

CONTENTS 目次

■トップメッセージ／所長 新家光雄

■震災復興に向けて

■研究最前線／光で有機物質が変化する初めの瞬間を捉える

■Front Line／水素化物に隠された物性と機能性

—水素の存在状態の根源的探求からエネルギーデバイス実証へ

融液成長メカニズムを解き明かす

スピン流を用いた次世代省エネルギー情報処理デバイス

■金研ニュース／ICC-IMR Workshop on Novel Material Science using Polarized Neutron 報告

研究部共同研究「窒化物半導体の高品質結晶成長とその素子応用」の第4回ミーティング報告

第2回東北大学-KEK連携事業シンポジウム「連携が育てる加速器科学と人材」報告

■RESEARCH INDEX／EBM造形技術 —夢の成形加工技術の開発に挑戦—



所長
新家 光雄

金研復興：さらなる飛躍を目指して！

3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、予測をはるかに超える大きさの震度と津波のため、関東・東北地域に未曾有の人的および物的被害が発生してしまいました。また福島第一原子力発電所も予想だにできなかった損壊を受け、放射線による恐怖も重なってしまいました。この大震災の被害を受けられた多くの方々の悲しみとご苦労には心痛の思いであります。一刻も早い復旧・復興が成し遂げられるよう心からお祈り申し上げますとともに、今後の復旧・復興に向け金研も社会貢献を心がけて行く所存であります。

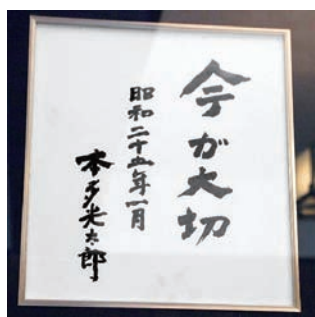
金研では、幸いにも人的被害や建物の損壊はありませんでしたが、研究設備等には多大な被害を受けてしまいました。所長室にあります金研創始者の本多光太郎先生の像も被害を受けましたが、写真のように台座が崩壊したのみで先生の像はしっかりと前を見据えて毅然としております。



金研の復興にはかなりの時間が必要かと思われませんが、地震災害直後から教職員が一丸となり復旧作業を進めて参りました。地震発生後直

ちに安全衛生管理室委員が中心となり、災害対策本部を立ち上げ避難場所の設定等素早く対応しました。出張等で金研から遠く離れた地域にいた教職員も、公共交通機関はもちろんタクシーや自家用車等使用可能な交通機関を苦慮しながら確保し、金研へ駆けつけました。復旧作業も安全を第一とし、慎重・確実に進め、現在では復興に向け邁進しております。彼らの堅実な復旧・復興計画とその進行指示におけるリーダーシップには敬服します。復興に着手し始めたその矢先の4月7日深夜に大きな余震がありましたが、多くの教職員が金研に駆けつけ、手分けして各建物を巡回し、建物の中にいた人の安否確認を行うことが出来ました。翌日には統率のとれた教職員の行動がなされ、再び復興へ向けて進んでおります。有事の時の金研教職員の一体感には確固たるものと改めて実感しました。4月中に安全衛生委員会副委員長および主だった委員、事務部長、経理係長、ならびに主な施設係職員と各研究部門、センターおよび施設を巡回し、地震後の居室、研究室や設備の状態および安全状況について視察するとともに懇談し、さらなる安全対策へのアドバイスおよび要望事項の抽出を行いました。完全復興には、今少し時間を要すると思われませんが、ほとんどの研究部門、センターおよび施設においてかなり整備

が進んでおり、復興への自信が湧いております。金研の全教職員がここでの踏ん張り後、さらなる大きな飛躍を目指して頑張っております。



本多光太郎先生の「今が大切!」さらには「つとめてやむな!」の言葉のように金研精神を大切に、東北大学、日本のマテリアル研究、

さらには世界のマテリアル研究の水準を低下させないよう、上昇のチャンスにすべく金研の早期復興を目指しています。

震災からの復興中においても金研は社会貢献を怠っておりません。まずは、震災からの復旧段階から福島第一原子力発電所事故に係る放射線レベルを測定し、その値を監視するとともに東北大学を通じて公表しています。今後も社会貢献として、このことを続行して行く計画としております。いち早く震災復旧研究支援として、震災を受けた研究機関や研究者を対象に共同利用緊急追加募集を開始しました。また今回の震災に当たっては、多くの鋼材がスクラップ化してしまい、その有効利用が必須であると思われます。スクラップ鋼材の不純物元素の無害化および有効利用を検討することが必要で、本所の低炭素社会基盤融合研

究センターの研究者の貢献が期待できます。金研の原子力材料研究は、世界トップ水準にあり、上記の原子力発電所事故からの復旧・復興に対し、高濃度放射線モニタリングのための高性能材料やシステムの構築、放射性物質の分析等での貢献が可能と思われます。

岩手県の地震災害も大きく、中でも釜石市の被害は絶大と報道されています。金研教員の医療用コバルト・モリブデン合金の研究開発は、釜石市との連携事業を従来から展開していますが、今回の震災で釜石市の製造業も大きな打撃を受けてしまいました。同研究・開発の成果の実用化の遅延が危惧されますが、早急に立て直し、釜石市の製造業の再生にこれまでになく実用化研究の展開で貢献することが可能だと思ひます。このことは、釜石市だけでなく岩手県の復旧・復興にも弾みをつけるはずです。

金研では、今回の大震災を見据え社会貢献を念頭におき、弛まぬ研究開発を続け、単なる復興でなく、さらに躍進すべく創造的復興を目指して努力・邁進して行く所存で教職員全員が頑張っております。今後とも皆様のご支援・ご協力を何卒宜しくお願い申し上げます。



震災復興に向けて

東北の復興無くして東北大の復興無し
人命を第一に、安全を優先に
焦らず、倦まず、嘆かず、今日は一步を前に
情報を共有し、互いに連携して仕事を進めよう
旧弊を刷新し、新生金研へ知恵を絞ろう
世界に情報を発信し、東北大復興を知らせよう

今が大切

1 講堂前に掲げられたスローガン。2・3 震災直後から毎朝行われた連絡会議。指示が速やかに伝えられた。4 有志による炊き出し。5 テクニカルセンターの支援で棚の取り付け。6 エレベーターが使えないので階段で棚を7階まで運ぶ。7 ずれた装置を人力で元の位置へ。8 今後に備えて固定をしっかりと。



The Front of Research

光で有機物質が変化する初めの瞬間を捉える

低温電子物性学研究部門 佐々木 孝彦

多くの有機物質は分子の集合として構成されています。個々の分子は、原子どうしが比較的強固に結合したブロックのようなものです。さらにこの分子のブロックどうしが結合して結晶ができていますが、分子どうしの結合の強さは、無機物質の場合の原子どうしの結合に比べて非常に弱いのです。一般に有機物質が柔らかい理由は、この弱い分子どうしの結合にあります。また、柔らかいという性質は、外部からの刺激に敏感に反応するというところに現れます。例えば、熱を加えると比較的低い温度で柔らかくなり、溶けてしまうことなどです。他にも機械的につぶす、電圧をかける、光をあてることなどに大きな反応を示すことが特徴です。

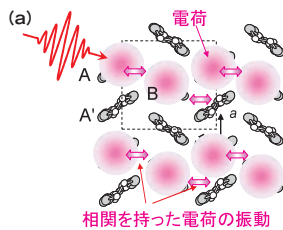
今回、電荷秩序絶縁体と呼ばれる電氣的に絶縁体状態である有機物質に光を当てると、その瞬間に絶縁体として固まっていた電子が動き出し、その変化が順々に分子の中、そして分子の間を伝わっていく様子を捉えることに成功しました。この照射による変化は、光のエネルギーが電子から原子、分子と順番に伝わりその並び方(秩序)を変化させることで起こります。このような現象は光誘起相転移と呼ばれますが、変化のスピードが大変高速なためにどのような仕組みで起こり、またどのようにエネルギーが光-電子-分子-結晶(格子)へと伝わっていくか解っていませんでした。

実験に用いた有機絶縁体は、 α -(BEDT-TTF)₂I₃ (BEDT-TTF = C₁₀S₈H₈ビスエチレンジチオテトラチアフルバレン)という物質です。BEDT-TTFと呼ばれる分子の層とヨウ素(I₃)の層が交互に積み重なった層状構造をしています。このBEDT-TTF分子層内では、電子どうしが反発しあって規則的な濃淡を作り(図(a))、電氣的な絶縁体状態-電荷秩序絶縁体-になっています。この電荷秩序絶縁体状態に、極めて短い光パルス(時間幅12フェムト(10⁻¹⁵)秒。わずかに光の振動の3周期分)を照射すると、秩序化して固まっていた電子が瞬時に位相をそろえて一斉に振動(コヒーレント振動)し始め(図(b) i)、絶縁体状態であった電子の秩序は融解します。この電子の振動は、約50フェムト秒後に電子の数千倍も重い分子中の原子に影響を及ぼし始めます。まず、BEDT-TTF分子内の炭素原子の間の二重結合が一斉に伸縮振動を開始します(図(b) ii)。その後、分子内のより多数の原子が同時に動くような他の振動も順次巻き込みながら電荷秩序の融解が進行していきます(図(b) iii)。

このように電子や原子、分子が超高速で変化する様子の謎は、「柔らかい有機物質」を利用して、「光の振動のひとつゆれ」の短時間で観測する技術を駆使し、「理論計算」による検証を経て、はじめて明らかになりました。このような研究の延長線上には、光による誘電性や電気伝導性の制御、そして超高速光スイッチングデバイスへの応用があります。本研究は、物質合成評価、先端光計測、物性理論(本学理学研究科 大学院生川上洋平氏、岩井伸一郎教授、分子科学研究所 山本薫博士、米満賢治准教授ほか)の密接な融合研究によって可能になったものです。

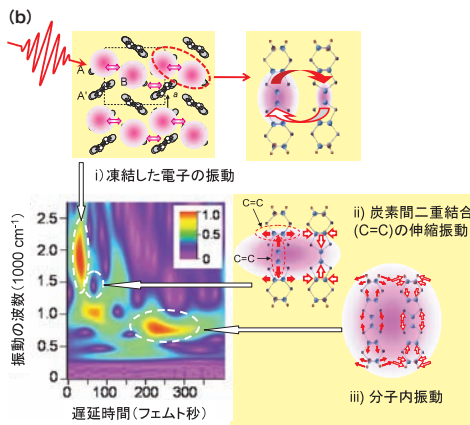
[参考文献]

Y. Kawakami *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 246402 (2010).



電荷秩序(電子の水)

有機物質 α -(BEDT-TTF)₂I₃の電荷秩序絶縁体状態の模式図。電子(電荷)は分子の上に規則的な濃淡を作って固まり動けなくなっている。短い光パルスを与えた直後に電荷は同じ位相で振動し始める。



分子と分子上の電子が、光パルスを与えた瞬間から変化していく様子。1フェムト秒は1X10⁻¹⁵秒。

Front Line

最先端研究紹介

第96回総合科学技術会議（平成23年2月10日開催）において、「最先端・次世代研究開発支援プログラム(グリーン・イノベーション)」に採択される研究者が決定し、金属材料研究所からは折茂慎一教授、藤原航三准教授、安藤和也助教の3名が選ばれました。このプログラムは将来、世界をリードすることが期待される潜在的可能性を持った研究者に対する支援制度です。

水素化物に隠された物性と機能性 －水素の存在状態の根源的探求からエネルギーデバイス実証へ

水素機能材料工学研究部門 折茂 慎一

燃料電池・水素関連材料や二次電池材料、超伝導材料などのグリーン・イノベーションの推進に不可欠な「再生可能エネルギーやその高効率変換・貯蔵・輸送」に関わる研究開発を加速するために、水素を含む材料（以下、「水素化物」という）についての新たな科学的知見の獲得が強く望まれています。

水素化物中の水素は、中性原子に近い状態（金属・合金水素化物中の H^0 ）や共有結合状態（錯体水素化物中の $H^{cov.}$ ）、さらに陰イオン（ペロブスカイト水素化物中の H^- ）や陽イオン（ H^+ ）も含めて、多様な存在状態を示します。これらの個別の存在状態に関しては、電子構造や量子性などの解明を目指す学術的観点に加えて、水素貯蔵・イオン伝導機能や電気化学・光学機能などの向上の観点からも、鋭意研究が進められています。

本研究では、世界に先駆けて提唱した下図の“水素ダイアグラム（水素の地図）”を用いて多様な存在状態を体系的・一元的に捉えることで、水素化物中での「異なる水素の存在状態の“混在性”」や外場による「存在状態間の“遷移”」などの根源的探究を進めます。これを基にして、「水素を貯める」や「イオンを動かす」などの機能性を高めた新しい水素化物を合成してエネルギーデバイスとしての有効性を実証し、環境対応車の社会普及や次世代蓄電・送電システムの技術革新などのグリーン・イノベーションに繋がります。

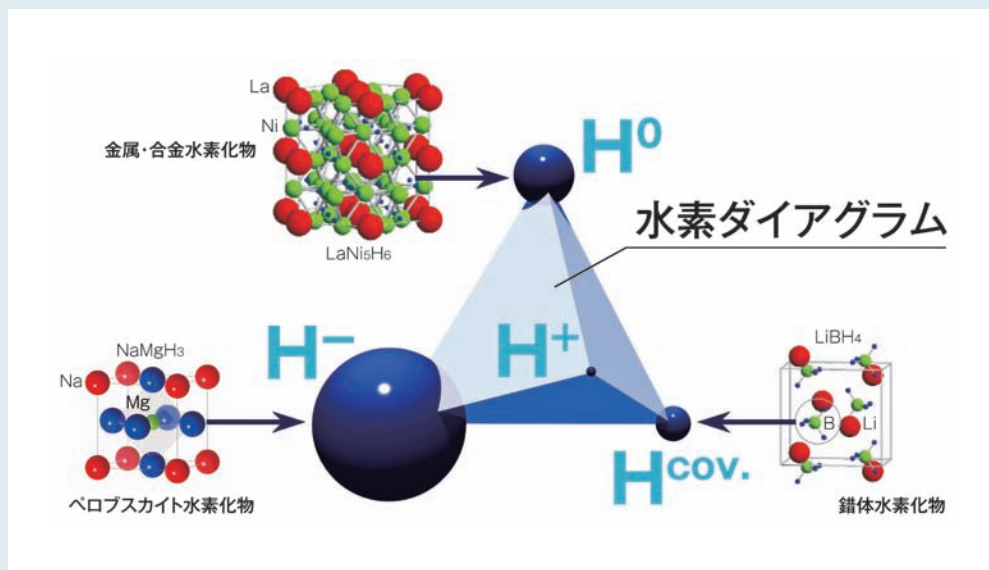


図. 水素ダイアグラムの概念図

融液成長メカニズムを解き明かす

結晶材料化学研究部門 藤原 航三

唐突ですが、図は、Si 融液中の異なる場所で核形成した2つの Si 結晶が成長していく過程を観察したものです。やがて2つの結晶がぶつかり、ぶつかってできた境界が結晶粒界となります。ぶつかる前はそれぞれが単結晶ですが、ぶつかって繋がった(結晶粒界が形成された)瞬間に1つの多結晶となります。多結晶材料では結晶粒界の形状や構造が機械的、電気的性質に影響を及ぼします。図中では、結晶と融液の境界である固液界面はジグザグした形状です。では、この後2つの結晶がぶつかってできる結晶粒界はどのような形状となるのでしょうか？ 考えられる選択肢は、1. このまま結晶成長が進みジグザグ状の結晶粒界となる、2. 結晶成長中に固液界面の角が丸まり波状の結晶粒界となる、3. 結晶成長中に固液界面が平坦になり直線状の結晶粒界となる、の3つです。

世の中で広く利用されている、半導体デバイスや太陽電池用の Si 結晶材料や、鉄鋼などの構造材料のほとんどが融液から作製されています。しかしながら、結晶成長の教科書を見ればわかるように、気相成長や溶液成長と比べて融液成長の理論は確立されていないし、多結晶の融液成長まで踏み込んでいるものはほとんどありません。

先ほどの問いの答えですが、固液界面の形状は温度場によって決まります [1]。従って、図の状態から温度場を制御してやれば、結晶粒界の形状を1. ~ 3. のどの形状にも制御できます。固液界面で双晶が形成されれば [2]、デンドライトが発現します [3,4]。デンドライトの成長速度は双晶間隔に大きく依存します [5]。こうした結晶成長メカニズムを一つ一つ解明していくことが、融液成長の学理の確立と高品質太陽電池用 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発に繋がると信じて研究に励んでおります。

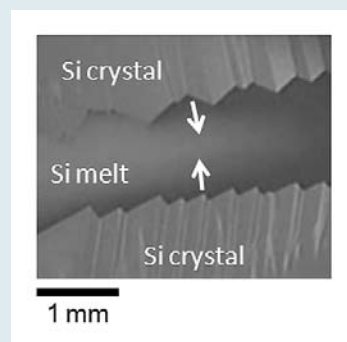


図. Si 融液からの結晶成長過程を直接観察する。

- [参考文献] [1] K. Fujiwara, R. Gotoh, X. Yang, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda, Acta Mater. 59, 4700 (2011).
[2] K. Fujiwara, K. Maeda, N. Usami, G. Sasaki, Y. Nose, K. Nakajima, Scripta Mater. 57, 81 (2007).
[3] K. Fujiwara, K. Maeda, N. Usami, K. Nakajima, Phys. Rev. Lett. 101, 05503 (2008).
[4] K. Fujiwara, H. Fukuda, N. Usami, K. Nakajima, S. Uda, Phys. Rev. B 81, 224106 (2010).
[5] X. Yang, K. Fujiwara, R. Gotoh, K. Maeda, J. Nozawa, H. Koizumi, S. Uda, Appl. Phys. Lett. 97, 172104 (2010).

スピン流を用いた次世代省エネルギー情報処理デバイス

量子表面界面科学研究部門 安藤 和也

現代の電子情報処理デバイスは電流により駆動されています。しかし電流による情報の伝送・演算にはジュール熱による莫大なエネルギー損失が原理的に避けられず、素子構造微細化の限界とともに、極めて本質的な問題となっています。このような状況のため、省エネルギー電子デバイスの実現には電流を用いない全く新しい物理原理に基づく電子情報技術が必要不可欠です。

電子は電荷(電気的性質)とスピン(磁氣的性質)という2つの性質を持ちます。電荷の流れである電流に対し、スピンの流れであるスピン流を作り出すこともできます。スピン流の最大の特徴は、電流と異なりジュール熱に相当するエネルギー損失機構がないことです。このためスピン流を自在に操ることができれば、電流とは桁違いの超低電力電子デバイスを作り出すことができると期待されています。さらに電流が金属や半導体でしか利用できないのに対し、スピン流は金属や半導体だけでなく、電流を流さない絶縁体においても利用することができます。絶縁体中を流れるスピン流は局在したスピン間の相互作用によって運ばれるため、金属や半導体中のスピン流と異なり伝送長が極めて長く、制御性にも優れていることが期待されます。私たちは絶縁体中スピン流伝導の物理を開拓し、スピン流に基づく超省エネルギー機能デバイス原理を創出することで、次世代の省エネルギー社会に貢献します。

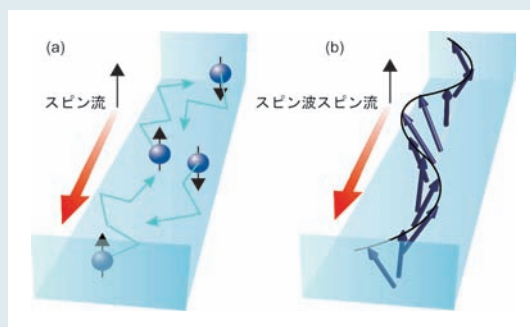


図. (a) 金属・半導体中を流れるスピン流。(b) 絶縁体中を流れるスピン流。

「ICC-IMR Workshop on Novel Material Science using Polarized Neutron 報告」 大山 研司

このワークショップは、金研中性子物質材料研究センター（中性子センター）の主催で平成23年1月6-8日に開催されました。中性子線は磁性材料、環境材料などの物性を原子レベルで理解し、画期的な材料を開発する上で重要な実験手法です。さらに今、世界最高強度の中性子実験施設 J-PARC/MLF の誕生により、日本の物質科学は飛躍の時を迎えました。

東北大学は金研中性子センターを中心としてこの J-PARC に物質科学用装置を建設しようとしています。装置の特徴は、中性子自身のもつスピン（原子磁石）の向きをそろえたビーム（偏極中性子）を駆使することです。これは中性子の最も高度な利用方法で、物質科学でブレークスルーを生み出す技術として国際的にも期待されています。このワークショップでは、ICC-IMR と金研ワークショップのご支援および JST プロジェクトのご支援により、海外からの講演者6名、国内講演者18人をふくむ約60人が参加し、偏極中性子によって飛躍が期待できる研究テーマ、最先端実験技術、各国での将来計画について、世界レベルの視点で議論を行いました。先端技術である偏極中性子に焦点を絞って議論できる数少ない国際的な機会を金研で開催した意義は大きく、多くの関係者の関心を集めました。



研究部共同研究「窒化物半導体の高品質結晶成長とその素子応用」の第4回ミーティング報告 松岡 隆志

研究部共同研究における重点研究として、本研究課題を昨年から継続しています。研究対象としている III 族窒化物半導体は、InN、GaN および AlN からなり、0.7 ~ 6.0eV にわたる幅広いバンドギャップを有します。これらを組み合わせるバンドギャップ・エンジニアリングによって、赤外から紫外にわたる発光素子および太陽光のスペクトルを幅広くカバー

できる超高効率太陽電池など光分野での応用に加え、これまでのシリコンを中心とした電子デバイスに革新をもたらすワイドバンドギャップを生かしたハイパワー高速電子デバイスなどへの応用が期待されています。InN、GaN および AlN は、熱力学的安定性が大きく異なるため、結晶成長条件も大きく異なります。本ワークショップでは、2日間にわたって11件の口頭発表を行い、結晶成長に起因する課題の顕在化とその解決策、物性評価及び素子利用の観点から多面的に議論を交わしました。今後、窒化物研究をリードする気鋭の研究者からなるこの共同研究体制が、窒化物半導体の世界的研究拠点となることを目指していきます。最後に、研究分担者以外にも多数のご参加を頂きましたことに感謝致します。

第2回東北大学 - KEK連携事業シンポジウム「連携が育てる加速器科学と人材」報告 大山 研司

このシンポジウムは東北大学と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) との連携事業をベースにするもので、東北大側では理学研究科と金研中性子物質材料研究センター（中性子センター）が主体となり平成23年3月4日に金研で開催しました。加速器科学の進展は、素粒子・原子核物理学分野のみならず、中性子、放射光等を用いた物質・生命科学分野、

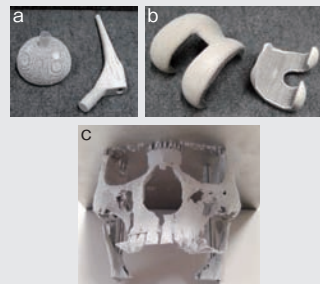
産業利用と広く深く展開しています。東北大学は、長年にわたり KEK と協力して加速器科学研究の発展・人材育成に努力しています。今回は、井上東北大学総長、鈴木 KEK 機構長はじめ多くの方にご出席いただき、加速器科学での人材育成について議論しました。金研中性子センターからは、原子炉での教育用装置計画および J-PARC での装置建設計画について報告しました。KEK からは、学部3年生を対象として KEK が毎年精力的に行っているサマーチャレンジが好評を博しており効果があがっていると報告がありました。金研を拠点の一つとするこの東北大-KEK 連携により特色ある人材育成プログラムを進めることができると考えています。

Research Index

EBM造形技術—夢の成形加工技術の開発に挑戦—

近年、コンピューター技術の進歩により、CAD/CAM (computer aided design/computer aided machining) 法を用いて複雑な構造を有する製品を金型を使用せず、直接造形できるラピッド・マニファクチャリング (rapid manufacturing) 技術が開発され実用されている。当該技術は次世代のネットシェイピング技術として有望である。開発当初はレーザービームによる造形が主であったが、ごく最近電子ビームを使用した粉末積層造形 (EBM 造形) 装置が開発され、高機能で高付加価値部品の付加成形加工 (additive manufacturing) 技術として欧米を中心として実用され始めている。当研究室では、EBM 造形技術の高度化を目指した研究に着手している。右の図は、当研究室の EBM 造形装置を用いて製

造した、生体用コバルトクロム合金製人工股関節 (a)・膝関節 (b)、頭骨 (顔面部) (c) の造形物である。これらはほんの一例であり3D の CAD データからどのような複雑形状の部品でも短時間で高精度な造形が可能である。夢の成形加工技術の研究開発に期待をふくらませている。(千葉 晶彦)



編 | 集 | 後 | 記

今回の震災や原子炉事故で大きな被害を受けられた方々に心よりお見舞い申し上げます。また復旧復興にご援助を頂いている方々、身を危険に曝しながらも懸命に原子炉事故の終息に向けて努力されている方々に心からの感謝の念を申し上げます。

大地震の瞬間、私は北京で出張の帰路の飛行機に搭乗したところでした。フライトはキャンセルになり、ホテルに移動し、地震、津波、そして原子炉の事故の様子がテレビに釘付けになっていました。原子炉事故はその時に描いた最悪のシナリオを辿り、非常用も含めた電力の停止、原子炉の炉心熔融、建屋の水素爆発、多量の放射性物質の放出に至りました。事故の詳細は今後の報告を待つ必要がありますが、

技術的な課題は次第に見えつつあります。例えば、汚染区域の除染は人々の生活確保に肝要です。非常用電源の津波対策は原子炉の高安全化にとって緊急の課題です。また高レベル放射線下で作業するロボットについてもカメラや制御用半導体、可動部の潤滑剤などの照射劣化が顕在化するでしょう。こういった様々な課題解決に向け我々科学者が手にする科学力を礎とすることが必要であろうと思います。

さて、数日経って何となく仙台に戻り、街に溢れる沢山の人々を見、会話や売り子達の声等々を耳にし、戦後の復興期の活気を想像し重ねました。そしてこれだけの人間のたくましさエネルギーがあれば絶対に大丈夫、と強く感じました。(阿部 弘亨)



東北大学金属材料研究所

発行日：2011 vol.65 平成23年6月発行
 編集：東北大学金属材料研究所 情報企画室広報担当
 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
 TEL:022-215-2144
 pro-adm@imr.tohoku.ac.jp
 http://www.imr.tohoku.ac.jp/

