

4. 機械材料・材料加工部門

4.1 機械材料・材料加工部門の 10 年間の活動概要

当部門は、多岐に亘る材料と加工の分野に携わる研究者・技術者の横断的情報交換の場として位置づけ、「学術活動の活性化」, 「会員へのサービスの充実」, 「社会貢献」に取り組んできた。

特に「学術活動の活性化」については、機械材料・材料加工技術講演会のみならず、国際化への対応およびアジアとの連携を重視し、ICM&P (欧米), ASMP (アジア) の 2 本立ての国際会議の主催を定常化している。これは大学・企業の研究者が欧米の最先端研究者との技術競争に学会が関わる重要性だけでなく、現在及びこれからの日本のものづくり企業の成長のためにはアジア地域への展開・リーダーシップが不可欠であり、大学研究者、学会の協力が有効であると考えているためである。2015 年度からは、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)/革新的設計生産技術での採択を受け、革新的な設計、生産、加工技術などものづくりに関する潜在的なシーズ、ニーズの発掘や、多様なプレーヤーの参集と交流など、ものづくりのイノベーションに資する新しいスタイルの講演会 イノベーション講演会(iJSME:Innovation from JSME)を開催した(表 1)。

表 1 講演会一覧

開催年月日	講演会名	発表数	参加数	場所
2007 年 11 月 17 日, 18 日	第 15 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2007)	184	257	長岡
2008 年 10 月 7 日, 10 日	International Conference on Materials & Processing 2008 (ICM&P2008) + International Manufacturing Science & Engineering Conference (MSEC2008)			イリノイ
2009 年 6 月 1 日~3 日	第 2 回アジア機械材料・材料加工シンポジウム 2009 (ASMP2009)	51	60	ペナン
2009 年 11 月 5 日~7 日	第 17 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2009)「産学連携でスキルアップを図ろう！」	214	306	富山
2010 年 11 月 27 日, 28 日	第 18 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2010)「ものづくりにおける基礎研究と先端技術の融合」	234	354	東京
2011 年 6 月 13 日~17 日	4th JSME/ASME 2011 International Conference on Materials and Processing (ICM&P2011)			オレゴン
2012 年 8 月 30 日~31 日	The 3rd Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP 2012)			チェンナイ
2012 年 11 月 30 日~12 月 2 日	第 20 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2012)「日本を支えるものづくり」	284	367	大阪
2013 年 11 月 8 日~10 日	第 21 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2013)「安心・安全な社会を築くものづくり」	274	372	八王子
2014 年 6 月 9 日~13 日	第 22 回機械材料・材料加工部門講演会 (ICM&P2014: The 5th JSME/ASME International Conference on Materials and Processing 2014, Advanced Materials and Processing Technology for Next Generation)			デトロイト
2015 年 8 月 10 日~13 日	The 4th Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP 2015)			インドネシア
2015 年 11 月 13 日~15 日	第 23 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2015)	207	274	広島
2015 年 11 月 13 日~15 日	第 1 回日本機械学会イノベーション講演会 (iJSME2015:Innovation from JSME 2015)	36	51	広島
2016 年 11 月 24 日~25 日	第 2 回日本機械学会イノベーション講演会	37	118	東京
2016 年 11 月 25 日~26 日	第 24 回機械材料・材料加工技術講演会	195	204	東京

また、当部門は特別員(法人会員)登録者数が第 1 位で、産業界の会員数が多いのが特長であり、「会員へのサービスの充実」として、産業界の役に立つ企画の充実を心がけてきた。その一環として「もう一度学ぶ機械材料学」等の講習会や「M&P サロン」を開催し、情報発信あるいは啓蒙活動を行っている(表 2・3)。

表2 講習会一覧

開催年月日	講習会名
2007年8月30日, 31日	「やり直し金属・鉄鋼材料Ⅲ」-機械・製造技術者のための基礎講座シリーズ-
2007年11月29日, 30日	締結・接合部の設計の実際と今後の展開
2008年12月15日, 16日	締結・接合部の設計の実際と今後の展開
2009年3月13日	「高品位厚膜創製プロセス」-溶射・Gold Spray・Aero-Sol Depositionの基礎と将来展望-
2009年9月4日	「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2009年10月15日	学会基準フレット疲労試験方法(改定版)
2010年9月10日	「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2011年9月16日	「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2012年1月27日	講習会「高品位厚膜創成プロセス」-溶射, Warm Spray, Cold Spray, Aero-Sol Depositionの基礎と将来展望-
2012年9月14日	講習会「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2013年10月3日, 4日	講習会「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2014年10月2日, 3日	講習会「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2015年3月5日, 6日	講習会「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2015年10月15日, 16日	講習会「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2016年3月3日~4日	「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-
2016年10月6日~7日	「もう一度学ぶ機械材料学」-機械・製造技術者のための基礎講座-

表3 M&P サロン 一覧

	開催年月日	題目	講師
第1回	2012年1月27日	産学連携と部門の在り方	佐藤順一〔IHI 検査計測(株)〕
第2回	2012年3月30日	新・炭素社会に活かせる技術は何か?	佐野桂一郎〔三菱化学メデイエンス(株)〕
第3回	2012年5月25日	表面処理技術で何がかわるか?その効果と応用	大竹尚登〔東京工業大学〕
第4回	2012年7月27日	「見えないものが見える、超の付くテレビカメラ」-超高感度カメラ、超高速カメラ、超高精度カメラ-	吉田哲男〔(株)日立国際電気〕
第5回	2012年9月28日	軽金属材料(AI・Mg・Ti合金)の適用部材と加工技術	安在英司〔日本軽金属(株)〕
第6回	2012年11月30日	溶接技術の最近のトピックスと今後の課題	稲垣正寿〔(株)日立製作所〕
第7回	2013年1月25日	食品容器製造技術の変遷と材料との相性	今津勝宏〔東洋食品工業短期大学〕
第8回	2013年3月29日	最新エレベーターの開発技術~より早くかつより安全・快適な利用のために~	上野恵蔚〔(株)日立製作所〕
第9回	2013年5月31日	完成1周年記念-東京スカイツリーを支える鉄鋼材料-	加村久哉〔JFE スチール(株)〕
第10回	2013年7月26日	国際標準の重要性と欧州主導の ISO/IEC 規格に対する日本勢の奮闘	岡戸克〔JFE テクノリサーチ(株)〕
第11回	2013年9月27日	自動車用ゴム製品の技術革新-熱硬化性ゴムから熱可塑性エラストマーへ-	小葉次郎〔鬼怒川ゴム工業(株)〕
第12回	2013年11月29日	水晶振動子の特徴とその製造における少々厄介なこと	倉富智規〔シチズンファインテックミヨタ(株)〕
第13回	2014年1月31日	カーボンナノチューブの触媒成長の理解、カスタム合成と応用	野田優〔早稲田大学〕
第14回	2014年3月28日	使いやすい化粧品成形法を探る-口紅とファンデーションの成形における諸問題	湯浅栄二〔(株)南陽技術〕
第15回	2014年5月30日	ものづくりとひとづくりのための設計科学	大富浩一〔(株)東芝〕
第16回	2014年7月25日	原子分解能・ホログラフィー電子顕微鏡の開発とその応用	品田博之〔(株)日立製作所〕
第17回	2014年10月10日	3D プリンター&AM(Additive Manufacturing)技術開発と応用	ワークショップ
第18回	2015年1月23日	次代を創る心臓製品開発 ~3M の技術発信~	オ本芳久〔スリーエムジャパン(株)〕
第19回	2015年5月22日	市場流通材のスーパーメタル化	相馬憲一〔(株)日立産機システム〕
第20回	2016年1月22日	スポーツ用具の進化を支える複合材料	谷口憲彦〔アシックススポーツ工学研究所〕
第21回	2015年9月25日	水素エネルギーの大規模貯蔵輸送技術	岡田佳巳〔千代田化工建設(株)〕
第22回	2015年12月4日	貴金属の特徴と主な用途	坂入弘一〔田中貴金属工業(株)〕
第23回	2016年5月13日	8時間耐久レースを制したエンジンを含む先端バイク技術	藤原英樹・田中陽〔ヤマハ発動機(株)〕
第24回	2016年7月8日	MRJ開発におけるメンテナンスタスク設定へのアプローチ	月ヶ瀬かほる〔三菱航空機(株)〕
第25回	2016年9月2日	HIP 技術の現状と技術開発の動向	上田実〔金属技研(株)〕
第26回	2017年1月13日	宇宙エレベーター建設構想	石川洋二〔(株)大林組〕

なお、2011年9月12日（東日本大震災により当初予定の3月から延期）に明治記念館にて「部門創立20周年記念講演会・懇談会」を開催し、部門創立20周年記念誌を企画・発行した（図1）。さらに、2016年3月28日に明治記念館にて、「機械材料・材料加工部門 創立25周年記念講演会・懇談会」を開催した。



図1 部門創立20周年記念誌

[若山 修一 首都大学東京]

4.2 鉄鋼材料

鉄鋼材料は、自動車や建築・機械などの構造材料として現在最も汎用性の高い材料であり、今後ともその地位は揺るがない。以下、粗鋼生産量概況、主要設備更新、研究技術開発、新製品について述べる。

国内粗鋼生産量は、2007年には1億2019万トンに達した。2008年のリーマンショック（8753万トン）の急減があったが、2010年度には急回復し、その後東日本大震災があったものの1億500万トンから1億1000万トンと堅調な生産量を維持している。一方、海外に目を転じると、世界全体、中でも中国の粗鋼生産量の増加は目覚ましい。2006年の世界の粗鋼生産は12億トン（中国の生産量4億トン）であったが、2013年では、16億トン（中国8億トン）を超えた。

国内の生産体制に関しては、2012年に新日鉄住金が誕生した。その結果、粗鋼生産量4600万トンで、アルセロール・ミタルに続く世界第2位の鉄鋼メーカー誕生となった。設備の新設・改修に関して、新日鉄住金では、大分、和歌山、君津、八幡、JFEスチールでは倉敷、福山、神戸製鋼では加古川の各製鉄所で高炉の改修や再稼働が行われた。新日鉄住金名古屋製鉄所において、次世代コークス製造技術であるSCOPE21を導入したコークス炉が稼働した。一方、新日鉄住金のタイにおいて溶融亜鉛めっき工場など生産のグローバル化がいっそう進展した。

研究開発に関しては、超鉄鋼プロジェクト(1997-2006)、環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発プロジェクト(2002-2006)といった結晶粒超微細化に関する2大プロジェクトが終了した。基礎研究が大きく進展するとともに、ねじ等への実用化も達成した⁽¹⁾。普通炭素鋼のフェライト粒組織（結晶粒径20 μ m）と超微細粒鋼のフェライト粒組織（結晶粒径0.7 μ m）を示すが（図2）、従来の数十分の一の結晶粒微細化が達成できた⁽¹⁾。CORSE50(2007-)、ヘテロ構造制御に基づく新指導原理プロジェクト(2010-)、革新的構造材料技術開発 ISMA(2013~2022)、航空機用革新的構造材料の実現に向けたSIPプロジェクトがスタートした。成果も順調に出つつあり、産官学連携して、革新構造材料の研究開発に取り組む体制が確固たるものなることを期待したい。

新技術・製品では、鉄鋼材料の進歩で注目されるものは高成形性のハイテンである。「環境負荷低減のための軽量化」と「衝突安全性向上」という課題を同時にクリアするために、強度と成形性にすぐれたハイテン材（高張力鋼板）が必要である⁽²⁾。かつては引張強さ440MPaをハイテンと呼んだが、780MPa、980MPaが実用化され2012年には1180MPaハイテン（新日鉄住金）が日産自動車(株)のInfinity50のセンタピラーに使用されるに至った車体重量15%の軽量化が見込まれている。結晶粒微細化とフェライトとマルテンサイトな

どの二相組織化の追求により、高強度と成形性の両立が可能となったものである。燃費と衝突安全性の向上が実現できる超ハイテンの開発は、今後も加速してゆくものと予想される。

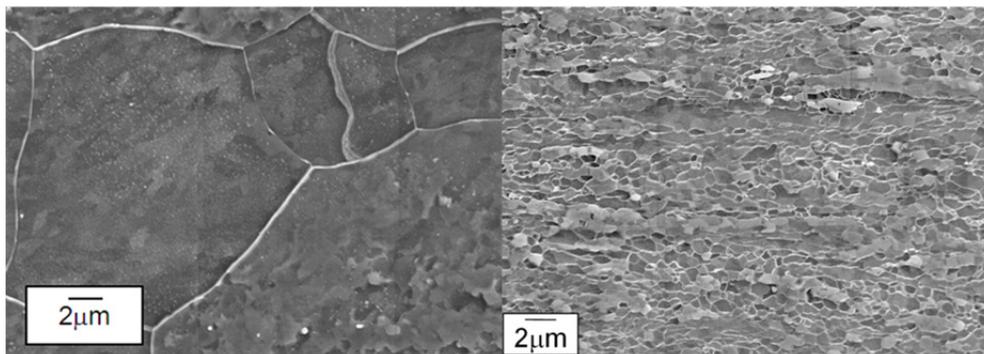


図2 普通炭素鋼のフェライト粒組織（結晶粒径 $20\mu\text{m}$ ）と
超微細粒鋼のフェライト粒組織（結晶粒径 $0.7\mu\text{m}$ ）⁽¹⁾

[鳥塚 史郎 兵庫県立大学]

参考文献

- (1) 鳥塚史郎, 村松榮次郎, 超微細粒組織を持つ高強度精密ねじの量産化を世界で初めて実現—CO₂排出量 50%削減—, ふえらむ, Vol. 20, No. 9 (2015), pp. 408-413.
- (2) 鳥塚史郎, 高木節雄, 瀬沼武秀, しなやかで強い鉄鋼材料 革新的構造用金属材料開発の最前線, 鉄鋼材料の高強度化, 高靱・延性化の動向, NTS (2016), pp. 3-12.

4.3 非鉄金属材料

非鉄金属の主流は、アルミニウム合金とマグネシウム合金であるが、本部門においてもこれらの軽金属が研究の主流となっている。材料を加工の対象とすることは一般的であるが、本部門では加工による材料の改善、例えば塑性加工により組織を微細化し、延性などの機械的性質の改善を試みたものが多数みられる。これは、材料と加工を研究の対象とする本部門の特長であると考えられる。

機械材料・材料加工技術講演会におけるアルミニウムとマグネシウム合金に関するセッションの研究発表件数を表4に示す。非鉄金属の学会では、一般的にアルミニウム合金の発表件数が多いが、本部門ではマグネシウム合金の研究発表件数が多い。これはマグネシウムが塑性加工し難い非鉄金属であるため、加工の視点より多くの研究がなされたためであると考えられる。マグネシウム合金に関する研究発表は、2009年頃がピークである。この10年間で前半はAZ31やAZ91などの規格にあるマグネシウム合金を使用したプレス成形性や押出性、鍛造性を改善する研究や新たな加工方法に関する基本的な研究が多かった。後半では、リサイクル、アルミニウム合金との接合および難燃性マグネシウム合金に関する研究発表があり、特に難燃性マグネシウム合金に関する研究発表が増したことが目を引く。難燃性マグネシウム合金に関する研究は、鉄道車両への使用など目的が具体的になり、マグネシウム合金が基礎研究段階から実用を目指した研究へ推移した。

アルミニウム合金の研究発表には、時代によらず脈々と続いている材質の改善や加工方法の改善に関するものとその時代の研究の潮流を反映したものが見られる。前者は、素材を作製する場合のスタートである鑄造や熱処理に関するものである。一方後者は、ECAP(Equal-Channel. Angular Pressing.)や摩擦攪拌による結晶粒の微細化による材質の改善、カーボンナノチューブによる強化、ポーラス材に関する研究などである。

非鉄金属を使用した研究は、半溶融・半凝固加工、ポーラス材料の分野でも行われており、これらの分野でも材料としては非鉄金属が中心となっている。アルミニウム合金やマグネシウム合金は自動車や鉄道車両の軽量化に有効な材料であり、また、リサイクルによりエネルギーを節約できる材料でもある。つまり、ア

ルミニウム合金とマグネシウム合金は、省エネルギーの観点からも優れている。今後も非鉄金属材料は、材料と加工の両面で研究の対象になると考えられる。

[羽賀 俊雄 大阪工業大学]

表4 機械材料・材料加工技術講演会における
アルミニウムとマグネシウム合金に関するセッションの研究発表件数

年度	Al 合金	Mg 合金
2006	0	2
2009	4	11
2010	1	9
2012	4	5
2013	6	6
2015	4	4
2016	0	2

4.4 無機材料

技術動向については（一社）日本ファインセラミックス協会の調査報告⁽¹⁾によると、1980年代初頭に3000億円程度（推定値）であったファインセラミックス部材生産額も順調に増加し、1991年のバブル崩壊、2001年のITバブル崩壊による落ち込みも乗り越えて、2005年には2兆円を超えるに至った。その後、2008年のリーマンショックや2011年の東日本大震災による打撃からも脱却して、2016年には2兆5000億円に達する見込みである。その内訳は電磁気・光学用部材が全体の6割程度であり、残りを熱的・半導体部材、工具・耐摩耗部材、化学・生体部材などで各々分け合っている。この間、家電・電子機器の需要に支えられて、電子部品が順調に増加する一方で、安価な原料でも性能が出せるような製造プロセスが工夫され、これにより半導体製造、生体応用、蛍光灯照明、放熱基板、SOFC等の応用分野が開拓されてきた。今後、国際的な低価格競争に曝される中、我が国のファインセラミックス部材の信頼性のさらなる向上が課題となっている。

研究動向についてはアメリカセラミックス学会が毎年デイトナビーチで開催しているICACC会議の内容を見てみると良いだろう。当初はエンジニアリングセラミックスの機械的性質の評価が中心であったが、昨今では、Coating, SOFC, Amor materials, Bioceramics, Energy conversion and rechargeable energy storage, Functional nanomaterials, Advanced powder processing, Porous ceramics, Virtual materials, Nuclear energy, Additive manufacturing, Geopolymer, Carbon and 2D materialsなど、機能性材料も含めた応用製品をその範疇に取り込み、新しいセラミックス産業創出に向けて議論をしている。一方、日本機械学会 機械材料・材料加工部門でも、年次大会などで『セラミックスとセラミックス複合材料』オーガナイズドセッションを毎回開催し、主に航空宇宙用の長繊維強化セラミックス複合材料（CMC）の特性評価を中心に議論してきた。さらに最近では、耐環境コーティング、自己治癒などの新しいコンセプトによるプロセッシングの議論も加わってきている。今後、CMCの航空機エンジンへの応用が現実化されるにつれて、このセッションの役割は材料プロセスと材料評価の接点としてますます重要となってくるであろう。

[安田公一 東京工業大学]

参考文献

- (1) （一社）日本ファインセラミックス協会、2016年日本ファインセラミックス産業動向調査報告。

4.5 高分子・複合材料

高分子材料は、強度、剛性や耐熱性などの点で、金属材料やセラミックス材料などに劣る面があるものの、軽量性、耐食性、意匠性、量産性などの特徴を活かし、その用途を拡大してきた。また、繊維や粒子などを強化材や機能付加剤として容易に複合化できることから、高分子基複合材料の開発も盛んに行われている。本稿では、この分野の最近10年間の技術動向および研究動向について概観する。

ガラス繊維や炭素繊維を用いた繊維強化プラスチックは、軽量かつ高剛性、高強度を有し、構造材料とし

てその信頼性を確立しつつある。炭素繊維強化プラスチックの航空機一次構造への適用本格化はその好例と言える。航空機分野では、機体重量の50%を超えて利用されるようになり、構造材料としての地位を確立した。今後、長期耐久性評価と予測が益々重要となっていくであろう。

さて、繊維強化複合材料では「異方性」があることから、その克服と積極的活用の観点から、多方向積層板として用いられることが多い。そのため、力学的には異方性弾性論と積層理論が発展した。また、「不均質性」を考慮して構成材料の性質から複合材料としての特性を予測し、負荷過程における材料内部での損傷発生・進展を予測する微視力学（マイクロメカニクス）が発展してきている。これらの力学的解析は、計算機の性能向上とともに、有限要素法などの数値解析手法を利用することにより、大きな発展を遂げており、構成材料のマイクロメカニクスから構造設計にいたるマルチスケール解析が行われている。近年では、分子動力学を用いたさらにミクロな領域との融合が試みられている。

一方、材料開発の面から考える。高分子基複合材料はスマート構造・材料の概念を実現する格好の材料として、光ファイバセンサや形状記憶合金アクチュエータなどを取り込んだ。また、ナノテクノロジーの成果であるカーボンナノチューブなど優れた特性を有すると考えられる新材料を利用する試みも多くなされている。更なる用途拡大のため、例えば自動車用途を目指して熱可塑性樹脂複合材料が注目されている。関連して、レジントランスファー成形法など脱オートクレーブ成形をキーワードに複合材料の成形に注目が集まっているのも近年の特徴である。3Dプリンタを用いた複合材料成形の萌芽的研究も始まっている。従来、プラスチック材料はリサイクルしにくい材料とのイメージがあったが、生分解性樹脂の登場とともにグリーンコンポジットの概念が生まれている。また、生体材料としての利用も期待されている。

機械材料・材料加工部門では、年次大会及び部門講演会（M&P）において、毎回、高分子及び高分子基複合材料の評価・成形に関するセッションを企画しこの分野の研究を牽引している。

[荻原 慎二 東京理科大学]

4.6 知的材料

知的材料という分野は単なる材料各論の場ではなく、その概念を通して創造的展開が誘起される革新的アイデア創出の場である。それを育む環境として機械系学会は最適である。日本機械学会では、知的材料・構造システムをテーマにした研究会が長年にわたり継続的に運営され、最近10年は2007年9月に設置された当部門のアクティブマテリアルシステム（AMS）研究会が重責を果たした。同研究会はそれら全般を対象にしつつ、特にその特徴としてスマート機械材料システム⁽¹⁾（極力マクロな構造を排し、材料のミクロ・ナノ組織・構造により目的を達するもので、機械的性質に優れることも特長。極限環境、防・減災向けの使用に最適。）等について、独自の展開を図って来た。

知的材料・構造システムは、航空・宇宙分野等を対象とした軽く強い先端的構造物の形状や機能の変容性や可逆性、自律的応答性、その多機能化、さらには材料自体の環境からの刺激、エネルギー、物質等の積極的取込、活用という、ハードのみならずソフト的視点も有しつつ発展を遂げてきた。

研究会で頻繁に取り上げ、推進してきた分野等は、自己修復、形状記憶材料、圧電材料、磁歪材料、電動ポリマー、ソフトマター、フラレンナノウィスカー、マルチフェロイクス、光ファイバセンサ、構造ヘルスマニタリング、振動・音響制御、エネルギーハーベスト、圧電複合材料、アクティブコンポジット、モーフイング、減災・サステナブル学等々多岐にわたり、その多くが展開中である。

知的材料・構造システムは、米国機械学会メンバー中心の委員会組織がASME SMASIS、SPIE SS/NDEを基盤に牽引してきた感はあるが、AMS研究会はそれとの交流、例えば年次大会の特別企画を利用した交流促進に努めつつ、独自の方向を開拓した。

その一つが、減災・サステナブル工学の創成⁽²⁾であり、2016年9月には当部門にも研究会が設置された。その概念は知的材料・構造システムに由来し、目的は、従来の減災・防災に加え、通常も有用な機能を発現し、社会の持続的発展を可能とする学術領域を、知的材料を始めさまざまな分野の融合とグローバルな視点から創成することである。主な調査・研究事項は、知的構造・材料システム等を用いた減災・防災ハードの提案とその実現に向けた基礎研究、機械工学以外の分野も含めた関連研究の調査と共同研究開拓である。既にシンポジウム開催、年次大会、ASME、SPIEでの各種企画、基調・招待講演（日米独仏印）、セミナー

(米伊中韓豪)等を実施した。国内約50名、海外約30名のメンバーと内外のアドバイザーから成り、日本発の知的材料、知的材料・構造システムの革新的展開として注目されている。

[浅沼 博 千葉大学]

参考文献

- (1) 浅沼博, 新機械材料システムのすすめ, 工業材料, Vol.57, No.1 (2009), pp.82-85.
- (2) Asanuma, H., Su, J., Shahinpoor, M., Felli, F., Paolozzi, A., Nejjad, M., Hihara, L, Aimanee, S., Furuya, Y., Adachi, K. and Yanaseko, T., Disaster mitigation based on smart structures/materials, Proc. SPIE Vol. 9803 (2016), Paper No. 980302-1, (2016). (Keynote)

4.7 鑄造

鑄造業界では、2006年に鑄造業の10年後の「あるべき姿」を目標にして「鑄造産業ビジョン」⁽¹⁾として技術・技能で製品力を高め攻めの経営、同業/異業との積極的な連携、海外に進出、人材の確保・育成などを鑄造産業が目指すべき方向性と課題として取り組んでいる。

鑄造産業を取り巻く経済環境の変化として、生産量・生産金額の推移をみると、バブルが崩壊した1990(平成2)年の2兆5,000億円をピークに低下に転じ、2002(平成14)年には1兆7,000億円まで落ち込んだ。その後回復傾向に転じ、2007(平成19)年には2兆4,000億円まで回復した。しかし2008(平成20)年9月に発生したリーマンショックで2009(平成21)年には1兆6,000億円まで急激に落ち込んだ。その後、回復したものの、2011(平成23)年の東日本大震災などもあり2014(平成24)年の生産金額は2兆円程度と、ピーク時の8割程度に止まっている。しかし、1990(平成2)年や2007(平成19)年の2兆4,000億~2兆5,000億円は、いわばバブル時の生産金額であり、今後景気回復が見込まれたとしても、2兆円を少し上回る程度の生産金額程度しか見込まれないと考えられる⁽²⁾(図3)。

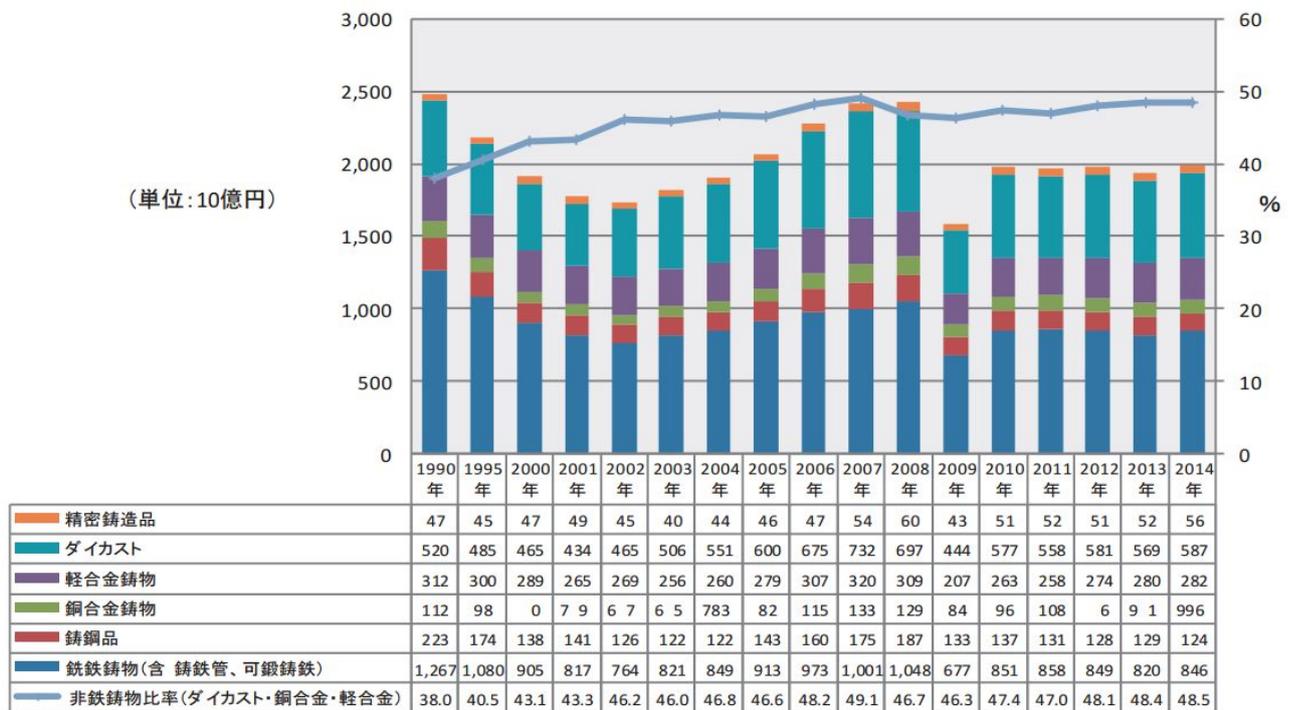


図3 材質別生産金額の推移

この10年の鑄造業界の取組では、2006年「中小企業のものづくり基盤技術の高度化に関する法律(サポイン法)」が制定され、鑄造業界全体の技術開発の底上げに貢献をした。ITに関しては、積極的な活用を重要課題として取組んできており、開発・製造における3D CAD導入、RP (Rapid Prototyping) の活用などが挙げられる。人材育成に関しては、2007年日本鑄造協会と日本鑄造工学会と連携により「鑄造カレッジ」を開

設し、カレッジ修了生に対し、「鑄造技士」の称号を与えており、2015年度までに鑄造技士は、660名誕生した。環境面に関しては、鑄造工場のクリーン化は、この10年間一定程度進んできた。

鑄造業が、鑄造ビジョンに基づき取り組んできたこの10年間を振り返ると、リーマンショック、東日本大震災、IT・デジタル化の進展、グローバル化の進展、人口減少などさまざまな転機となる出来事があった。このような中で、鑄造業は、日本のものづくり産業、ひいては経済全体を底支えするサポーターインゲイダストーリーとして経済成長に貢献してきている。今後も、鑄造業が、国内外の経済情勢の変化に対応し、持続的な発展を遂げていくには、今以上にグローバルの視点を持ち、国内外の市場を視野に入れた事業展開を図っていくことが必要である。それを実現する上で、特に重要となるツールは、IT、人材、連携、国際化といったキーワードといえる。これを踏まえ、将来的に鑄造業は、引き続き提案型パートナーを目指すとともに、IT（情報技術）の活用、同業/異業との連携、海外展開、人材育成、職場環境改善を目指す必要がある。

[清水 一道 室蘭工業大学]

参考文献

- (1) 社団法人日本鑄造協会「鑄造産業ビジョン 2006 鑄物が開く新世界」(2006)
- (2) 一般社団法人日本鑄造協会「鑄造産業ビジョンの全体評価について」(2016), p. 66

4.8 塑性加工

圧延分野では高強度化と高靱性化、寸法精度や材質の厳格化が強く求められた。熱間圧延における材質制御やその周辺技術である冷却技術、高温潤滑技術、スケールに関する研究が多く行われた。大圧下圧延、異周速圧延などのひずみ制御に注力された。冷間圧延では板厚制御、オンライン先進率モニタリング、ロールの片側駆動による板材の反り、ポーラス金属の圧延、高速圧延での潤滑挙動や潤滑制御の研究が行われた。非鉄金属はマグネシウム合金、特に難燃性マグネシウム合金や長周期型のMg-TM-Y合金などの新規合金の冷間圧延も行われた。

板材成形分野では、対象とする材質が、自動車分野が中心で自動車の衝突安全性の向上、および軽量化を目的に、高張力鋼板や複層鋼板に関するものが非常に多く、非鉄金属ではアルミニウム合金、マグネシウム合金に関するものが多数あった。またCFRPなどの複合材料をプレス成形する試みも増加している。加工プロセスは高張力鋼板を対象としたホットプレス、サーボプレスのモーション制御に関する研究が非常に盛んに行われた。また高張力鋼板を加工する金型負荷に対応するためトライボロジーに関する研究も多く、ダイヤモンド工具やサーメットダイス、cBN工具、塩素フリー潤滑剤による摩擦低減や焼付き防止などに関する研究も行われた。また周辺技術として数値解析の使用が拡大し、高張力鋼板のバウシング効果やスプリングバックの影響を高精度に予測するために材料モデルの開発や多軸試験が盛んに研究された。

鍛造分野では自動車部品の軽量化とコスト低減のために、鍛造による中空部品の成形や、テーラードブラック材の逐次鍛造、部分増肉など板鍛造に関する研究が急増している。冷間鍛造時の製品精度と残留応力、金型の損傷・寿命予測、工具接触圧力分布測定について精力的に研究が行われた。トライボロジーに関しては金型コーティング、環境調和型加工油とDLC_Si膜の組合せによる加工力低減などの報告が多数あった。またパルス深穴あけ加工や背圧付加鍛造などサーボプレスのモーション制御を積極的に活用した新しい加工法も多数開発された。

その他の分野ではマイクロ塑性加工の研究報告も増加している。マイクロエンボス成形、マイクロチューブ成形、マイクロテクスチャ形成、超音波援用マイクロ圧縮試験、マイクロシートハイドロフォーミング、マイクロ対向液圧深絞りなどマイクロ加工に特有の加工法が多数開発された。マイクロ塑性加工においてもサーボプレスや超音波を利用した加工法が多数報告されており、これらのマイクロ塑性加工は光学分野や医療機器の加工への応用が期待されている。また、塑性接合に関する研究が国内外において盛んになってきており、メカニカルクリンチングやヘミング加工、リベットによる高張力鋼板やアルミニウム合金板の接合などが多数報告された。

[大津 雅亮 福井大学]

4.9 プラスチック加工

プラスチックおよびその複合材料では、環境調和や社会的ニーズに沿ったものづくりが継承され、画期的な技術の誕生や、より実証的で有用性の高い加工技術への移行が進んでいる。なかでも21世紀の成形革命と謳われた3Dプリンタは、2012年に入り格安のプリンタが登場し、一躍、プラスチック造形技術の雄となった。デジタルデータから三次元の立体物を造形できることで、プリンタ開発の高度化と多面的活用が強調される。この技術の市場によって、小ロット生産や試作を迅速、安価に製作できることで成形プロセスが大きく変貌し、製造業を中心に建築・医療分野に至る多方面で期待が大きい。今後は、材料の幅が広く、より強度の高い熱溶積積層法（FDM）技術によるラピッドマニファクチャリング（迅速な製造）時代になることが予測される。ここでは主力の射出成形とこれに関連する技術動向を紹介する。

自動車、IT機器、家電機器を中心に薄肉軽量化に対応した射出成形技術の開発が進み、特に大型薄肉成形、高強度化を対象とした成形技術が主流となった。この分野では、多点ゲートによるウエルドの強化や離型性の改善が要求され、流動シミュレーションを活用して最適化、改良点などを追及している。自動車部品の高剛性高強度化、生産サイクル向上、薄肉化、低コスト化を推進するため、従前材料の代替えとして熱可塑性樹脂射出成形に勢力が注がれている。また、連続繊維を用いた直接射出成形法や長繊維強化部材とのハイブリッド射出成形法などの開発も強化され、軽量化やデザイン化に拍車がかかっている。高剛性・高強度化を目指す長繊維強化では、シリンダ内における繊維の破損防止を抑制するため、専用のスクリーや繊維を供給する成形機の開発に力点が置かれた。強化繊維を金型内でプリフォームした後、低粘度樹脂で射出反応成形する技術や化粧品容器のデザイン性向上に向けた加飾成形の技術も見逃せない。他方、プラスチック系複合材料は環境対応や製品の高機能化が進む家電製品でも注視され、とくにガラスやカーボンの長・短繊維を含む繊維強化熱可塑性樹脂の適用範囲が拡大している。家電製品の熱媒体としての真空断熱材（VIP）の製造技術が確立し、熱交換部材として高く評価されている。また天然繊維や表皮・殻などを添加した複合材料、あるいはナノサイズの粒子を充填したナノコンポジットなどの事例も多く、これを活用する目利きが必要である。ナノ・マイクロデバイスの量産法としてナノインプリント技術では、既存のリソグラフィ技術に比べ、低コストで微細パターンが形成できる。パターンの加工寸法や精度向上を目指し、成形加工条件の最適化が求められている。

[松岡信一 元富山県立大学]

4.10 溶接・接合

溶接・接合には、「材料」、「プロセス」、「力学・評価」と広範囲な研究・技術分野が含まれており、これらを網羅している、機械材料・材料加工技術講演会に注目し、ここ10年間の溶接・接合技術の動向を読み取った。なお、以下に示している参考文献は一例であり、各内容に関連して他にも多くの研究発表が行われている。溶接・接合法別に見ると、熔融溶接では、レーザ・アークハイブリッド溶接などの新しい溶接技術開発のほか、アーク溶接プロセスのモニタリングおよび制御技術開発といった既存のプロセス技術の高度化も進められている⁽¹⁾。固相接合では、とくに摩擦攪拌接合に関して、接合メカニズム、プロセス技術および継手の強度信頼性など、活発な研究が数多く行われており、同技術の実用化が進んでいることを示している。ろう・はんだ接合では、複合材など新材料への適用のほか、プロセスも含めた新しい信頼性評価法についても検討されている⁽²⁾。機械締結では、SPR接合など比較的新しい技術開発に関する報告もあるが、フレット疲労やボルト・ナット締結部の疲労・ゆるみの問題など、強度信頼性に関する研究が活発である⁽³⁾。接着接合では、接合端部の特異応力場に関する解析的な研究が進められているほか、今後重要となるリサイクルを考慮した検討も行われており、興味深い⁽⁴⁾。他方、溶接・接合に関する研究全般を俯瞰したときの10年間のトレンドとしては、異種材料の接合に関する研究が活発に行われていることが注目される。異材接合に関しては、熔融溶接、固相接合、ろう接合、機械締結、接着接合いずれのプロセス技術についても検討されており、また、接合部の強度信頼性に関する実験的・解析的な研究も進んでいる。機器・構造物のさらなる小型・軽量化、高機能化を実現するための“マルチマテリアル化”の流れはますます活発になると予想される。機器材料・材料加工部門では、2015年度以降の年次大会で、OS「異種材料のプロセスと信頼性評価」を企画し、材料とプロセスと力学・評価を総合した議論を展開している。

[宮下 幸雄 長岡技術科学大学]

参考文献

- (1) 古澤磨奈人, 菅泰雄, 溶融池の固有振動数および形状の監視による溶接溶け込み制御, 機械材料・材料加工技術講演会講演論文集(2010), "436-1"-436-3".
- (2) 谷江 尚史, 製造工程を考慮した半導体はんだ接合部信頼性予測, 機械材料・材料加工技術講演会講演論文集(2012), "W309-1"-W309-4".
- (3) 橋村真治, 小松恭一, 大津健史, 伊藤隼人, ボルト締結体のゆるみ特性に及ぼすボルト座面形状と潤滑油の影響, 機械材料・材料加工技術講演会講演論文集(2015), "620-1"-620-3".
- (4) 塩手秀直, 佐藤千明, 大江学, 通電解体性接着剤接合部のはく離特性, 機械材料・材料加工技術講演会講演論文集(2009), "405-1"-405-2".

4.11 粉末加工

最近10年の粉末冶金製品の生産量は、2009年にはリーマンショックの影響により大きく落ち込んだものの、その後自動車産業が好調となり横ばい状態で推移している。

研究動向について見ると、本会年次大会でのOS「粉末成形とその評価」とM&P部門講演会では、機能性粉末の製造技術、磁性材料やセラミックス材料などの製造技術に関する報告が行われている。また、加工法に関しては、温間金型成形、金属粉末射出成形、放電焼結などに関する報告や焼結シミュレーションに関する報告が行われているが、2013年あたりからレーザ積層造形に関する報告も出始めた。これは、三次元積層造形(Additive Manufacturing(AM)/3D printing)技術の重要性が世界的に認識され始め、我が国においても、2014年に技術研究組合次世代3D積層造形技術総合開発機構が設立され、装置開発のための国家プロジェクトが開始されるとともに、内閣府による戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の課題の一つである「革新的設計生産技術」が開始されたことによる。当部門においても、これを機に「次世代3Dプリンティング研究会」が設立され、日本機械学会イノベーション講演会(iJSME)が2015年から開催され、活発に活動を行っている。さらに、本部門が主体となり、先端技術フォーラム「次世代3Dプリンティングと関連技術」などの開催も積極的に行っている。このようなAM技術あるいは3Dプリンティング技術への関心はここ数年で急速に高まり、海外はもちろんのこと、国内においても他の学会でも研究会が設立され、講演会においても多くの発表がされ始めたことは、粉末加工分野におけるこの10年間での大きな出来事の一つである。

当部門の国際会議として、第3回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2008)が、ICM&P2008としてアメリカイリノイ州でASME MSEC2008と共催され、「Advanced Powder Processing Technique」のセッションが設けられ、第4回ICM&P2011はオレゴン州、第5回ICM&P2014はミシガン州デトロイトでも同様のセッションが設けられた。また、ICM&P2014では「Additive Manufacturing」のセッションも新たに設けられ、同会場で開催された展示会との連携もあり大変盛況であった。他の海外における国際会議においても、AM/3Dプリンティング技術に関する発表は非常に多く、粉末開発から材料開発、装置開発、シミュレーション開発まで幅広く行われており、当分の間この傾向は続くものと予測される。

[京極 秀樹 近畿大学]

4.12 特殊加工

1990年代からの「失われた20年」は、日本の混迷の時代として歴史に名を残すだろう。最近10年間は、2008年のリーマンショック、2011年の東日本大震災と福島原発事故と、世界そして日本に多大な被害を与えた人災と災害がありながらも、日本は秩序を失うこと無く復興を進めており、一部で明るい兆しも見えている。特殊加工の最も代表的な例と言える半導体微細加工では、1990年代にNikonとCanonで70%を超えていた半導体リソグラフィ装置の世界シェアは、2000年代にトップシェアをオランダのASMLに抜かれ、2010年には、ほぼ半減の35%までに低下した⁽¹⁾(図4)。これにはいくつかの要因が指摘されているが、一つは日本国内で半導体メーカを主な顧客とし、ガラパゴス化した日本勢に対し、台湾、韓国等の成長性の高い新興国の全半導体メーカを顧客としたASML、さらには、いち早くArFレーザと液浸光学系を採用したASMLに対して、日本勢の出遅れも指摘されている⁽²⁾。

現在は、10nm以下の配線幅を実現するため、ASMLはEUV光学系を採用し、Canonはナノインプリントへ舵を

切っている。ASMLはEUV光学系に苦戦し、Nikonが半導体装置事業のリストラ⁽³⁾を進める中、Canonは、予定より若干遅れながらも、着実にナノインプリント技術をものしつ々あるようである。最近では、ナノインプリント用テンプレート複製装置をDNPに納入⁽⁴⁾⁽⁵⁾するなど、ナノインプリントによる半導体素子（主に3D NANDフラッシュメモリ）製作に王手をかけている。もはや死語になりつつある電子立国日本の復活を期待したいが、東芝の問題が影を落としている。混迷をつづける日本の復活のためには、①制度変更、②技術革新、③世代交代がカギになると筆者は考えており、技術面のみならず、政治、制度面や広く国民の意識の改革が必要とされる。当部門でもレーザやナノインプリント関連の新加工法や、ボトムアップ方式の新しい微細加工、特殊加工可能な新材料の研究発表が続いており、この中から、日本の復活につながる新技術の登場を強く期待する。

〔秦 誠一 名古屋大学〕

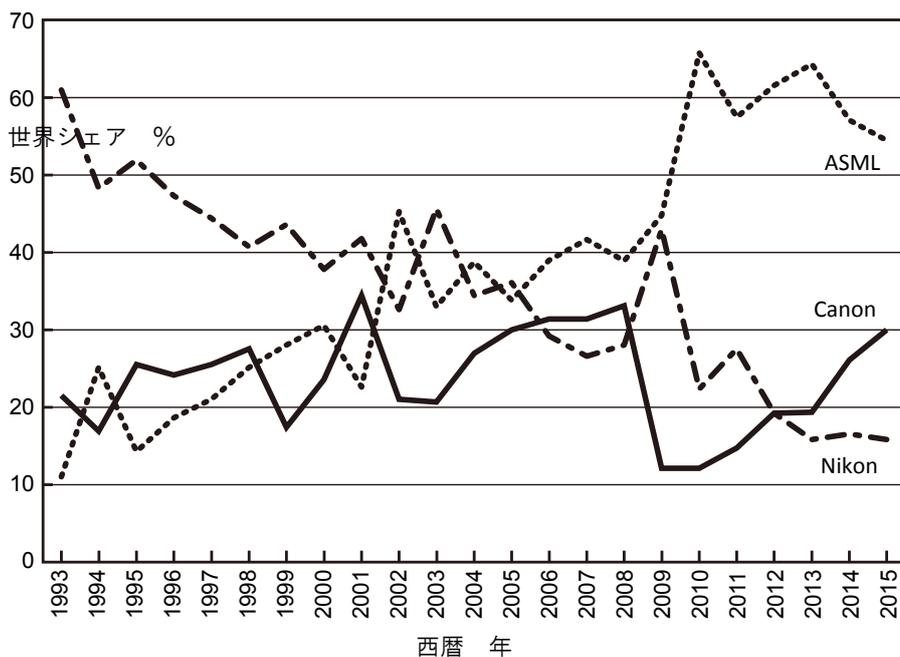


図4 半導体リソグラフィ装置の世界シェア推移 (出荷額ベース) (1)

参考文献

- (1) The Information Network, http://www.theinformationnet.com/market_reports.html (参照日 2017年3月10日)
- (2) 湯之上 隆, 《日本半導体/製造装置メーカーの共進化/共退化現象②》露光装置トップのASMLその強さの源泉は速度と稼働率, *Electronic Journal*, No. 8 (2009), pp. 42-45
- (3) ニコンのリストラに見る技術大国日本の落日, *エキサイトニュース* http://www.excite.co.jp/News/economy_g/20161205/Keizaikai_23475.html (参照日 2017年3月19日)
- (4) 「世界初」のナノインプリント向け量産マスクレプリカ製造装置, *日経エレクトロニクス Online* <http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/16/022206403/?rt=nocnt> (参照日 2017年3月19日)
- (5) 世界初のナノインプリント向け量産用マスクレプリカ製造装置を製品化“FPA-1100NR2”をマスクのリーディングサブライヤーに納入, *キヤノン株式会社ニュースリリース* <http://global.canon/ja/news/2017/20170223.html> (参照日 2017年3月19日)

4.13 非破壊評価・モニタリング

「ものづくり」は「材料」を「加工」することにより実施され、その高度化と新展開には、材料とその加工プロセスの実態を把握することが不可欠である。すなわち、「ものづくり」は「材料」、「加工」および「測定・評価」の三者の有機的な結合によって推進され、それらの個々の発展がものづくりの高度化のための駆動力となる。これを踏まえて、当部門では「機械材料」、「材料加工」および「特性評価」の三分野を

三本柱として掲げている⁽¹⁾。これに呼応し、2004年に開催された機械材料・材料加工技術講演会（M&P2004）において新たなオーガナイズドセッション（OS）「非破壊評価とモニタリング」が創設され、その後、「構造部材や加工プロセスの信頼性を支える計測・評価技術」さらに「材料・加工・構造物の信頼性を支える評価・モニタリング技術」と改名され現在に至っている。また、機械工学分野における当該分野の根強いニーズに応えるべく、2006年度の年次大会より当部門が主担当となり非破壊評価・モニタリング分野のOSが新設され、2009年度より「超音波計測・解析法の新展開」と改名され現在に至っている。これらのOSは常に盛況で、M&P2010以降の平均講演件数は21件に達しており、当部門のOSの中で常にトップクラスを維持している。

図5は機械材料・材料加工における非破壊センシング・評価技術の役割の概略を示す。ここで活用される計測・評価手法は多岐にわたっており、超音波法、放射線法、渦電流法、レーザ光法、赤外線法、AE法などが挙げられる。超音波法に関しては、パルスエコー法による探傷、物性計測、定量的材料評価、オンラインモニタリング、ガイド波による構造計測、ファイブドアレイによる欠陥探傷、非線形超音波による高精度計測・閉口き裂探査、界面特性評価、先進非接触計測（レーザ超音波、EMAT、空気超音波）、高温計測、数値シミュレーションによる波動伝播解析などが実施されている。評価対象は金属、セラミックス、樹脂、生体材料などで、その形態・サイズはバルク材から薄膜・コーティング材やNEMS/MEMSまで広範囲である。それらの材料特性（弾塑性、強度、微視構造）や欠陥・損傷、さらには加工プロセスの計測・評価に関する研究が基礎から応用まで幅広く実施されている。

〔井原 郁夫 長岡技術科学大学〕

参考文献

(1) 日本機械学会HP, <https://www.jsme.or.jp/mpd/index.shtml> (参照日2017年3月18日)

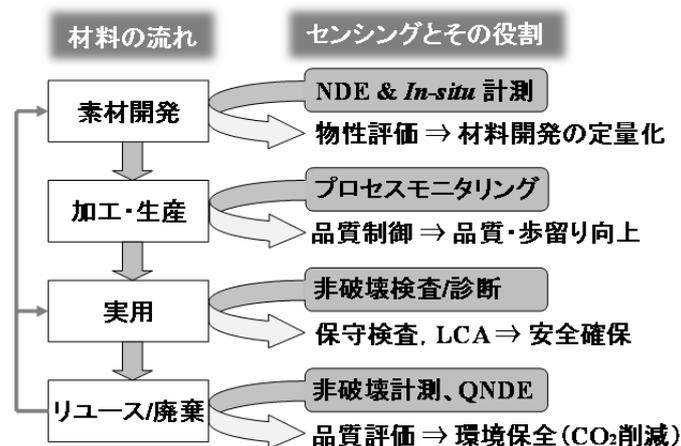


図5 機械材料・材料加工（M&P）における非破壊センシング・評価技術の役割