

# NIMS

2009年 4月号

# NOW

**特集**  
**生命誕生に新しいシナリオ**  
**有機分子は隕石が海に衝突して**  
**爆発的に誕生した**



一段式火薬銃

# 生命誕生に新しいシナリオ 有機分子は隕石が海に衝突して爆発的に誕生した

地球上に生命がどのように誕生したかは、20世紀の科学が解決の道筋を見出しえなかった難問のひとつです。生物学者は地球上に現存する生物から遡って、その起源を考えてきました。生命を構成する複雑な有機分子が簡単な原子や分子からどのように生成したかは、おもに有機化学者の関心事でした。しかし、生命誕生を探るにはさらにスケールの大きな総合科学が必要です。生命誕生のころ、地球ではどんな現象が起きていたのでしょうか。それを視野に入れて、ダイナミックな研究に挑戦しているのがNIMSと東北大の共同研究グループです。隕石が海に衝突した時に起きた爆発的な化学反応を模した実験を重ね、このたびアミノ酸やカルボン酸など生命体を構成する有機分子の生成を確認することに成功しました。グループの3人の研究者に聞きました。



初期地球隕石衝突モデル図

隕石の海洋衝突

衝突蒸気雲中に有機物生成

## 生命が誕生した頃の地球

生命の起源を問うために仮説を立てて実験室に人工的な環境を作り、反応生成物を調べることは、これまでも行われてきた研究手法です。その最初の例であり最もよく知られているのは、教科書にも登場する「ミラーの実験」(1953年)でしょう。シカゴ大学の大学院生S. L. ミラー氏が、彼の先生である高名な化学者H. ユーリー氏の推定した原始大気の組成をガラス管の中に再現し、そこに火花放電させて数種のアミノ酸を合成した実験です。ガラス管に封じられていたのは、アンモニア、メタン、水素、水でした。

それから半世紀あまり、NIMSの中沢弘基名誉フェローらの研究グループがおこなった実験は、地球史を視野に入れたダイナミックな仮説に基づいたものです。若い頃から生命の起源に強い関心を寄せてきた中沢氏は、「生命の起源は歴史の問題。化学もちろん重要ではあるが、それだけではとうてい解けない」と持論を語ります。

20世紀前半、オパーリン、ホールデン、バナールなど多くの科学者が生命の起源について考察しました。ミラーの実験もこのような流れのなかで行われたものでした。しかし、地球をはじめとする惑星や宇宙について新しい知識が得られるようになったのは、もうしばらく後のことでした。アポロ宇宙船が月から持ち帰った試料の分析や月のクレーターの研究あるいは地球最古の地層の研究などの結果、生命が誕生する直前の、38~40億年前の地

球の姿が少しずつわかるようになってきたのです。「生命の誕生は地球の誕生と関連しているはず」、地球科学者である中沢氏はそう考えてきました。

ミラーの実験やその後行われたこれに類似する実験が前提としていたのは、原始大気が水素と結合した分子群から成り立っていたと考えたことです。しかし、20世紀末の地球宇宙科学研究がもたらした知識は、この前提をすっかり覆すものでした。誕生して間もない地球は、多数の隕石や小さな惑星が激しく衝突して、全体が1200℃を越す高温のマグマ状態になったと考えられています。このため大気も高温で、二酸化炭素、一酸化炭素、水などの酸素と結びついた物質、それに窒素から成り立っていたと推測されます。そして、まだ大陸が誕生する前の地球は海で覆われ、そこには依然としてたくさんの隕石が大きなエネルギーを伴って衝突していました。

今回の実験で用意されたのはこんな条件を模倣した組成の物質と装置です。生まれて間もない地球を囲んでいた酸化的大気に放電などを行っても有機分子が生成しないことは、すでに70年代終わりに確かめられ、実験的な研究から生命の起源を解き明かす試みは振り出しに戻っていました。

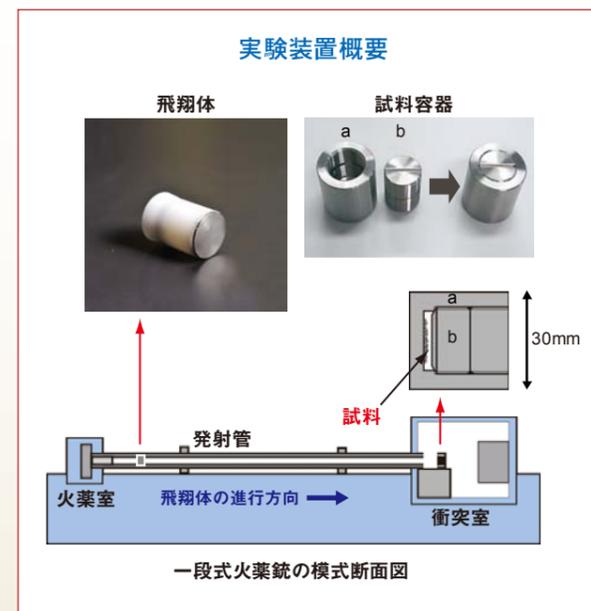


NIMS名誉フェロー  
中沢 弘基

## 衝撃銃で隕石衝突を模倣する

研究グループは、隕石の海への衝突が生命誕生に必要な有機分子を用意したと考えました。隕石の最も普通の組成は、鉄-ニッケル合金、ケイ酸化合物、それに固体炭素です。隕石と海面との衝突でどんな反応が生じたのでしょうか。衝突がもたらした高温と高圧で、水は超臨界水になり、その中では金属も原子状に気化する激しい反応が起こったと考えられます。また隕石の鉄によって還元された水から大量の水素が発生したでしょう。「地球上のあらゆる元素を巻き込んだ蒸気流が成層圏まで吹き上げ、そのなかで炭素は水素、窒素、酸素などと反応し、さまざまな有機分子ができた」と中沢氏は考えました。著書のなかで、これを「有機分子のビッグバン」と呼んでいます。

さて、研究グループは、NIMS並木地区の奥まったところにある平屋の建物で実験を続けてきました。実験棟の内部に一段式火薬銃というおよそ9メートルの実験装置が設置されています(下図)。この末端にステンレス製の容器に納めた試料をセットし、別の端から火薬でステンレス板を飛ばして衝突させます。試料の成分は、隕石の成分である鉄200mg、ニッケル20mg、炭素30mg、地球側の水130mgと窒素ガス15μmol、アンモニア1.95mmol。1km/秒の高速衝突を受けた容器内は60億Pa、3000~5000Kの高温高圧になったと推定されます。



ナノ物質ラボ 超高压グループ  
主席研究員 関根 利守



衝撃銃を使用した実験のノウハウをもっているのは、メンバーのひとりであるナノ物質ラボの関根利守主席研究員でした。関根氏は「この手法でいずれ生命発生以前のマグマ熔融状態を再現し、地球の成層構造の起源を探りたい」と考えている腕の立つ実験科学者です。

衝突はほんの一瞬ですが、その後、試料容器を回収し、何が生成しているかを詳しく調べるのは手間のかかる仕事です。これを担当したのは東北大学の古川善博助教でした。古川氏は、大学最終学年のときに指導教官だった中沢氏からこの研究の魅力を教えられ、以来グループに加わりました。微量の物質の抽出と分析について、「誰が見ても間違いのない結果を出すまで工夫に工夫を重ねた」と言います。

果たして容器内に有機分子は生成していたのでしょうか。またどんな分子ができたのでしょうか。取り出されたのは次のような物質です。アミノ酸であるグリシン、そしてメチルアミン、エチルアミンなど4種類のアミン類、さらに酢酸、プロピオン酸などカルボン酸6種類です。試料以外の物質が混入していないことを確認する目的で、試料中の炭素はすべて同位元素の<sup>13</sup>Cを使用しました。地球上の炭素は99%が<sup>12</sup>Cであり、試料起源か混入物かが判別できるからです。中沢氏は「<sup>13</sup>Cを活用することはNIMSのダイヤモンド研究のグループがもっていた知恵。これがうまくいった鍵だった」と振り返ります。

GS-MS(ガスクロマトグラフ-質量分析)やLC-MS(液体クロマトグラフ-質量分析)などによる分析は、ピコモル(1兆分の1モル)単位の極微量に及ぶものでした。

### NIMSでの衝突実験

飛翔体が試料容器に約1km/秒で衝突する瞬間  
(ハイスピードカメラ映像・NHK提供)



衝突0.0001秒前



衝突0.00004秒前



衝突時



プラスチック部分の破壊



衝突による飛翔体(プラスチック部分)の破壊反跳

## 地球史の一環としての生命誕生

アミノ酸やカルボン酸の生成を確認した今回の実験によって、中沢氏の考える地球科学を踏まえた生命誕生のシナリオは、ひとつの裏付けを得たと言えるでしょう。中沢氏は「今回の実験で検出されたアミノ酸やカルボン酸だけでなく、隕石が降ってきた頃には糖や核酸塩基も生成しただろう」と考えています。この実験においても、限られた分子種しか抽出しませんでしたので、検出した分子以外の有機分子も生成していた可能性があります。古川氏は「現在の実験は、推定されている隕石衝突のエネルギーよりずっと低いところで行っているの、さらに高エネルギーでの衝突を再現できれば、もっと多種多様な有機分子が確認できるかもしれない」と、今後の研究に意欲を見せます。

研究グループは、容器の中でどんな化学反応が起こったかについても



すでに見当をつけています。それを確認するのもこれからの課題です。古川氏は、生成したアミノ酸の光学活性についても調べてみたいと考えています。生物がつくるアミノ酸がL体だけで構成されている理由も、誕生した頃の地球の状態と関係があるのかもしれない。まだ解く糸口の見つからない謎です。

東北大学大学院 理学研究科  
助教 古川 善博

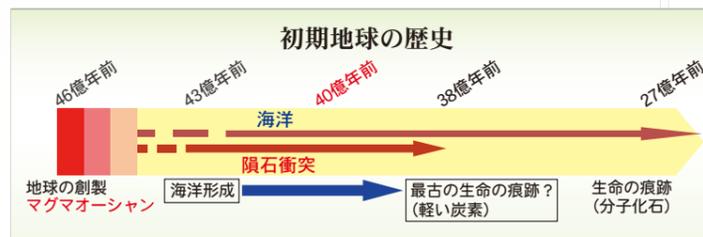
### 生成が確認された生物有機分子

試料名	実験試料(N <sub>2</sub> )	実験試料(NH <sub>3</sub> )	
出発試料	Fe (mg)	200	200
	Ni (mg)	20	20
	<sup>13</sup> C (mg)	30	30
	H <sub>2</sub> O (mg)	130	130
	NH <sub>3</sub> aq (mmol)	0	1.95
	N <sub>2</sub> (μmol)	15	15
衝突速度 (km/s)	0.9	0.9	
生成物 (pmol)	<sup>13</sup> C-エタン酸	1360	2200
	<sup>13</sup> C-プロパン酸	440	1020
	<sup>13</sup> C-ブタン酸	88	136
	<sup>13</sup> C-ペンタン酸	24	22
	<sup>13</sup> C-ヘキサ酸	ND	tr.
	<sup>13</sup> C-2-メチルプロパン酸	検出	検出
アミン	<sup>13</sup> C-メチルアミン	7430	16700
	<sup>13</sup> C-エチルアミン	280	945
	<sup>13</sup> C-プロピルアミン	12	89
	<sup>13</sup> C-ブチルアミン	未検出	微量検出
アミノ酸	<sup>13</sup> C-グリシン	未検出	24

中沢氏が繰り返し語るの「生命誕生を解き明かすのは総合科学」であることです。アミノ酸やタンパク質ができる化学反応については化学が、また細胞のような構造がどのようにして生まれたかについては物理学が必要です。そして、そのことが起こった40億年前の環境や出来事を知るには地球科学のデータが欠かせません。ゲノムに書かれた情報から生命の歴史をたどる研究では、残念ながら生命の起源にまでは遡れないことがわかってきました。地球科学から生命誕生を探ろうとする研究は「最近になってようやく受け入れられるようになってきた」(中沢) まだ比較的新しい分野です。

今年1月、Nature Geoscience誌\*に論文が掲載されると、この成果は「なるほど」と大きな反響を呼びました。専門家はもちろんのこと、科学雑誌やマスコミも強い関心を示し、子供向け新聞にも紹介されました。生命の起源は私たち誰もが興味をもっているテーマです。21世紀、そのシナリオが少しずつ明らかになるのでは、という希望がNIMSに芽吹いています。

\* Biomolecule formation by oceanic impacts on early Earth  
Y. Furukawa, T. Sekine, M. Oba, T. Kakegawa & H. Nakazawa  
Nature Geoscience 2, 62 - 66 (2009)



加藤 學 (KATO, Manabu)  
(独) 宇宙航空研究開発機構  
宇宙科学研究本部  
月惑星探査プログラムグループ  
かぐやサイエンスマネージャ

40~38億年前の地球は隕石の重爆撃期です。地球はこの時期以降の火山活動や風化作用などでこの時代のものほとんど消えてしまっていますが、共進化した月にはしっかりと痕跡が残されています。この時期までに月の裏側では活動がほぼ終了したからです。昨年来月探査機「かぐや」が皆さんにお見せしている月の素顔を思い出してください。われわれが見慣れている表側は極めて滑らかで子供の顔のようですが、裏側はニキビ面の青年のように凸凹、あばただけです。表側は最近まで粘性の低いマグマが噴出して表面を滑らかに覆ってしまいましたが、裏側はマグマの噴出が少なく、40億年間の隕石重爆撃を記録しています。そこでは隕石の衝突頻度が現在より5ケタも大きく、直径1kmのクレータは10平方キロメートルあたり1個程度存在するのです。



田近 英一 (TAJIKI, Eiichi)  
東京大学大学院理学系研究科  
地球惑星科学専攻 准教授  
文部科学省研究振興局  
学術調査官

地球史最初期の大気はN<sub>2</sub>とCOまたはCO<sub>2</sub>からなる弱還元型組成であったと考えられ、有機物分子が無機的には生成されにくいことが知られています。中沢博士や掛川博士らの研究は、海洋への隕石重爆撃によって局所的に還元環境が生じて有機物分子が生成するのではないかとというアイデアを実験によって検証したもので、大変画期的な成果といえます。一方で、当時の衝突天体の主体は普通コンドライト隕石ではなかったと一般に考えられていることや、全海洋蒸発が生じる大衝突が数回生じた可能性もあることから、量的な課題は残ります。また、実験条件は地球上での天体衝突条件とは大きく異なるため、実際の衝突でどうなるかは分かりません。今後の研究の進展に大いに期待しています。



## 学界に聞く

### ナノテク日本の課題

大阪大学産業科学研究所 教授 **川合 知二**

大盛況だったnano tech 2009、日本はナノテクで世界のトップレベルの位置をキープし続けています。しかし、中国、韓国などの追い上げは厳しく、今後我が国がリードを続けるためには積極的な施策やきびしい配慮が必要です。ナノテクの伝道師であり、nano tech 2009の実行委員長でもある大阪大学の川合知二教授に、これからの日本、そしてNIMSのあり方について伺いました。



**nano tech 2009の実行委員長として、今年特にお感じになったことは。**

大変印象的だったのは、展示会を通じて世界のナノテクの中心が日本であることを強く認識させられたことです。第1回の学芸会のような催しから、5万人もの人が集まり、600小間の出展のうち4割が外国からの出展であることに加えて、実物の展示などもかなり多くなっています。海外と比較しても、スイス、サンフランシスコ、ドイツなどナノテクの展示会をやっているところはいくつかありますが、いずれも細々と続けている状態で、世界中の研究者が交流するという点では、唯一最大のフェアに成長しています。

**それでは、日本のナノテクについて現在の課題は。**

科学技術に関する世界各国の比較をレーダーチャートでみると、バイオとか情報はやはり米国が強いのですが、ナノテクについては日本が飛びぬけています。しかし、10年前に比べるとその差は縮まっています。中国や韓国が伸びてきて、基幹技術や産業への応用といった点で相当追いつかれているからです。これは、ナノネットなどへの国の支援が大幅に減らされているところに原因があります。こうしたインフラの強化をおろそかにすることは将来致命的になるのではないかと、大変心配です。

**それは気がかりなところですね。何かいい方法を講じないと。**

あらゆる場面で、ナノテクが日本の国力、産業、生活に寄与しているのを示していくことが大切です。真の意味での広報ですね。ナノテクというのは見せにくいものだけに大いに努力する必要があります。いま経済危機が叫ばれていますが、たとえば、グリーンナノテク(太陽電池や燃料電池の実用化推進)を強調すれば、その救済に役立つでしょう。

2000年当時は、珍しいということもあって、テーマを絞りすぎていたきらいがあります。たとえばナノチューブだけが注目されるとかいったように。しかし、ナノテクにはエポリユーション(少しずつ進歩する)なものやレポリユーション(革新的)なものがあります。ナノチューブのようなレポリユーションなものも大切ですが、特

に、産業を押し上げる力をもつエポリユーションなものには日本が強いのですから、それについてきちんとしたメッセージを出す必要があります。繊維のナノコーティングや水処理などに利用できる穴あけ加工などの技術はその代表的なものです。

**それは重要なお指摘ですね。**

多くの人々の理解を得るには、次を生み出す決定打を打ち出すことが大事です。たとえば、電気自動車に対して、未だ私達には疑問があります。長距離を走れない、充電に8時間もかかる、リチウム電池がこわい等々...。これらを、ナノ粒子を活用しデンドライト成長などを抑える技術を用いれば、安全で瞬時に充電させる技術がみえてきます。こうしたことをきちんと知らせるのが真の広報でしょう。

**さて、NIMSの役割については。**

まず、ナノテクの中心地になること、これが大事なのはいうまでもありませんが、常に基礎的なシーズを生み出すことによって、日本の科学文化、いわゆるカルチャーのセンターであり続けて欲しいと思います。2番目に、トランスレーショナルな部分を受け持って欲しい。シーズをいち早く実用化して産業にとって役に立つ形を持って行く組織力が要求されます。いろいろな発見をとりあげてシナリオをつくり、そのシナリオを確実に実現していくという役割です。3番目はわかりやすい広報を行って欲しい。明日、ナノテクを通じて何が出てくるかを一般の人が楽しみにできる広報です。

**最後に、若い人をどう育てたらよいでしょうか。**

人を育てるもっとも良い方法は、その人が面白いと思うこと、情熱をもてることをやらせることです。そのためには、指導者が自分たちの本気でやっている姿をみせなければなりません。ナノテクについていえば、ニュー・マイスターが必要なのではないかと思います。技術や科学の奥義を極めた人が若い人達をひっぱって行く。そうすれば彼らはそれに触発されて夢中になって情熱をかたむけますよ。

## 産業界に聞く

### NIMSは骨太の技術革新のリーダーたれ!

株式会社日立製作所 取締役 **中村 道治**

ナノテクノロジーの推進は、科学技術立国を標榜する日本にとって極めて重要なミッションの一つであり、そのために産業界と研究機関との緊密な連携が要請されています。ナノテクに関する基礎・基盤研究で多くの成果をあげているNIMSを、産業界はどのようにみているのでしょうか。また、どのような期待を抱いているのでしょうか。わが国産業界のナノテク推進を牽引し、同時に産業競争力懇談会の実行委員長もつとめる日立製作所の中村道治氏に伺いました。



**日本におけるナノテクの現状をどのようにみていらっしゃいますか。**

もちろん、ロードマップ型の研究は産業界にとってとても大事で、メモリー容量を4→16→64→...とあげていく、微細加工の精度をあげる、磁気ディスクの性能を向上させるなど、絶対に必要なものです。しかし一方で、いわゆる破壊的イノベーションに挑んでいくことが、社会の期待にもこたえ、新しい技術の流れをつくり、日本がナノテクで世界のリーダーシップをとるためにも重要ではないでしょうか。光触媒、MEMS、マイクロリアクター、カーボンエレクトロニクス、スピントロニクスなど、テーマはたくさんあります。

両者を見て、バランスを考えながら、ナノテクがどのような役割を演じるのかを考えて行くことが大切です。

**具体的に、どう取り組んでいったらよいのでしょうか。**

ナノテクに関して、日本は基礎研究、材料研究は進んでいますね。こうした研究の成果を、できるだけ早く産業界に反映させることが一つの課題だと思います。いまは基礎から応用まで30年、50年などはいってられない時代です。基礎研究がいち早く事業に結びつく、そこで新しい雇用が生まれる、地域が活性化する...といった流れのスピード化です。

**そのためには、どんな方策が必要でしょうか。**

現在のような厳しい経済状況のもとでは、企業の研究活動はどうしても重点化がはかられ、革新的な技術開発は難しくなります。そうなれば、民間企業で減った分は国が補強せざるを得なくなります。そこで、そうした余力があるかどうかということになるのですが、たとえばアメリカには軍事研究に人材プールなどがあってかなりの余力があります。日本にはそうした余力はありませんが、国研にはあるはずなのです。つまり、余力があるのは独立行政法人です。独法はまだ人材を使いきっていないように思われるので、社会のイノベー

ションや革新技術の開発に重心をシフトし、国の活力アップの中心となるような積極的な努力が要請されます。

**いまおっしゃったことはそのままNIMSに対する期待につながるわけですね。**

その通りです。いまNIMSは中期計画で第2期の中間にいます。私どもからみてもナノテクのトップレベルの研究機関としての形はかなり出来たかと思えます。これだけ実力を蓄えてこられたのですから、これからは革新的な技術イノベーションの実現をめざして新しい種を育てるといふ努力を、意識的にしてもらいたいですね。時間はかかっても、真に革新的な技術を完成させて欲しい。革新的な技術を生み出すには、不連続な研究を実行することも必要ですが、それは国研の役割の一つだと思います。

いってみれば、NIMSは一般社会の人びとにも十分納得できるような骨太の技術革新のリーダーになって欲しいということです。

**そのためには、企業などとの連携も大切ですね。**

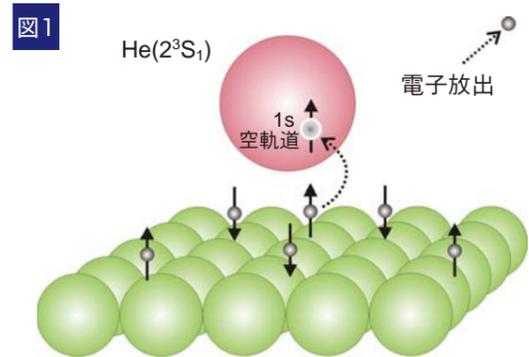
企業と連携する場合でも、一つの企業と1対1で連携することも大事なのですが、NIMSが中心になって、たくさんの異種企業との連携も行っていただきたい。1対多の連携をするためには、NIMSが強力なリーダーシップと、他の企業よりはるかにすぐれた研究成果や技術を持っていることが必要で、ただ単に全体のまとめ役をするのでは、いわば事務局になりさがつてしまって、全体をひっぱって行くことはできません。テーマとしてはたとえばレアメタルの問題など、NIMSが国策推進のためのリーダーシップをとれるものはいくつかあるでしょう。いずれにしても、国の科学技術政策に方向づけをあたえるような提言を、つぎつぎに行なって欲しいものです。

# 原子ビームで有機分子の スピン偏極を観測

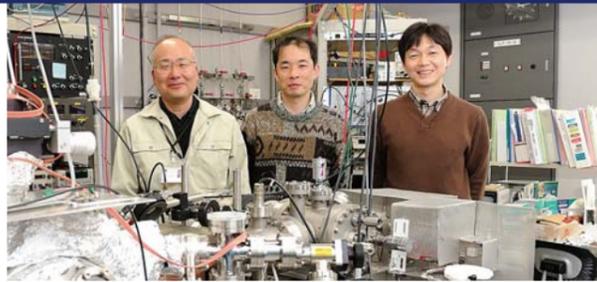
量子ビームセンター 原子ビームグループ

コンピューターなどに使われている電子素子では、電子の電荷が情報を担っています。この電荷を電子の極小磁石としての属性であるスピンに換えることにより、飛躍的な省電力化・高密度化・高速化を図ることが提唱されています。いわゆるスピン素子への転換です。これを実現するためにさまざまな技術開発が必要とされるのに対して、私達はハーフメタルなどのスピンの向きが揃った磁性材料と基板材料の界面での、スピンの上向き・下向きの偏り(偏極)を明らかにすることにより、スピン素子材料特有の問題を解決しようとしています。そのためにスピンが揃った原子、イオンや分子のビームを生成・利用する技術を開発してきました。

さて、携帯電話の表示画面など最近の有機素子の発展にはめざましいものがあります。もちろん有機スピン素子の試みもあり、磁性体界面で有機分子がスピン偏極するかどうか注目を集めています。私達はペンタセン分子(C<sub>22</sub>H<sub>14</sub>)が鉄表面上でスピン偏極することを見出していました。さらにその構成単位であるベンゼン分子(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)のスピン偏極も原子

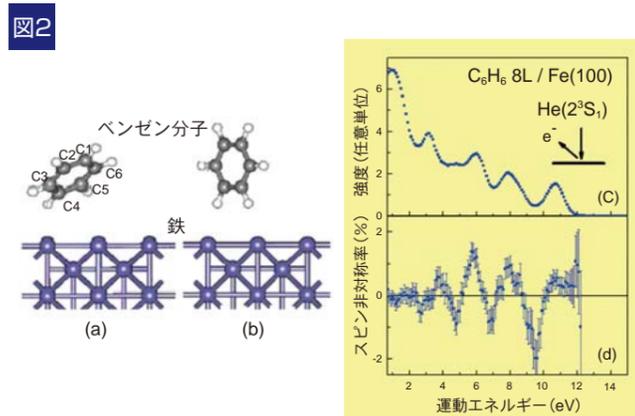


エネルギーの低い軌道が空いているヘリウム原子He(2<sup>3</sup>S<sub>1</sub>)を物質の表面に近づけると、表面電子はヘリウム原子に移動して空軌道を埋めようとする。空軌道を上向きスピンのものだけ(スピンが揃ったビーム)にすれば、移動する表面電子を上向きスピンのみに絞ることができます。実際には、この移動と同時に放出されるもう一つの電子を検出して、上向きあるいは下向きスピンの表面電子の差やそのエネルギー分布を求めています。



グループリーダー 山内 泰 倉橋 光紀 鈴木 拓

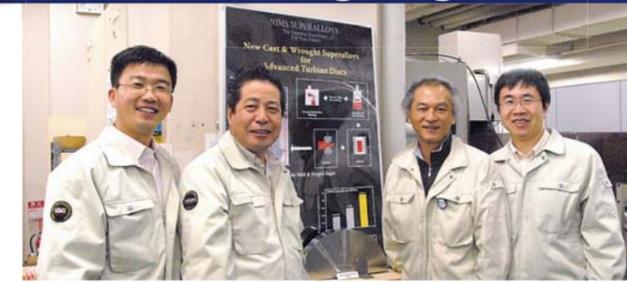
ビーム(図1)を用いて明らかにしました。スピンの揃ったヘリウム原子が表面に軽く当たるだけなので、このビームには「表面の最も外側の電子だけのスピン偏極を測定できる」という他には無い特長があります。得られたスペクトル(図2(c))のピークはそれぞれベンゼン分子のエネルギーの異なる分子軌道を占める電子からの応答に対応します。スピンの向きによる強度の違いであるスピン非対称率(図2(d))が、ピークと呼応して正負に変動しているところから、それぞれの分子軌道のスピン偏極の様子を探ることができます。結果を詳しく解析すると、スピン偏極が磁性体と直接相互作用する隣接原子(図2のC3,C4)だけでなく磁性体から3原子分離した炭素原子(図2のC1,C6)に分布する分子軌道にまで及んでいることがわかりました。スピンが揃った磁性体との局所的な相互作用によって比較的長距離に広がる分子軌道を持つC<sub>60</sub>やグラフェン(単層黒鉛シート)などの有機材料は電荷素子材料のみならずスピン素子材料としても有望だといえます。



鉄表面上にベンゼン分子が斜め(a)、垂直(b)に吸着したモデル。低温(85K)でベンゼン蒸気に8L(ラングミュア=10<sup>-6</sup>Torr・秒)さらした鉄表面から原子ビームによって放出された電子の運動エネルギー分布(c)とスピン非対称率(d)(上向きと下向きスピンの強度差を和で規格化)。

# 世界最高の耐熱特性を持つ 航空機エンジン用鍛造合金 素材の製造技術開発に成功

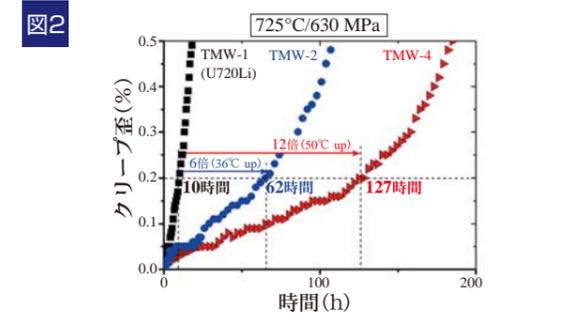
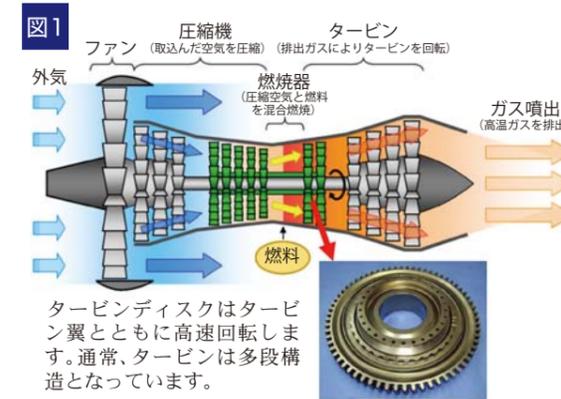
超耐熱材料センター 高強度材料グループ



グループリーダー 谷 月峰 小泉 裕 横川 忠晴 崔 傳勇

航空機エンジンのなかでも最も厳しい環境にさらされ、最高性能の材料が必要とされるのが高温高圧タービン部です。超耐熱材料センターでは、高温高圧タービン部に用いるタービン翼材として世界に先駆けて耐用温度1100℃(応力137MPa)の第5世代ニッケル(Ni)基単結晶合金などを開発し、2006年からロールス・ロイス社と実用化研究を行っています。

一方、タービン翼を装着するタービンディスクは、その破壊が航空機に壊滅的な損傷を与えるため信頼性の高い鍛造製品が用いられています(図1)。私達は2003年より独自にディスク用鍛造合金の研究開発を開始し、実験室スケール(~20kg)では既存の高強度鍛造Ni基超合金U-720Liを50℃上回る725℃(応力630MPa)の世界最高の耐熱特性を持つニッケル-コバルト基鍛造合金(TMW合金)の開発に成功しました。さらに実用化に向けて、大型インゴット(~約2ト



725°C-630MPa条件でのクリープ試験での時間-クリープひずみ曲線。実用されている高強度鍛造超耐熱合金(アロイ720Li)より耐用温度が50℃以上向上しています。

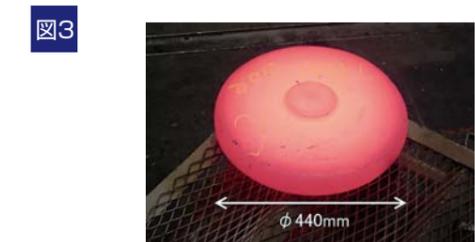
ン)からの鍛造プロセスの開発と実験室スケールと同程度の耐熱特性の実証が期待されていました。

今回、2007-08年の2年間にわたって新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け、三菱マテリアル株式会社との共同研究により上記TMW合金の実用スケールの製造技術を開発し、航空機エンジン用タービンディスク素材を製作することに成功しました。また、このタービンディスク素材の高温特性をクリープ試験で評価した結果、既存のU-720Li合金より50℃以上高い、鍛造可能なものとしては世界最高の耐用温度を有することが確認されました(図2)。

通常、タービンディスクなどの高温高強度部材の耐用温度をさらに高めるためには様々な合金元素を添加する必要がありますが、反面、成分のばらつきや製造プロセス中の割れが発生しやすくなるという問題がありました。こうした問題を克服するため、TMW合金に適した大型インゴットの溶解や鍛造条件の選定により、求められる結晶粒径10ミクロンの均質な微細組織を持つ実用スケール(直径440mm)の試作タービンディスク素材(図3)の作製に成功しました。

TMW合金を用いた実用タービンディスク素材製作プロセスを確立し、素材の高温特性を実用スケールで実証したことにより、今後は開発TMW合金を使用した国産タービンディスク、コンプレッサーブレードなど各種鍛造部材として、国内・海外の航空機エンジンや産業用ガスタービン市場への参入が期待されています。

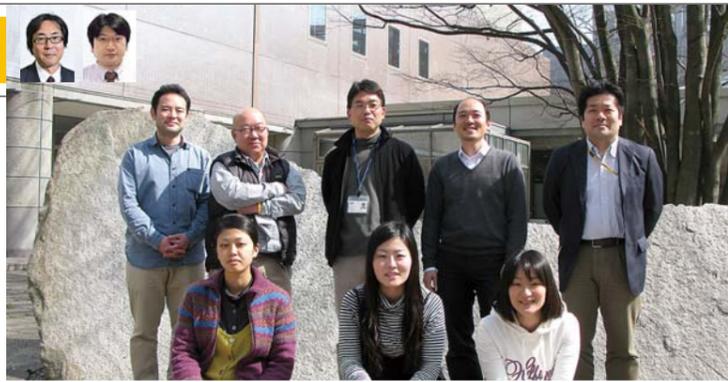
\*タービンディスク合金の耐用温度は、630MPaの応力で100時間後に0.2%クリープ歪に到達する温度と定義しています。



結晶粒径10ミクロンの均質な微細組織を持つ実用化可能サイズ(直径440mm)の試作タービンディスク。高温鍛造時の素材外観。

● 生体材料研究領域

# 生体組織再生材料プロジェクト

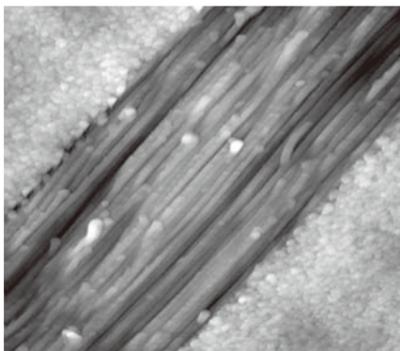


生体組織にはコラーゲン線維をはじめとしてタンパク質繊維が配向した構造が多数存在します。このような構造は、細胞にとって最適な環境であり、その影響で様々な機能を示します。例えば、骨と骨を結び円滑な動作を生み出す靭帯は、コラーゲン線維が一方向に配向した強靱な組織です。また、光を透過させる目の角膜実質層は、コラーゲン線維が一方向に整列した層を交互に90度ずつ回転した積層構造になっています。このような生体組織とよく似た生体材料を人工的に創るために、本プロジェクトは平成20年から活動を始めました。

生体組織再生材料プロジェクトでは、(1)生体組織で観察される構造・機能を模倣するため磁場を活用した繊維配向材料を創る、(2)配向構造体の生物学的な機能を明らかにすることを目的としています。磁場は物質を透過して作用するため、材料表面から内部まで均一に磁場の影響を与え、新規な構造を創ることが可能です。作製した材料の構造や生体との親和性を明らかにするため、電子顕微鏡や細胞培養などの技術を用いた分野融合研究を進めています。この研究には、生体材料センター・ナノセラミックスセンター・ナノ計測センターの研究者が参加しています。

図1に生物が作り出したコラーゲン線維の配向構造を示します。中心部はコラーゲン線維が左下から右上に整列しています。左上と右下の部分では線維断面が観測できます。生物が作り出すコラーゲン線維はこのような高密度に規則正しい構造をとっていることが分かります。このような構造を材料科学的に創りだ

図1

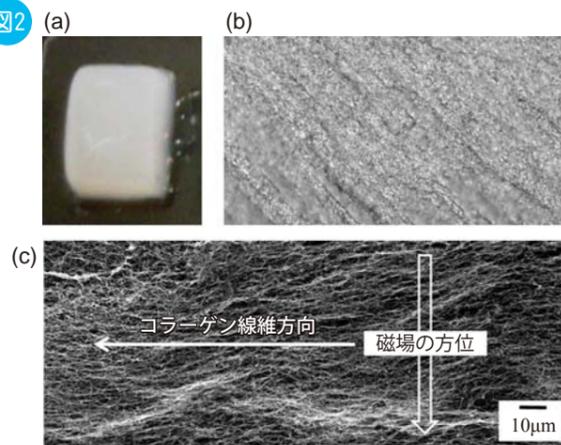


原子間力顕微鏡による魚鱗の断面構造。コラーゲン線維が高密度に整列している。

すことが本プロジェクトの一つの目標です。

具体的な研究例を図2に示します。図に示した走査型電子顕微鏡像は、強磁場(12テスラ)中でコラーゲン分子を線維化させて作製した配向線維構造です。磁場方向に対して垂直にコラーゲン線維が整列したことが分かります。コラーゲンを構成するアミノ酸同士を結合しているペプチド部位には方向により磁化率が異なります。そのため、磁場中ではコラーゲン線維はトルクをうけて一方向に整列します。現在、磁場強度を変えて作製した配向構造体の材料力学的な特性、さらに細胞との反応性に関する研究も進めています。本プロジェクトでは、前にも述べたように、線維を配向させた新しい生体材料の合成技術を確認し、靭帯(腱)・角膜実質・神経などに組織を再生させる材料開発を行っています。

図2



磁場中で線維化させたコラーゲン配向構造体。(a) 作製したゲルの外観、(b) 共焦点顕微鏡像、(c) 走査型電子顕微鏡による線維配向構造;磁場方位に対して垂直に整列していた。

## フェイス interview

高い強度と靱性を併せ持つ鉄鋼は、私たちのインフラを支える基盤材料として大きな役割を果たしています。新構造材料センターでは、昨年、わずかな合金元素を添加した合金鋼で、室温の降伏強度1840MPa、高合金鋼の約6倍の衝撃吸収エネルギーを示す鋼の開発に成功しました。鉄鋼材料の研究について津崎センター長に伺います。



新構造材料センター長  
津崎 兼彰 (Kaneaki Tsuzaki)

## 本質を極める研究に チャレンジする気概を持って

鉄鋼材料の研究についてお聞かせください。

私がNIMSに来たのは1997年ですが、その頃の鉄鋼材料研究の存在感は下降気味でした。それを打破する機会として始まったのが9年間にわたる「超鉄鋼プロジェクト」です。今までにない質の高い鉄鋼材料を創ろうという夢のあるプロジェクトでした。具体的には、強度を2倍、寿命を2倍にするというのが目標です。しかも、従来なら希少な合金元素を入れて強度を高めたり、錆びないようにしてきたのですが、このプロジェクトでは、そうした希少な合金元素を使わずに達成するというのです。今からみると、まさに今日の資源枯渇時代を見据えた目標であって、非常にチャレンジングな研究だと思えますね。

プロジェクトではどのような研究をされたのですか。

最初の5年間は、水素が中に入ってきて脆くなる鉄鋼材料を造るというのが私のミッションでした。ところが、水素が、どこで、どのように振る舞うかというのを見つけるのは、ものすごく難しい。脆くなる原因は水素だというのが分かっているだけで本質が分からないまま強いものを創るというのは対症療法的です。それまでは、鉄にいろいろな元素を入れて性能を上げてきたのですが、経験的なことが多くて、元素の機能が十分に分かっていませんでした。

そうした中でどのような成果が得られましたか。

強度を2倍にするために結晶粒を微細にしたことがあったのですが、微細にすると逆に均一に延びる性能が落ちたり、衝撃吸収エネルギーが下がるというデメリットが明確になってきました。金属にはそうした、金属組織が持つメリットとデメリットがあり、もう一つ、

金属元素が持つ機能としてのメリットとデメリットがあって、それをしっかり認識しておく必要があります。それから、将来を見据えた研究を目指すということが非常に重要であることが分かってきました。例えば、アラスカから天然ガスを引くためには、寒冷地でも耐える鉄鋼材料が必要になります。極低温の環境でも脆くならなくするためには、ニッケルを添加元素として使えばいいのですが、資源には限りがありますから、将来それを使えなくなったら、まったく違う取り組みをしなければなりません。材料が使われる環境だけでなく、材料に使われる資源環境も変わっていくのです。そうした環境の変化を想定して、それに備えた研究をしていかなければなりません。

研究への心構え、若い研究者に望むことは何ですか。

実用化研究は、必ず基礎研究でサポートされていなければなりません。研究者の一番のモチベーションは自ら「WHY」というものを見いだして、それに何とか応えようとする事です。今でも、水素がどこにいて、どのように振る舞うかはよく分かっていません。それを解明して、水素に強い材料を生み出すのが私の夢であり使命です。そのような本質を極める研究をすべきだと強く思っています。どんな分野にも魅力のある対象があります。もし、見つからないと思っているとしたら、もっとアンテナを高くして、感性を鋭くする必要があります。人間には好奇心が必要ですが、その好奇心を惹きつけるものが、私たちの周りには必ずあります。ですから何も心配しなくていいし、ぜひ「WHY」を見つけ出してチャレンジしてほしいと思います。

## ロシア ロモノソフ名称国立総合大学と姉妹機関および国際連携大学院の協定を締結

平成21年3月12日、ロモノソフ名称国立総合大学(ロシア:MSU) 副学長 Alexei R.Khokhlov 教授を団長とする代表団がNIMSに来訪し、姉妹機関と国際連携大学院の協定を締結しました。

MSUは1755年に創立、ロシアのノーベル賞受賞者18名のうち11名を輩出している名門大学です。この協定により、MSUの優れた学生がNIMSで研究を行うこととなります。



握手する岸理事長とKhokhlov教授

## 第2回MANA国際シンポジウムを開催

平成21年2月25日～27日にかけて、第2回MANA国際シンポジウムをつくば国際会議場において開催しました。

世界トップレベル研究拠点プログラム委員会委員長の井村裕夫京都大学名誉教授、同プログラムディレクターの黒木登志夫東京大学名誉教授、ノーベル物理学賞受賞者でMANAアドバイザーのハインリッヒ・ローラー博士から挨拶や講演をいただき、MANAの研究4分野であるナノマテリアル、ナノシステム、ナノバイオ、ナノグリーンと若手国際研究センター(ICYS)の研究に関連するプレゼンテーションが3日間にわたって行われました。

各研究分野の発表では、ナノテク分野で著名な国内外の招待研究者8名と、MANAの主任研究者、研究者、独立研究者、ICYS研究員33名の研究の口頭発表、および85件の研究についてポスター発表が行われ、昨年を上回る300名以上の研究者等が参加した活発な質疑応答や意見交換から、MANAの着実な進展と関心の高まりがうかがえました。



シンポジウム参加者

## 第2回NIMS-KIER国際共同ワークショップを開催

平成21年3月4日、NIMSのナノセラミックスセンターと韓国の大田市にある韓国エネルギー技術研究院(KIER-Korea Institute of Energy Research)の効率・素材融合研究本部との国際共同ワークショップをNIMSにおいて開催しました。両機関は一昨年12月に調印したMOUに基づき実質的な研究交流を強化するため、昨年3月に第1回ワークショップを韓国で開催しており、第2回目今回は、効率・素材融合研究本部のキム・ホンス部門長を含め6名のKIER研究員が来日しました。約50名の研究者が参加し、日韓双方から計14件の発表、ナノ、セラミックス、およびエネルギー材料分野における活発な議論と、今後の緊密な研究協力に向けた議論を行いました。

セミナー後に行われた交流懇親会には、ナノセラミックスセンターに在籍するウクライナ、中国、アルゼンチンからの研究者も参加して、相互の文化と国際交流について和やかな雰囲気での懇談を行う機会となりました。



セミナーの様子