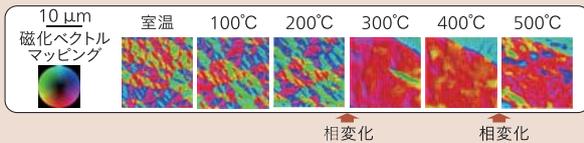


## Research & Development

# 研究開発

日立グループは、90年を超える研究開発の歴史の中で多くの実績を築いてきた。2011年度にはコーポレート研究所を三つに再編し、イノベーション創出のための先端技術、およびグループ全体の技術プラットフォームを支える共通基盤技術の研究開発を幅広い領域で展開している。経営戦略である社会イノベーション事業の推進強化のため、グループ会社間のシナジー創生に取り組んでいる。



1 高温での相変化に起因する磁区変化の可視化に成功したCo (0001)の磁区像

### 1 スピンSEMによるその場磁区観察技術

高分解能 (10 nm) 磁区観察装置であるスピンSEM (Scanning Electron Microscope) に搭載する、試料磁場印加 (80 kA/m) 機構と加熱 (単独で 500°C, 磁場印加機構と併用時は 250°C) 機構を開発した。これにより、これまでのスピンSEMの特長を生かしながら、高温・磁場中での磁区変化をその場観察する技術が可能となり、磁気デバイスのさまざまな環境における特性変化を微視的に議論できるようになった。また、開発した機構を用いて、Co (コバルト) 単結晶の高温での相転移に起因する磁区変化を可視化することができた。

今後は、新たな磁石材料の開発や、磁気デバイスの性能向上に寄与するものと期待できる。

### 2 アーカイブ向け光ディスクの大容量高速化技術

アーカイブに向けて光ディスクの大容量・高速転送を実現する、位相多値記録再生方式の原理検証実験に成功した。

今回開発した方式は、三次元記録により大容量化を可能とするマイクロホログラム方式を基に、記録マークの情報を2ビットに相当する4値 ( $2^2$ ), 3ビットに相当する8値 ( $2^3$ ) と多値化し、容量や転送速度を2倍、3倍に高める多値記録技術を応用したものである。記録再生の原理実験では、記録媒体に位相4値信号を記録し、再生できることを実証した。

今後、三次元記録とさらなる多値化を組み合わせ、記録容量1 Tバイト以上、転送速度1 Gビット/s以上の光ディスクの実現をめざしていく。

### 3 高速光インターコネクト技術

インターネット利用の広がりとともに、サーバーやルータなどの情報通信機器において、数年後には10 Tビット/s級の信号処理が必要になると予測されている。これに対し、従来の電気配線では、

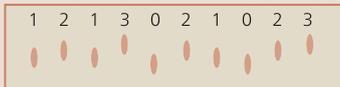
#### 従来 (1ビット)

マイクロホログラム (干渉縞) の有無でデータを記録 (あり: 1, なし: 0)

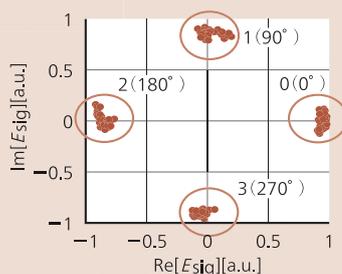


#### 今回 (2ビット)

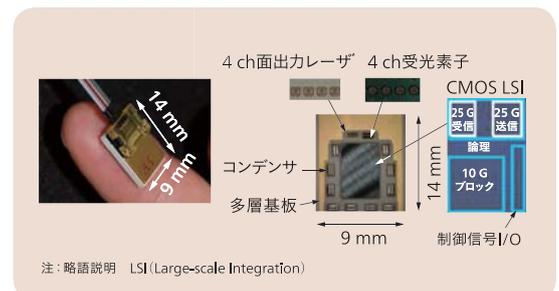
干渉縞の位相でデータを記録 (位相  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  がそれぞれデータ 0, 1, 2, 3に対応)



マイクロホログラムの  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  の4値位相記録再生を確認



2 従来のマイクロホログラムとの違いと原理検証実験結果



3 試作した光モジュール (左), 光モジュール内部構造と光素子およびCMOS LSI (右)

コネクタによる配線数の制限や、高速化に伴う伝送損失とこれを補う消費電力の著しい増加が生じるため、ボード間を結ぶ装置内配線を光ファイバに置き換える技術開発に取り組んでいる。

今回、低速電気信号を束ねてチャンネル当たり25 Gビット/s で光素子を駆動する集積CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 回路、4 ch面型発受光素子、およびこれらを組み込んだ世界最小寸法(9×14 mm<sup>2</sup>),省電力(1 Gビット/s当たり22 mW)の光モジュールを開発した。

なお、この研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて技術研究組合光電子融合基盤技術研究所において実施したものである。

#### 4 「はやぶさ」試料キュレーション設備

JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency: 独立行政法人宇宙航空研究開発機構) 小惑星探査機「はやぶさ」試料キュレーション設備を開発した。

この設備は、「はやぶさ」が持ち帰った小惑星「イトカワ」の微粒子の採集と、電子顕微鏡による初期解析に活用され、試料の解明に貢献している。世界最高レベル(窒素純度99.99999%)のクリーン環境を達成したクリーンチャンバと、μmオーダーの試料をハンドリングするマイクロコンピュータで実現したものである。

今後は、新材料開発のための分析技術分野への展開を図っていく。

#### 5 ICカード入退管理システム向けなりすまし検知技術

入退管理システム向けに、IC (Integrated Circuit) カードと顔認証を併用し、カードの不正取得による「なりすまし」を検知する技術を開発した。

これまでの顔認証では、経年的な顔の変化に対応するため、定期的に顔画像を更新する必要があった。この技術では、入退室のたびに顔画像をICカードのIDとひも付けしながら自動的に蓄積していくことで、顔画像の更新を不要としている。また、類似画像高速検索技術を適用することにより、蓄積した膨大な顔画像を用いた高精度な顔認証をリアルタイム化した。

開発した技術は、日立情報通信エンジニアリン



4 「はやぶさ」試料キュレーション設備 (写真提供: JAXA)

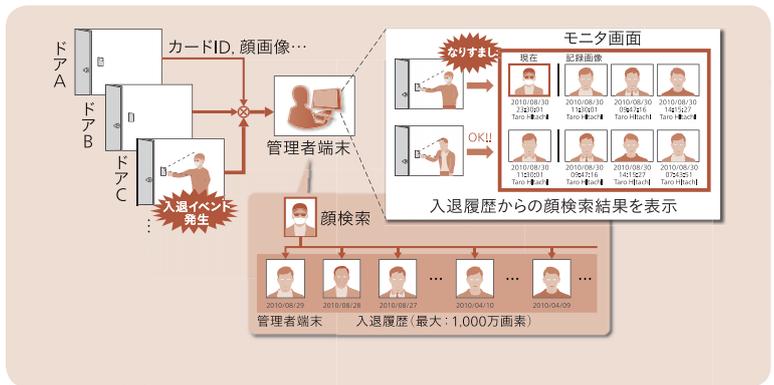
グ株式会社より製品化される予定であり、今後は顔認証のさらなる高精度化を図っていく。

#### 6 周波数13.56 MHz帯で動作する酸化物半導体薄膜トランジスタを用いたRFIDチップ

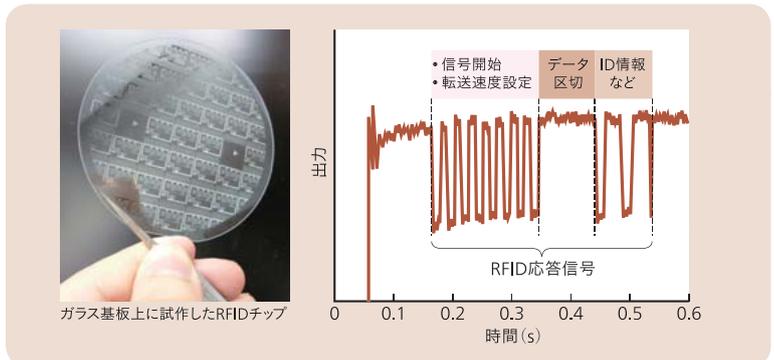
酸化物半導体薄膜トランジスタは、プラスチックフィルムなどの上に作製することが可能なため、薄くて曲げられるフレキシブルデバイスへの応用が期待されている。

この酸化物半導体薄膜トランジスタを用いてRFID (Radio-frequency Identification) チップを試作し、現在RFIDやICカードシステムで利用されている周波数13.56 MHz帯での無線動作に成功した。

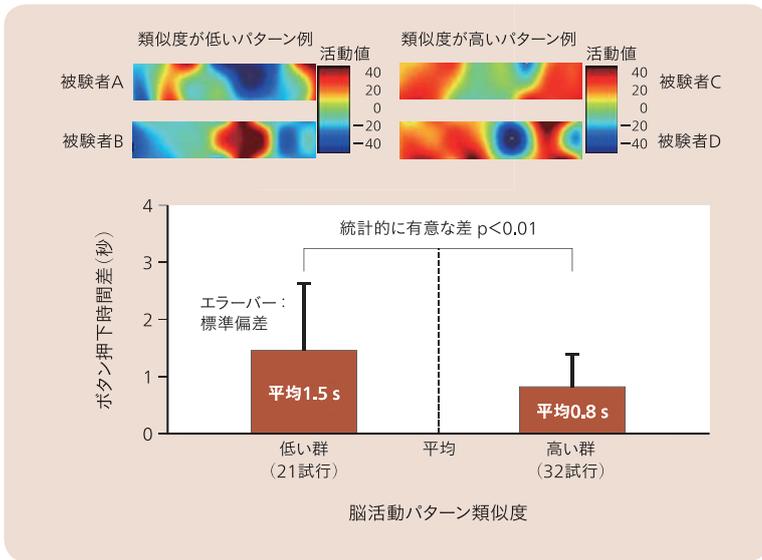
今後、無線を利用したセキュリティ分野などでの実用化をめざしていく。



5 ICカード入退管理システム向けなりすまし検知技術



6 試作したRFIDチップ(左)とその無線応答波形グラフ(右)



7 脳活動パターン類似度とボタン押下時間差との関係

### 7 ウェアラブル型の光トポグラフィ技術を用いた脳活動と協調作業の関連性の解析

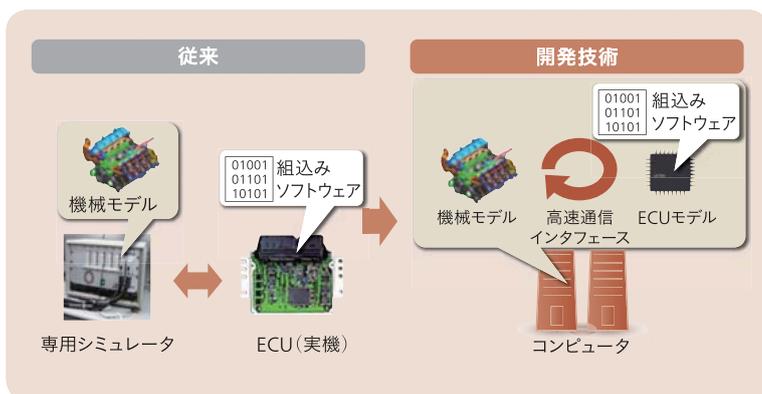
最先端の脳科学研究では、人と人との協調や対立などを伴う社会生活における脳の働きを解明する社会脳科学研究の取り組みが始まっている。

今回、2人の被験者に「10秒後を目安に同時にボタンを押す」という協調作業を行ってもらい、その間の2人の脳活動をウェアラブル型の光トポグラフィ技術を用いて同時に計測した。その結果、脳活動パターンの類似度が高いほうが、ボタンを押すタイミングが近くなり、協調作業と2人の脳活動との関連を見出した。

この技術は、社会脳科学研究の発展に寄与する重要な計測ツールになるものと期待される。

### 8 完全仮想化シミュレーション技術

自動車のECU (Electronic Control Unit) とエ



8 完全仮想化シミュレーション技術

ンジンなどの機械の双方をモデル化し、コンピュータ上でシミュレーションする検証技術を開発した。

従来、機械をモデル化して実機と同等の動きをさせる専用シミュレータと、実物のECUとを連動させて組み込みソフトウェアの検証を行っていた。これに対し、今回、ECUについてもモデル化し、機械モデルとの高速通信インターフェースによる連動技術を開発することによって、従来と同等な高精度の検証を実機レスで可能にした。これにより、ECUの実機が完成する前に、先行して組み込みソフトウェアの検証を行うことができる。

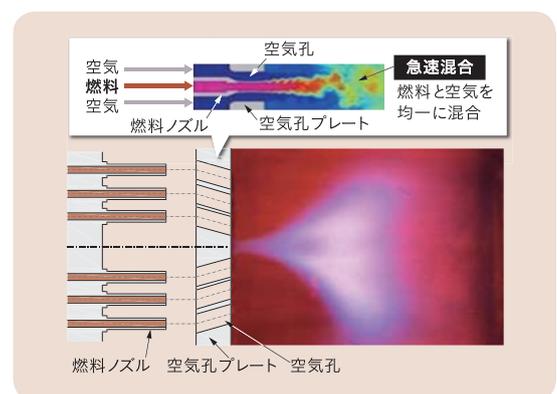
今後は、自動車向け製品への設計開発に適用し、開発効率向上に貢献していく。

### 9 次世代石炭火力発電向けガスタービンクリーン燃焼技術

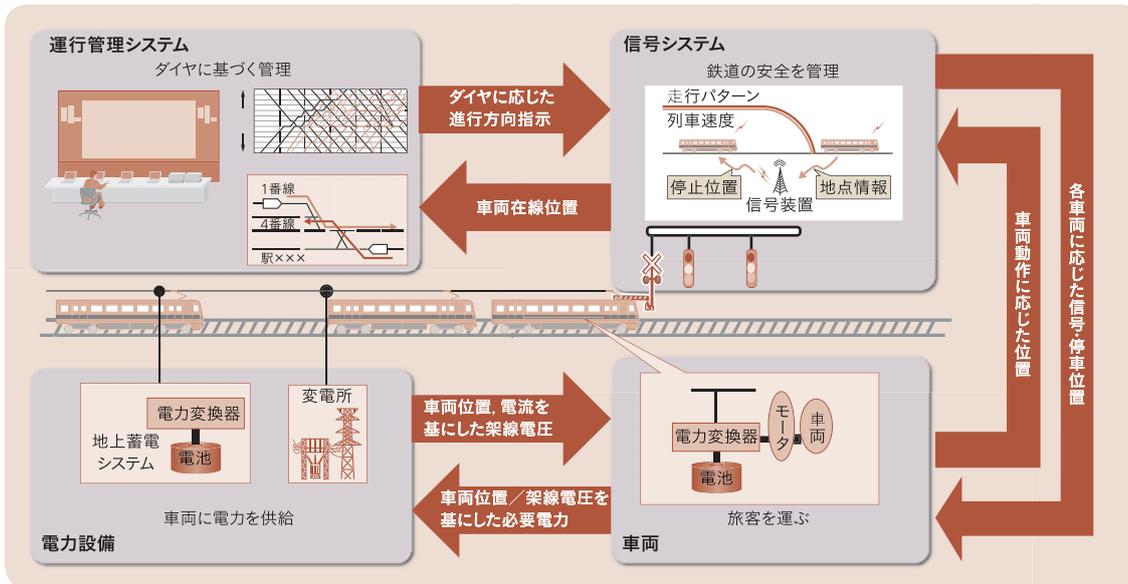
CCS-IGCC (Carbon Dioxide Capture and Storage - Integrated Coal Gasification Combined Cycle: 二酸化炭素回収機能付き石炭ガス化複合発電) のNO<sub>x</sub> (窒素酸化物) 排出量を低減し、高濃度の水素含有燃料を安定燃焼する要素技術研究を推進中である。

この技術は、同軸噴流バーナを多数組み合わせ、燃料と空気を急速に混合して均一化するとともに、火炎を浮上させてNO<sub>x</sub>の発生を抑制するものである。今後は、CCS-IGCCのほか、副生ガスとして発生する水素含有燃料への適用を図っていく。

なお、この研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」において実施している。



9 急速混合過程の数値解析例と石炭ガス化ガスの浮上火炎



10 鉄道統合評価システムのシミュレータの内部構成

## 10 鉄道統合評価システム

鉄道システム全体を構成する車両、信号、運行管理、電力などのサブシステムそれぞれの単体動作と、サブシステム間の相互作用や連携制御を模擬し、鉄道システム全体のエネルギー量を定量化するシミュレータを開発した。

このシミュレータにより、例えば、車両設備や地上設備に対する蓄電装置の導入による省エネルギー効果を定量的に把握できるようになり、蓄電装置を用いた最適な鉄道システムの提案が可能となる。また、鉄道の輸送力やエネルギーコストなど、鉄道事業全体のグローバルニーズに即したソリューションが実現する。

やすい場所でも、木や建物の三次元形状を目印としてGPSセンサーデータと融合し、高精度（誤差0.3 m以下）に自己位置を認識して目的地に到達する。

これらの技術により、茨城県つくば市で開催された自律移動ロボット実証実験「つくばチャレンジ」において、2009年と2010年の2年連続最速完走を達成した。また、2011年6月より、この成果を基に同市のモビリティロボット実験特区に参画し、より広域な歩道での実証実験を開始している。

今後は、さまざまな環境や路面条件での自律走行機能の評価、搭乗者や歩行者・自転車との親和性評価、社会的実用性・有効性の評価を行い、安心・安全な次世代交通システムの実用化をめざしていく。

## 11 搭乗型移動支援ロボットの自律走行技術実証実験

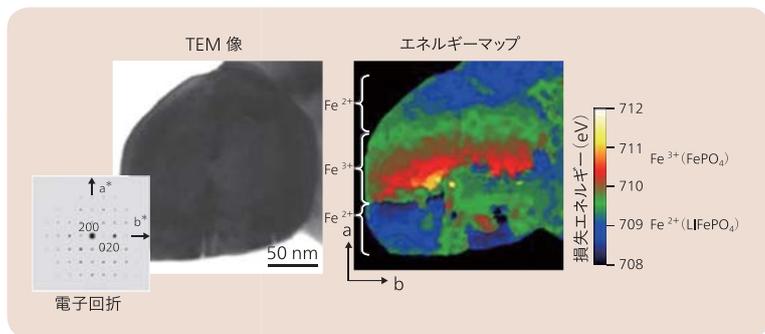
高齢者などの交通弱者の安心で安全な移動を支援するため、歩行者や自転車の混在する歩道で運転支援や自律走行を行う搭乗型移動支援ロボットを開発した。主な特徴は、以下のとおりである。

(1) レーザ距離センサーとステレオカメラにより、歩行者、自転車、50 mm以上の路面段差など、走行の障害となる対象を検出する。広い場所ではその対象から離れたところを安全かつ迅速に走行し、車止めの間など狭い場所では低速で安全にすり抜ける。

(2) 高い木や建物の近くなどGPS (Global Positioning System) センサーの誤差が大きくなり

項目	仕様
定員	1名(前乗り)
車両重量	200 kg
サイズ	L:1,494×W:698×H:1,627 mm
車高	150 mm
タイヤサイズ	前輪 径:254 mm 幅:85 mm 後輪 径:280 mm 幅:75 mm
最大速度	手動時:9.5 km/h 自律時:6 km/h
ブレーキ	主制動:モータ回生ブレーキ 駐車用:電磁ブレーキ
操作装置	ジョイスティック
バッテリー	リチウムイオン
出力	0.5 kW

11 つくばモビリティロボット実験特区で実証実験中の搭乗型移動支援ロボット



12 リチウムイオン電池正極材における二次元価数評価

### 12 リチウムイオン電池正極材における リチウムイオン移動機構の解析技術

リチウムイオン電池の正極材において、ナノメートル領域でのリチウムイオンの移動機構を解析する手法として、遷移金属の価数状態を二次元で評価する技術を開発した。

この技術は、TEM (Transmission Electron Microscopy: 透過電子顕微鏡) 法とEELS (Electron Energy-Loss Spectroscopy: 電子エネルギー損失分光) 法を用いて遷移金属の損失エネルギーを測定することにより、リチウムイオンの挿入・脱離に伴って電荷補償される遷移金属の価数状態を評価することを特徴とする。今回、オリビン型の結晶構造を有するリン酸鉄リチウムを対象として、鉄の価数変化からリチウムイオンの挿入・脱離メカニズムを明らかにした。

今後、この技術を用いて正極材の新規開発や劣化メカニズム解明などに貢献していく。

なお、この成果は、東京大学との共同研究によるものである。

### 13 リアルタイム三次元超音波探傷技術

金属などの工業用部材を切断することなく、超音波によってその内部の状態をリアルタイムに三次元画像で表示する超音波探傷技術を開発した。

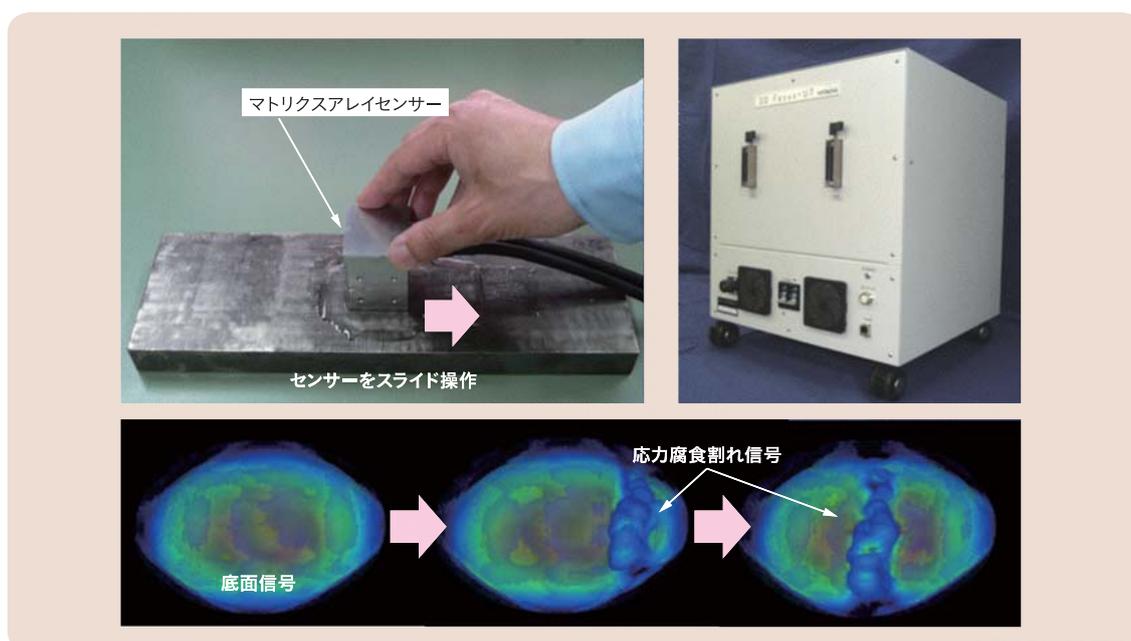
この技術は、マトリクスアレイセンサーで生成される微細で高強度の超音波ビームを用い、データ収録から三次元画像表示までを毎秒5フレームという速さで処理する。これにより、従来の断面画像で検査する手法よりも検査精度や作業効率が向上する。

今後、開発した技術を発電プラントや鉄道車両などの保守・検査作業に適用し、より安全で安心できる社会インフラシステムの運営に貢献していく。

### 14 建設機械向けオーバービューモニタシステム

建設機械に複数のカメラを搭載し、それらの合成画像を運転席に設置したモニタに表示することで、オペレータの周囲安全を支援するオーバービューモニタシステムを開発した。日立建機株式会社より製品化する予定であり、主な特徴は以下のとおりである。

(1) 建設機械の前後左右に搭載された複数のカメラ



13 応力腐食割れを付与した金属試験体(板厚23 mmのニッケル基合金)を探傷している様子(左上)、超音波送受信装置の外観(右上)、センサーのスライド操作に伴って変化する三次元探傷画像(下)



14 建設機械向けオーバービューモニタシステム

ラ画像を変換・合成し、建設機械を中心に上空から見下ろした映像を運転席モニタに表示する。

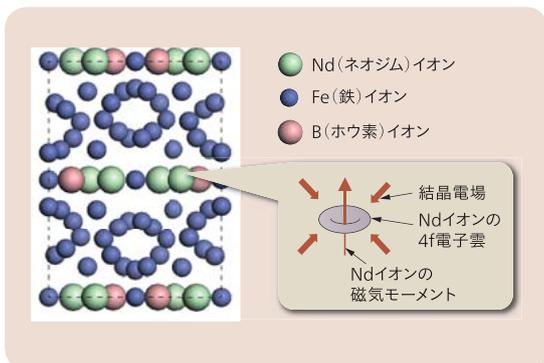
(2) 建設機械の近傍だけでなく、より広い範囲を監視する必要がある建設機械のニーズに合わせ、ズーム表示とワイド表示をオペレータの操作で切り替えられるようにした。

今後も、建設機械の稼働現場における作業安全性の向上に貢献していく。

### 15 第一原理計算によるネオジム磁石の磁性解析技術

ネオジム磁石の磁性向上の設計指針を得ることを目的に、第一原理計算による磁性解析技術を開発した。

この技術は、ネオジム磁石の磁性に大きく影響を与えるネオジムイオン内の4f電子に働く結晶電場を詳細に求めることで、ネオジム磁石の磁性を理論的に評価することを可能としている。ネオジム磁石は、ハイブリッド自動車などの駆動用モータ材料として多用されているが、高温環境下での磁性劣化を防ぐため、希少元素のジスプロシウムが添加されている。



15 ネオジム磁石の結晶構造とネオジムイオンの磁気モーメント

今後は、開発した技術を用いて、ジスプロシウムを使わない次世代高性能磁石の設計開発に貢献していく。

### 16 3段マルチフォトンエミッション構造を用いた高効率白色OLED

水銀フリー、低消費電力の環境光源として期待される白色OLED (Organic Light-emitting Diode) の高効率化には、OLED単体の発光効率と、内部で発光した光を空気層に取り出す比で定義される光取り出し効率の向上が求められている。

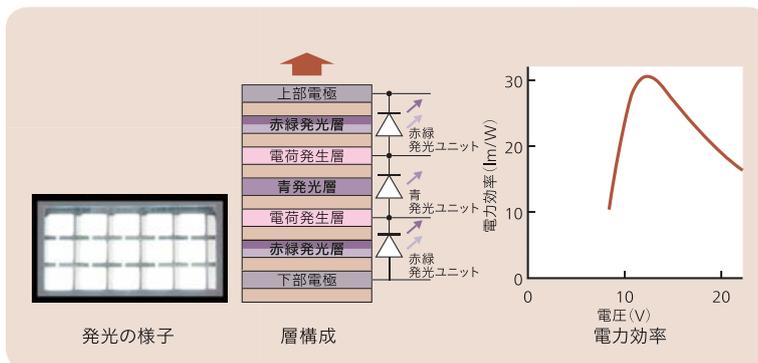
今回、赤、緑、青発光材料に高効率燐(りん)光材料を用いて、白色OLEDの発光効率を向上させた。同素子では、白色光の調色を容易にする赤緑発光ユニットと高効率青発光ユニットを積層させた3段マルチフォトンエミッション構造を用い、ピーク効率30 lm/Wの良好な特性を得ている。

今後、白色OLEDの駆動電圧の低電圧化、光取り出し効率の向上を図り、LED (Light-emitting Diode) 照明より高い効率をめざしていく。

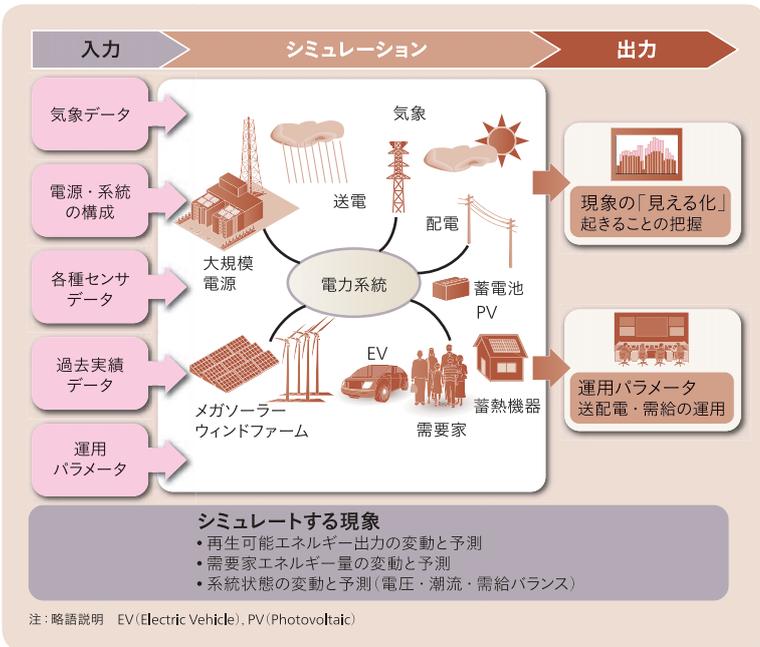
### 17 スマートグリッドシミュレータ

再生可能エネルギーの連系増大などによるスマートグリッド実現に向け、電力システムに対する制御機器などの導入効果を迅速に解析できるエンジニアリング環境「スマートグリッドシミュレータ」を開発した。

これは、配電系統、太陽光発電、蓄電池、需要家(電気給湯機など含む)の各要素を独立したモジュールとして実装し、相互接続して全体シミュレーションを実行するプラグアンドプレイ型モジュール統合基盤を特徴とする。これにより、モデルの拡張性と解析対象のスケラビリティを



16 3段マルチフォトンエミッション構造を用いた高効率白色OLED



17 スマートグリッドシミュレータの概要

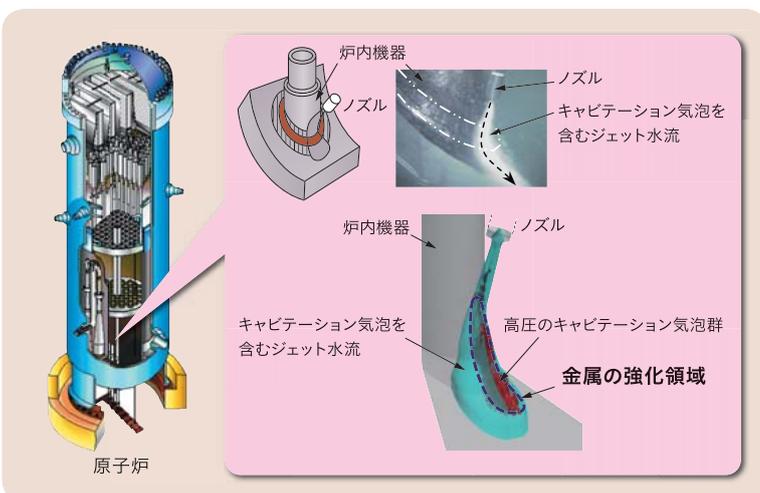
現し、ソリューション開発と並行した段階的な機能拡張を可能とした。これまでに、太陽光発電地産地消のための電気給湯機群制御、電力系統貢献の電気自動車充電制御、配電電圧制御のプロトタイプ開発などに適用している。

今後も機器や制御機能のモデルを拡充し、ソリューションの開発加速やタイムリーな提案に貢献していく。

### 18 ウォータージェットピーニング解析評価技術

ジェット水流で金属を強化し、金属のひび割れを防止するウォータージェットピーニングの性能解析技術を開発した。

これは、キャビテーション気泡を含むジェット水流の非定常な振る舞いを、気泡流モデルを用い



18 ウォータージェットピーニングの性能予測に関する解析例

た独自開発の流体解析コードで解析し、応力解析コードと関係させることで、これまで実験でしか評価できなかったウォータージェットピーニングの金属の強化領域の予測を可能とするものである。

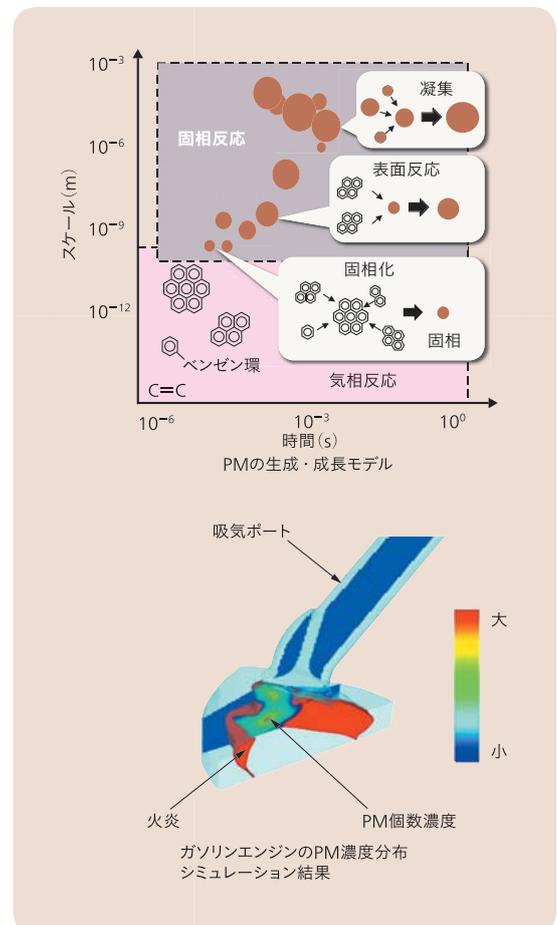
今後は、この技術をウォータージェットピーニングの装置設計や施工条件設定に活用し、原子力発電所の炉内機器の長寿命化工事などの効率化を図っていく。

### 19 燃焼に伴う粒子状物質の生成予測シミュレーション技術

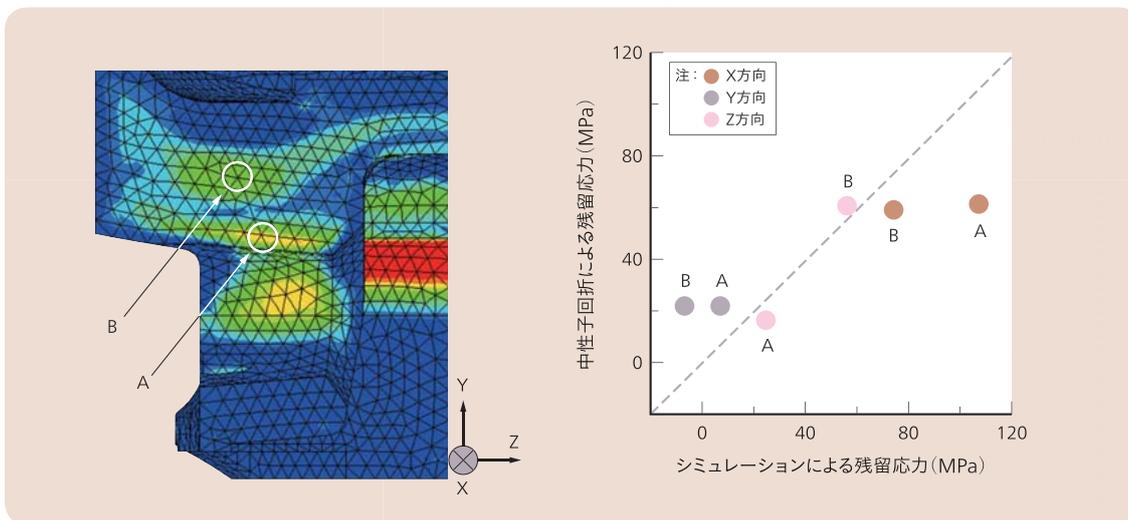
燃焼に伴って生じるPM (Particulate Matter : 粒子状物質) を予測するシミュレーション技術を開発した。

燃焼機器の排ガスに含まれるPMは大気汚染の原因物質の一つであり、排出量を現行比 $\frac{1}{10}$ 以下とする厳しい排気規制が導入される見込みである。PMは燃料の不完全燃焼によって生じ、その生成量は燃焼場の燃料濃度分布や温度分布、ガス組成に強く依存する。

従来のシミュレーションでは、PMの生成量を半経験則に基づいたモデルで求めていたため、扱



19 PM生成モデル(上)とシミュレーション結果(下)



20 シミュレーションによる応力分布 (左), 中性子回折とシミュレーションによる残留応力の比較 (右)

える濃度範囲やガス組成に制約があった。今回、気体燃料が固体化して成長する化学反応過程を詳しくモデル化し、ガス流動や燃料の蒸発、混合を扱う三次元熱流体シミュレーションと統合した。これにより、燃料と空気の混合からPMの生成までを一貫してシミュレーションする技術を構築することができた。開発した技術は、今後の規制強化に伴って課題となる低濃度のPM量を高精度で解析することが可能である。また、ガソリンやアルコール、天然ガスといった多様な燃料の燃焼に対しても容易に適用できる。

今後、この技術を活用し、自動車用エンジンをはじめとするさまざまな燃焼機器の排ガスクリーン化に寄与していく。

### 20 J-PARCの中性子活用によるエンジンピストンの残留応力評価

2009年に稼働したパルス中性子源であるJ-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex: 大強度陽子加速器施設) をいち早く活用し、自動車エンジン用ピストンの熱処理で発生する残留応力を実測した。熱シミュレーションによる計算結果とほぼ一致することから、シミュレーションが実機に適用できることを実証している。

今回、格子定数による歪(ひずみ)み解析技術の開発と併せて、従来、評価が困難であったアルミニウム鋳造品内部の残留応力を高い精度(誤差±3 MPa)で評価することが可能となった。

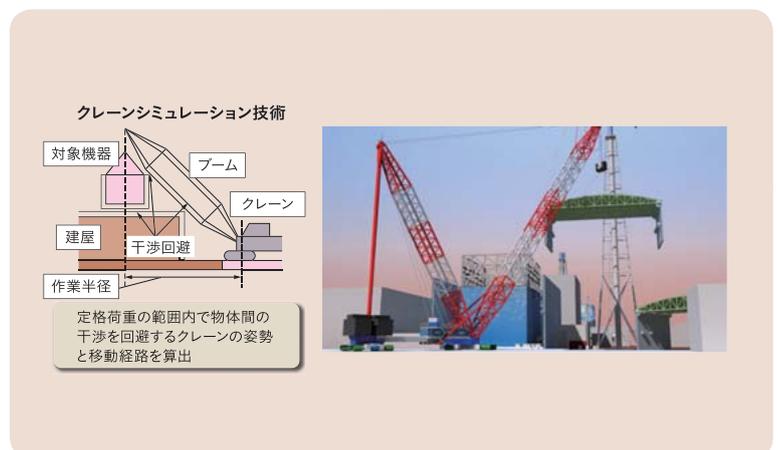
今後は、自動車部品の溶接部や予寿命評価に適用していく予定である。

### 21 プラント建設向けクレーンシミュレーションの福島第一原子力発電所復旧への応用

プラント建設向けクレーンシミュレーションは、原子力プラントの建設計画時に、クレーンによる大型製品の搬入作業を三次元CAD (Computer-aided Design) 上でシミュレーションすることで、干渉チェックや揚重経路の自動算出を行うものである。

今回、東京電力株式会社福島第一原子力発電所の復旧にこの技術を適用した。この対応では、特殊な作業環境を考慮した、従来以上に綿密な工事計画を迅速に検討する必要がある。現地の状況をCAD上に再現したうえでこの技術を適用し、工事計画の高精度かつ効率的な立案に寄与した。

今後は、現場状況の時系列的な変化をCAD上に集積することで、より確実かつ安全に実施可能な工事計画の立案を支援する。



21 クレーンシミュレーション結果の可視化例