

基調論文 デンソーでの材料・処理加工技術開発における 分析・評価技術の現状と展望*

Current Status and Future Prospects of Materials Analysis and Characterization in DENSO

清水 真樹

Masaki SHIMIZU

In this 21st century, safer and more environment-friendly vehicles are highly required. In order to meet these demands, many kind of highly sophisticated technologies (i.e., environmental protection, energy management, crash safety, preventive safety, etc) are necessary. The development of products, parts, materials and its processing is key issue to realize the safer and more environment-friendly vehicles, therefore we should recognize the importance of materials analysis and characterization method that means the advanced fundamental technologies to support the individual development.

This paper describes the importance of analysis and characterization technology for materials and its processing development, then our DENSO current status in this matter and future prospects are introduced.

Key words: Materials analysis, Materials characterization, Materials engineering, Process engineering, Performance prediction, Fatigue prediction, Structural analysis, Simulation of material properties

1. 緒言

自動車はその経済性・利便性から物流の担い手となつて、約50年が経過しようとしているが、21世紀前半においてもその役割に変化はないと思われる。

全世界における自動車保有台数は、10億台を超えようとしており、2030年には15億台あるいは17億台に達するとも言われている。

その背反として、「環境」や「安全」そして「エネルギー」に関する問題への高いレベルでの対応を求められており、これからは「環境」のみならず「人」にもやさしい自動車開発への指向がさらに強まっていくはずである。

夢の自動車と思われていた燃料電池車が、確実に現実のものとなりつつある現在、ガソリン車やディーゼル車においても、「環境」対応は言うに及ばず「安全」・「快適」そして「利便」を徹底的に追求していく必要がある。

21世紀においては、環境や人（搭乗者と歩行者の双方を含む）に負荷を与えない自動車が期待されており、自動車産業全体として、環境保全・エネルギー有効利用・安全（予防安全・衝突安全）に関する社会的要求に応じていかねばならない。

我々、自動車産業に従事する技術者は、「環境（エネルギー含む）」と「安全」にかかわる問題を最大の課題として、その取り組みを強化していくべきであると考える。¹⁾²⁾

2. 自動車を取り巻く環境

自動車産業を取り巻く事業環境は、先進国市場の成熟化、中国を始めとするBRICs自動車市場の急激な拡大、環境問題の顕在化・環境規制の法制化、そしてバイオ軽油に代表される燃料事情の変貌などに伴い、大きく変化している。

これらの環境変化に即応し、国内外の諸課題に積極的に取り組んでいくことが強く求められている。

特に、地球規模での環境保全や省エネルギーへの要請が強まっており、環境問題への対応技術力の優劣が、自動車産業に携わる企業の今後の成長・存立を律する資質の一つとなるものと思われる。

Fig. 1に環境保全面における自動車を取り巻く環境を示すが、燃費を向上させ、エネルギー消費を抑え、CO₂の排出量を削減させることにつながる「軽量化」が、さらに強く求められつつある。この意味において、軽量材料・高強度材料・高耐食材料・耐摩耗材料など

*2007年11月12日 原稿受理

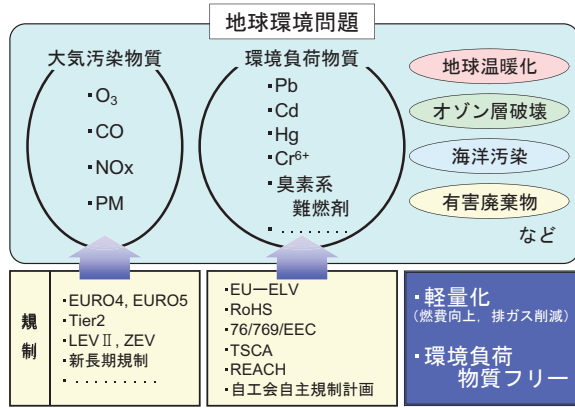


Fig. 1 Environmental regulations for vehicles

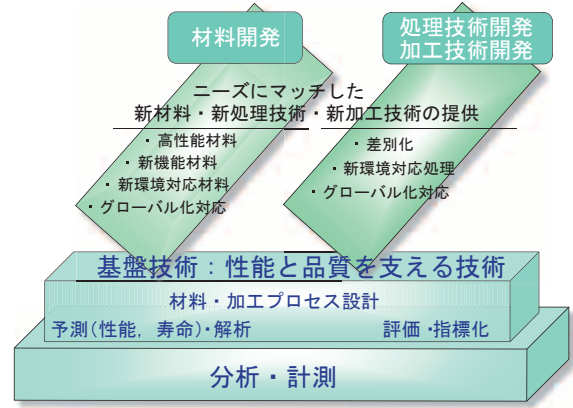


Fig. 2 Role of fundamental technology

の開発や適用検討が、より一層加速されるだけでなく、処理・加工技術開発による高機能・新機能付与に関する検討も、重要度を増しつつある。

自動車部品に対しても、軽量化やコンパクト化の要求は強まる一方であり、これを実現させるためには、材料自身の進歩に加えて、処理・加工面での技術改良や開発、材料と処理・加工が一体となった技術革新が不可欠であることは論を待たない。

そして、これらの技術開発を支える、基盤技術としての分析・評価技術の重要性を、今一度、再認識しておくべきと考える。

本論文では、材料開発や処理・加工技術開発における分析・評価技術の位置付け、重要性に関して簡単に触れた後に、当社におけるこれら技術の現状を整理し、今後の展望について述べることにしたい。

3. 材料・処理加工技術開発と基盤技術開発

材料開発と処理・加工技術開発は、特定の部材を対象とした場合には、両立解が存在しないと成立しないが、強度が高いと加工性が悪いと言う事象に代表されるように、相反する課題として位置付けられる場合が多い。当社においても、事情は同様である。

このような場合には、お互いが各々の開発目標値をどこまで精度良く提示できるかが、開発期間の長さを律速するばかりでなく、成否の鍵ともなりうる。

この意味において、現物や現象を正しく分析する技術、性能や寿命を予測する技術、あるいは、目標特性を指標化する技術、さらには、適否を精度良く評価・判定する技術、いわゆる基盤技術という土台の確かさが、重要となる (Fig. 2)。

4. 分析・評価技術開発の現状

材料技術部においては、Fig. 3に示すように、金属材料、熱処理・表面処理、非金属材料、機能性非金属材料グループという材料軸と、強度・トライボロジー・分析を主体とした基盤技術を担当するグループ、品質全体を統括するグループという機能軸を組み合わせることによって開発が推進されている。

加えて、上記にかかわる材料評価やモデル実験、種々検証のための評価や解析は、実験担当グループの高い技能がバックアップしている。

生産技術開発部では、製品変革・工場変革を目指した、加工・処理に関する技術開発が行われている。また、技術開発センターに属する開発部や基礎研究所、グループ会社である日本自動車部品総合研究所においては、その高い専門性を基本とした高度な構造解析や、性能(材料物性)予測のためのシミュレーション技術開発が進められている。これらの部署とは、全社の技術開

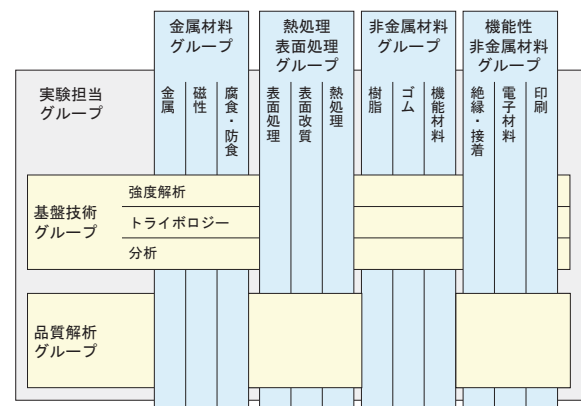


Fig. 3 Organization of material engineering R&D

発に関する情報を収集・整理した上で、材料・処理加工技術開発に関するロードマップを作成・共有し、オールデンソーとして、基盤技術も含めた抜けない開発を推進している。

このような体制の下に進められている材料開発・処理加工技術開発において、必要とされる基盤技術分野は、以下の四つであると判断している (Fig. 2)。

- (1) 真の姿を観察するための分析・計測技術分野
- (2) 市場のストレスを忠実に再現した上で、現象を正しく評価し、特性や機能、さらには開発目標を指標化する評価・指標化技術分野
- (3) 開発の効率を上げるとともに開発目標値の精度を向上させる、あるいは、その妥当性を検証するための予測・解析技術分野
- (4) 求められている機能や特性を発現させ得るであろう材料や、加工プロセスを設計する技術分野

それぞれの基盤技術分野における主たる開発テーマをFig. 4にまとめる。

本特集号においては、薄膜や界面の分析・解析技術、各種材料の疲労やトライボロジー特性評価技術、計算科学を用いた物性・反応や構造解析（予測）技術につ

いての論文など、19の論文を掲載している。

上記の基盤技術は、製品の開発から生産・流動までの各ステップにおいて、Fig. 5に示すように活用されることが強く期待されている。

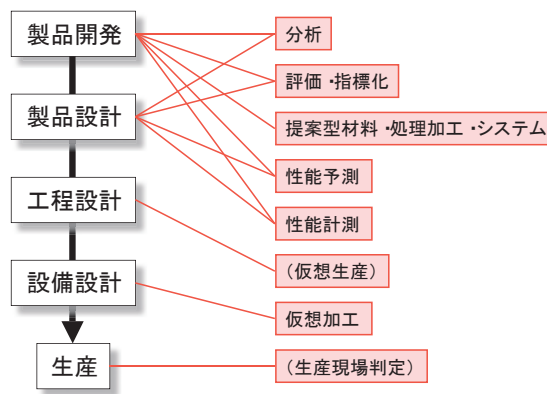


Fig. 5 Correlation between production engineering and supporting technology

技術分野	開発テーマ	
	材料	処理・加工
①分析・計測	<ul style="list-style-type: none"> 計測(性能) <ul style="list-style-type: none"> ・材料欠陥非破壊計測 分析 <ul style="list-style-type: none"> ・TEM観察技術 ・3次元分析 ・高次構造解析 ・誘導体化XPS手法 	<ul style="list-style-type: none"> ・インプロセス計測(加工可視化)
②評価・指標化	<ul style="list-style-type: none"> 材料特性指標化 <ul style="list-style-type: none"> ・金属材料介入物評価法 ・遅れ破壊評価法 ・はんだ移動量評価法 ・非金属材料電気特性評価法 ・ブラシ整流火花評価法 	<ul style="list-style-type: none"> 仮想加工 <ul style="list-style-type: none"> ・加工CAE ・樹脂成形・ダイカスト・接合・薄膜 ・切削・塑性加工 ・はんだ付け
③予測・解析	<ul style="list-style-type: none"> 性能予測 <ul style="list-style-type: none"> ・強度予測 ・摺動挙動予測 ・磁気特性予測 寿命予測 <ul style="list-style-type: none"> ・高強度鋼疲労寿命予測 ・樹脂材料熱疲労寿命予測 ・ゴム材料疲労寿命予測 	<ul style="list-style-type: none"> ・ろう付け形状予測 ・はんだ寿命予測 ・かしめ寿命予測 ・ワイヤボンドの寿命予測
④材料・加工プロセス設計	<ul style="list-style-type: none"> 材料 <ul style="list-style-type: none"> ・レーザ透過樹脂 ・非鉛圧電材料 ・DLC ・ナノ粒子分散材料 	<ul style="list-style-type: none"> プロセス <ul style="list-style-type: none"> ・樹脂材料レーザ溶着 ・バリ発生抑制/除去 ・精密洗浄 ・ながら加工 ・小型シンプル設備

Fig. 4 R&D projects for manufacturing technology infrastructure

5. 評価・解析技術の今後

日本の工業製品が世界最高水準を維持してきた主たる要因は、高品質の部品・材料が優れた製造プロセス技術や生産技術に支えられて、適正価格で安定供給されてきたことと、その部品・材料の品質保証技術が高かったことであると言われている。当社製品においても材料技術、処理・加工技術分野の、相応の貢献が評価されていることを期待したい。

当社における今後の製品開発においては、冒頭でも触れたように、「環境・安全・快適・利便」を目指して、新たな機能の付与、従来機能の極限までの高度化が求められている。材料技術、処理・加工技術開発が果たすべき役割は、今までにも増して、難しいものとなっている。

この意味においても、前述した四つの基盤技術分野の整備・拡充が重要であると判断する。

重点的に推進すべき技術課題としては、以下の五つが挙げられるものと考えている。

- (1) 高度微細分析・構造解析技術の開発
- (2) 予測技術の高度化
- (3) 統合型品質保証技術の開発
- (4) 計算科学を活用した材料設計および新物質の探索
- (5) 知的情報のデータベース化

6. 技術課題への対応の考え方

6.1 高度微細分析・構造解析技術の開発

材料の新機能発現のメカニズム解明や発現機能の高度化を目指すためには、対象物のサイズに縛られることなく、種々の物質量・物理量を高度なレベルで分析できる技術や、欠陥や不純物、粒子境界・界面、原子構造・高次構造などの微細分析技術や高度構造解析技術の開発が必要である。これらの技術は、製部品の製造プロセスにおける条件保証・品質保証においても、重要なものとなる³⁾。

Fig. 6に、材料技術部が保有する主要な分析機器を示す。分析対象物の種類や大きさ、分析データの精度、定量性などの分析ニーズの高度化に対応すべく、分析リソース（分析技術者・技能者、分析機器）の増強には、重点的・優先的な配慮を行っている。材料・処理加工技術開発や品質保証において、分析・構造解析技術は基本的インフラと考えている。

当社において、この技術分野で、今後、レベルアップすべき事案は多いが、3次元的分析・評価技術や、時

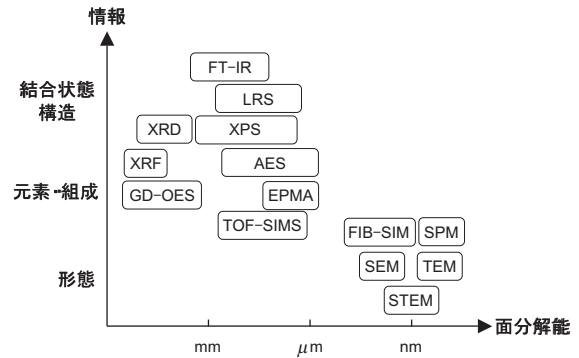


Fig. 6 Major analytical instruments in materials engineering R&D department

間的な要因を含めた（例えば瞬時現象）分析、ポリマーの高次構造解析などへのアプローチが重要であると思われる。

6.2 予測技術の高度化

材料の物性や特性に基づいて、製部品の性能や寿命の予測を、工業的に利用可能な高い精度で行うことができれば、開発効率の飛躍的な向上に繋がるだけでなく、適正品質・適正価格を、まさに具現化でき、当社製品競争力のさらなる強化が可能になっていくはずである。しかしながら、この予測技術分野は、まだまだ、発展途上であると言える。

予測技術の一例として、寿命予測技術について述べてみたい。Fig. 7にて、強度分野における寿命予測技術の今後を俯瞰する。

現時点においては、基礎となるデータを収集し、実験式や応力解析を活用して寿命の予測がなされている。その対象となる材料は、内質が比較的均質な溶製材から内部欠陥を有したダイキャスト材や焼結材に広がりつつある⁴⁾⁵⁾。

将来的には、クリープや材料自身の劣化を考慮に入れた予測、薄膜や接着層での疲労挙動予測、繊維強化プラスチックやMMCなどの複合材料へも、その適用が展開されることが期待されている⁶⁾⁸⁾。

そのためには、よりミクロな領域での材料強度評価や劣化度合いの計測・予測・可視化技術などの開発も必要となろう。

同様に、長期間の評価を必要とするトライボロジーや腐食の分野においても寿命予測技術を確立すべく、研究を進めている。

6.3 統合型品質保証技術の開発

製部品・材料の特性は、非常にマクロな視点で評価され語られることが多いが、実際は、ナノ、ミクロ、メゾそしてマクロ領域における種々の因子が複雑にからみあって発現する。

したがって、製部品・材料の品質保証を抜けなく行うには、ナノ、ミクロからマクロまでの特性評価技術を統合した品質保証技術を開発することが急務であると判断している。

Fig. 8に、トライボロジー分野における統合品質保証の概念モデル図を示す。

材料としての摩耗特性評価や、その場観察・分析を踏まえた摩耗メカニズム解析などを通して、ミクロ領

域での評価やTP (材料) としての評価を行い、その品質の確からしさを確認する。

次に、部品あるいは製品における潤滑・摩耗挙動評価を行うことになる。この場合において、非破壊での継続的な摩耗計測が実現できれば、その工業的な利用価値は非常に高い。

最終的には、システムや車両でのストレス計測や、実車での負荷を忠実に再現させた耐久試験 (FSP耐久) にて、品質保証度合いの評価を行い、実用化へと進んでいくことになる。

このような統合的な品質保証技術の開発・構築、システム化に向けて検討を続けている。

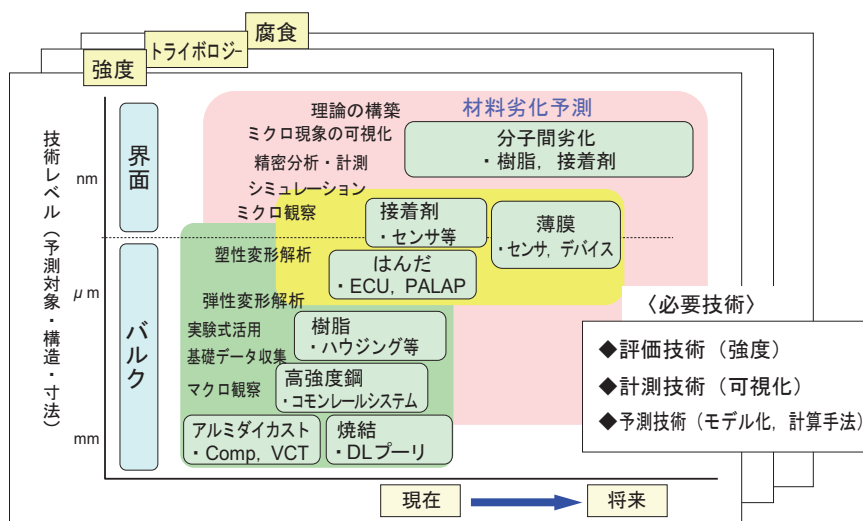


Fig. 7 Life prediction methods for structural materials

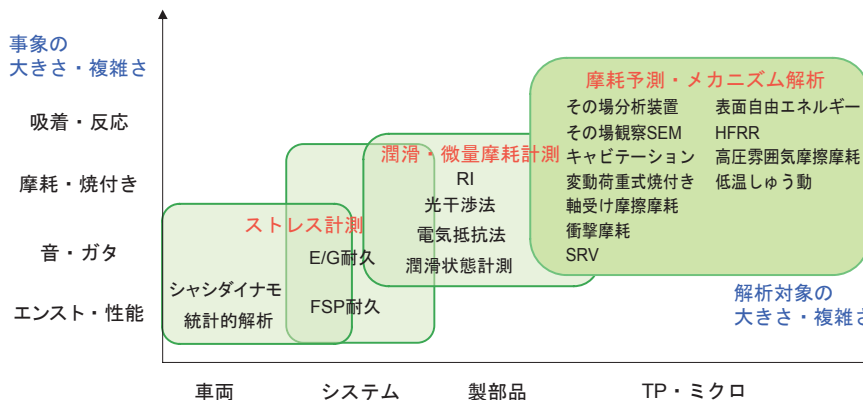


Fig. 8 Scheme of total quality assurance

6.4 計算科学を活用した材料設計および新物質の探索

量子力学, 分子動力学等の計算科学による実用材料の材料設計や新物質の探索に関する研究は, 確実に広がりがつつある⁹⁾。

計算状態図の高度化により, そこから得られる情報もその利用価値は高く, 計算科学を含めてこの分野の発展を加速させることは, 材料そのものを研究する機関に留まらず, 材料を利用する我々自動車部品メーカーにおいても優先性の高い重要研究課題の一つである。

現状においては, 取り扱うことのできる分子やクラスターのサイズに, まだまだ制限のあることと, 計算ノウハウの問題などがあり, 自在に使いこなすというレベルにはないが, 「官学」の支援などを仰ぎながら, 技術力を向上させていきたい。

6.5 知的情報のデータベース化

技術者・研究者の叡智の結晶である知的情報(科学情報)は, 種々実験により得られたデータに, 供試材, 試験条件, ノウハウなどの詳細な情報を付加することにより, 有効な知的情報として機能することとなる。

これら知的情報を, 体系的に整理・再構築し, データベース化することによって, デンソー共通の財産とすることができる。

当社においては, 材料に関するデータベースは強度解析用, あるいは仮想加工(加工CAE)用など, 用途ごとに使い分けられているのが実態であるが, 現状においては単なる数値, 線図の域を出ていない。

これらデータに, 前述したような詳細情報やノウハウなどを加え, 体系化された知的情報として活用していけるよう取り組んでいきたい。

7. 結言

材料開発, 処理加工技術開発における, (1)分析・計測技術, (2)評価・指標化技術, (3)予測・解析技術, (4)材料・加工プロセス設計技術, いわゆる基盤技術の重要性について述べてきた。これらの分野の今日は, 先人達の長年の努力の蓄積に負うものであり, 技術と匠が複雑に共存する分野でもある。

より高度で微細な分析・解析技術開発や, 精度の高い予測技術, そして統合的な評価・品質保証技術の確立などを通じて, 我々の使命や役割を果たしていきたい。

新しい機能, 高い機能を有した, 材料・処理加工技術

開発を効率的に進めていくためには, Fig. 9に示すように, 極限を追求するというアプローチと, まったく新規の開発を目指すという二つのアプローチがあると思われる。

ハードルが高い, 難易度が高い, けれども, その効果が著しく大きい技術の開発に対しては, 複数企業, グループ, あるいは国家的規模で, そのリソースの確保や配分を企画運用する事例も増えつつある。「協調と競合」のバランスが難しいが, 前向きに対応したいところである。

自動車産業は 国家の基幹産業として, その裾野に多様な技術を有する広大な企業群を擁し形成されている。

これら企業群は, 「環境」・「安全」・「快適」・「利便」に繋がる新製品の開発に向け, 自身の社会的責任も踏まえた上で, グローバル展開も視野に入れて, 技術開発競争を, 戦い抜いていかねばならない。

自動車は, 現在, この地球上に約10億台が存在し, 毎年6000万台以上が新たに生み出されており, 21世紀においても交通・物流・運輸の主役であろう。

環境と人にやさしい自動車の実現に向け, 材料・処理・加工の分野から, あるいはその枠を越えて, 新たな提案を続けていきたい。読者の皆様より, 忌憚のないご意見, ご指導を頂ければ, 幸甚である。

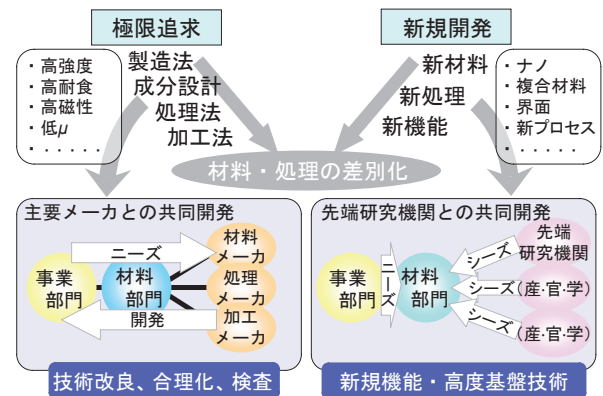


Fig. 9 Strategy for advanced materials development

<参考文献>

- 1) DENSO Vision 2015.
- 2) DENSO エコビジョン 2015.
- 3) 高原 淳 日本接着学会編: “表面解析・改質の化学”, 日刊工業新聞 (2003).
- 4) Yamada, K. and Miyakawa, S, Extra-long Fatigue Properties of Aluminum Die Casting Materials, Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.55, No.3 (2006), pp. 295-300.
- 5) Yamada, K. and Miyakawa, S, Super-long Life Fatigue Properties of Al-Si-Cu Die Casting Alloy by Using Ultrasonic-Fatigue Tests, Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Ser. A, Vol.72, No.717 (2006), pp. 155-162.
- 6) J. H. Song 他: “Low cycle fatigue of PPS polymer injection weld (II) -Fiber orientation and fracture mechanism-”, KSME International, Vol.17, No.6 (2003), pp. 836-843.
- 7) 榎本, 三宅: 薄膜トライボロジー, 東京大学出版会 (1997), p. 54.
- 8) 河鱒, 竹内, 村上: 硬質薄膜の剥離寿命評価, トライボロジー会議予稿集 (東京2001-5).
- 9) 藤本 博: 有機量子化学.



<著者>



清水 真樹
(しみず まさき)
材料技術部
材料技術開発に従事