

## 金属学会シンポジウム開催報告

# 陽に陰にオリンピック・パラリンピックを支える材料工学

(セミナー・シンポジウム委員会企画)

開催日 2019年9月20日

場所 エッサム神田ホール

ご存知のように、2020年に東京オリンピック・パラリンピックがわが国で開催される。スポーツの祭典であるが、各種素材の最先端を競う場とも見ることも出来る。特に金属材料は、歴史的に現在に至るまで陽に陰にオリンピック・パラリンピックを支えてきた材料の一つである。本シンポジウムでは、オリンピック・パラリンピックを、金属材料を中心とした材料工学の観点から捉え、両者の関わりを改めて問い直し、スポーツ関連材料分野における金属材料の未来の可能性について様々な視点から討論を行い、当該分野が進むべき方向性について討論した。(9月20日、エッサム神田ホール、参加者数7名)。

原田幸明(物質・材料研究機構)は、「持続可能社会へのレガシーとしての都市鉱山メダル」において、これから金属材料が圧倒的に足りなくなり、今世紀末には、鉄は現有埋蔵量の2倍、ニッケルは5倍、金は7倍、銀は15倍の需要が想定されると述べ、金属資源のリサイクルが必然である事を示した。リサイクルの取り組みとして、2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピックの金銀銅メダルが、オリンピック史上で初めて全て小型家電などをリサイクルすることにより作られた。これは、「都市鉱山からつくる！みんなのメダルプロジェクト」により行われ、日本の優れた精錬技術を用いて小型家電約80,000tからメダルに必要な金約32kg、銀約3,500kg、銅約2,200kgを確保した事を示した。会場から、自治体での小型家電の回収状況についてなどの質問があった。

鷲見芳紀(大同特殊鋼)は、「ゴルフと金属学・チタンの進化」にて、ゴルフクラブに使われる材料に関して、柿の木からステンレス鋼へ、さらにチタン合金への変遷を紹介した。ゴルフクラブにチタン合金が採用される理由は、チタン合金

は比重が軽く、さらに強度が高く大きな反発力が得られ、かつヘッドの体積を大きくすることができるからである。チタン合金は、一気にゴルフクラブヘッド用材料の主役となった。現在は、高強度が得られる $\beta$ 型チタン合金が使われている。ゴルフクラブには、どのような規制ルールがあるかなどの質問があった。

村上秀之(物質・材料研究機構)は、「スケート競技に貢献する材料科学」と題し、筑波大学との共同研究で、「スピードスケートにおけるブレードの特性向上」を目指した研究開発を通して、材料研究者がスケート競技にどのように貢献できるかについて、接水面の清浄化を目的としたプラズマ処理の例を解説した。プラズマ処理により、表面の濡れ性が向上した。これは、大気圧非平衡プラズマをブレード接水面に照射することにより、滑りが悪くなったと答えた選手はいなかった。ソチオリンピックでは、現地までプラズマ処理装置を持ち込んだが、使用した選手はいなかった。改良したスケート靴をどのような選手が競技で使うのかという質問が出た。

小山敏幸(名大)は、「材料から眺めたオリンピック・パラリンピック」において、名古屋大学の教養科目の活動の一環として、オリンピック・パラリンピックで使われている金属材料を調べ、車椅子の素材がマグネシウム合金、フェンシングのブレードがマルエージング鋼、馬術に使われる「馬銜」が、馬に唾液を出させたり精神を安定させたりする効果があるCu-Mn-Zn合金である事を紹介した。フェンシングのメーカーが日本にはないが、剣にどの材料メーカーの材料が使われているのかなどの質問があった。

中島 求(東工大)は、「パラリンピックへのスポーツ工学の貢献」において、リオデジャネイロ・パラリンピックのために行われた研究開発の例から、まず、マグネシウム合金フレームを用いた競技用車椅子の貢献について述べた。この車椅子は実際に日本代表選手1名が使用し、軽量のため操作性が著しく向上し大変好評であった事を示した。次に、パラリンピック選手の水泳フォームの動作分析・フォームの改善の提案について述べた。コンピュータシミュレーションによる選手の水泳フォームの解析結果をコーチにフィードバックするとともに、最適化アルゴリズムにより、泳速度の向上の知見をフィードバックした事を示した。東京パラリンピックへの貢献について、どのような体制でサポートするのかなどの質問があった。

(文責：北村)

(企画世話人：愛知教育大 北村一浩)

## 金属学会シンポジウム開催報告

# 高温物性値測定技術の最前線と ものづくりへのアプローチ

(第II分科企画)

開催日 2017年1月24日

場所 東工大・コラボレーションルーム(東京)

材料創製プロセス中に生じる種々の現象の機構解明や支配要因影響の明確な把握のカギを握るのが「高温物性値」であり、これまで多くの物質の熱物性値が測定され、整備されてきた。しかし、これらの物性値をものづくりのプロセスに直接結びつけて考える試みが包括的になされてきたとは必ずしも言えず、また、新たな測定方法についても系統的な整理はこれからの展望と思われる。そこで本シンポジウムでは、より精緻な測定のための最新技術および高温物性値に深く関連したものづくりプロセスについての最新の技術・研究について知見を共有し、幅広い討論を行うため、各界の第一線の講師にお越しいただき、「高温物性値測定技術の最前線とものづくりへのアプローチ」に関する討論会を開催した(平成29年1月24日、東京工業大学・コラボレーションルーム、参加者25名)。なお、本シンポジウムは、(一社)日本鉄鋼協会、(一社)日本熱物性学会、(一社)日本機械学会の協賛を得て行われた。

安齋正博(芝浦工大)は、近年開発・進歩が著しい Additive Manufacturing である 3D プリンターをものづくりの最前線技術の一つとして取り上げ、「3D プリンティング技術の基礎と応用」と題する講演を行った。本技術のメリットと限界をよく理解しながら、適用する対象製品を考える必要があること、射出成形技術と切削加工技術の良さを融合させることで、はるかに効率的で精度の高い製作が可能になることが説かれた。いずれにしても、熱を利用して溶かす、逃して固める、冷却を制御することで、熱をコントロールすることが重要であると述べられた。

福山博之(東北大)は、熱容量、熱伝導度、放射率などの複数の高温物性値を一つの装置で測定できる「超高温熱物性計測システム(PROSPECT)」について、誘導電流と磁場の作用により浮揚して金属を溶解しながら、静磁場の利用により対流を抑制することにより精緻な測定が可能になったことを、各物性値の理論方程式の導出も合わせて解説し、複相融体や雰囲気の影響を考慮したさらなる測定の展開について述べた。

須佐匡裕(東工大)は、鉄鋼生産プロセスにおける熱現象を理解・利用するためのサーマルマネージメントに着目し、「鉄鋼生産プロセスに関する熱伝導率・熱流束の測定」と題して、鉄鋼材料表面に生じる酸化鉄皮膜の熱伝導度や皮膜の厚さや性質に由来する冷却水への抜熱を評価するために開発した新たな熱流実験法の紹介を行った。真の熱物性値とともに実プロセスに適用可能な工学的物性値の重要性についても触れた。

森川淳子(東工大)は、熱伝導度の測定法の原理を「刺激・応答・位置」という一連の概念で関連付けて解説し、位相遅れと振幅減衰から導出する方法論より、熱拡散率の精緻な測定法を示した。また、赤外線カメラを用いた熱イメージングの手法による発熱現象検知や材料欠陥検査などへの応用について述べるとともに、より高温に展開することにより、鉄鋼製造プロセスのような実生産現場への適用可能性についても示唆があった。

齊藤敬高(九大)は、製鋼プロセスの連続鋳造に用いるモールドフラックスの結晶化挙動に着目し、「電気容量を用いた結晶化度測定」と題し、これまで視覚的方法に頼ってきた結晶化度の評価に電気容量測定という新たな手法を導入した経緯を含め、二混相の物性について講演された。回転坩堝の速度の影響やフラックスの融体構造の観点から解析を進め、今後の界面二重層容量と融体の抵抗値の分離への展開可能性を示した。

田中敏宏(阪大)は、「液体金属の物理化学」と題して講演を行い、これまでのバルクの性質を記述するための物性から視点を移し、界面に特徴的な反応や現象の理解、そしてサイズ効果の評価の重要性を指摘し、キャピラリー現象に代表される濡れ効果や、ナノ金属の熱力学を取り上げて、新たな領域の理解を深めることの意義を説いた。

総合討論においては、各高温物性値の領域における最新研究や技術・成果を「ものづくり」の各プロセスで応用を試みたいという企業側からの意見や、是非ニーズの発信をお願いしたいという大学側からの声があり、エンジニアリングメリットの観点からさらなる産学連携が示唆された。また、マクロ物性からミクロ物性への性質の転換点や、微量でも界面物性に大きな影響を及ぼす元素についてなど、さらなるサイエンスの深化も重要であるとの認識を深めた。(文責：小林)

(企画世話人：東工大科創研 小林能直，  
兵県大工学研究科 松尾直人)

## 金属学会シンポジウム開催報告

### データサイエンスと材料研究開発

(セミナーシンポジウム委員会企画)

開催日 2017年1月20日(金)

場 所 エッサム神田ホール(東京)

近年、データサイエンスと材料科学・工学を融合し、材料開発の高効率化を実現しようとする新たな枠組みの構築が種々のプロジェクトにて進展している。本シンポジウムでは、材料研究開発にデータサイエンスを適用している多くの事例の中で、これからの材料工学に貢献するであろう手法に焦点を当てた。具体的には、仮想スクリーニング、ニューラルネットワーク解析、フィルタ理論、アジョイント法(4次元変分法)、およびスパース学習に着目し、材料学に本当にマッチしたデータサイエンスとは何かについて議論するとともに、今後の材料科学・工学のインフォマティクスが進むべき方向性について討論した。(1月20日、エッサム神田ホール、参加者数57名)。

世古敦人(京大)は、「第一原理計算データに対する機械学習手法の応用」にて、第一原理計算の多重実行と機械学習手法を組み合わせた原子間ポテンシャルの構築について述べ、エネルギーだけでなく、原子に働く力場も高精度に予測できることを示した。また機械学習法を用いた材料探索・構造探索について、仮想スクリーニングの威力を紹介した。さらに、機械学習では記述子の選定が非常に重要であるが、新たに提案した、化合物に対する一般的な記述子(単位胞内の原子数に寄らない記述子)の有用性を示した。

足立吉隆(鹿児島大)は、「ディープラーニングによる組織識別・検出の可能性の検討」において、複雑な鉄鋼材料組織の自動認識に対し、畳み込みニューラルネットワークを活用した試みについて述べ、材料組織画像の自動認識が、現在、飛躍的に向上していることを示した。さらに鉄鋼材料の力学特性(応力-ひずみ曲線)を材料組織やプロセスに関する記述子を用いてニューラルネットワーク学習させることにより、材料強度の支配因子を定量化できることを述べた。独自開発した材料組織の機械学習ソフトウェアについても一部紹介された。

山中見徳(東農工大)は、「アンサンブルカルマンフィルタによるパラメータ推定」にて、まずフィルタ理論とはいかなるものかについて、詳細な説明を行った(従来、フィルタ理論の説明は抽象的でわかりにくい場合が多いが、材料学を題材に非常に理解しやすい内容であった)。続いて、フェーズフィールド法に用いられる緩和係数の値を、アンサンブルカルマンフィルタによって推定する例題が説明され、シミュレーションとフィルタ理論を用いたパラメータの逆問題式推定法の重要性が示された。

伊藤伸一(東大)は、「フェーズフィールドモデルに資する4次元変分法データ同化」と題し講演し、シミュレーションの初期値に対する、アジョイント法による推定の有用性を示した。この手法は、推定したい値に大自由度がある場合に適した手法である。さらに、近年提案された、推定値の誤差までも見積もることができる、さらに進んだ2nd-orderアジョイント法についても紹介があり、不確実性の定量化に関する最新の計算理論が示された。

小山敏幸(名大)は、「材料工学におけるスパース学習の重要性」において、まずJMAK(Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov)の式を題材にスパース学習の基礎について説明し、最小二乗法(制約なし)、Ridge回帰( $L_2$ ノルム制限)、およびLasso回帰( $L_1$ ノルム制限)の相違点について述べた。続いて、一般化したJMAKの式を用いた成長曲線の近似を例に、スパース学習が、重要データの選別だけでなく、材料挙動のメカニズム選択にも活用できることを示し、材料工学におけるスパース学習の有用性について言及した。

総合討論においては、まず材料インフォマティクスに関する留意事項として、材料工学の観点からのインフォマティクスの定義、およびインフォマティクスが威力を発揮できる条件について確認した後、最近のデータサイエンスの手法と従来の統計的手法との相違点をまとめた。最後に材料工学におけるインフォマティクスの恩恵として、以下の7点が総括された。(1)パラメータ推定に対する逆問題の活用、(2)特性を支配する因子分析・感度解析、(3)仮想スクリーニングの材料探索への適用、(4)データを認識・分類する精度・効率の向上、(5)検量線(現象論・理論・計算)の非線形内挿の精度向上、(6)必要なデータの識別、および(7)不要なデータや間接データの重要性。

(文責：小山)

(企画世話人：名古屋大 小山敏幸)

## 金属学会シンポジウム開催報告

# チタン合金の研究・開発最前線2016

(第4, 1, 5分科企画)

開催日 2016年9月12日(月)

場所 大阪大学中之島センター

チタン合金は、優れた力学的特性、耐食性、生体適合性等を有することから、医療・福祉分野から輸送機器分野等に至るまでの多くの分野の製品に幅広く利用されている。本シンポジウムでは、2015年度に開催されたチタン世界会議の翌年に開催することにより世界の研究開発動向を踏まえて同分野の研究開発の現状を把握するとともに、我が国におけるチタン合金の研究開発のさらなる進展のため、その課題や今後の展開について議論した。(9月12日、大阪大学中之島センター、参加者75名)。

伊藤喜昌(日本チタン協会)は、「チタン製造の歴史と最近の話題」と題して、酸素との親和力が強く、鉱石から金属として取り出すことが他の金属に比べて困難なチタンの製錬技術の発達やそれを用いた工業化までの道のりについて解説した。さらに、我が国におけるチタン産業の誕生の経緯についても述べた。

森永正彦(豊田理化学研究所)は、「電子レベルからのチタン合金の評価と設計」と題し、チタン中における合金元素の振る舞いを第1原理計算によって求めた電子状態から解析し、それを基にした合金設計法について解説した。さらに、最近の進展として、チタン中における合金元素周りのひずみの計算結果を示し、マグネシウム中におけるそれとの比較から、その特徴について述べた。

松本洋明(香川大)は、「産業用チタン合金の準安定組織を利用した組織制御と熱間加工・材質予測」と題し、 $\alpha+\beta$ 型チタン合金のマルテンサイト組織を利用した組織制御技術(結晶粒微細化や超塑性加工法への応用等)について述べるとともに、現在、国家プロジェクトとして進められている高精度熱間鍛造組織予測法の開発に関する研究成果の一部を紹介した。

金 熙榮(筑波大)は、「チタン合金の組織と超弾性特性」と題し、 $\beta$ 型チタン合金のマルテンサイト変態による超弾性特性の改善(変態ひずみの増大やマルテンサイト誘起応力と

すべり臨界応力との競合関係の制御等)に関する研究成果を化学組成の最適化、結晶方位配向(集合組織)制御および $\omega$ 相形成の観点から述べた。

國枝知徳(新日鐵住金)は、「チタン合金の組織制御による機能化」と題し、自社で開発された $\alpha+\beta$ 型チタン合金に特定の条件で熱処理や加工を施すことにより、一般的な時効硬化に比べて極めて短時間で硬化させることが可能な高速時効硬化現象や特異形状変化現象が発現することを述べ、それらの現象を発現させることにより得られる特性やその際の組織変化について示した。

逸見義男(神戸製鋼所)は、「快削性チタン合金の開発」と題して講演し、侵入型元素である炭素の利用や化学組成の最適化により室温強度と熱間加工性とを両立させた自社開発の $\alpha+\beta$ 型合金や同合金に新たな合金元素を添加することによりさらに被削性も改善した新合金の開発についての取り組みを紹介した。

藤井英俊(阪大)は、「チタン合金の摩擦攪拌接合技術」と題し、アルミニウム合金等のように融点が低い材料に比べて摩擦攪拌接合による接合が難しいチタン合金における組織制御や機械的性質の特徴について述べ、接合条件の最適化により等軸組織やラメラ組織の形成を制御することが可能であることや結晶粒微細化により接合部の機械的性質を劣化させずに接合が可能であることを示した。

山中 茂(丸エム製作所)は、「チタン合金を利用した製品開発」と題し、生体用 $\beta$ 型チタン合金の歯科用ワイヤーへの実用化成功例について紹介した。歯列矯正の原理から解説し、従来の金属製歯科用ワイヤーに比べて、生体用 $\beta$ 型チタン合金製歯科用ワイヤーが歯科医の望む特性を有することを示した。

本シンポジウムは、募集定員(60名)を大幅に超える参加者数となるほどの盛況ぶりであった。当日実施したアンケート結果によると、参加者の約44%が協賛学協会会員や非会員であったことは、本学会におけるチタン合金の研究開発への期待の表れであると思われる。さらに、参加者の約48%が企業に所属していたことから、我が国の産業界におけるチタン合金の需要の高さが窺われ、その高性能化の重要性が再確認された。

(文責：仲井)

(企画世話人：近畿大 仲井正昭，阪大 中野貴由，  
東北大 成島尚之，愛媛大 小林千悟，  
関西大 上田正人，日本チタン協会 小池 磨)

## 分科会シンポジウム 報告

# 中性子・材料科学と新しい JMTR —材料科学の発展と社会への貢献—

(第1分科企画)

開催日 2013年11月6日(水)

場所 東北大学金属材料研究所

福島原発事故以来、我が国のエネルギー政策は予断を許さない状況にあるが、今後も引き続き核エネルギーを安全に利用していくためには、原子力材料などの不断の研究活動が不可欠である。

本シンポジウムでは、当該研究分野の一層の発展に向け、「材料と中性子」に焦点を当てて、今後の原子力材料に関する研究開発の意義や動向について議論し、これからの当該分野を支える学生や若手研究者と新しい認識を共有することを目的として、2013年11月6日(水)東北大学金属材料研究所にて開催された(参加者数:43名)。

四竈樹男(東北大)は、「大学における中性子照射研究の現状と期待」と題する講演で、JMTR 利用による大学研究の経緯や最近の海外研究炉の状況などの国際的な動向を紹介した。また、大学を中心とする高経年対応研究の重要性は勿論、中・長期的な視点での基礎的な材料研究を継続することの必要性を説くと共に、本来の JMTR のミッションの核心となる骨格研究と周辺研究の位置づけを再検討する必要があると述べた。

荒木政則(原子力機構)は、「新しい JMTR と研究開発」の講演で、我が国の研究用原子炉の変遷及び改造・改修・更新を経て新生 JMTR への対応状況を報告した。この中で、新生 JMTR に求められる役割として、軽水炉安全研究に係る照射試験や核融合研究及び高温ガス炉開発に向けた技術開発のみならず、核医学検査薬の国産化に向けた研究・技術開発など従来の枠を超えた照射利用並びに新たな照射ニーズへの対応を進め、より広範な照射場の提供が可能であることを報告した。

木村晃彦(京大)は、「原子力材料科学と中性子照射」の講演で、福島事故を受け、原子力安全利用のための材料研究者の社会貢献として、高経年化対応技術及び事故時の材料の挙動解明に向けた研究が必要であると述べた。材料の中性子照

射硬化・脆化が照射温度に強く依存すること、照射影響を予測するためには JMTR の温度制御照射技術が不可欠であると述べた。照射硬化が空孔集合体ではなく、格子間型転位ループの挙動の直接的な影響を受けることを示し、JMTR を用いたバルク特性評価が重要であると述べた。

室賀健夫(核融合研)は、「核融合炉材料研究開発課題と中性子照射」に関し、候補材料開発研究の現状と核融合炉の照射環境や試験装置を紹介した。フェライト鋼を用いた原型炉開発における課題として、ヘリウム(He)効果の評価の重要性が強調され、照射脆化の照射量依存性のモデルから当面の耐性目標値を 50 dpa とし、その実証を目指す試験の進め方の議論が紹介された。

福谷耕司(INSS)は、「産業界における原子力材料研究開発の現状と期待」の講演で、軽水炉の経年劣化にかかわる研究の必要性を説き、国の事業を中心に最近の研究、例えば、照射による破壊靱性シフトと遷移温度シフトの相関については、原子力規制庁事業の研究、IASCC 機構については原子力安全基盤機構の研究を紹介した。また、次世代炉に向けた材料の改良や新しい材料の開発研究が必要であると述べた。

各講演の質疑応答や総合討論においては、材料照射研究の在り方に関わる討論が活発に行われた。JMTR については、福島事故の影響は甚大であり、運営と研究の両立の困難さが指摘されたことを受け、短期、中・長期的な社会貢献としての研究炉の位置づけについて議論された。人材育成については、国際的な視野に基づいた活動並びに国内人材育成活動の両面からの検討が必要との意見があった。高経年対応研究には、社会貢献と材料科学の展開の双方が求められており、JMTR 温度制御照射の必要性と JMTR の他の研究炉に対する優位性が再確認された。核融合炉材料に関しては、現在の BA 研究活動に対し、JMTR や JOYO の利用促進を求める声があった。照射脆化予測に関する討論があり、現行の脆化予測は機構論的考え方に基づいた半経験的工学モデルによる意見や基礎となる反応速度式に誤りがあるとの指摘があった。脆化予測式の構築にあたっては、学協会のすそ野を広げた協働作業が必要であり、予測式の精度向上に向け、新しい知識や知見を予測式に反映させていくべきとの意見があった。若手研究者からは、高経年研究の新展開を求める声があり、企画者からは若手研究者に対する期待が寄せられた。

(文責:木村)

(企画世話人:東北大 阿部弘亨, JAEA 荒木政則, 京大 木村晃彦)