

社会イノベーションを実現する 産業機械・製造装置

Industrial Machinery and Manufacturing Equipment to Realize Social Innovation

金原 信秀 **土井 秀明** **渡辺 智司**
Kimbara Nobuhide Doi Hideaki Watanabe Tomoji

市場動向と日立グループの 産業機械・製造装置事業

リーマンショック以降の世界経済の低迷を乗り越え、2010年度の日本経済は緩やかな回復基調を見せた。輸出は、先進各国の景気対策の効果や、新興国を中心とする海外経済の回復に伴って増加傾向にある。国内の景気は、各種の政策効果、猛暑効果などに下支えされた。一方で、継続的な円高、海外経済の減速に対する懸念、また政策効果の息切れや一巡などにより、今後、景気回復が踊り場に入る可能性も高まっている。

こうした先行き不透明なグローバル市場環境の中で、日立グループは、中期経営計画において社会イノベーション事業による

成長と安定的経営基盤の確立を掲げている（図1参照）。その中心となっている各産業分野を支え、かつ日本のモノづくりの強さを象徴するコアコンピタンス分野が産業機械・製造装置である。

社団法人日本機械工業連合会（日機連）の統計によると、2009年度の日本の機械工業生産額は、こうした世界経済の低迷の中で前年度比18.6%減の約61兆5,488億円であった。しかし、景気の緩やかな回復を受け、2010年度の機械工業生産額は、前年度比9.4%増の約67兆3,535億円となる見通しである。内需では主な需要先である製造業が回復基調にあり、外需では新興国を中心に生産設備への投資意欲や製造装

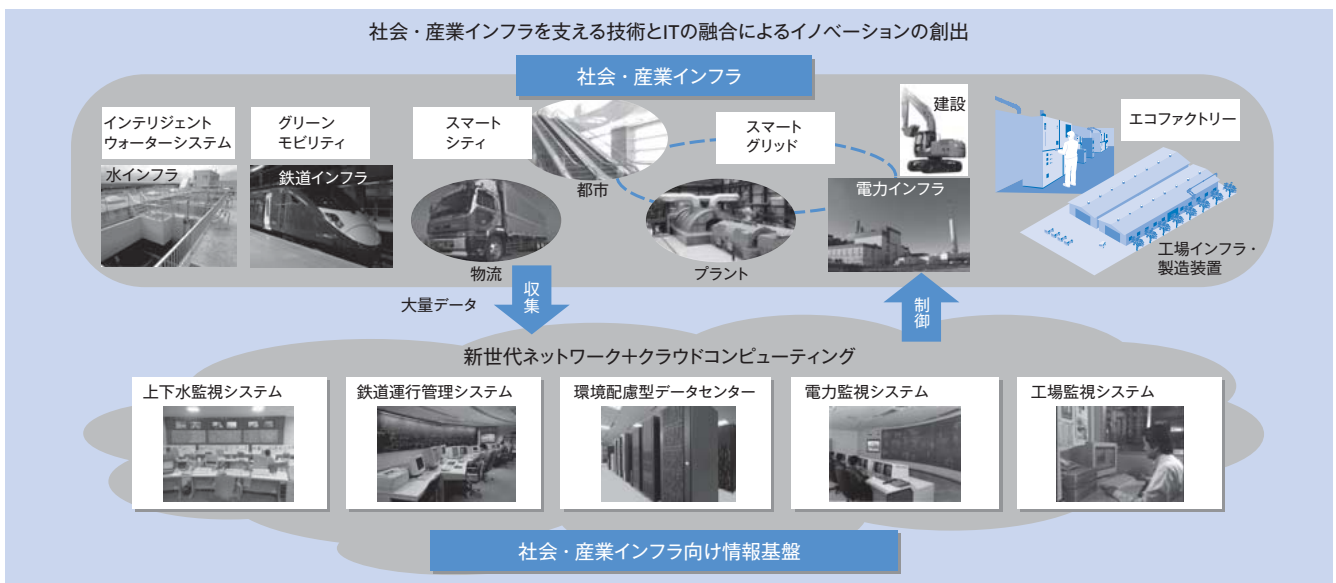


図1 | 社会・産業インフラとITの融合
社会・産業インフラにおけるコア製品・技術・システムとITを融合し、スマートグリッドやエコファクトリーなどのトータルソリューションを提供する。

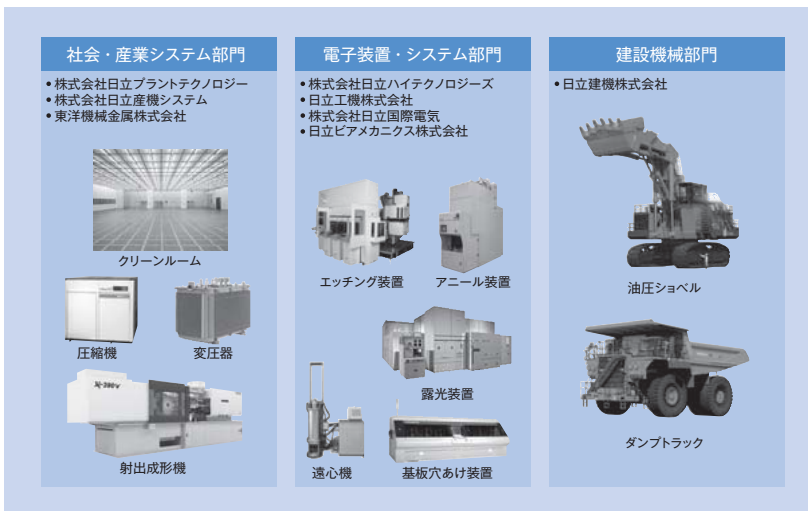


図2 | 社会イノベーションを実現する産業機械・製造装置

社会イノベーション事業を支える産業機械・製造装置は、「社会・産業システム部門」、「電子装置・システム部門」、「建設機械部門」で事業展開している。

(a) アニール装置

アニールとは「焼き鈍(なま)し」を意味し、材料を熱加工することで原子配列を整え、加工性の改善、応力の除去などの性能の安定を図る処理。半導体製造では、導電性を制御するためにシリコンなどの基板に不純物となる酸素などのイオンを注入するが、そのイオン注入によって基板の結晶構造が乱れるため、アニール処理を行い整える。

置、工作機械の需要が高まっている。産業機械・製造装置の市場は、企業の設備投資の動向に左右される傾向が強いものの、日本のモノづくりを支えてきた産業機械・製造装置は、依然として強さを発揮していると言えるだろう。

日立グループの中期経営計画のメインテーマである社会イノベーション事業とは、「社会・産業インフラとITの融合」と「材料・キーデバイス」により構成される。これを支える日立グループの産業機械・製造装置は「社会・産業システム」、「電子装置・

システム」、「建設機械」の各部門で事業展開されている(図2参照)。

産業機械は、関連分野が多岐にわたる。本特集号の論文テーマを例にとると、プラスチック射出成形機(東洋機械金属株式会社)、圧縮機や変圧器(株式会社日立産機システム)、生産用連続超高速遠心機(日立工機株式会社)、建設機械(日立建機株式会社)など、建設から電力や各種産業まで、社会を支える多くの分野にかかわっている。日立グループの製品は、高速・高効率などの高い性能、多様化への対応、環境性能や省エネルギーなどの卓越した技術を備え、幅広いユーザーニーズに対応したグローバルニッチ製品も数多い。

また、産業機械の中でも大きな分野を占めるのが、株式会社日立ハイテクノロジーズを中心に、株式会社日立国際電気、日立ピアメカニクス株式会社、株式会社日立プラントテクノロジーが提供する、電子デバイス・エレクトロニクス製造装置である。半導体、液晶市場は変化の激しい市場であると同時にグローバルでのメーカー間競争が激しい業界である。日立グループはその中において、大型・高性能、環境保全といった顧客のニーズに応える製品・技術を提供している。

IT基盤を支える
電子デバイス・エレクトロニクス製造装置

半導体・ハードディスク製造検査装置

半導体部品、ハードディスクなどの電子デバイスは、これまで幾度となくその技術的なハードルを越え、微細化による高性能化を実現してきた(図3参照)。近年では、物理限界とも言われる領域まで微細化が進展しているが、この実現には、各種製造設備の開発が大きく貢献している。

半導体プロセスにおいては、新材料の開発とともに、安定で高効率な成膜、配線形成プロセスが不可欠である。日立国際電気の半導体薄膜形成・アニール装置^(a)は、高誘電率絶縁膜への早期対応やウェーハ大口径化に伴う均一性確保の課題解決などを図るとともに、1度に100枚以上を同時に

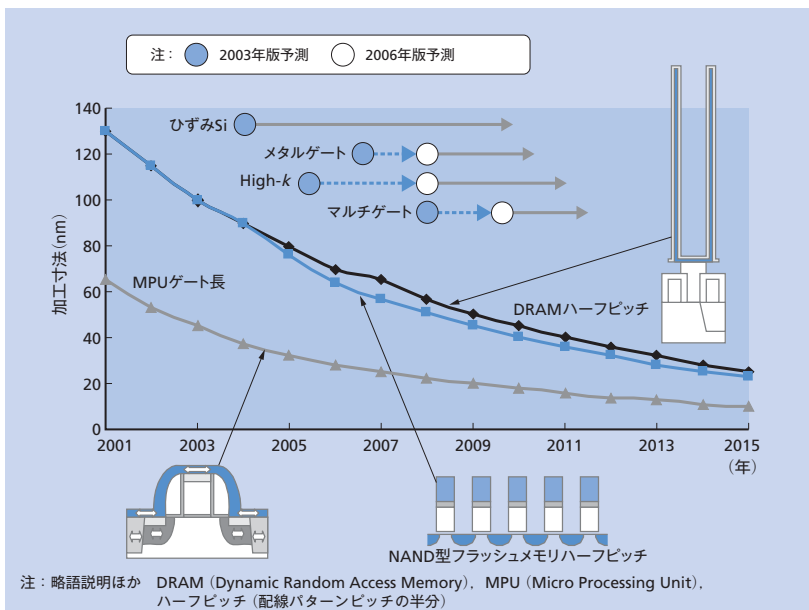


図3 | 微細加工技術の国際半導体技術ロードマップ (ITRS)

MPUのゲートは、シュリンク技術を用いることで、総合的な加工技術水準を示すハーフピッチの値に比べ、小さな加工サイズを実現している。また、2005年から、微細加工技術の牽(けん)引役が、これまでのDRAMから、NAND型フラッシュメモリに置き換わった。

処理できるバッチ処理で高効率生産に大きく寄与してきた。また、半導体微細パターン形成に用いられる日立ハイテクノロジーズのエッチング装置は、パターン形成寸法の精度向上に加え、10層以上にも及ぶ多層配線間を接続するためのスルーホール形成など、三次元加工性の向上、直径300 mmの大口径ウェーハでの加工均一性確保などを実現している。

製造工程の維持管理にはその状態監視が重要である。半導体の場合、配線パターンの形状計測により管理される。日立ハイテクノロジーズの測長SEM (Scanning Electron Microscope) は、パターン寸法計測のために開発された装置であり、観察装置であった電子顕微鏡 (SEM) を工業用計測装置、すなわち再現性や計測器としての校正機能を有する計器として実用化した設備である。現在、測長SEMは、微細プロセス加工の品質管理ツールとして製造プロセスに不可欠な装置であるとともに、新技術開発時における計測器として不可欠な設備となっている。この技術スタンダードの確立の観点から、「第54回大河内記念生産賞」(2007年度)を受賞した。また、計測高効率化や計測結果のプロセスフィードバック迅速化などへの対応のため、システム化対応も進められており、条件設定の高機能化やデータベース対応のシステム化などが強化されている。

ハードディスクの分野においても、記録媒体であるメディア、データ読み書きのヘッド双方で高密度化要求に対する技術革新が進められ、近年では面記録密度600 Gビット/in²に対応して加工位置決め精度はナノメートルオーダーに達している。日立ハイテクノロジーズでは、メディアの微小突起などの光学検査に加え、電気特性の計測設備、ならびにヘッドの磁気特性計測装置などを開発し、高精度な加工プロセスの維持管理に大きく貢献している。

これら各種製造検査設備は、その基本性能の優秀さのみならず、近年ではグリーン化対応など環境適合型製品としての優劣も大きな関心となっているが、環境基準に適

合するとともに、省資源、設置面積 (フットプリント) 縮小などトップクラスの性能を有している。















液晶製造検査装置

1980年代後半に市場に登場した液晶ディスプレイは、当初のノートPC適用の小型サイズからデスクトップPC用ディスプレイ、TVと適用拡大が進み、表示デバイスとして主流の地位を得るまでになった。その主因には、画質向上など性能面の技術革新に加え、高効率生産による徹底的なコスト低減がある。生産技術面ではマザーガラスの大型化が図られ、近年では第10世代と呼ばれる約3 m角のガラス基板まで実用化されている (図4参照)。

日立ハイテクノロジーズでは、液晶ディスプレイの実用化黎明期から製造装置の開発を担っており、ガラス基板検査装置、洗浄機、カラーフィルタ用露光機などの前工程設備に加え、モジュール実装機などの後行程の組立装置を開発し、実用に供してきた。液晶ディスプレイ製造において最大の課題は低コスト生産であり、装置は高スループットが要求される。露光機を例にとれば高速・高精度メカ制御や大面積温度均一化、高輝度照明光学系や業界に先駆け開発したXYステップ露光^(b)などの実用化により、産業界の要求に継続して応え

(b) XYステップ露光

カラーフィルタの露光工程では、石英のマスクを用いてガラス基板にパターンを焼き付ける。この石英マスクが非常に高価なため、ガラス基板を大型化する際、同じサイズにすると製造コストがかかることから、小さなマスクで分割露光する方法が採られている。XYステップ露光は、XY両方向へステップ移動しながら、大型ガラス基板を効率よく露光する方法。

世代	G4	G5	G6	G7	G8	G10
時期(年)	1999~	2002~	2004~	2005~	2006~	2010~
システムレイアウト	シングルステージ 	シングルステージ 	シングルステージ  ダブルステージ 	シングルステージ  ダブルステージ 	ダブルステージ 	ダブルステージ 
ガラス基板サイズ (mm)	730 × 920 	1,100 × 1,300 	1,500 × 1,850 	1,950 × 2,250 	2,200 × 2,500 	2,880 × 3,130 
装置面積 (mm)	7,260 × 5,040	6,400 × 6,650	S: 7,550 × 10,000 D: 9,100 × 10,000	S: 8,400 × 11,000 D: 11,000 × 11,000	14,100 × 12,200	15,400 × 17,200

注：略語説明 S (Single), D (Double)

図4 | 液晶基板のサイズ変遷と装置設置面積の推移 (露光機)

液晶はマザーガラスに多数のパネルを一括製作することで製造プロセスコストの削減を図っている。またTVなどの製品のパネルサイズの大型化も相まってマザーガラスの大型化が加速している。一方、製造設備のラインタクト、設置面積はさまざまな工夫で縮小を図り、例えば露光機の設置面積は約37 m² (G4) から約264 m² (G10) へと、拡大の比率は基板面積の約 $\frac{1}{3}$ に抑えている。

てきた。設備の大型化も著しく、G10用露光機は約8 mの高さと100 m²のフットプリントを有するが、この設備内の恒温・クリーン環境維持も大きな課題である。日立プラントテクノロジーの恒温クリーンルーム技術は、露光機のような大型設備の内部環境管理にも適用され、大きな効果を発揮している。これらの技術は、今後、有機EL (Electroluminescence) ディスプレイや太陽電池などの新デバイスの生産にも適用拡大を図っていく。

エレクトロニクス製造装置

携帯型機器に代表される電子機器の小型・高性能化に大きく貢献しているのが実装技術である。

半導体パッケージの小型・薄型化や高密度実装、プリント配線基板の高密度・高精度加工、基板への高精度・高速部品搭載など、生産設備の高機能化が重要な役割を担っている。株式会社日立ハイテクインスツルメンツでは、半導体チップの高密度実装技術やプリント基板への部品搭載機の微小部品対応を進め、日立ビアメカニクスでは、業界をリードしてプリント基板の高密度加工設備を製品化してきた。高密度化に伴い、処理数は飛躍的に増大しており、必然的に高速化対応が求められるが、高精度機構設計・メカ制御技術による高速化技術に加え、準備作業やダウンタイム低減などトータル生産性の向上を意識した製品群の開発が大きな特徴である。

社会基盤を支える各種産業機械

電動プラスチック射出成形機

プラスチック部品の生産において最も一般的に用いられているのが「射出成形機」である。東洋機械金属は、プラスチック射出成形機、アルミニウムダイカストマシンの専業メーカーとして、電気・電子、家電、自動車、食品から医療まで、国内外のあらゆる業界に、微細精密部品用の小型機から、自動車部品用の大型機まで、幅広いラインアップの射出成形機を提供している。



図5 | 電動射出成形機「Si-100V」の外観
高度な条件設定をマシン側で補い、作業の平準化、時間短縮、品質の均一化などを可能にする「スマートモールドディング」をコンセプトとしている。

今回開発した、最新機Si-V(ファイブ)シリーズの最新機は、「スマートモールドディング」をコンセプトに、これまで蓄積した技術に加え、新たに開発した制御システムを搭載している(図5参照)。「スマートモールドディング」とは、従来、オペレータの技能に頼っていた高度な条件設定をマシン側で補い、作業の平準化、時間短縮、品質の均一化などをめざすものである。さらに、鉛フリーをはじめとする材料の改良や省電力化など、環境性能の向上も図っている。

空気圧縮機

空気圧縮機は、工場などで組立工程や各種加工機器に使用する圧縮空気源として重要な役割を担っている。一方で、空気圧縮機とその関連システムが消費する電力は、工場の全使用電力の20~25%を占めており、CO₂排出量削減を推進するためにも、空気圧縮機の省エネルギー性能向上が求められている。

日立グループは、日立製作所創業の翌年1911年に初の100馬力空気圧縮機を納入して以来、ユーザーニーズに応えるさまざまな空気圧縮機を開発してきた。中でも、給油式スクリー圧縮機は、幅広い産業分野で使用されており、日立産機システムでは、心臓部である圧縮機本体を進化させ、高効率化、低騒音化を図っている。22~75 kWの可変速制御機は、日立グループの持つ可変速ドライブ技術を結集したDCBL^(c)永久磁石モータを搭載し、高い省エネルギー性能を持つ。さらに、ユニット内の低圧力損失化も図り、圧縮機本体に加えてユニットトータルとしての省エネルギー

(c) DCBL

Direct Current Brushlessの略。直流ブラシレスモータ。回転子に永久磁石を使用し、ブラシをなくした直流モータ。損失が少なく、誘電モータより効率よく運転できるため、消費電力の低減やモータ自体の小型化が図れる。



図6 | 給油式スクリーワー圧縮機「NEXTシリーズ」の外観
22～75 kWの変速制御機では、DCBL永久磁石モータを搭載し、高効率化を図っている。ユニットトータルの省エネルギー性にも優れている。

ギー化を実現している（図6参照）。

アモルファス変圧器

地球環境保全の取り組みが世界中で活発化する中、変圧器の待機電力にあたる無負荷損失の大幅低減により、従来に比べ画期的な高効率特性を実現できるアモルファス変圧器が注目されている（図7参照）。

日立グループでは、アモルファス変圧器^(d)の研究にいち早く取り組み、1991年に柱上変圧器を、1997年には一般産業向け変圧器も製品化した。材料開発から機器への適用技術まで一貫した体制で製品化を行い、大容量化、高品質化などの開発を継続しながら、現在では約15万台の出荷実績を有している。

アモルファス変圧器の導入効果の事例として、日立産機システム中条事業所では、変圧器の台数集約とアモルファス変圧器の採用により、電力損失を約 $\frac{1}{3}$ に低減、年間900 tのCO₂排出量を削減している。

生産用連続超高速遠心機

生産用連続超高速遠心分離機（遠心機）は、主にウイルス感染症を予防するためのワクチンの製造工程において、大量に培養された病原ウイルスや有用物質の培養液から目的物を分離、回収する製造設備である。病原ウイルスや有用物質は、18～300 nm程度の非常に小さな粒子であり、これを分離・精製・濃縮するうえで、超高速回転の生産用連続超遠心機が重要な設備となっている。

製薬・ワクチン製造会社からは、医薬製品の品質レベルの向上や製造の効率アップ

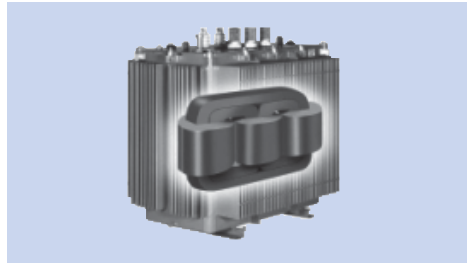


図7 | アモルファス変圧器

鉄心部分にアモルファス合金を用いることにより、高効率特性を実現した。素材から完成品まで、一貫した技術開発と事業展開を進めている。

に対応するため、分離工程における滅菌性向上、医薬品製造記録の電子データ管理、医薬品製造設備に対応したフレキシブルな構成・仕様の製造設備が求められている。

これらの要求に応えるため、日立工機では2009年10月に生産用連続超遠心機CC40NXを発売した（図8参照）。最高回転速度40,000 min⁻¹、試料流路の蒸気滅菌可能化、運転データ電子記録対応などの特徴を有する。

超大型油圧ショベル・ダンプトラック

資源需要の拡大に伴い、世界の鉱山において鉱山機械の需要も増加している。特に露天掘り鉱山では、大量の土砂や鉱石を掘削、運搬するため、掘削を行う大型油圧ショベルや運搬を担うダンプトラックには、大作業量と高信頼性が求められる。

日立建機の超大型油圧ショベルはその高性能、卓越した作業量と信頼性から、世界の露天掘り鉱山市場でトップシェア製品となっている。また、鉄道車両などで電気駆

(d) アモルファス変圧器

電流を流すコイルが巻かれた鉄心部分にアモルファス合金を用いることで、無負荷損失（待機電力）を大幅に削減した変圧器。アモルファス合金は、元素の配列に規則がない非結晶合金で、強度や電気特性に優れる。



図8 | 生産用連続超高速遠心機「CC40NX」

分離工程における滅菌性の向上や、医薬品製造記録の電子データ管理への対応などが特徴である。



図9 | EH3500ACIIとEH4000ACIIの外観
日立建機株式会社と日立製作所が共同開発したAC-IGBT電気駆動装置を搭載した。

(e) IGBT
Insulated Gate Bipolar Transistor
(絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ)の略称。インバータなどのスイッチングに使われる半導体素子で、高耐圧、大電流処理能力と、高速スイッチング性能を併せ持つ。

動装置の開発に長い経験と実績を有する日立製作所とダンプトラック用AC-IGBT^(e) (Alternating Current - Insulated Gate Bipolar Transistor) 電気駆動装置を共同開発し、これを搭載した190 t積・220 t積のダンプトラックを開発した(図9参照)。

日立建機の鉱山機械は、高稼働率を維持するために故障診断を行うシステムを搭載しているほか、排ガス規制へ対応したエンジンの採用や電動化など、環境適応性・省エネルギーにも配慮した製品開発を進め、世界の鉱山の生産性向上に貢献している。

産業機械事業の革新を支えるコア技術

社会イノベーションを支える産業機械分野では、環境問題への対応や、市場のグローバル化に伴うニーズの多様化への対応が必須である。日立グループは、産業機械分野の製品の環境対応・グローバル化を加速するために、高度数値シミュレーションを活用した解析主導設計技術や、環境負荷を低減する技術、安全性・快適性を向上する技術など、革新的なコア技術の開発に取り組

んでいる。

例えば初の本格的な海外向け鉄道車両Class395は、国内向け車両で培ったさまざまな解析技術を活用し、英国の規格・インフラに適合させた高速鉄道車両である。このほか、鉱山用ダンプトラックの走行挙動の高精度な予測や、産業用大型ポンプの羽根車設計における変動流体力解析技術など、幅広い分野で最適設計を可能にするための解析技術の高度化、適用拡大を進めている。これに加えて、油圧ショベルの低騒音化技術や安全性、作業効率を向上させる動的安定性制御技術、環境負荷の小さい次世代化学プラントとして注目されるマイクロリアクタの開発などにも取り組んでいる。

今後も、社会イノベーション事業の中核になる産業機械を支える革新的技術の開発、生産性向上や環境負荷低減に取り組んでいく。

社会イノベーションを支える 産業機械・製造装置

日立グループは昨年、創業100周年を迎え、社会イノベーション事業を中核としてグローバルビジネスでの成長をめざしている。本特集号で紹介した産業機械・製造装置は、社会イノベーションを実現する礎として、広く国内外の社会・産業システム、インフラ分野に貢献していくものと大きな期待をしている。

今後も引き続き、新技術の開発、生産性の向上とともに、省エネルギー、環境負荷の低減にも力を入れ、産業機械・製造装置を通じて持続可能な社会の実現を支えていく。

執筆者紹介



金原 信秀
1978年日立製作所入社、モノづくり統括本部 モノづくり技術事業部 所属
現在、日立グループのモノづくり改革業務に従事
日本技術士会会員、日本機械学会会員



土井 秀明
1982年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジーズ 研究開発本部 所属
現在、電子デバイス・エレクトロニクス製品向け製造・検査技術の研究開発に従事
IEEE会員、電気学会会員



渡辺 智司
1984年日立製作所入社、機械研究所 企画室 所属
現在、機械系研究開発テーマの企画業務に従事
日本機械学会会員、計測自動制御学会会員