

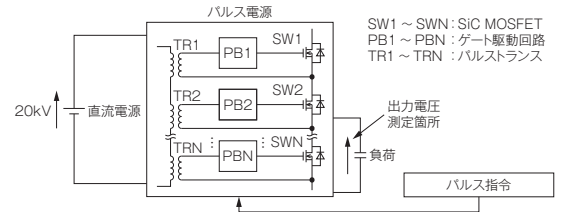
I. 研究開発

1 パワーエレクトロニクス

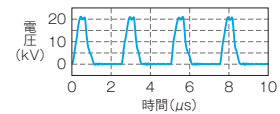
1-1 高電圧かつ高周波数で動作するパルス電源向け電力変換器の開発

半導体製造装置などの特殊用途向けパルス電源には、最大20kVの高電圧と400kHzの高周波数という厳しい仕様が求められる。市販の半導体素子は最大耐圧が約6.5kVのため、20kVを実現するには複数素子の直列接続が必要である。さらに、従来のハードスイッチング方式では、スイッチング損失が大きく高周波数での動作が困難という課題があった。

この課題を解決するため、当社は独自のゲート駆動技術でSiC-MOSFET (Silicon Carbide-Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) を多数直列接続することで高耐圧化を実現し、ソフトスイッチング方式を採用したパルス電源向け電力変換器を開発した。これによって、スイッチング損失を大幅に削減し、高電圧・高周波数での安定動作を実現している。



第1図 パルス電源試験構成

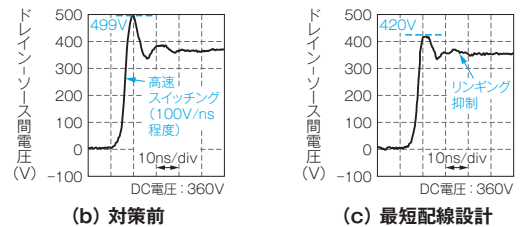
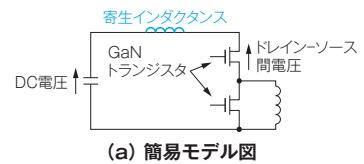


第2図 パルス電源出力電圧波形 (20kV, 400kHz)

1-2 窒化ガリウム (GaN) インバータのサージ電圧抑制技術

GaNトランジスタは、高周波駆動が可能で低損失という特性を有しており、これによって電力変換システムの小型・軽量化に寄与すると期待されている。一方で、高速スイッチングによって寄生インダクタンスの影響が顕著となり、サージ電圧やリングングが増加する。この影響によって、スイッチング損失が増加し、それに伴って放熱設計上の制約が生じるため、更なる小型・軽量化の実現には課題が残されている。

当社では、電磁界解析を用いて寄生インダクタンスを考慮した最短配線設計を行い、これに基づいてGaNインバータのスイッチング評価を実施した。その結果、高速スイッチング時におけるサージ電圧とリングングの抑制に成功した。

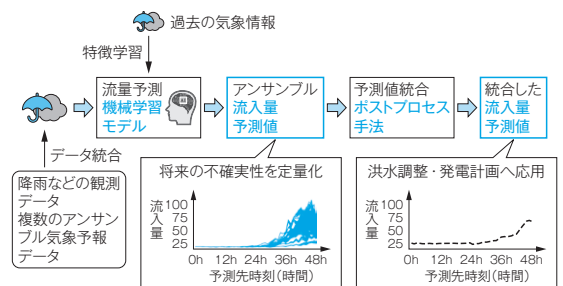


第3図 GaNインバータとスイッチングパルス波形

2 知能情報技術

2-1 不確実性を考慮したダム流入量予測AI技術

近年の豪雨・台風の激甚化で、水力発電ダムでは高精度な流入量予測が要求されている。従来の単一予報データに基づく手法では降雨パターンの不確実性に対応できず、急激な流入増加の予測が困難であった。本技術は短期予測に優れたメソアンサンプル予報 (MEPS) と、中長期傾向を示す全球アンサンプル予報 (GEPS) を統合し、XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) モデルで学習させる新手法である。さらにK-meansクラスタリングで膨大なアンサンプルメンバーを代表パターンに圧縮し、効率的な予測を実現した。その結果、1時間先から数日先までの高精度予測ができるようになった。特に34時間を超える場合にはGEPSの統合効果が顕著で、洪水調節や事前放流、発電計画に資する有用な中長期予測情報を提供できた。

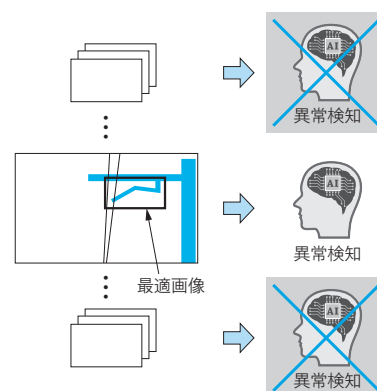


第4図 ダム流入量予測AI技術の概要

2-2 電車線設備前方モニタリングシステムの効率化

当社は、電車線設備の異常検知効率化を目的とした、最適画像選定の手法を開発した。

電車線設備の保守点検では、従来の目視点検に代わる自動化技術が要求されている。車載カメラによる設備監視の連続撮影では同一設備を複数回撮影するため、処理負荷増大と検出精度低下が課題となる。本手法は、連続フレームから異常検知に最適な画像を自動選定する。物体検出から得られた矩形情報を基に、各設備が最も鮮明に撮影された検出矩形を選出して後段の異常検知処理に送ることができる。営業路線で撮影した映像による検証実験では、処理データ量を94.5%削減し、異常検知用画像の解像度を最大約10倍向上させた。これによって処理負荷の大幅軽減と検出精度の向上を同時に実現した。



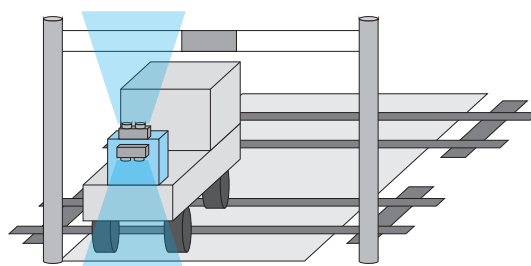
第5図 最適画像選定手法

2-3 踏切設備自動検測装置の開発

踏切に進入する自動車が架線に接触しないように踏切注意標識が設置されている。鉄道事業者は保守業務として、この踏切注意標識と電車線の高さを手動で計測し管理している。保守業務を自動化するために、踏切注意標識や電車線の高さを自動検測する装置を開発した。

開発した踏切設備自動検測装置では、自動車にステレオカメラを上下方向にそれぞれ設置する。各ステレオカメラで撮影した地面及び上空の画像を用いて、踏切設備内の踏切注意標識や架線を検出し、高さを測定する。

これによって、踏切設備ごとに手作業で行っていた作業を自動化することができ、保守作業の効率化につながる。



第6図 踏切設備自動検測装置の概要

2-4 デジタルツインO&M (Operation & Maintenance) の評価基盤構築

当社は、少子高齢化による技術者不足や設備老朽化に対応するため、電力設備メーカーとして蓄積した知識・当社の電力設備をご利用いただいているお客様の現場情報・近年飛躍的に進化しているデジタルトランスフォーメーション (DX) 技術を融合し、デジタルツイン技術によるO&Mの自動化を目指している。これによって、インフラ設備の運用、及び、保守点検における、安全性と効率性の向上を図っている。

2025年度には、3D-LiDARを用いた施設内の高精度モデリング、においセンサや赤外線カメラによる五感センシング評価、ロボット学習環境構築と実機走行試験を実施した。さらに、ロボットアームの遠隔操作で模擬制御盤の操作や臭気サンプリングを行い、将来の自動化に向けた開発評価基盤を構築した。



(a) 施設内の高精度三次元モデル

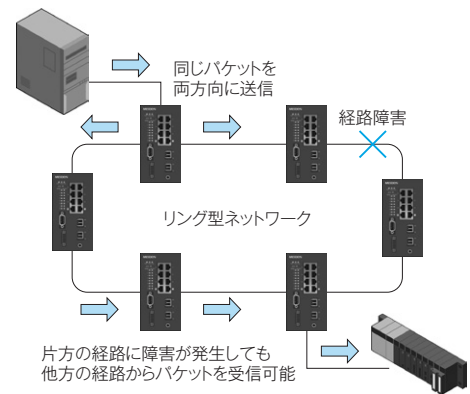


(b) 変電設備内を走行する四足歩行ロボット

第7図 当社施設内の高精度モデリングと実機走行試験

2-5 通信冗長化技術HSR (High-availability Seamless Redundancy) の開発

IEC62439-3規格で定められている冗長化プロトコルHSR (High-availability Seamless Redundancy) を用いた冗長化ネットワーク技術を開発した。国内の電力会社ではIEC61850を適用した変電所のデジタル化が進められており、堅牢なネットワーク構築のためHSRの適用が進められている。RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) など、標準化された冗長化プロトコルは複数存在するが、多くのプロトコルでは障害発生時に短時間のダウンタイムが生じる。HSRはリング型ネットワークの両方向に同じパケットを通信させるため、片方の経路に障害が発生した場合でも、通信を継続できる。今回開発したHSRを用いることで、通信障害が許容されないインフラでもダウンタイムゼロのネットワークが構築できる。

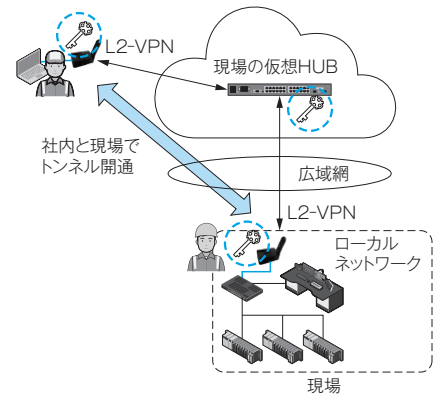


第 8 図 HSR ネットワークイメージ

2-6 クラウドー現場間セキュアL2 VPN (Virtual Private Network) 接続技術の確立

クラウドと現場の間でセキュアなL2 VPNトンネル構築技術を確認した。インターネット上に安全な専用トンネルを構築し、遠隔地と現場を直接接続する。ユースケースとしては遠隔メンテナンスなどで一時的に現場へセキュアにアクセスする場合を想定している。

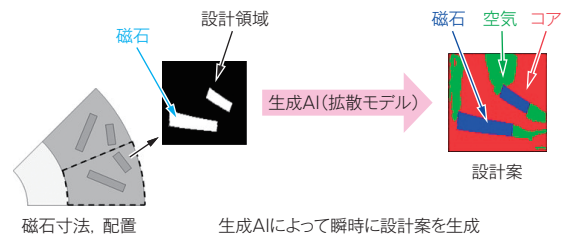
クラウドVPNサーバ上に仮想HUBを構築し、当社が開発したMVL2 (Meiden Virtual Layer2) 端末との間でmTLS (Mutual Transport Layer Security) 方式による相互認証を行い、L2 VPNトンネルを構築する。MVL2端末は仮想HUBとのみ接続を行う。現場側と遠隔操作側の両方でMVL2端末が同時に接続されている間のみ、トンネルが開通する。鍵の有効期限設定、失効管理などの鍵管理方法についても併せて技術を確認した。



第 9 図 L2 VPN のトンネル構築イメージ

2-7 回転機設計へのジェネレーティブデザイン技術の適用検討

埋込磁石同期電動機の性能はロータコア内の磁石配置とフラックスバリア形状に強く依存する。性能向上のために、両者を同時に最適化する必要があるが計算負荷が大きく、計算時間の短縮が課題となっていた。今回、当社では多数の磁石配置において、トポロジー最適化を用いてロータコア画像のデータセットを作成した。さらに、このデータセットを用いて拡散モデルを学習することで、任意の磁石配置を入力するだけで、フラックスバリア形状を高速に生成できる仕組みを構築した。開発した手法は、任意の磁石配置に対して、設計案を1秒以内に生成できる。また、様々な磁石配置に対しても安定して設計案を生成することができる。結果として、磁石配置とフラックスバリア形状の同時設計探索を大きく効率化した。



第 10 図 ジェネレーティブデザインを用いたロータコア設計

3 共通基盤技術

3-1 MEIDEN CONNECTにおけるデザインシステムの確立

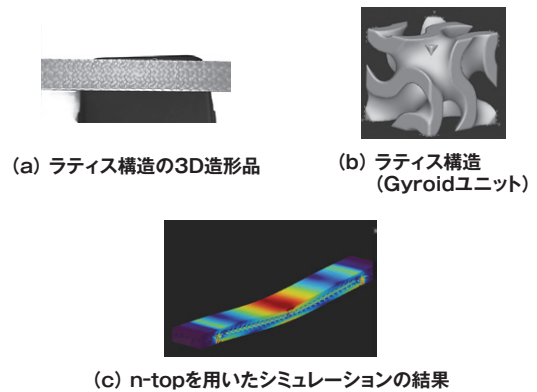
ソリューション提供基盤「MEIDEN CONNECT」において、デザインシステムを構築した。本システムは、デザイン原則やユーザインターフェース（UI）設計方針を整理し、再利用できるコンポーネント群を整備したものである。これによって開発者は共通部品を活用してUI/UX（UX：ユーザエクスペリエンス）を統一でき、二重開発を防ぎつつ効率的にアプリケーション開発を進められるようになった。また、ユーザーにとっても操作性や画面デザインが統一され、利用時の品質が向上する。さらに配色はJIS X 8341-3：2016に準拠し、全体で適合レベルAAを満たしており、誰もが使いやすいデジタル環境を実現した。



第11図 構築したMEIDEN CONNECTデザインシステムサイトの画面イメージ

3-2 3Dプリンティングが拓く次世代構造設計～軽量と強度を両立する最適化～

これまで樹脂部品の設計や製造においては「ラティス構造による軽量化」を製造法やコストの観点で盛り込むことが難しかった。今回、先進設計ソフトnTopの導入によって、DfAM（Design for Additive Manufacturing）が実現でき、強度を維持したまま肉抜きによる軽量化ができるようになった。JIS K7171による曲げ試験についてラティス構造の試験片を作成しシミュレーション結果と強度試験結果から両者の差異が数%程度という結果を得た。また、シミュレーション結果から応力集中部を確認し、今回造形したラティス構造（Gyroid）が応力を分散していることを確認した。以上から、工業用3Dプリンターが機能性構造を造形できることが確認でき、樹脂材料の構造設計や製造にラティス構造を活用できるようになった。

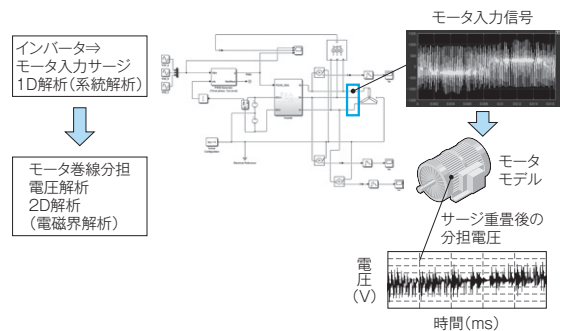


第12図 ラティス構造とSimと造形

3-3 インバータ駆動型モータ巻線に侵入する電氣的負荷解析技術

近年、モータの小型・高効率化を目的とした駆動インバータの高電圧・高周波数化が進んでいる。インバータキャリアの高電圧・高周波数化が進むにつれ、特有の現象である「インバータサージ」が発生し、モータ巻線に対する電氣的負担の増大が課題となっている。そのためモータ巻線の電氣的負担を推定することが非常に重要である。

モータ巻線への電氣的負担推定を目的とし、数値解析ツールMATLABと、電磁界解析ツールJMAGを併用した手法を開発した。この技術によって、インバータサージ発生レベルの推定と、サージ侵入時のモータ巻線分担電圧の推定ができるようになった。



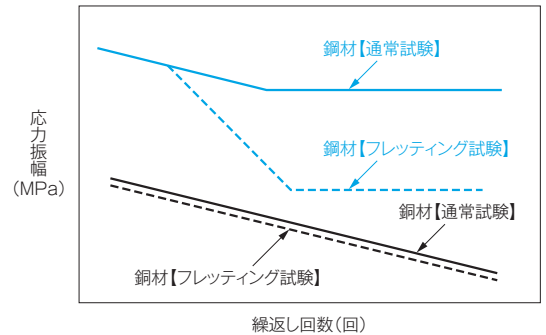
第13図 サージ侵入時におけるモータ巻線分担電圧推定手法

3-4 純銅の高サイクル疲労に及ぼすフレットングの影響

電気機器の導体は純銅製品が多く使われているが、固定部分や積層構造での材料間の相対すべりが重畳する場合の疲労強度への影響は、炭素鋼などの材料と同程度で影響が大きいと考えられてきた。

この影響を評価するため、日本機械学会基準に準拠したフレットング疲労試験法を適用し、引張・圧縮疲労試験において荷重軸と直交する方向に面圧を重畳させた試験を実施した。

その結果、50MPa程度の面圧では疲労強度の低下は小さく、表面性状にも顕著な変化は認められなかった。さらに、ANSYS nCodeを用いた疲労寿命解析によって、単に面圧を重畳させた多軸応力効果と等価であることが確認できた。これらの結果から、銅材料はフレットングの影響が小さいことがわかった。

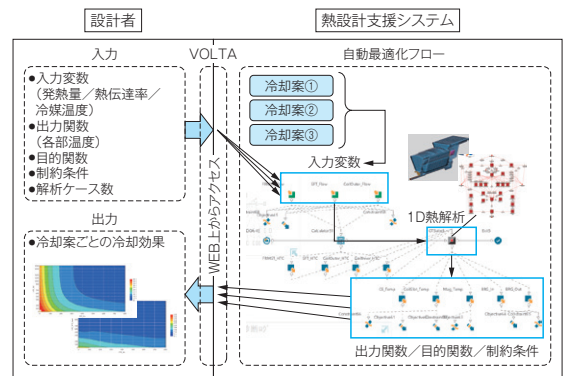


第14図 フレットングの有無による銅材と銅材料の疲労強度比較

3-5 回転機の熱設計支援システムの開発

回転機製品の高パワー密度化に向けて、より高度な熱設計が求められている。現状、熱設計案の評価は実験機による温度評価が主流であり、実験機の試作や実験に多くの時間と工数を要する。そのため、開発期間の短縮や設計工数の削減が課題である。

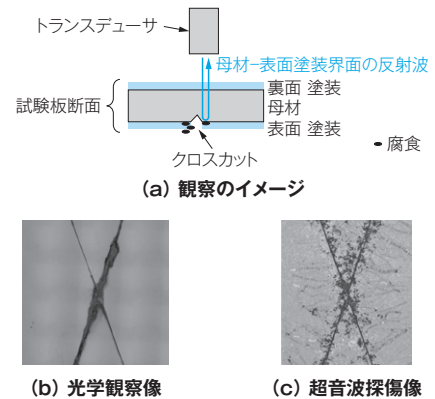
この課題に対応するため、開発効率と冷却性能の向上を両立させることを目的としたシミュレーション主導型の熱設計プロセスの構築を進めている。回転機の冷却方法は主に空冷・水冷・油冷があり、これらを単独または組み合わせて使用することで、目標とする冷却性能の達成を目指す。しかし、これらの性能を事前に定量的に予測・比較することが難しい。そこで一次元(1D)熱解析と自動最適化ツールを用いた冷却方法の決定を支援する熱設計支援システムを構築した。



第15図 回転機の熱設計支援システムの概要

3-6 非破壊検査手法による塗膜材料の耐食性評価方法

JIS K5600-7-9「サイクル腐食試験方法-塩水噴霧/乾燥/湿潤」に基づく試験では、試験後の試験片表面を観察し、腐食の幅が基準値以上の場合、不合格と判定する。試験片表面には、試験片端部から生じた腐食とクロスカットから生じた腐食が混在し、識別が難しく、作業者によって計測結果にばらつきが見られた。今回、超音波探傷顕微鏡を適用して、塗膜と母材の間に発生する腐食幅を非破壊で計測する方法を開発した。超音波を試験片裏面から入射し、塗膜と母材の間の反射波で観察像を取得した。母材と腐食の界面からの反射波と母材と塗膜の界面からの反射波の大きさが異なるため、塗膜下での錆の広がりを正確に可視化することができた。本技術によって、腐食計測精度の向上と迅速化を実現した。



第16図 超音波探傷顕微鏡による観察