技術成果の総覧 Technological Achievements of the Year

研　究 Research and Development

研究開発センター/ソリューション開発センター/生産技術センター/IoTテクノロジーセンター/インダストリアルICTセキュリティセンター

研究開発部門は，人々の夢をかなえ，社会を変える商品やサービスを創生することを目指して，新規事業の種となり基幹事業を差異化するコア技術の研究開発に取り組んでいます。

電子デバイス分野では，機械学習技術を応用し，半導体製造工程の品質検査結果と処理装置の履歴から，不良発生状況の可視化と不良発生装置の推定を自動で行う歩留り解析支援システム“歩留新聞”を開発しました。情報通信分野では，ドローンやロボットの自律移動など，周囲の物体までの高精度な距離情報が必要になる応用において，単眼カメラでカラー画像と距離情報を同時に取得できる，カラー開口撮像技術を開発しました。社会インフラ分野では，材料の内部損傷などから発生する弾性波をセンサーで検知し分析することにより，構造物内部のひび割れや損傷の位置を高い精度で求められる，非破壊センシング技術を開発しました。生産技術分野では，車両のアイドリングストップや鉄道・産業機器の回生電力利用などでの適用範囲をより拡大するため，従来に比べエネルギー量や入出力性能を高めた10 Ahリチウムイオン二次電池SCiB™セル用に，量産化で必須となる電極と外部端子の接続技術を開発しました。ソフトウェア分野では，膨大なセンシングデータなどを高速かつ高効率に格納／検索するKVS (Key-Value Store) ベースのスケールアウト型データベース“GridDB”において，SQL (Structured Query Language) の分散並列処理を最適化した新たな方式を開発し，従来比で10倍以上の高速処理を実現しました。

ハイライト編のp.5，7，10，24，25，30，31，33に関連記事掲載。

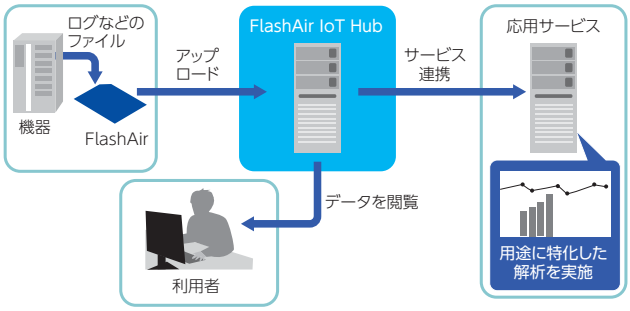
研究開発センター　所長　堀　　修

1. 情報通信

様々な機器のIoT化を可能にする“FlashAir IoT Hub”

ネットワークに接続されていない既存機器を，簡単にクラウドシステムに接続し，クラウドシステムを介して遠隔から監視，制御できるIoT (Internet of Things) 化技術を開発し，これを基にしたオンラインサービス“FlashAir IoT Hub”を開始した。

無線LAN搭載SDHCメモリーカード FlashAirを機器のSDカードスロットに挿入することで，記録された機器のログなどのファイルを自動的にクラウドシステムへアップロードできる。アップロードされたデータの解析結果はWebブラウザーで閲覧できる。また，利用者がRFC (Request for Comments) 6749規格などの標準技術を用いて自由に応用できる仕組みを構築した。

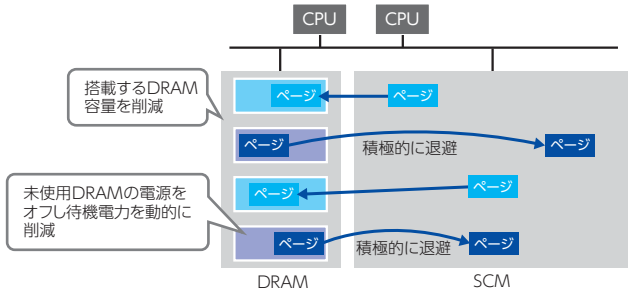


FlashAir IoT Hubを使った既存機器データの取得と活用
Utilization of stand-alone device data obtained by "FlashAir IoT Hub" Web service

高速不揮発メモリーを活用したメモリーシステム省電力化技術

実用化が期待される大容量の高速不揮発メモリーであるストレージクラスメモリー(SCM) を搭載した次世代サーバーシステムの省電力化技術を開発した。

従来，データセンターで大規模データをインメモリー処理するには，サーバーに搭載するDRAM容量を増やす必要があった。これに対して，システム上に低待機電力で高速なSCMを混載させ，DRAM上のデータを積極的にSCMに退避させることでDRAM容量を削減するメモリー省電力制御方式を考案した。シミュレーションの結果，大容量DRAMを用いたシステムと同等の性能を維持しつつ省電力化が可能なことを確認した。

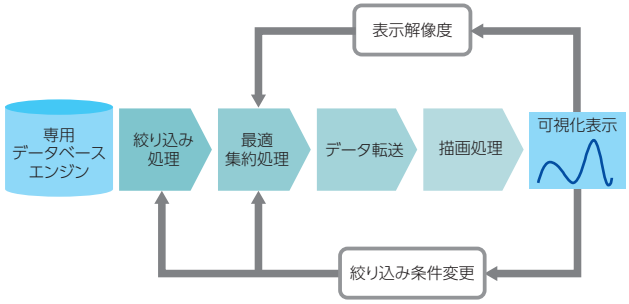


SCM/DRAM搭載メモリー搭載サーバーの省電力制御方式
Low-power virtual memory system for next-generation server systems reducing dynamic random access memory (DRAM) size by use of storage-class memory (SCM)

大規模データ可視化プラットフォーム

高度情報化社会の進展に伴い，様々なデータを収集し活用するビジネスが大きく発展した。今回，数億件のデータのトレンドや背後に潜む問題点をすばやく直感的に把握するため，データの絞り込み条件を変えながらインタラクティブに可視化できるビッグデータ可視化プラットフォーム Polyspector™ を開発した。

表示画面の解像度がデータ数よりはるかに少ないことを利用し，画面上の同じ位置にマップされる複数のデータを専用データベースエンジンで最適に集約する。一般のパソコンでも数億件のデータを，全体の俯瞰（ふかん）表示から任意な絞り込み条件に対応した詳細表示まで，快適なレスポンスで可視化できる。



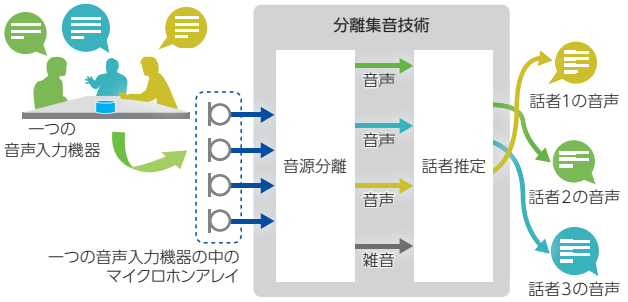
Polyspector™ の処理フロー
Polyspector™ interactive big data visualization platform

多チャネル分離集音技術

複数の人が同時に話しても，会話と同時に正確に聞き分けて，話者ごとに集音できる複数のマイクロホンによる分離集音技術を開発した。フィルターを直接学習せず，空間特性を逐次学習することで高速，高精度に音声を分離する音源分離法と，分離結果から話者の方向を推定し，話者どうしの相対的な位置関係を高速に判定する話者推定法により，従来必要であった事前の学習や設定が不要な分離集音処理を実現した。

会議や接客会話のテキスト化や自動同時通訳などに利用でき，実証実験による評価を進め製品化を目指す。

この研究の一部は，大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 小野順貴准教授との共同研究（2011年4月~2015年3月）の成果を基にしている。

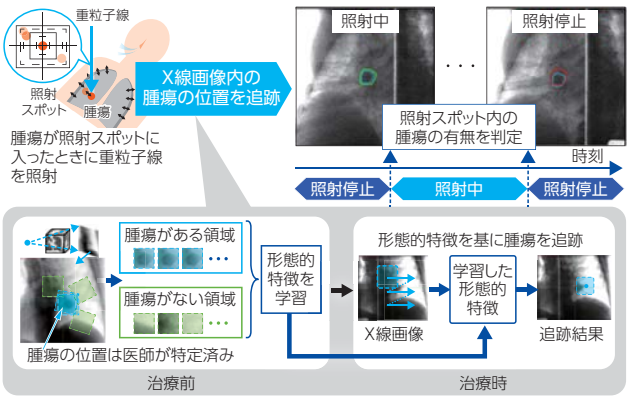


実時間分離集音技術の構成
Configuration of real-time voice separation and capture system

重粒子線治療装置 マーカーレス腫瘍追跡技術

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構と共同で，重粒子線治療装置の腫瘍追跡技術を開発した。

肺がんなどに重粒子線治療を行う場合，呼吸で腫瘍が動くため，照射スポットに入ったときだけ重粒子線を照射する必要がある。呼吸センサーでは高精度の監視が難しく，腫瘍付近にマーカーを埋め込みX線動画で追跡する方法では患者の負担が大きい。そこで，治療前に撮影したCT（コンピューター断層撮影）画像から腫瘍がある領域とない領域の形態的特徴を学習し，治療時はこれを基にX線動画内の腫瘍の位置を追跡することで，マーカーレスで高精度な腫瘍追跡を実現した。



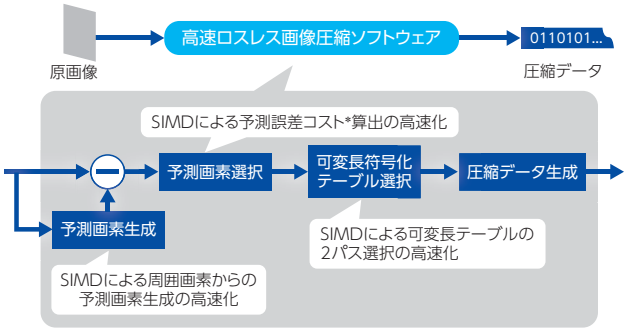
画像提供：量子科学技術研究開発機構

マーカーレス腫瘍追跡技術
Technology for tumor tracking without need of marker at time of heavy-ion irradiation

高速ロスレス画像圧縮ソフトウェア技術

画質劣化のない画像の可逆圧縮を高速に実現するソフトウェア技術を開発した。主要プロセッサーで採用されているSIMD（Single Instruction Multiple Data）命令の演算能力を最大限に引き出すため，周囲画素からの画素予測や可変長符号化テーブル選択などを，画素単位で並列実行可能な独自アルゴリズムにより，JPEG（Joint Photographic Experts Group）2000エンコーダーに比べ約70倍高速なロスレス画像圧縮を実現した。

圧縮による画質劣化が許容されないデジタルアーカイブや医用画像などの効率的な保存，伝送が可能になる。高速画像圧縮・伸長ライブラリーCVNucleus™シリーズとして東芝情報システム（株）から製品化された。



*差分絶対値和（SAD）で定義

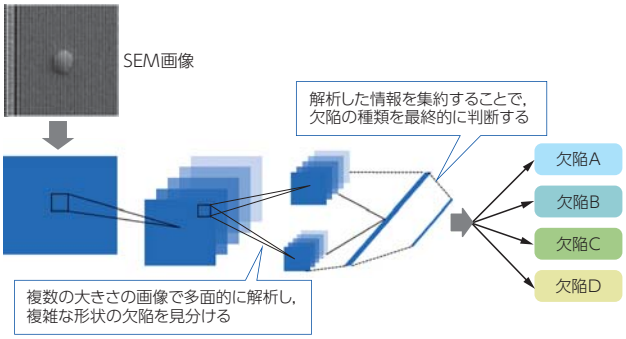
高速ロスレス画像圧縮のブロック図

Block diagram of high-speed lossless image compression

深層学習技術を用いたSEM画像の欠陥分類技術

走査型電子顕微鏡（SEM）により撮影した製品の欠陥画像を，欠陥の種類ごとに分類する技術を開発した。

製造工程が複雑になるほど発生する欠陥の種類は多様化し，典型的な機械学習技術では正確な分類が難しかった。そこで欠陥の詳細な分類に，ディープラーニング（深層学習）技術を導入した。一般に，深層学習技術では膨大なデータと分類すべき種類をひも付けた正解ラベルが必要であった。今回，複雑な形状を見分ける独自のモデル表現と，誤ったラベルが混在しても頑健に学習する手法を導入したことで，正解ラベルの準備コストを抑制しても高い分類性能が維持できることを確認した。



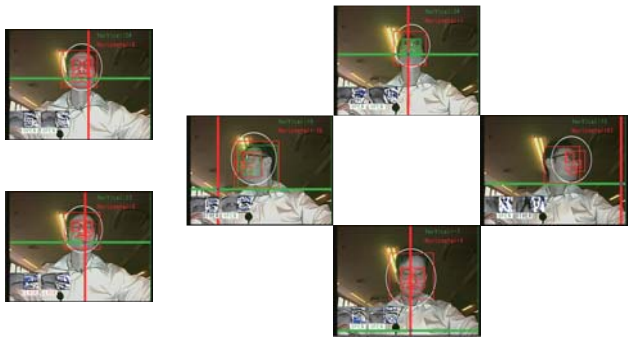
深層学習技術による欠陥画像の分類フロー

Classification of defect images acquired by scanning electron microscope (SEM) in inspection process of product manufacturing using deep learning technology

ドライバー顔画像認識技術

わき見や居眠りといったドライバーの状態を検知することを目的に，車内の照明環境の変化に対応したドライバー顔画像認識技術を開発した。近赤外線LED（発光ダイオード）を発光させて撮影した画像を入力とし，輝度勾配方向の共起ヒストグラムに基づくCoHOG（Co-occurrence Histograms of Oriented Gradients）特徴量を用いた顔部品検出及び目の開閉状態検知と，顔部品位置から顔方向の推定を行う機能を実現した。

この技術は，東芝アルパイン・オートモティブテクノロジー（株）が開発した小型車載カメラモジュール（画像認識プロセッサーVisconti™2 TMPV7502XBG搭載）のミドルウェアとして実装され，製品化された。



目の開閉状態検知と顔方向推定の結果画像

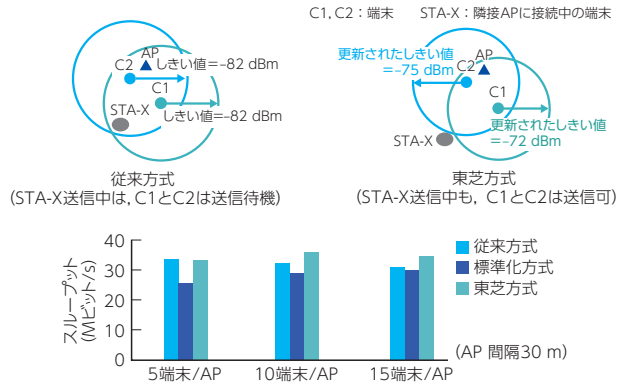
Results of driver's eyes open/closed identification and face direction estimation

関係論文：東芝レビュー．71，2，2016，p.11－14.

無線LAN接続のスループットを改善する動的感度制御技術

無線LAN端末やアクセスポイント（AP）の増加に伴いネットワークの高密度化が進み，隣接APの電波にも反応する従来端末の待機機能では，電波の利用機会を逸する可能性が高まっている。次世代規格の標準化会議では，不要な待機を減らすように評価用しきい値を調整する動的感度制御（DSC）が検討されているが，端末が接続中のAPの電波強度を基にしきい値を設定すると，従来方式に比べ性能が劣化する場合があった。

そこで，端末と同じAPに接続中で電波が最弱の他端末を受信可能な範囲内で，計測した通信ロス率の変化に基づいてしきい値を適応的に制御するDSC技術を開発した。これにより，各端末の送信が同時にできる空間再利用効果で，スループットを従来方式以上に改善できる。



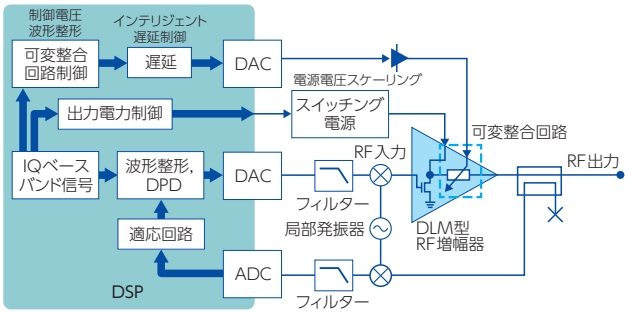
開発したDSC技術（東芝方式）の動作概念とスループットの改善結果

Schematic diagram and results of throughput improvement of dynamic sensitivity control (DSC) technology for adaptively controlling clear channel assessment thresholds

動的負荷変調型RF電力増幅器の性能向上

簡易な実装で従来に比べ電力効率を改善可能な，動的負荷変調（DLM）型高周波（RF）電力増幅器を開発した。瞬時出力電力に応じて可変整合回路の特性を動的に調整するDLMにより，ピーク対平均電力比が高い4G，5G（第4，第5世代移動通信システム）などの信号に対しても高い電力効率を実現できる。

可変整合回路の制御電圧と送信信号のタイミングを一致させるインテリジェント遅延制御機能，電力効率が最大となるように制御電圧波形を最適にする波形整形機能，及び4Gや5Gでは基地局と端末の距離に応じて適応的に送信電力が制御されることに対応した電源電圧スケーリング機能により，広い送信電力可変レンジで従来方式に比べて最大50％の電力効率改善に成功した。



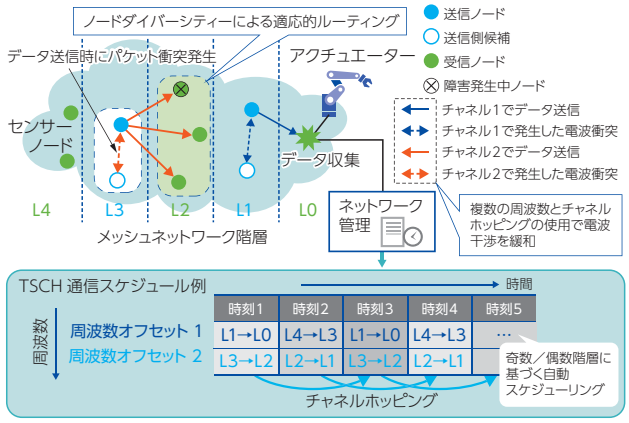
DLM型RF増幅器のブロック図

Block diagram of radio frequency (RF) power amplifier (PA) based on dynamic load modulation (DLM)

自動スケジューリングによる無線メッシュネットワーク技術

時刻同期チャネルホッピング（TSCH）方式は，無線による産業用監視･制御分野の標準規格に採用されているが，その効果はスケジューラーに大きく依存する。既存のスケジューラーは，多大なシグナリングコストや，ノードやリンクの障害時の長大なスケジュール修正時間を要していた。

今回，TSCHのチャネルダイバーシティーを，適応的ルーティングによるノードダイバーシティーで補強する技術を開発した。奇数／偶数階層に基づく自動スケジューリングにより，シグナリングコストが低減されるとともに，スケジューリング時間が不要になった。その結果，瞬時に自動修復が可能になり，産業用途で通信信頼性99.999％及びパケット伝送遅延50 ms以下を達成した。



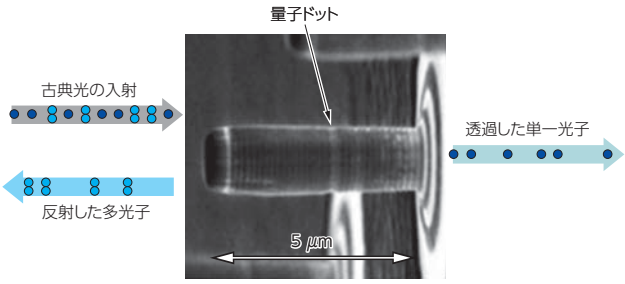
産業用無線メッシュネットワークの構成例

Example of industrial wireless mesh network using autonomous scheduling

半導体フォトンソーター

量子コンピューターは，大規模なデータベースの検索や，機械学習，最適解の算出などを劇的に高速化すると期待されている。その候補である単一フォトン（光子）どうしを強く相互作用させる量子ゲートの実現に必要な，半導体フォトンソーターを開発した。

フォトンソーターは，単一の量子ドット（ナノスケールサイズの半導体結晶）が半導体多層膜ミラー間に形成された光共振器構造で，入射する光子が複数（多光子）の場合は反射し，単一の場合は透過する特徴がある。この光子数に対する非線形な反応は，量子ビットの担い手である光子の間に強い相互作用が生じていることを示し，光子を利用した量子ゲートの実現に向けて不可欠な機能となる。



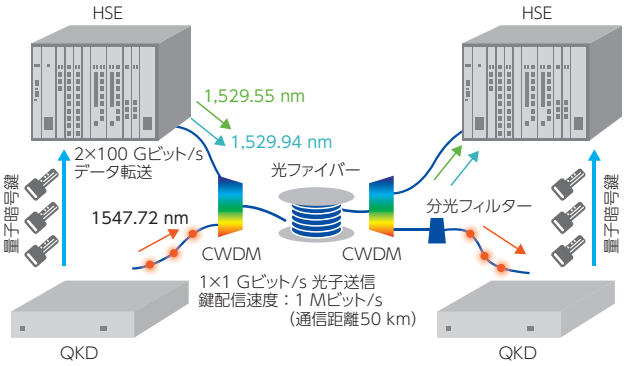
半導体フォトンソーターのSEM像

SEM image of semiconductor photon sorter incorporating single quantum dot capable of sorting incident light into different directions according to number of photons

量子暗号技術を利用した超広帯域データ送信

量子暗号鍵専用の光ファイバーを用いることなく，暗号鍵とともに大量のデータを伝送する技術を開発した。光子を用いた量子暗号鍵配信（QKD）は，鍵の信号強度が通常のデータ通信と比べ非常に弱く，新たな専用ファイバーが必要と考えられていた。今回，波長分割多重（WDM）技術を最適化することで，広く普及しつつある100 Gビット/sの光伝送フォーマットのデータと暗号鍵を，同一の光ファイバーで伝送することに成功した。

量子暗号鍵で暗号化した200 Gビット/sのデータを100 km先に送れた他，鍵配信速度も1 Mビット/s（通信距離50 km）と早く，鍵の更新頻度を高められる。これにより，既存の光バックボーンへ量子暗号を適用できると期待される。



HSE：高速暗号化装置　CWDM：Coarse WDM

超広帯域データ伝送実験の構成

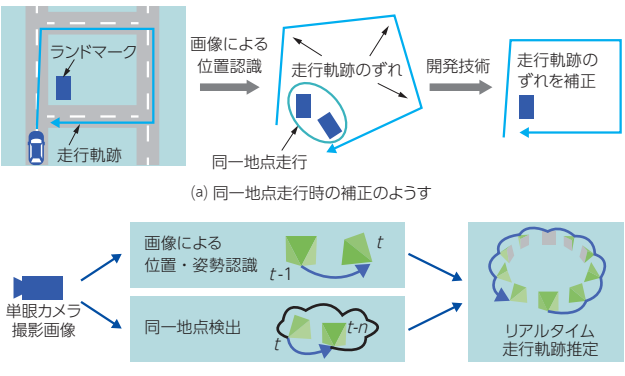
Configuration of ultrahigh-bandwidth quantum secured data transmission using quantum key distribution (QKD) system multiplexed with pair of high-speed encryptors (HSEs)

車載単眼カメラによる走行軌跡推定技術

自動運転車の実現には様々な技術が求められるが，自車の走行軌跡を正しく把握することもその一つである。今回，車載単眼カメラの撮影画像からリアルタイムかつ高精度で自車の走行軌跡を推定する技術を開発した。

走行ルートの累積推定誤差を，過去に通過した地点の情報を用いて補正する技術で，走行軌跡が比較的長い場合にも適用できる。走行軌跡を短い区間に分割して補正することで，約20倍の速度で計算できるようになり，軌跡推定精度も従来技術と同程度に維持できる。

この技術は，システム構成が簡素なため，自動車の他にドローンなどへの応用も期待できる。



t：現在の画像が撮影された時刻　*t-n*：*t*より*n*だけ前の時刻

単眼カメラによる走行軌跡推定技術

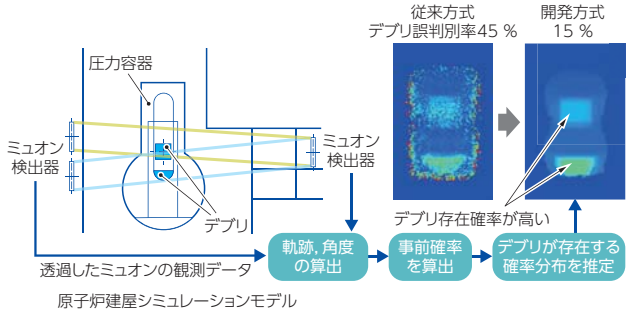
Online pose-graph optimization technology to estimate vehicle trajectory using monocular camera

核燃料デブリの位置を高精度に検出できるミュオン再構成技術

原子炉建屋内の核燃料デブリの位置を，ミュオン散乱法により外部から高精度で特定する技術を開発した。

ミュオンの進行方向は核物質を透過する際に物質ごとに固有の角度分布で散乱するため，建屋両側に配置した検出器を用いてミュオンの軌跡を観測することで，デブリの位置を推定できる。しかし，推定精度の向上には長期にわたる観測が必要であった。今回，デブリが存在する確率分布の推定に事前確率を導入し，少ないミュオン検出数からでも高精度にデブリを検出できるアルゴリズムを開発した。

この成果の一部は，経済産業省の「平成25年度廃炉・汚染水対策事業費補助金（原子炉内燃料デブリ検知技術の開発）」により得られた。



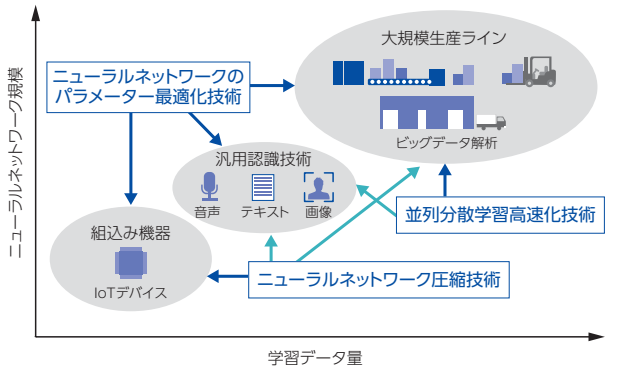
シミュレーションデータによる従来方式と開発方式のデブリ検出精度の比較

Comparison of nuclear fuel debris maps obtained by conventional and newly developed muon reconstruction algorithms using simulation data

深層学習技術の開発をサポートするソフトウェア基盤技術

ディープラーニング（深層学習）技術は，画像認識や音声認識など多分野で従来にない高い性能を達成している。一方で，複雑なニューラルネットワークや大規模なデータが必要なため，専門家による調整・学習時間や演算環境導入コストの増大など，応用先に依存しない共通の課題がある。

今回，ニューラルネットワークの学習性能を決定する，パラメーターの膨大な組合せ問題を最適化する技術や，大規模なデータやニューラルネットワークの学習を並列分散処理で高速化する技術，演算リソースに制約がある組込み機器向けのニューラルネットワーク圧縮技術など，深層学習技術の開発をサポートするソフトウェア基盤技術を開発した。



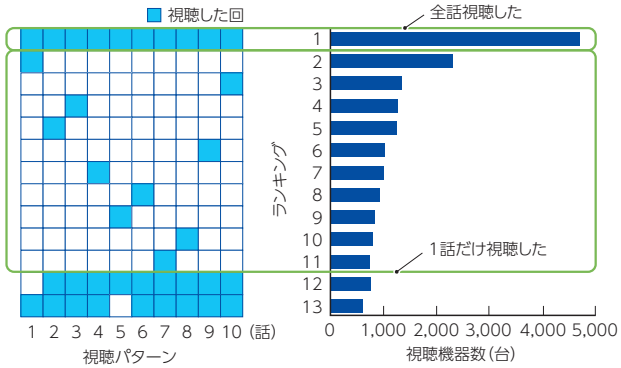
深層学習技術の課題規模と適用するソフトウェア基盤技術

Software framework of deep learning technologies corresponding to scale of problems

大規模テレビ視聴データ分析システム

全国の当社製ネットワーク対応テレビから，利用許諾を得て取得している約30万台の大規模視聴データを集計して分析するシステム“TimeOn Analytics”をクラウドサーバー上に構築した。

このシステムにより，番組のリアルタイム視聴だけでなく，タイムシフト視聴（録画再生）も含めた全国規模の視聴実態を秒単位で日々把握できる。また，アンケートや視聴内容から推計した性・年代別の視聴状況や，特定の連続番組の視聴パターンを集計して分析するなど，様々な要件に対応できる。これらの集計・分析結果は，広告主や，広告代理店，放送局などで，ビジネスに関わる判断の材料として活用することが可能である。



連続番組の視聴パターン分析結果の例

Example of result of viewing pattern analysis of serial TV program using "TimeOn Analytics" system

2. 材料デバイス・機械システム

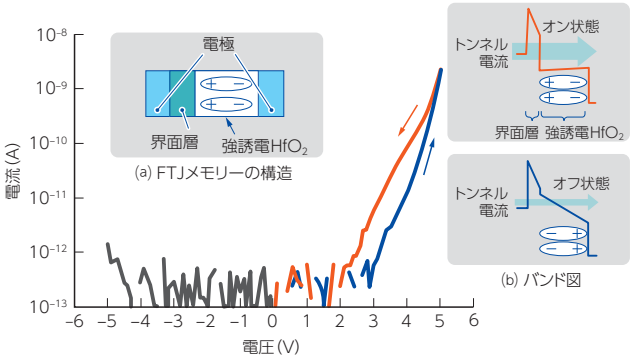
HfO_2 薄膜を用いた不揮発強誘電トンネル接合メモリー

酸化ハフニウム（HfO_2）薄膜を用いた不揮発強誘電トンネル接合（FTJ）メモリーを開発した。

FTJメモリーは，強誘電層の分極反転により電流を変調する2端子メモリーで，従来はLSIとの親和性の低い強誘電材料を用いて作製されてきた。今回，CMOS（相補型金属酸化膜半導体）にも使用されるHfO_2の結晶構造を制御して形成した強誘電HfO_2を，世界で初めて(注)FTJメモリーに適用して動作実証に成功した。

nAオーダーの低電流動作や，約100 nsの高速スイッチング，非破壊読出しなどの特長を備える一方で，スイッチング電圧が目標値に比べ高かったが，強誘電層及び界面層の薄膜化で低減可能との知見を得た。

（注）　2016年6月にSymposia on VLSI Technology and Circuitsで発表，当社調べ。



FTJメモリーのスイッチング特性と動作模式図

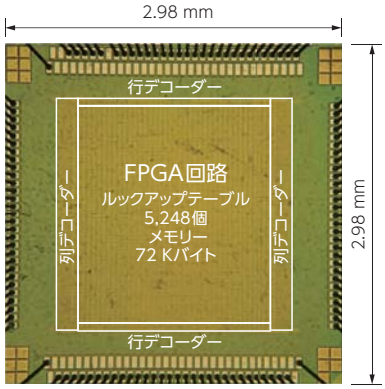
Switching characteristics and schematic diagram of structure of ferroelectric tunnel junction (FTJ) memory using hafnium oxide (HfO_2) thin film

アンチヒューズ型の不揮発ワンタイムメモリーを用いた高集積FPGA回路

カスタムLSIは，開発コストの増大により頻繁な製造が難しくなっており，チップ製造後に論理情報を書込み可能なFPGA（Field Programmable Gate Array）技術へのニーズが高まっている。しかし，従来のFPGA回路は面積が大きく論理集積度が低いという問題があった。

今回，アンチヒューズ型の不揮発ワンタイムメモリー素子を応用した高密度スイッチアレイ技術を開発し，これをスイッチ回路と代替することで小面積の不揮発FPGA回路を実現した。標準のCMOSプロセスで製造でき，65 nmプロセスで試作したチップでは，論理情報を従来の約1/2の回路面積で書込み可能で，同一プロセスにおいてもっとも高い(注)論理集積度を達成した。

（注）　2016年6月にSymposia on VLSI Technology and Circuitsで発表，当社調べ。



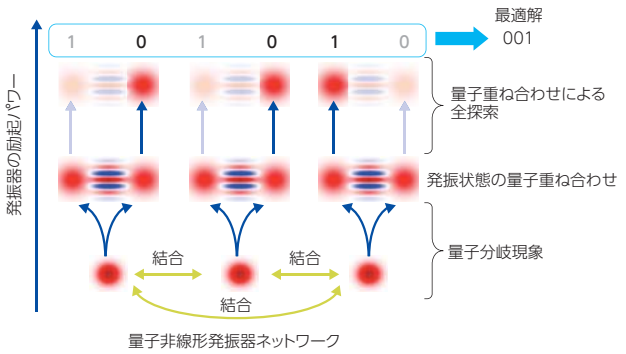
65 nmプロセスで試作した小面積不揮発FPGAチップ

Prototype small-area nonvolatile field-programmable gate array (FPGA) chip fabricated using 65 nm complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) process

組合せ最適化AIデバイス“量子分岐マシン”

様々な社会課題で現れる組合せ最適化問題は，AI（人工知能）やIoT（Internet of Things）といった分野でいっそう重要になると予測される。しかし現在の計算機で，膨大な組合せパターンから最適解を求めるのは非常に困難である。

そこで今回，膨大な数の状態を同時に持つ，量子力学的な重ね合わせの状態を利用して最適解を探索する，新しいタイプのAIデバイス“量子分岐マシン”を提案した。量子力学的な分岐現象により二つの発振状態の量子重ね合わせを生成できる量子非線形発振器をネットワーク化したもので，シミュレーションの結果，量子重ね合わせが最適解探索に有効なことを確認した。



量子分岐マシンの動作原理

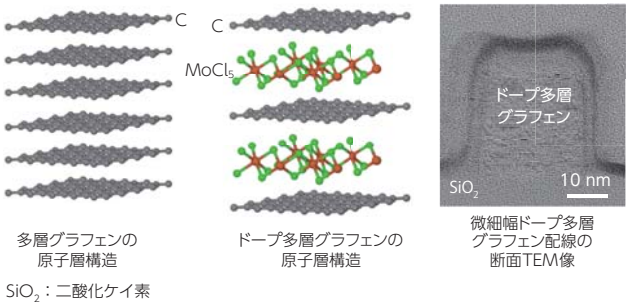
Mechanism of quantum bifurcation machine using nonlinear oscillator network

微細幅多層グラフェン配線技術

ナノ炭素（C）材料で，メモリーなどの配線材として期待される多層グラフェンを，微細幅で低抵抗化するドーピング技術を開発した。

従来，多層グラフェンを低抵抗化するためにドーパントを層間に挿入すると，微細化に伴って積層構造へのダメージやドーパントの漏出が生じるという課題があった。今回，ドーパントに五塩化モリブデン（$MoCl_5$）を用いたプロセスを開発し，これにより，微細幅（＜30 nm）した多層グラフェン配線へのドーピングを可能にし，抵抗を約70％低減した。

この研究の一部は，経済産業省及び国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」により実施した。



多層グラフェン及び層間に$MoCl_5$を挿入した多層グラフェンの原子構造と，微細幅ドープ多層グラフェン配線の断面透過型電子顕微鏡（TEM）像

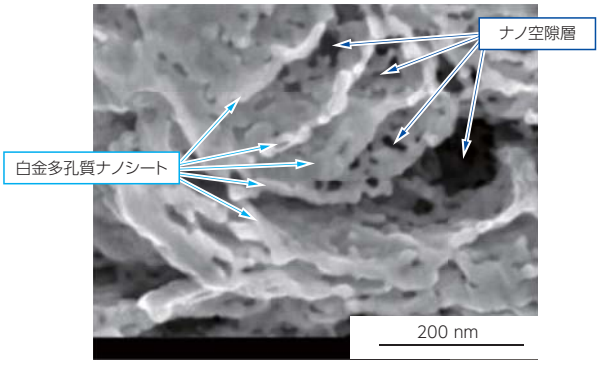
Schematic diagrams of multilayer graphene (MLG) and intercalated MLG, and cross-sectional transmission electron microscope (TEM) image of doped-MLG fine wiring

燃料電池用省白金触媒電極 M-ACLS

固体高分子形燃料電池（PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell）を搭載した燃料電池自動車（FCV）や家庭用定置型燃料電池は商品化されているが，本格的な普及には白金触媒の大幅な削減が重要である。

PEFCの省白金技術として，これまでに特異な積層構造を持つACLS（Alternating Catalyst Layer Structure）触媒電極を提案したが，今回ACLSの触媒組成とプロセスを見直し，酸素還元活性と負荷変動耐久性を大幅に改善したM-ACLS（Modified-ACLS）触媒電極の開発に成功した。現行の高活性触媒と比べ，カソードでは約1/3の0.15 mg/cm^{2}まで，アノードでは0.025 mg/cm^{2}までの省白金化が可能なことを実証した。

関係論文：東芝レビュー．71，5，2016，p.68－71.



M-ACLS触媒電極の断面走査型電子顕微鏡（SEM）写真

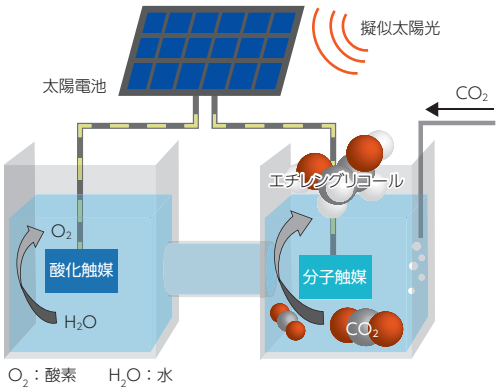
Typical cross-sectional scanning electron microscope (SEM) image of modified alternating catalyst layer structure (M-ACLS) electrode for polymer electrolyte fuel cells (PEFCs)

光で二酸化炭素をエチレングリコールに変換する光電気化学システム

太陽光で二酸化炭素（CO_2）をエチレングリコールに変換できる光電気化学システムを開発した。生成されるエチレングリコールは，ペットボトルや，ポリエステル繊維，樹脂などの原料となる汎用性の高い工業材料である。

触媒として働くイミダゾリウム塩誘導体（分子触媒）を表面に高密度に吸着させた電極に，シリコン系太陽電池を接続し，擬似太陽光を照射してエネルギーを供給した。イミダゾリウム塩誘導体がCO_2と相互作用することで，従来では実現できなかった，CO_2の多電子還元によるエチレングリコールへの直接変換が可能となり，そのエネルギー変換効率は0.48％であった。今後も，より高効率でCO_2を有価物に変換する技術を開発していく。

関係論文：東芝レビュー．71，5，2016，p.56－59.



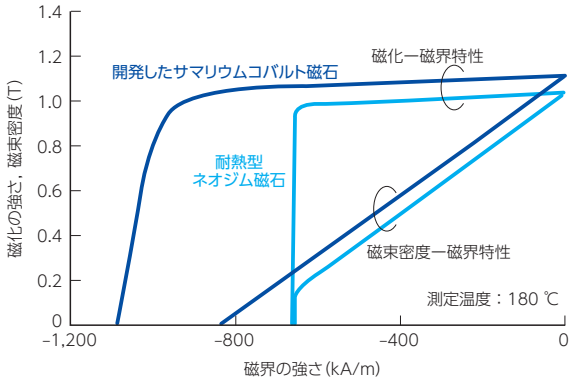
光電気化学システムの概要

Photo-electrochemical system to convert carbon dioxide into ethylene glycol

高磁力高耐熱サマリウムコバルト磁石

一般に，耐熱性が必要な用途，例えば自動車及び鉄道車両の駆動モーターや，産業用モーター，風力発電機などには，材料供給リスクが高いジスプロシウムなどの重希土類を含む耐熱型ネオジム磁石が使用されている。

今回，2012年に開発した高鉄濃度サマリウムコバルト磁石に独自の熱処理を施すことで，保磁力を30％向上させ，高耐熱モーターの実使用温度域140 ℃を超えても高い磁力を保持できる磁石を開発した。これは耐熱型ネオジム磁石を上回る性能であり，180 ℃でも優れた減磁耐性を示すことを確認した。材料の供給リスクを回避し，更にモーターの冷却システムを不要又は簡素にできるメリットがある。東芝マテリアル（株）と共同で量産技術を開発し，基本プロセスのめどを得た。



開発したサマリウムコバルト磁石と耐熱型ネオジム磁石の減磁曲線の比較

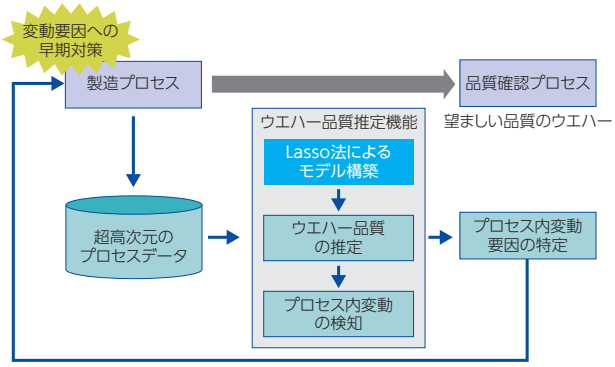
Comparison of demagnetization curves of newly developed samarium cobalt magnet and conventional heat-resistant neodymium magnet

機械学習による超高次元データからのモデル自動構築技術

製造業では，様々なセンサーデータを収集できるようになり，データの活用による生産の効率化が進んでいる。

半導体製造工程では，各プロセスのデータから完成後のウエハー品質を予測するためのモデルを作り，これを用いた推定結果からプロセス内の変動要因を特定して早期に対策することで，品質を管理している。大量の変数から成る超高次元なプロセスデータから，有効な変数を選択して自動的に予測モデルを構築できれば，人の知見に頼らずより適切なモデルが得られる。

そこで，Lasso（Least Absolute Shrinkage and Selection Operator）法をベースとした機械学習で，超高次元データからモデルを自動構築する技術を開発した。



機械学習を用いた品質予測モデルの製造工程への適用例

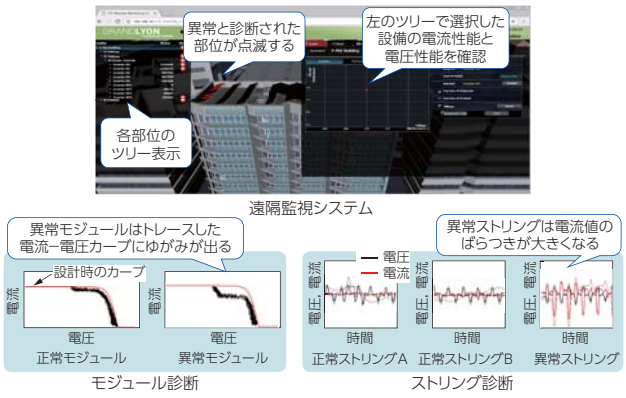
Example of application of quality prediction model using machine learning to semiconductor manufacturing processes

フランス リヨン市でのスマートコミュニティ実証事業向けPVデータ分析技術

近年，多くの太陽光発電（PV）システムが建設されているが，気象条件により発電量が急激に変動するため，故障の把握が難しい点が保守管理上の問題になっている。

フランス リヨン市での実証事業向けPVシステムには，各モジュール，それを直列接続したストリング，及びそれを並列接続したアレイのそれぞれに電流・電圧センサーが設置されている。センサーデータにデータマイニング技術を適用し，正常時に学習した発電性能モデルを用いて，気象条件が変動する場合でも各部位の10％程度の性能低下が数日続くと，それを検出できるようになった。

この研究は，NEDOの委託事業「フランス・リヨン再開発地域におけるスマートコミュニティ実証事業」の支援で行われた。



PVシステムの遠隔監視画面と故障診断用に処理されたセンサーデータ

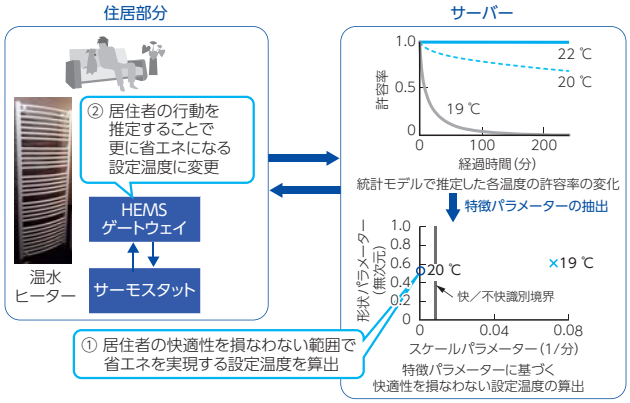
Remote monitoring display and processed sensor data for fault diagnosis of photovoltaic system at Lyon Smart Community Project in Lyon, France

フランス リヨン市でのPEB実証実験における家庭向け省エネ制御技術

フランス リヨン市でPEB（Positive Energy Building）の実証実験を進めており，実証ビルの住居部分に，当社が開発したHEMS（Home Energy Management System）であるOMOTENASHI HEMS™を導入した。このHEMSは，居住者の快適性を損なわない範囲で省エネを実現する設定温度を算出し，居住者の行動を推定することで更に省エネになる設定温度に変更する自動制御を行う。

2016年2~3月の実験で，この制御技術により暖房の消費エネルギーを19％削減できることを確認した。

この研究は，NEDOの委託事業「フランス・リヨン再開発地域におけるスマートコミュニティ実証事業」の支援で行われた。



居住者の快適性を損なわない範囲で省エネを実現する設定温度の算出と居住者行動推定による暖房制御

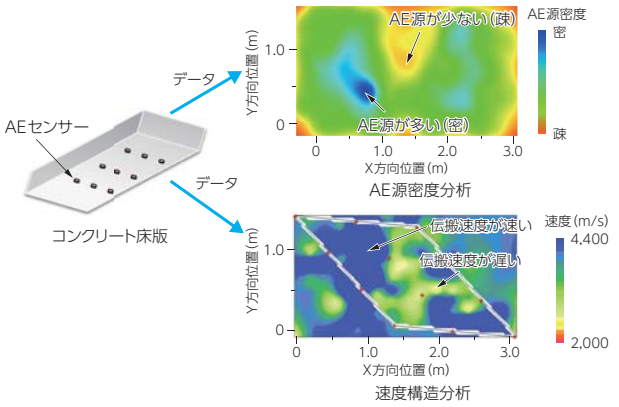
Home energy management system (HEMS) to calculate acceptable energy-saving temperature and automatically control heater based on estimation of residents' behavior

コンクリート構造物の非破壊センシング技術

橋梁（きょうりょう）などのコンクリート構造物の内部劣化を，センサーデータに基づき精度良く診断する技術を開発した。材料の内部損傷などから発生する弾性波（AE波）を利用する。構造物に設置したAEセンサーで捉えたデータを分析して，AE源密度や伝搬速度の分布を求め，コンクリート内部のひび割れや損傷の位置を高い精度で得ることができる。

実証試験として，供用中の道路橋梁にセンサーを設置して，データを取得し分析した。後日，この橋梁の対象部材であるコンクリート床版のサンプル抜取り調査を行い，分析結果が妥当であることを確認した。

この成果の一部は，NEDOの委託研究業務で得られたものである。



センサー設置のようすと分析結果の例

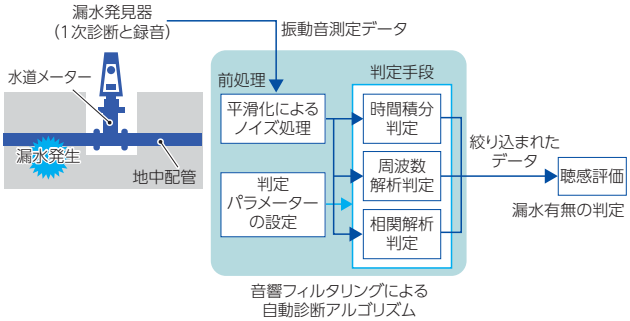
Setup of acoustic emission (AE) sensors on concrete floor slab and examples of analysis results

音響フィルタリングによる水道配管の漏水自動診断アルゴリズム

現行の漏水発見器を用いた給水管の漏水調査では，漏水によって発生する音に着目している。漏水箇所から配管に伝わる振動音の大きさで1次診断し，更に録音した振動音を聴感評価することで漏水の有無を判定する。そのため，人の聴感に頼る判定作業を減らして効率化することが望まれている。

そこで，音響解析と実験で漏水の音及び漏水と誤診断される音の特徴を抽出し，周波数解析や相関解析などから成る音響フィルタリング技術でデータを絞り込み，漏水の有無を効率良く診断するアルゴリズムを構築した。

聴感評価の対象となる振動音の件数を従来の1/2以下に削減し，省力化できる見通しが得られた。



音響フィルタリング技術による給水管からの漏水有無の診断

Water leakage detection for water supply piping applying acoustic filtering technology

3. 生産技術

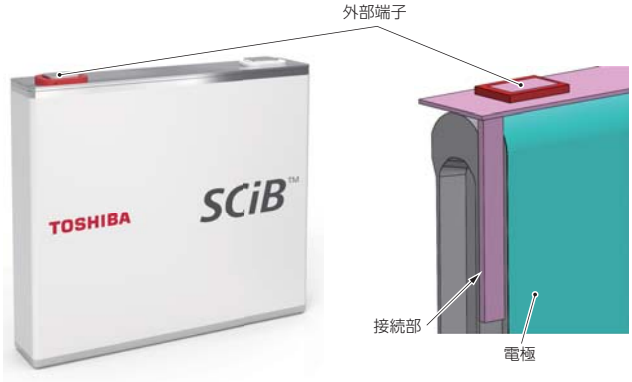
10 Ahリチウムイオン二次電池 SCiB™ セル用の電極と外部端子の接続技術

車両のアイドリングストップや鉄道・産業機器の回生電力の利用に適した10 Ah SCiB™セルの量産化に必須の生産技術として，電極と外部端子との接続技術を開発した。

10 Ah SCiB™セルは，既存の2.9 Ahセルに対してエネルギー量と入出力性能を高め，適用範囲の拡大を狙った製品である。高入出力性能の実現には，電極と外部端子との低抵抗接続が必要である。また，搭載環境下での長期使用における接続信頼性も求められる。

これらの要求に対し，低抵抗化のため，断面積の大きな電極の接続に特化した接続ツールを開発した。また，必要な接続強度マージンを得るため，強度に有意な接続パラメーターを特定し，適正化した。

関係論文：東芝レビュー．71，2，2016，p.44－47.



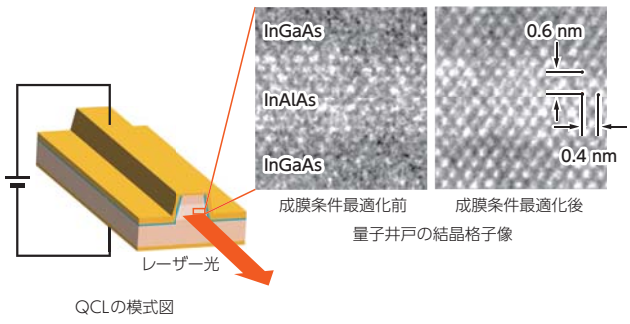
10 Ah SCiB™ セルの電極及び外部端子の接続部

10 Ah SCiB™ lithium (Li)-ion battery cell and connecting point of electrode and external terminal

波長4～6 μm帯の光が得られる量子カスケードレーザー

二酸化炭素（CO_2）や窒素酸化物（NO_x）の微量測定のため，波長4～6 μmで発振する量子カスケードレーザー（QCL）を開発した。このQCLをレーザー吸収分光法に用いることで，CO_2の同位体比測定によるピロリ菌診断や環境測定ができ，また，食品中の炭素（C）や窒素（N）の同位体比測定による産地判定ができる。

QCLは，数百層の量子井戸で構成された発光層を，1原子の厚さ精度で乱れなく成膜する，高い製造技術が必要である。そこで，高精度に成膜できる分子線エピタキシャル成長法を採用し，独自に開発した成膜制御技術により結晶格子を規則正しく成膜することで，レーザー発振に成功した。



InGaAs：インジウム ガリウム ヒ素　InAlAs：インジウム アルミニウム ヒ素

透過電子顕微鏡によるQCLの結晶格子像

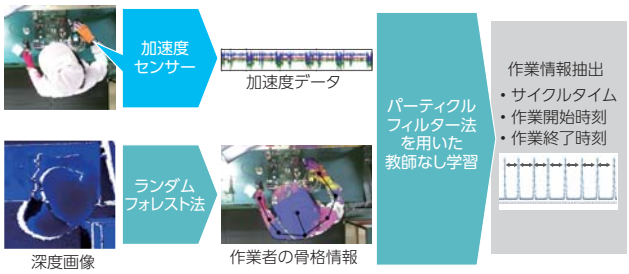
Schematic structure of quantum cascade laser (QCL) device and transmission electron microscope (TEM) images of semiconductor crystal lattices before and after optimization

モノづくり現場での機械学習を適用した作業情報抽出技術

モノづくり現場の作業効率を向上させる取組みの一つとして，機械学習を用いて作業効率に関わる情報を自動抽出する手法を開発した。

製造設備との干渉を避け，上方の深度カメラや加速度センサーを用いて作業者を観測し，深度画像からの骨格情報の推定には，実績のあるランダムフォレスト法などを応用した。更に，骨格座標や加速度の時系列変化から，繰返し作業を自動検出した。また，製品や，工程，作業配分，体格，癖などで変化する作業と観測データに自動追随するため，パーティクルフィルター法で特徴抽出した。

今後，作業内訳や，非定常動作，熟練度などの情報と合わせ，作業効率改善につなげていく。



モノづくり現場での作業効率に関わる情報の自動抽出フロー

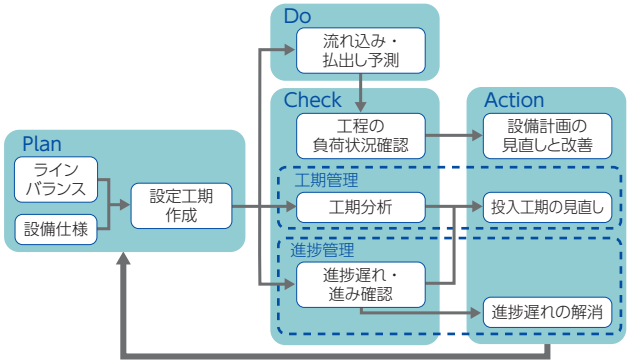
Flow of automatic extraction of information on manufacturing operation to improve work efficiency at site

多品種少量生産の半導体製品向け 生産・進捗管理システム

多品種少量生産の半導体前工程では，生産品目や数量の変動によって，必要な生産能力やラインに投入するタイミングが変動する。したがって，この変動に生産が追従できない場合，納期遅延や払出し未達を起こすリスクが高くなる。

そこで，ラインバランス差や設備仕様を考慮した，生産管理のベースとなる設定工期を定義し，この設定工期に基づく進捗管理と工期管理を行う生産・進捗管理システムを構築した。

このシステムを用いて設定工期を基にした各工程への流れ込み予測を行い，設備計画を改善することで，払い出す品目や数量の予測精度が向上することを確認した。



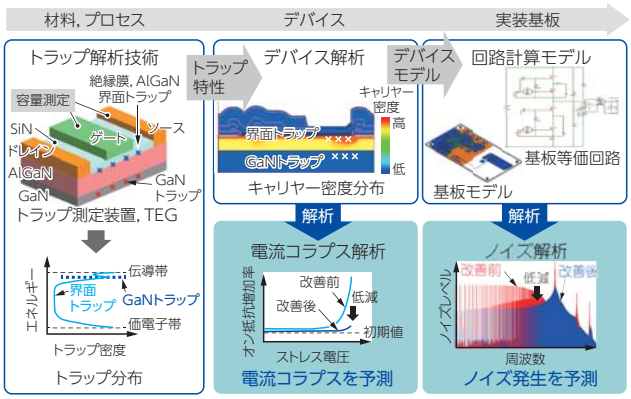
多品種少量生産の半導体製品向け 生産・進捗管理システムの概要

Outline of production and progress management system facilitating high-product-mix and low-volume semiconductor manufacturing

GaNパワーデバイス向け 高精度モデリング技術

GaN（窒化ガリウム）パワーデバイスでは，GaN特有の抵抗増加現象である電流コラプスとEMI（電磁干渉）ノイズの抑制が課題である。デバイス内部の結晶欠陥によるトラップが電流コラプスに，デバイスだけでなくパッケージや実装基板がEMIノイズに影響する。

そこで，材料やプロセスから実装基板までを統合したシミュレーション技術を開発した。トラップの特性や密度を測定できるTEG（Test Element Group）を開発し，測定結果をデバイス解析モデルに反映させるとともに，パッケージや実装基板の寄生素子の影響を考慮した回路解析モデルを構築し，電流コラプス及びEMIノイズの高精度な予測が可能になった。この技術をGaN試作品のデバイス・回路設計に適用し，特性向上に寄与している。



SiN：窒化ケイ素　AlGaN：窒化アルミニウムガリウム

統合シミュレーション技術を用いた電流コラプスとEMIノイズの解析

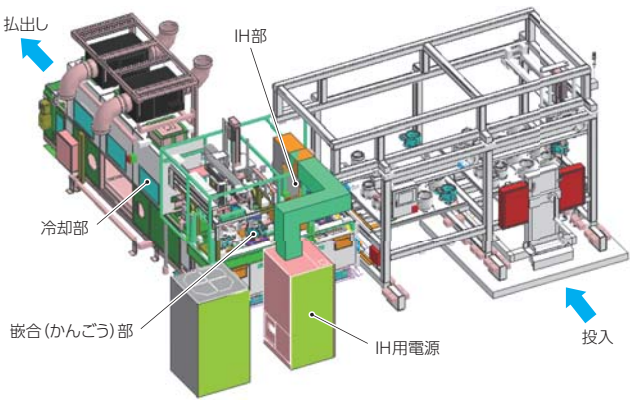
Integrated simulation technology to predict current collapse and electro-magnetic interference (EMI) noise of gallium nitride (GaN) power devices

車載発電機 焼嵌め工程のIH化

新型車載発電機の製造ラインを構築し，2016年8月から東芝産業機器システム（株）で量産を開始した。

組立工程の一つであるハウジングとステーターの焼嵌め（やきばめ）工程は，ハウジングを均一に加熱拡張してステーターを挿入する工程である。従来の加熱炉方式では，加熱時間が長く，装置も大きかった。

そこで，誘導加熱（IH：Induction Heating）方式を使った焼嵌め装置を開発した。ハウジングは，複数の材料から構成された凹凸がある複雑な形状のため，規定温度での均一な加熱の実現が課題であった。磁場，熱，及び構造の連成解析技術を用いて最適なIH焼嵌め装置のコイル形状と加熱条件を決定し，自動化と導入コスト・消費電力削減を実現した。



IH方式焼嵌め装置

Shrink-fit equipment using induction heating for on-vehicle generator manufacturing processes

小ロット搬送用に導入しやすい小型無人搬送車

製造ラインでの搬送負荷軽減のため，小ロット搬送用に導入しやすい小型無人搬送車を開発した。

従来は，搬送経路の設置工事での作業負荷が大きく，かつ経路変更に伴うシステム変更の費用が高額なため，無人搬送車の導入ハードルが高かった。開発した無人搬送車は，走らせたいところに市販テープと認識タグを貼り付けるだけの簡単な施工で設置できる。また，誰にでも簡単に変更できるCSV（Comma Separated Value）形式ファイルを転送するだけで，動作変更が容易にできる。

この無人搬送車は，国内や海外での製造ラインで適用され，搬送コスト低減に貢献している。今後も，様々な製造ラインに展開していく。

小型無人搬送車

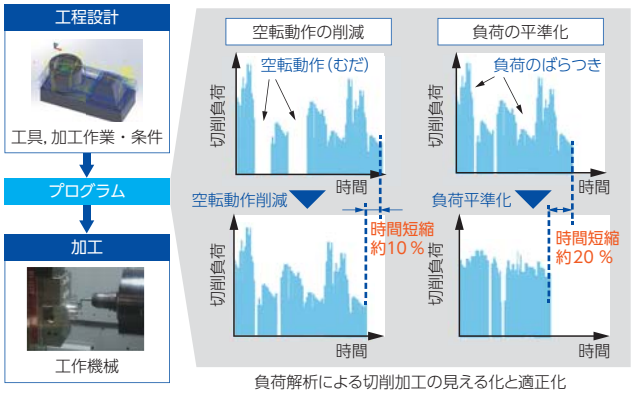
Compact automatic guided vehicle (AGV) allowing reduction of introduction cost

負荷解析による切削加工の高能率化

製品製造のリードタイム短縮やコスト削減のために，切削加工の生産性向上を図っている。

切削加工では，工程設計に基づいて被加工物に対する工具の動作をプログラムで定義し，工作機械で加工する。加工中には工具の空転動作や負荷のばらつきなどのむだがあるが，高速・複雑化する加工状況でむだを漏れなく抽出するのは容易でなかった。そこで，コンピューター上で定義した被加工物，工具，及びプログラムから負荷を計算して時系列波形として見える化する負荷解析を適用し，空転動作の削減や負荷の平準化などの適正化を行うことで，切削加工を高能率化した。

今後，社会インフラ製品をはじめとし，様々な製品の部品加工へ適用していく。



負荷解析による切削加工の見える化と適正化

負荷解析による切削加工の適正化

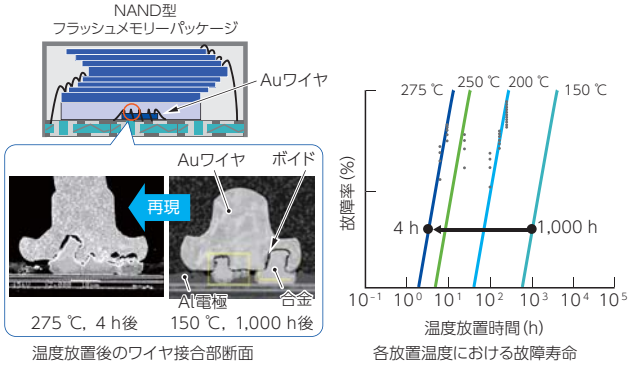
Optimization of cutting processes using machine tool based on cutting force analysis

NAND型フラッシュメモリーパッケージにおける信頼性の短時間加速評価技術

認定試験での後戻りを防止するため，NAND型フラッシュメモリーパッケージでのワイヤ接合部の高温放置寿命を短時間で評価する技術を開発した。

パッケージの電気特性の変動を確認する150 ℃，1,000 hの高温放置試験の結果を，275 ℃で4 h高温放置した試験片のワイヤ接合強度を測定する短時間加速評価で予測する。技術確立にあたっては，故障率と試験温度に相関があることや，接合部の合金層とボイドの生成状態が試験片で再現されることなどを確認した。

この技術により，工程技術者が適正条件を選定できるとともに，生産委託工場でのワイヤ接合部の異常発生時に，現場で条件の良否を見極めることができるようになった。



温度放置後のワイヤ接合部断面　　各放置温度における故障寿命

Au：金　　Al：アルミニウム

高温放置試験後のワイヤ断面と短時間加速評価における故障寿命

Cross-sectional images of bonding wire after being left at high temperature and Weibull plots of bonding defects after short-term accelerated tests

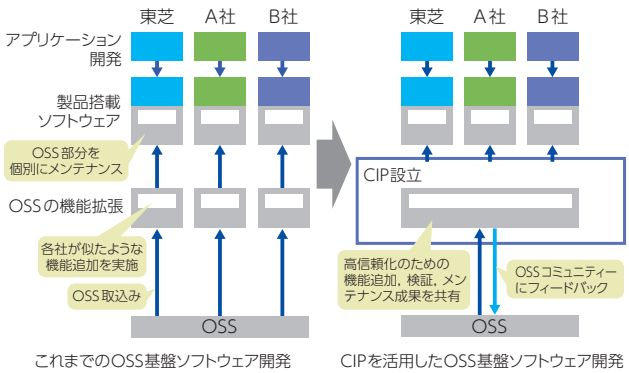
4. ソフトウェア

社会インフラシステム向け 高信頼Linux(†)

Linux(†)などのオープンソースソフトウェア (OSS) は，製品やサービスに幅広く活用されており，社会インフラシステムにおいても必要不可欠となっている。しかし現状では，品質や信頼性の面で不十分な点もある。

当社は，The Linux Foundation(†)を通じて，「Civil Infrastructure Platform (CIP)」プロジェクトを主導して立ち上げた。CIPでは，社会インフラシステムで求められる，高品質で高信頼，かつ長期運用ができるOSS基盤の提供を目指している。

今回，CIPの中核となるLinux(†)カーネルの選定と構築を行った。今後，当社はCIPの活動を通して，Linux(†)などのOSSへの貢献を加速する。



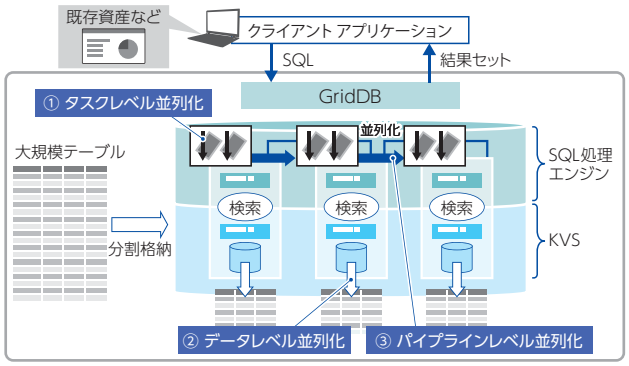
社会インフラシステム向け共通OSS基盤の提供を目指すCIP
Civil Infrastructure Platform (CIP) aimed at providing common open source software (OSS) industrial platform

スケールアウト型DB GridDBにおける高速SQL処理技術

当社は，IoT (Internet of Things) で生成されるデータの管理をターゲットとして，KVS (Key Value Store) 技術をベースとしたスケールアウト型データベース (DB) のGridDBを提供してきた。

今回，KVS上のデータに対してSQL (Structured Query Language) 演算を行う処理エンジンにおいて，タスク，データ，及びパイプラインの3レベルの分散並列処理を行う機構を新たに開発し，従来に比べて10倍以上の高速化を達成した。また，既存の代表的DWH (Data Ware House) と比べても互角以上の性能を実現できた。

これにより，KVSの高速性とSQLの利便性をシームレスに利用でき，IoTデータの利活用が容易になる。この技術を“GridDB Advanced Edition”として製品化した。

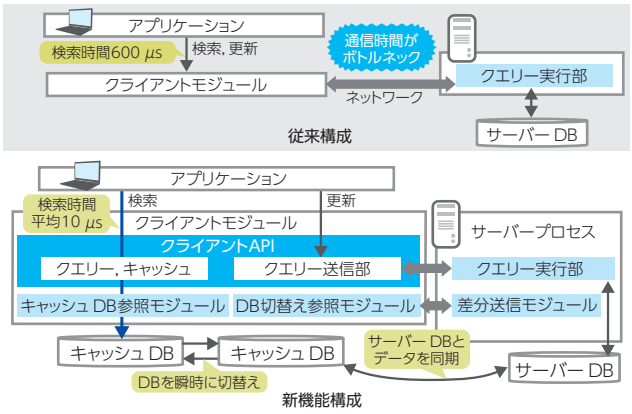


GridDBの分散並列SQL処理機構
GridDB distributed and parallel Structured Query Language (SQL) processing mechanism

高速アクセスを実現した組込み用DB TinyBrace

社会インフラを支える制御システム向けに，高速アクセスを実現した組込み用DB TinyBraceを開発した。制御システムでは高速アクセスが求められるケースがあるが，これまでのクライアントーサーバー型DBでは，通信やDB更新時の排他制御による遅延などで，この要求を満たせない場合があった。

そこで，DBのクライアントモジュールに参照専用のキャッシュDBを配置してサーバーDBの一部をキャッシュすることと，サーバーDBとの同期処理時にキャッシュDBが占有されるのを防ぐために，二つのキャッシュDBを置いて切り替えて使用することとした。これにより，従来の約600 μsに対し，平均10 μs以下でのアクセスを実現した。



API：Application Programming Interface

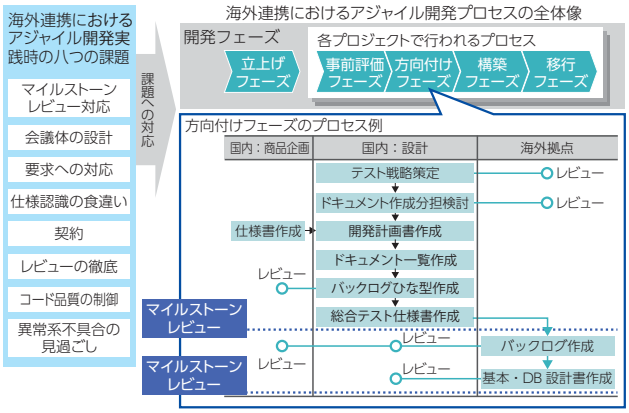
高速アクセスを実現した組込み用DB TinyBraceの構成
System architecture of TinyBrace embedded database achieving high-speed access

海外拠点との連携におけるソフトウェアのアジャイル開発プロセスの構築

東芝グループのソフトウェア開発では，後戻りコスト削減を目指した，アジャイル開発の適用が増えている。しかし，海外と国内拠点とが連携した開発も進んでおり，分散化した開発拠点でアジャイル開発を効果的に実践することが課題となっていた。

この課題を解決するために，海外連携におけるアジャイル開発プロセスを構築した。また，海外拠点と連携してアジャイル開発を実践する際の典型的な八つの課題を抽出し，解決するためのプロセスや対応事例をガイドとしてまとめた。

構築したプロセスを実プロジェクトに適用することで，要求に起因した後戻りコストの約55％削減に成功した。



海外拠点と連携したソフトウェアのアジャイル開発プロセスの概要

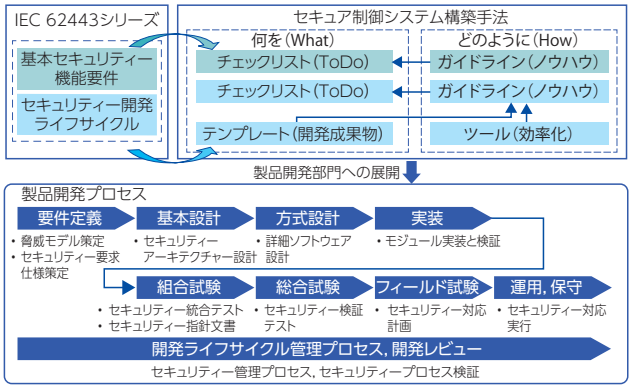
Outline of agile software development through collaboration between overseas and domestic bases

国際標準に基づく制御システムセキュリティー技術

重要インフラを支える制御システムにおいて，IEC 62443（国際電気標準会議規格62443）シリーズ(注)に基づき，設計段階からセキュリティー品質を作り込み，それらを維持するセキュア制御システム構築手法を開発した。

基本セキュリティー機能要件とセキュリティー開発ライフサイクルに対する要求事項について，課題の洗い出しと成果物作成を効率化する技術，並びに要求項目の解説と具体例をツール，テンプレート，チェックリスト，及びガイドラインとして整備した。これにより，制御システムのセキュリティー品質の底上げとグローバル対応の効率的な推進が可能となった。

（注）　IEC 62443シリーズのうち，策定中の標準については，ベースになっているISASecure(†)規格を参照した。



セキュア制御システム構築手法の製品開発プロセスへの展開

Application of secure development method for control systems to product development process

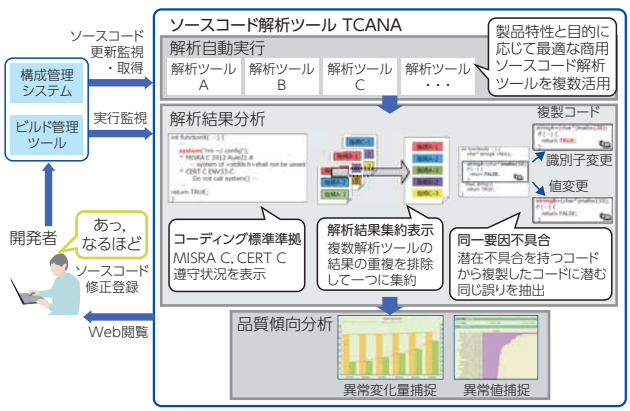
ソースコード解析ツール TCANA

ソースコードの品質問題となるコーディングルール違反箇所や実行時エラー誘引箇所を指摘するソースコード解析ツールの運用を効率化するツール TCANAを開発している。これまでに，解析自動実行や品質傾向分析などの機能を強化し，分析時間を従来比95％削減した。

今回，解析結果分析においてMISRA C(注1)及びCERT C(注2)に対応し，安全性とセキュリティー両面での遵守が必要なソフトウェア開発でも，効率的にコーディングルール違反箇所を指摘し，修正することが可能となった。

（注1）　MISRA（Motor Industry Software Reliability Association）が開発した，自動車など安全性と信頼性を重視する業界向けのC言語コーディング標準。

（注2）　CERT/CC（Computer Emergency Response Team / Coordination Center）が開発した，セキュリティー脆弱（ぜいじゃく）性を作り込まないためのC言語コーディング標準。



ソースコード解析ツール TCANAの運用フロー

Flow of processes of TCANA source code analysis system