

高性能・高信頼性製品を支える材料, 処理・加工における基盤技術の現状と今後

Present Status and Future of Fundamental Technologies Supporting High Reliability and Performance Products

石川 智則

Tomonori ISHIKAWA

The automobile industry is facing a major transformation once per 100 years due to the rapid evolution of various technologies. By utilizing our accumulated technology and experience, we will further develop our technologies and experience in the new field of mobility to realize safer and more environmentally friendly vehicles. In order to meet these requirements, many advanced technologies are required, and it is increasingly important to establish the basic technologies to support them.

This paper describes the importance of basic technologies in materials, processing and processing development, and introduces the present state and future prospects of these technologies.

Key words :

Material Engineering, Fundamental Technology, Advanced Analysis Technology, Operand Analysis, Synchrotron Radiation, Digital Engineering, Material & Processing Design Review

1. はじめに

近年、自動車業界を取り巻く環境は大きく変化しており、我々は100年に一度の大変革期の真っ只中にいる。代表的な動きとして世界各国自動車メーカーが内燃機関を使った車から電気自動車（EV）への移行を目指しており、この変化は非連続でスピードが速く、不確実性が高まっている。

今後、この大変革は、Connected（つながる）、Autonomous（自動運転）、Shared & Services（シェア・サービス化）、Electric（電動化）の頭文字を取った「CASE」というキーワードに集約され、自動車産業全体で進化していくものと想定される。これを受け、当社においてもデンソーグループ2030年長期方針を策定し、「環境」・「安心」に加えて「共感」を3つの軸としてモビリティ社会を実現できるように新たな価値

創造に取り組んでいる。またこの長期方針に基づいたデンソーグループ2025年長期構想を策定し「電動化」「先進安全・自動運転」「コネクティッド」「非車載事業」の注力4分野を打ち出している。一方、内燃機関も継続して進化を続けており、製品競争力を決定する精度、応答性、信頼性の実現に高い技術力が注がれている。

我々は自動車産業に携わる技術者として、培ってきた技術をさらに磨き、今後の「CASE」を見据えた新たな技術開発に取り組んでいく必要がある。

2. 自動車を取り巻く環境

地球環境保護の観点から、欧州、中国、日本などの各国は2020年以降20%前後のCO₂排出量低減(19年比)という厳しい基準値が求められ¹⁾世界各国で燃費規制強化が進んでいる。それに呼応する形で世界の主要自動車

メーカーから次々と将来の電動化戦略が表明され、今後さらにその動きは加速するものと考えられる。また、より安全、安心な人々の移動を可能にするため、運転の負担軽減、交通事故の撲滅を睨んだ運転支援、自動運転システムも進化し、事故ゼロ社会の実現を目指している。

一方で、自動車のグローバル化は益々進展し、地域ニーズに合った多様なパワトレインが共存共栄するクルマ社会を想定する必要がある。その際、新興地域ではコスト競争の激化による部品・材料の共通化が進み、かつてないほどの数量が同じ設計基準で生産されていくことが想定される。そのような共通部品で、品質の致命的な重大欠陥等の問題を起こせば、社会からの信頼を失い、企業存続の危機に直面することになりかねない。そこで、我々材料技術部には製品性能と品質を支える技術が求められる。それには、現象を正確に把握し、メカニズム解明に寄与できる分析・計測技術、その技術を基に製品への影響を確度高く予測し、現象を把握できる技術、更にはそれらから新たな懸念点を抽出し、品質確保を可能にする技術が必要である。これら基盤技術は、各種要素技術が組み合わさったコアとなる技術であり、材料、処理・加工開発を支える土台となる重要技術であると捉えている (Fig. 1)。

本論文では、基盤技術開発の現状を整理し、今後一段と開発スピードが速くなり、競争が激化する電動化及び先進安全・自動運転向け製品を睨んだ基盤技術開発の展望について述べることにしたい。

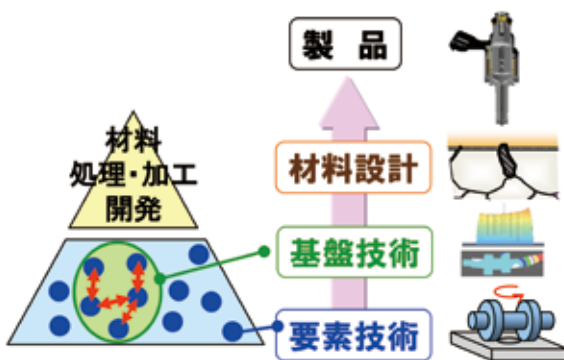


Fig. 1 Role of fundamental technology

3. 基盤技術開発の現状

Fig. 2 に示すように、材料技術部では金属材料、有機・機能材料、表面処理材料グループという材料軸に対し、

基盤技術は機能軸としてそれらに横串を通すマトリクス組織になっており、材料開発と基盤技術開発が連携しながら開発を推進している。また社内において、生産技術研究開発部とは高度加工技術開発、先端技術研究所やグループ会社 SOKEN とは、高度な構造解析や計算科学を活用した新規材料創成、最先端の計測・解析技術開発で連携している。この体制のもと、次の3視点の基盤技術 (1) 現象を正しく視る分析・計測技術分野 (2) 複合環境 (実機) 現象を再現する評価・解析技術分野 (3) 材料、処理・加工の専門家知見の活用分野が必要であると考えており、以下にその現状を記す。

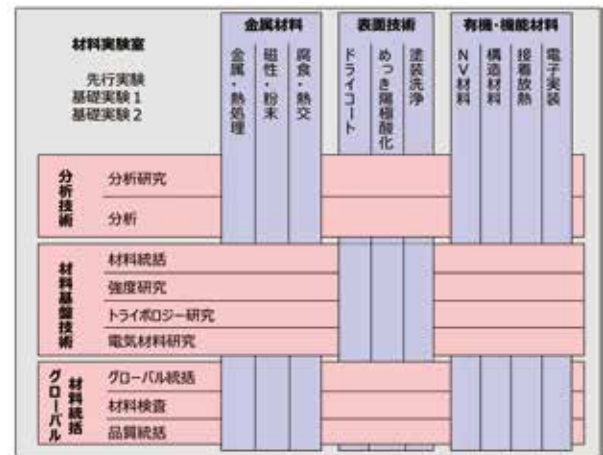


Fig. 2 Organization of material engineering R&D

(1) 現象を正しく視る分析・計測技術

材料物性や現象を精度良く把握するには、対象物の種類やサイズに縛られることなく、現象を正しく視る分析・計測技術が必要であり、組成、界面、結晶構造、有機物の分子構造などの微細分析技術や、非破壊で対象物を可視化する CT 画像計測、また測定で得られたデータの精度・定量性などの向上に取り組んでいる。これら見えないものを視る技術を開発することで、従来技術では直接観察することが困難で、推定の域を出なかった現象が明らかになり、新たな発想を生むと共に短期メカニズム解明に結び付いている。

Fig. 3 に材料技術部ならびに計測技術部が保有する主要な分析機器を示す。今後は実環境を模擬して物質変化の様子を捉える高精度な解析技術を確認することが課題である。

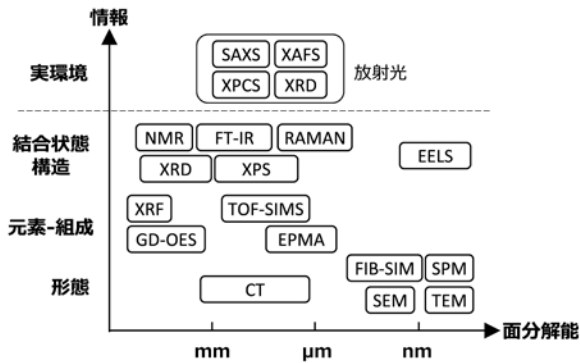


Fig. 3 Major analytical instruments

(2) 複合環境（実機）現象を再現する評価・解析技術

上述の見る技術の進化と合わせ、多くの外乱が作用する複雑な実機現象をダイレクトに再現することが求められる。一つひとつの要因毎に評価・解析を行い、それらを足し合わせ現象を推測する手法では真因を短期で解明することが困難だからである。

複合環境（実機）現象の経時変化を瞬時に捉える技術開発の一例を示す。Fig. 4に示した装置は、当社が独自に開発した、「摩擦界面その場分析装置」である。赤外分光用の分析装置を改造し、ステージ部に小型の摩擦試験機を組み込むことで、摩擦中の潤滑剤の量や化学反応の変化をリアルタイムに捉えることができる。これにより、摩擦発熱などによる潤滑剤の劣化や摩擦材料表面での各種油剤の吸着など、摩擦・摩耗特性に直接影響する因子との関わりを可視化し、高精度なメカニズム解明、高機能材料開発に繋げている。

(3) 材料・処理・加工の専門家知見の活用

海外における生産拡大、設計業務シフトに伴い、社内に蓄積されている品質情報をグローバルで有効活用することが重要となる。当社では、不具合の未然防止および

品質確保を目的とした材料・処理・加工の専門家によるDR活動であるMPDR（Material & Processing Design Review）（Fig. 5）を90年代より導入し、データベースにDR活動から得られた知見を蓄積してきている。本システムはグローバルに共有されており、海外での製品展開を効率的かつ高品質に進める上で非常に重要となっている。しかし、今後はシステムのグローバル共有化に伴い海外拠点での品質情報も蓄積されるため、より多様な事象がビッグデータ化していくと推察される。膨大な情報の高度且つ有効な活用が今後の課題である。

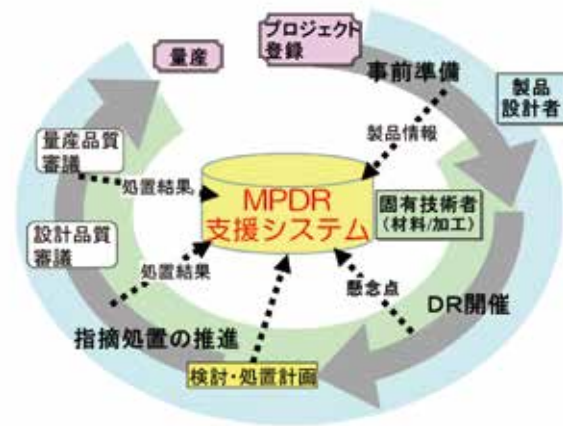


Fig. 5 MPDR support system

4. 基盤技術開発の今後

電動化製品や先進安全・自動運転製品は内燃系製品に比べ、周辺部品との適合が少ないため、参入障壁が低くグローバル競争が熾烈さを増している。魅力ある製品をいち早くお客様に提供するには、外製部品も有効に活用しながら、モジュール化、システム化を進め、新たな付加価値を提供していくことが必要である。つまり、「CASE」製品では競争力を高めるために「スピード開発」

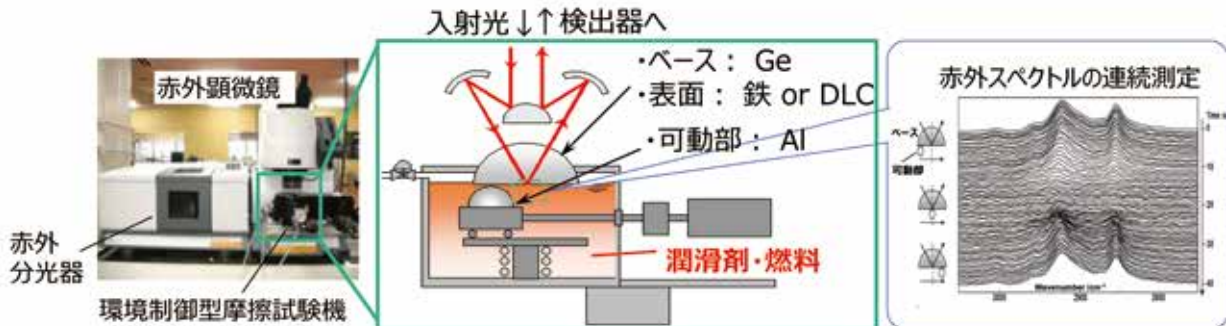


Fig. 4 In-situ analysis device

と「信頼性向上」の両立が不可欠であり、製品の使われ方に合った評価・解析技術の確立が重要と言え、実使用環境における動作状態でのストレス・ストレングス把握が求められる。また、製品がモジュール化、システム化するに従い増加する部品同士の接合界面の信頼性もこれまで以上に注目されることとなる。

この動向に対応するため、従来の分析技術や現象解析技術を更に進化させる必要があり、空間分解能、時間分解能共にレベルアップを図り、高精度な現象把握に取り組んでいかねばならない。また、材料レベルから製品レベルまでシミュレート可能なデジタルエンジニアリング (DE) も取り入れ、AI (人工知能) も含めた計算科学を有効に活用し、スピード開発に繋げていけるよう挑戦している。以下にそれら取り組みを紹介する。

- (1) 先進分析技術・高度解析技術の開発
- (2) 計算科学を駆使した基盤技術の高度化
- (3) 材料、処理・加工のナレッジマネジメント

5. 技術課題への取り組み状況

- (1) 先進分析技術・高度解析技術の開発

「CASE」製品の開発においては、これまでに経験がなく、新規で高機能な材料をスピード開発する必要がある。その際、必要な機能を発現する構造が、狙い通り形成されているかの確に把握することが重要である。

そのため、大型放射光施設 SPring-8 におけるフロンティアソフトマター開発専用ビームライン (FSBL)²⁾³⁾ 産学連合体への参画や、あいちシンクロトロン光センターにおける DENSO 専用ビームラインの敷設 (Fig. 6) に

より放射光分析の開発を進めている。高輝度な放射光を利用することで Å ~ μm の階層構造解析や電子状態分析、短時間の時間分割測定が可能となる。



Fig. 6 Aichi synchrotron radiation DENSO beam Line

DENSO ビームラインでは、放射光の特徴を活かしつつ、材料が実際に機能している状態で計測を行うオペランド分析技術を開発し、熱・雰囲気ガス・液体・電流など実製品環境を模擬する分析システムの構築、変化を連続的に捉えるための非破壊計測、および短時間測定を可能にしている (例：耐水素脆化を目的に開発した水素フロー in-situ XAFS 測定⁴⁾)。また、FSBL では強度、弾性率、耐熱性等の物性に直接関係する分子の運動性 (ダイナミクス) を測定・解析する技術を新規に開発し、材料開発や信頼性評価に適用するなど、先進分析技術・高度解析技術の開発に力を注いでいる (Fig. 7)。

また「CASE」製品は小型・軽量化が求められており機能統合、モジュール化が進んでいる。用いられる材料には通電、伝熱といった様々な機能が必要とされるが、接続、接合により組み上がる製品には多くの界面が存在

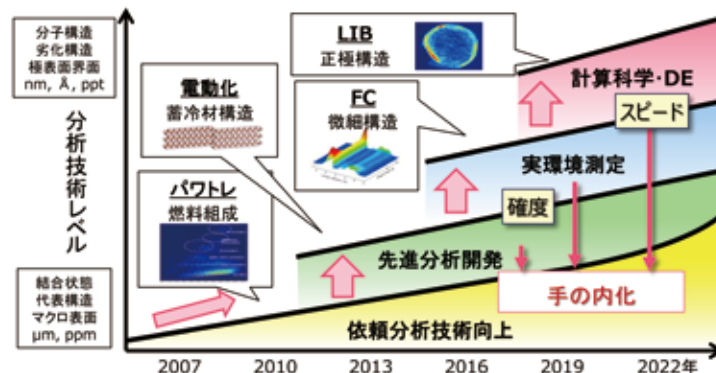


Fig. 7 Development of advanced analysis technology

するため、必要な機能確保を難しくしている。そこで、特性が不連続となる材料間の界面にフォーカスした基盤技術の確立も重要になる。

一つの事例として、半導体デバイスの界面解析を紹介する。コントロールユニットが抱える損失は20%に及び、デバイス内部における界面キャリア移動に起因しているため、材料内の界面欠陥を観察する分析技術確立が強く求められている。

我々は分析装置内でサンプルに電流をかけ、積層素子界面の電子の状態を観察すると共に材料組成を分析的に明らかにする技術確立に取り組んでいる。本技術は製品作動環境における界面での電子トラップ（抵抗）を定量的に把握でき、その原因となる材料組成を同時に明らかにすることが可能である。真因の完全解明を受けた、革新的な材料開発指針のスピード導出につながるものと期待しており、従来、デバイスを組み上げては電気抵抗測定を数か月かけて実施していた評価が、わずかな時間で分析・解析できるようになるため、今後の基盤技術の柱の一つになるものと考え、強力に推進している。

(2) 計算科学を駆使した基盤技術の高度化

基盤技術開発において、今後の製品競争力向上に寄与するためには「スピード開発」と「信頼性向上」が重要であると述べた。そこでDEの手法を一つの基盤技術と捉え、製品の源流となる材料開発から工程・部品・製品設計、更には市場品質保証まで幅広く適用する取り組みを強化させている。

革新的な材料をスピード開発するためには、試行錯誤が多い従来プロセスから脱却し、効率的に目的の特性が出せるよう、材料の化学種や構造を精度良く導けるようにならなければならない。そのような材料開発にマテリアルズインフォマティクス（MI）を用いたビッグデータ

の学習やマルチスケールでの材料シミュレーションを駆使することで、要求された性能の材料予測を可能にする。さらに材料開発の大幅な期間短縮に加え、これまでになかった全く新しい材料の創成にも繋がると考えている。加えて、第一原理計算による材料構造と物性の高精度予測、それを検証する先進分析技術を活用することで、リアルとバーチャルを融合した基盤技術を確立し「スピード開発」と「信頼性向上」を両立していく（Fig. 8）。



Fig. 8 Advancement of fundamental technologies

(3) 材料、処理・加工のナレッジマネジメント

現状での品質情報活用は過去情報の参照に留まっているが、急速に進展する情報化技術を用いたさらなるデータ活用が必要となる。現在、製品開発時での活用を念頭に、「MPDR データベース」にAIを導入し、他事業、他製品での複数知見の補間による新たな懸念点の気づきを得ることを目的としたシステム開発を推進している。これにより技術者自身は未知の懸念点に注力対応することが可能になり、継続して知見をシステムにフィードバックすることで、システムの差別的進化が期待できる。

将来的にはMPDR データだけでなく、量産材料の受入検査データ、不良処置データ情報も取り入れ、それらデータを解析することで材料特性の異常や製造品質への懸念点も事前に抽出できる仕組みを構築し、より効率的

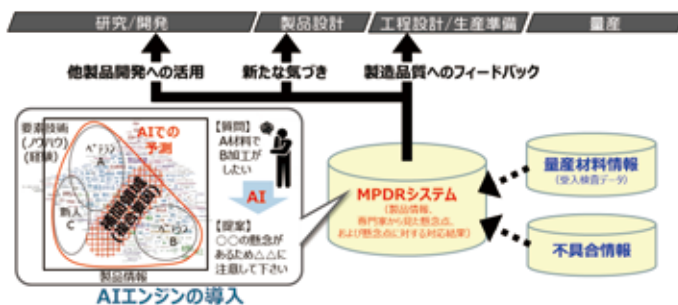


Fig. 9 Evolution of MPDR

かつ効果的な製品品質保証の実現を目指している。また、これらを前出の MI および工程内の処理・加工情報と結び付けた Factory-IoT と連動させ、材料特性のバラツキに合わせた適切な加工条件設定を行い、品質を安定化させる技術開発など、ナレッジマネジメントによる様々な活用アイデアとも結びつけて行きたい (Fig. 9)。

6. おわりに

当社の材料、処理・加工開発における基盤技術の重要性について述べてきた。電動化や自動運転の技術革新がグローバルに進む中、より一層の競争の激化へ対応するため、高度な差別化技術をスピード開発することが極めて重要である。元々、材料は日本の強みであり、製品差別化に大きく貢献してきている。しかし、グローバル化が進展する中では現地でも調達でき、その上で差別化に貢献できる技術が求められる。これを実現するために、材料、処理・加工が連携して、材料を上手に使いこなすことで高度な差別化技術を実現する、取り組みをさらに進め製品競争力の向上に寄与していかねばならない。加えて、スピード開発を実現するために業界の枠を越えたパートナーとのグローバルなアライアンスが益々重要になると言える。自前主義から脱却し、産官学オープンイノベーションの活用、DE や AI を利用した開発ス

ピードの加速がさらに進み、素材から製品まで一気通貫して共創できる垂直統合開発を推進していきたいと考えている。一方で、材料、処理・加工はリアルなものであり、高い信頼性が要求され続けるため、先進分析技術・高度解析技術を始めとした基盤技術を進化させ続けることで、我々の使命や役割を確実に果たしていきたいと考えている。

最後に、環境と人にやさしい自動車の実現に向けて、材料、処理・加工の分野から新たな価値を提案することが、我々の果たすべき使命と認識し、今後とも新技術の創出を目指して鋭意開発に取り組む所存である。皆様より忌憚のないご意見ご指導を頂ければ、幸甚である。

参考文献

- 1) 排ガス・燃費関連法規制動向説明資料 P41 / 技術開発推進部 (2019年3月)
- 2) Masunaga, H.; Ogawa, et al., Multipurpose soft-material SAXS/WAXS/GISAXS beamline at SPring-8. Polymer journal 2011, 43 (5), 471-477.
- 3) Ogawa, H.; Masunaga, et al., Experimental station for multiscale surface structural analyses of soft-material films at SPring-8 via a GISWAX/GIXD/XR-integrated system. Polymer journal 2013, 45 (1), 109-116.
- 4) 清水皇, X線吸収微細構造法および四重極質量分析法同時測定によるステンレス鋼中への水素吸蔵・脱離・反応ダイナミクス の 解 明 ～ 耐 水 素 脆 性 ス テ ン レ ス の 開 発 に 向 け て ～, SPring-8 利用課題実験報告書 2016B1869.

著者



石川 智則

いしかわ ともり

材料技術部
材料技術開発に従事