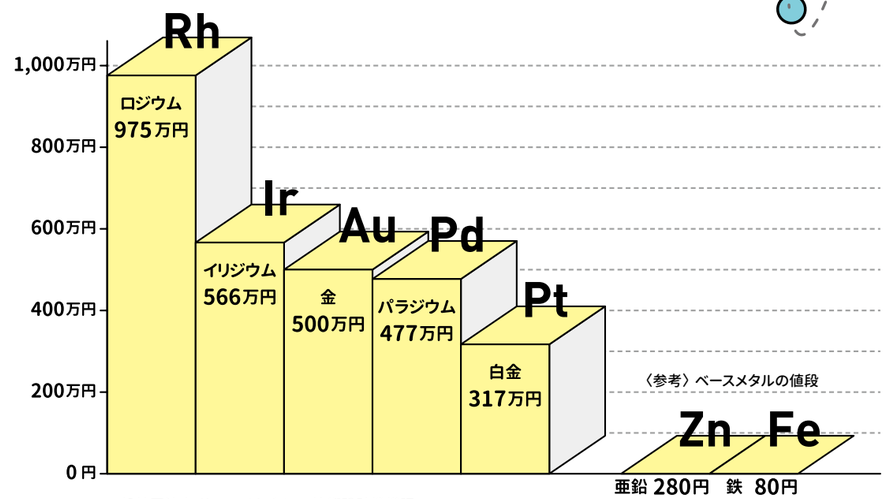
元素のお値段

普段目にする機会がないような元素にも、実は、それぞれ値段があります。
元素の値段を比べてみると、今の資源問題や材料開発の課題が浮かびあがってきます。



値段が高い元素トップ5

*1kg あたり、2019 年 2 月時点



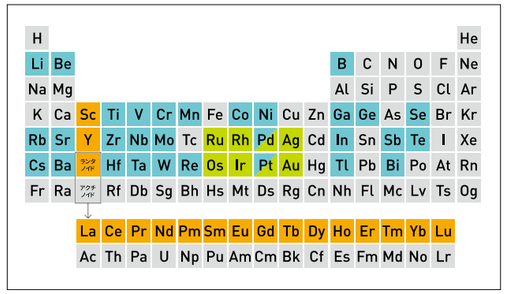
一般社団法人 サステイナビリティ技術設計機構調べ

トップ 5 の元素の値段をほかの元素と比べてみると、その差は歴然。たとえば、地球上に豊富で産業の土台を担う「ベースメタル」の Zn や Fe と比べると、その値段には 3 桁もの開きがある。

元素の値段は、一般的には需要と供給によって決まります。つまり多くの人が必要としていながらも、地球上に存在する量が少ない、あるいは採掘に費用がかかったり化合物から純粋な元素として取りだしにくかったりするほど値段が高くなります。

1 kg あたりの値段を高い順に並べたとき、トップ 5 を占めるのは「貴金属」や「レアメタル」と呼ばれる金属元素です。これらは、ほんの少し入れるだけで材料の性能が飛躍的に向上するなど工業製品に欠かせない性質を持つことから世界的に需要が増大していますが、希少かつ産出国が限られるため値段が高くなりがちです。たとえば、自動車の排気ガスを浄化する触媒材料として陰ながら大活躍している Rh の需要は、生産台数の増加を受けてますます増大しているものの、供給の約 80%を南アフリカに頼っている上、代わりとなる物質がないので価格が高騰しています。

そこで材料開発の現場では、材料に使われているレアメタルを値段の安い元素や入手しやすい元素に置きかえようという取り組みが急ピッチで進められています。たとえば NIMS では、電気自動車のモーターに不可欠な「強力磁石」を、レアメタルであるジスプロシウム（Dy）を使わずにつくることに成功しています。限られた資源を守り社会を持続的に発展させていくために、いま改めて材料のチカラが求められているのです。



「レアメタル」は水色、「貴金属」は黄色で示した。どちらも希少元素だが、貴金属は化学変化を起こしにくいという性質を基準に、レアメタルは産業における重要性が高いことを基準に分類されているため、その両方に属す元素もある。またレアメタルの中でも、第 3 族に属す元素を「レアアース（希土類元素）」と呼ぶ（オレンジ色）。

NIMS NOW
No.2
2019

たったひとつの元素が世界を変えた!

世界を大きく変えるチカラを持つ元素。
人々を驚かせてきた発見の裏側には、たったひとつの元素が主役の物語がありました。

THE ELE MENTS

1族 2族 3族 4族 5族 6族 7族 8族 9族 10族 11族 12族

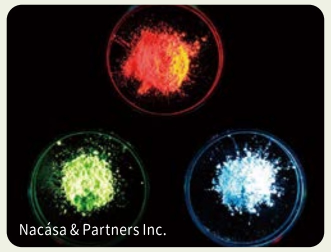
1周期 2周期 3周期 4周期 5周期 6周期 7周期

水素 — 元素名(日本名)
H — 元素記号
1.008 — 原子量
[ ]は代表的な同位体の質量数
1 — 原子番号

世界の明かりを変えた!

白色 LED が登場した当初、その光は青みがかっていて、自然な白色とはほど遠いものでした。青白かったワケは、青色LEDのチップに黄色い蛍光体をかぶせて白色を出していたから。自然な白色を出すには赤み成分を必要としていたのですが、どうしても赤色の蛍光体をつくることができずにいたのです。

そうした状況を打開したのがEuでした。NIMSの廣崎尚登は「サイアロン」と呼ばれるセラミックスに Eu を加え、セラミックスの組成を変えることで赤色に光る蛍光体をつくることに成功。ついに、暖かみのある白色 LED が実現しました。世界中の明かりの中で、今日もEuは輝きつづけています。



Nacása & Partners Inc.

もっと知りたい!
材料のチカラ

コラム
「サイアロン」
https://www.nims.go.jp/chikara/column/sialon.html

動画
「未来の科学者たちへ サイアロン蛍光体」
https://youtu.be/_ik8rhAZL8s

ユウロピウム **Eu** 63 152.0

銅 **Cu** 29 63.55

アルミニウム(Al)の隠れた才能を発掘!

軽い金属の代表、Al。強度が低かったため、かつてその用途は限られていました。ところが、これに他の元素を少し加えただけで、航空機の機体に使えるほどに強靭な金属へと変化を遂げます。今日「ジュラルミン」の名で広く知られるその合金は、1906年にドイツで発見されました。

Alの性質に驚くべき変化を与えたのは、約4%のCu。これにいくつかの元素をわずかに加えてできたジュラルミンは今、その軽さと鋼に引けをとらないほどの強度を生かし、航空機はもちろん歯車などの機械部品、トランクケースなどとして幅広く活躍しています。

「超伝導」の世界記録をマーク!

1988 年、超伝導の研究者たちの間に衝撃が走りました。超伝導になる温度(転移温度)が少しでも高い物質を求めて世界中で探索が行われていた中、「金属材料技術研究所(NIMSの前身)の前田弘が世界最高の転移温度をたたき出した」というニュースが飛びこんできたからです。それを実現させたのが、ほかでもないBiでした。前田は銅酸化物に Bi を加え、当時の最高記録92K (-181℃) を一挙に 110 K (-163℃) まで引きあげることに成功。その上、転移温度を高めるにはレアアースが必須だという“超伝導の常識”を覆したという点でも画期的でした。この超伝導物質はのちに後身の研究者たちの手によってNMR (核磁気共鳴装置) へと組みこまれ、超強力な磁場の生成にも成功しています。超伝導界に旋風を巻きおこしたのが、このBiだったのです。

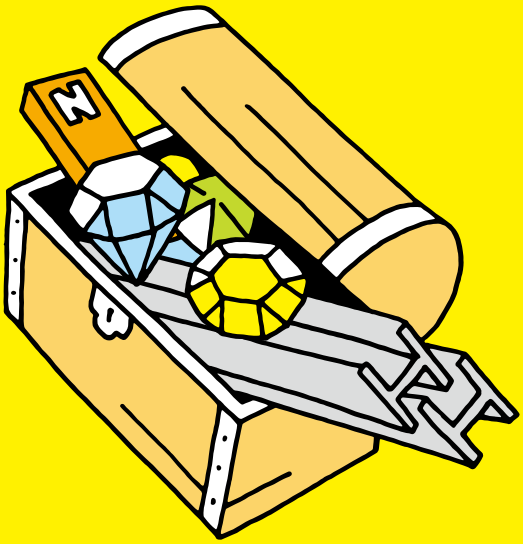
Nacása & Partners Inc.

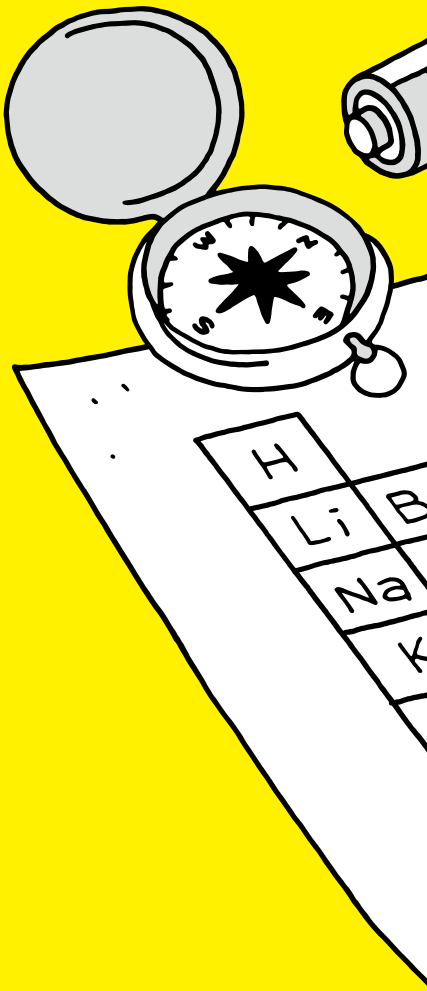
もっと知りたい!
材料のチカラ

コラム
「NMR」
https://www.nims.go.jp/chikara/column/nmr.html

ビスマス **Bi** 83 209.0

物質・材料の可能性





NIMS NOW vol.19 No.2　通巻175号 2019年3月発行
国立研究開発法人 物質・材料研究機構

R70
古紙配合率70%再生紙を使用しています(表紙除く)
VEGETABLE OIL INK
植物油インキを使用し印刷しています

〒305-0047　茨城県つくば市千現1-2-1　TEL 029-859-2026　FAX 029-859-2017　E-mail inquiry@nims.go.jp　Web www.nims.go.jp

定期購読のお申し込みは、上記FAX、またはE-mailにて承っております。　禁無断転載　© 2019 All rights reserved by the National Institute for Materials Science

イラスト：岡田 丈(vision track)　撮影：石川典人(p6-12)　デザイン：Barbazio株式会社