

2021年の技術と成果

Technical Progress and Results in 2021

〔1〕 研究・開発

2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」が表明され、これを受けて、2021年6月策定の「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、「再生可能エネルギー（以下、再エネ）の最大限の導入」を進めることが示された。また、2021年10月に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画」においても、2030年には再エネを主電源にしていく目標が盛り込まれ、これまで以上に再エネの普及が加速することが予想される。

当社は、中核製品である受変電設備や長年培った系統連系技術を駆使し、再エネをはじめとする多様な分散型電源を組み合わせることで、省エネと電力の安定供給を実現するソリューションを「SPSS^(*) (Smart Power Supply Systems)」として提供してきた。また、近年ではそのSPSSの適用範囲を拡充すべく、半導体直流遮断器（以下、DCCB）、直流変圧器（以下、DC-DCコンバータ）を組み合わせ「直流配電実証システム」を社内施設に導入し、太陽光発電と蓄電池を組み合わせた直流電源として、実証検証を行っている。本システムでは、省エネを促進させると共に、停電時には蓄電池を非常用電源として用いることで、BCP対策としても活用することが可能になる。

一方で、地産地消におけるマイクログリッドが普及した場合を想定し、災害対策・天候に左右されやすい太陽光発電等の不安定な電源の電力レジリエンス向上への対策としてマイクログリッドにおけるパワーコンディショナ自立運転時の課題検討とその対策にも取り組んでいる（詳細は本誌掲載の「地域マイクログリッドにおけるパワーコンディショナ自立運転時の課題とその対策についての取り組み」を参照されたい。）。

また、海外未電化地域での電化に貢献すべく、オフグリッド型の直流配電と再エネを活用する、ローカルな直流配電システムの提唱、および機器開発を行っている（詳細は本誌掲載の「離島、未電化地域のオフグリッドに対応した直流配電システム向けエネルギー蓄電ユニットの開発」を参照されたい。）。

再エネ関連以外でも当社グループでは、長年培ってきた高電圧技術とプラズマ技術を活用したイオン注入装置や薄膜形成装置をはじめとするビーム・プラズマ事業へも事業展開している。「次世代半導体・FPD（フラットパネルディスプレイ）」への応用が期待される酸化半導体（以下、IGZO）を用いた薄膜トランジスタ（以下、TFT）について、更なる高性能化を目指し、日新イオン機器株式会社（以下、NIC）が希ガスイオン注入の応用検討を行っている（詳細は本誌掲載の「酸化半導体（IGZO）を用いた薄膜トランジスタへの希ガスイオン注入技術の応用検討」を参照されたい。）。この検討については、当社の研究部門もIGZOの成膜技術について、培ってきた技術を活用して、NICと共同で研究を行っている。

併せて、近年のIoT化、DX推進を受け、高電圧機器の大電流を非接触・遠隔検知できる、ビーム・プラズマ技術を用いた新しいセンサ開発として、「ダイヤモンド磁気センサ」のセンシング技術開発を行っている。

以下に、2021年の各研究成果を紹介する。

1. 1 研修センターにおける直流配電システム実証

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、再エネの主力電源化への取組みが進んでおり、自然災害の激甚化に対応した電力レジリエンス強化を考慮すると、今後は太陽光発電と蓄電池を組み合わせた自家消費システムの導入が増加すると考えられる。

このような自家消費システムにおいては、直流配電システムが有効であると考えられるため、当社では、直流利活用の主要コンポーネントであるDCCB、DC-DCコンバータの開発を進め、これらと直流電源を組み合わせた直流配電実証システムを本社に隣接した研修施設『日新アカデミー研修センター』に設置した⁽¹⁾。

直流配電実証システム(図1)では、国際規格IECの直流低圧区分の最大値DC1500Vと国内基準(電気設備技術基準)の直流低圧区分に準拠したDC600Vの2クラスが混在したシステムを構成している。また、太陽光発電電力を自家消費する需要家を想定し、商用系統との接続に「ダイオード整流器」を適用した逆潮流のないシンプルな構成とした。2019年から直流コンポーネントを適用した実証を開始し、順調に運転中である。実証システムの特徴を表1に示す。

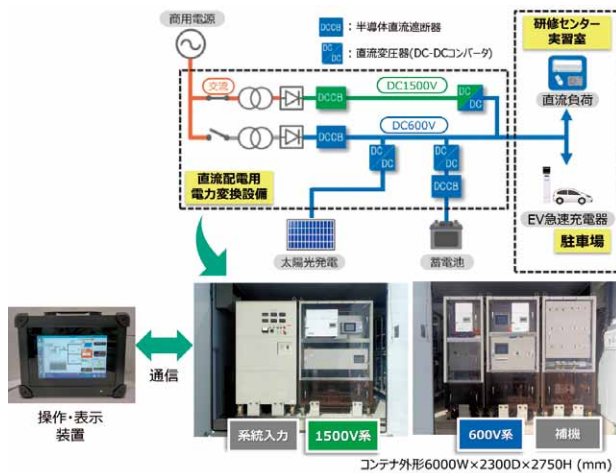


図1 直流配電実証システムの構成

表1 直流配電実証システムの特徴

安定供給	交流系統の瞬低・停電に対する高速応答制御
電力融通	・直流フィーダ間の電力潮流制御 ・各DC-DCコンバータが自律的に動作
コンパクト化	DC-DCコンバータの高周波化により小型、軽量化
高速保護	DCCBの高速遮断による事故範囲の拡大防止
省エネ	高電圧化により送電損失を低減
電力系統対策	EV急速充電等のピーク負荷時のピークカット
遠隔操作・表示	・IoT技術の適用で、各機器を安全に遠隔操作 ・DCシステム状態の表示(見える化)

1. 実証試験

本章では、直流配電実証システムの実証試験の一例を紹介する。実証試験では、①EV急速充電時の「ピークカット」運転から商用電源停止(模擬停電)により②「自立運転(BCP対策)」へ移行させ、さらに、③商用電源復電した時の実測波形を図2に示す。

通常時、商用電源からDC1500Vを介してDC600V系統へ送電している配電システムにおいて、T=158秒時点にて、EV急速充電を開始した。EV急速充電による突発的な負荷増加に対して、蓄電池用DC-DCコンバータは接続点電流の変動を検知し、蓄電池がPV出力に追従し、放電動作により商用電源からの電力供給を一定値に制御している。これにより、EV急速充電時、蓄電池による商用電力ピークカット運転が良好に動作することを確認した。

続いて、T=199秒時点にて、商用電源との接続点で交流遮断器開放による商用電源の模擬停電を発生させている。停電発生時には、蓄電池用DC-DCコンバータが直流フィーダの電圧低下を検知し、自立運転へスムーズに移行できていることがわかる。併せて、PVの出力変動を蓄電池の充放電動作により制御し、EV急速充電器(直流負荷)への電力供給は途切れることなく運転継続していることも確認した。

さらにT=256秒時点にて、商用電源を復電し、再連系させると、自立運転から再度、商用電力ピークカット運転へスムーズに移行した。

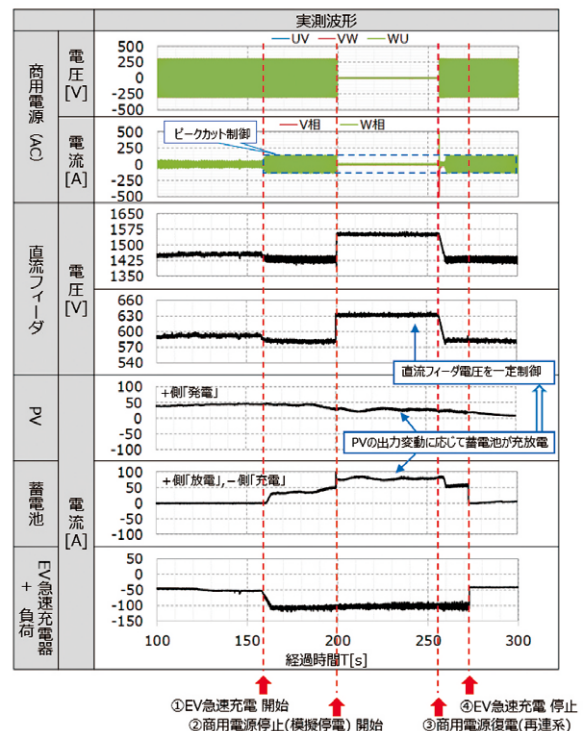


図2 「ピークカット運転」⇔「自立運転」の実測結果

また、20年度から追加したエネルギー・ゼロエミッションへの取組みで、昼間の太陽光発電余剰電力を含む電力を蓄電池に蓄え、夜間負荷（主に外灯）に活用する検証も並行して行っている。

本検証結果から年間換算で約1.1t-CO₂のCO₂排出量削減が期待できる。現在の対象負荷は小さいが、今後はさらにCO₂削減に貢献するために負荷の拡大も検討していく所存である。

1. 2 酸化半導体へのイオン注入技術の開発

IGZO (InGaZnO₄) に代表される酸化半導体を用いた薄膜トランジスタ (TFT) は、高速動作、低消費電力、大面積化が実現可能であり、フラットパネルディスプレイ (以下、FPD)での産業応用が進んでいる。近年はIGZO-TFTのさらなる高性能化に向けて、トップゲート構造におけるゲート電極をマスクとして、ソース・ドレイン領域を低抵抗化する、セルフアラインプロセスが検討されている⁽²⁾。当社は、低温ポリシリコン (LTPS) での実績を踏まえ、微細化・集積化・生産性において優位性を有するイオン注入技術の適用に向けた技術開発を進めている。

図3に、膜厚50nmのIGZO膜に対してイオン加速エネルギー20keVでB⁺イオン注入を行ったときの、シート抵抗の膜密度およびドーズ量依存性を示す。IGZO膜密度6.0~6.2g/cm³の範囲において、ドーズ量1×10¹⁵ ions/cm²近傍で、シート抵抗を1×10⁴Ω/sq.以下とすることができた。また、膜質が異なるIGZO膜に対して、注入条件の最適化が可能であり、高膜密度のIGZOほど高いドーズ量が必要であることがわかった。図4は6世代基板 (1500mm×1850mm) 相当でB⁺イオン注入を行ったときの、IGZOのシート抵抗の度数分布である。イオン注入前のシート抵抗0.3~6.0×10¹³Ω/sq. (均一性±91%) に対し、イオン注入後は3.7~4.2×10²Ω/sq. (均一性±6.6%) となり、TFTのON電流に関し、極めて高い面内均一性を実現できる見込みを得た。

以上の成果はトップゲート型IGZO-TFTのセルフアラインプロセスに対し、イオン注入技術を適用可能であり、高い面内均一性が得られることを示している。本成果は国際会議「AM-FPD '20」でBest Paper Awardを受賞し、高い評価を得た⁽³⁾。今後も、FPD業界における期待も大きいので、引き続き技術提案を進めていく。

2. 今後の予定

DC1500V系とDC600V系から構成されるフィーダ間の電力融通検証、長期連続運転によるシステムの信頼性検証を進めていくとともに、系統接続点潮流制御など交流EMSと協調した運用（調整力の提供）についても検証していきたい。

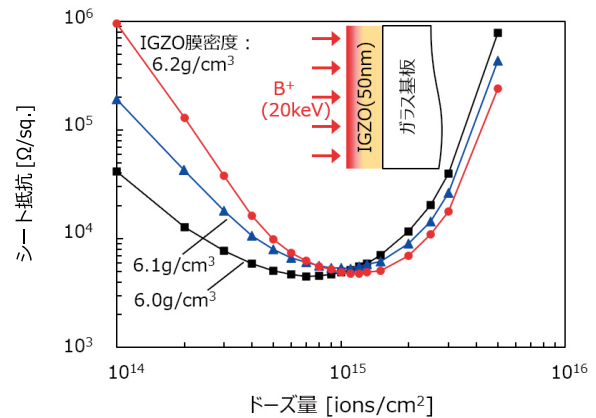


図3 IGZOシート抵抗の膜密度およびドーズ量依存性

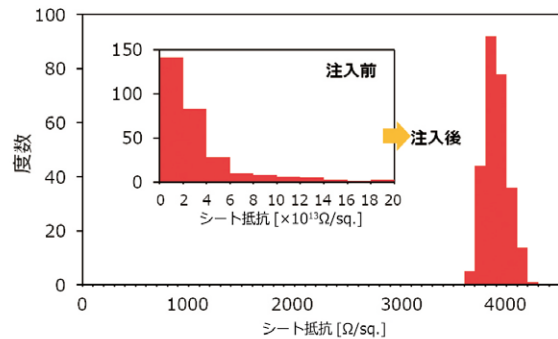


図4 6世代基板相当におけるIGZOシート抵抗の度数分布

1. 3 ダイヤNVセンサ技術の開発⁽⁴⁾

当社は、住友電気工業株式会社と協力し当社グループのVISION2025で掲げる「日新一新」の為にイノベーション先導を目指し、基盤技術強化を進めている。その中で、製品寿命が30年に及ぶ高電圧機器の状態監視をIoT化・デジタル化するには、高感度センサーや精密電子機器の長期信頼性が高電圧機器に及ばないため適用困難とされている。この課題を解決するために、堅牢なダイヤモンドを使用して、非接触で計測可能な変成器や予測保全のための長寿命な計測技術確立を目指している。

ダイヤモンドNVセンサは、NV⁻センターのスピントと呼ばれる磁気的な性質を活用し、脳磁・心磁計測や車載センサなどさまざまな分野への応用に向け、注目されている技術である。その作製には、1) 高純度ダイヤモンドに窒素イオンを注入して作製する方法、2) あらかじめ窒素が入っているダイヤモンドに電子線を照射して作製する方法などがあり、イオン注入や電子線照射後に600℃以上の高温アニールを行うことによりNV⁻センターを形成することで作製される。当社は、ダイヤモンド合成は協業している住友電気工業で実施し、イオン注入を当社グループの日新イオン機器株式会社（NIC）、電子線照射を株式会社NHVコーポレーション（NHVC）でそれぞれ実施することで、ダイヤモンドの素材からダイヤモンドNVセンサの作製までを一貫して関連会社で実施可能である。これにより、さまざまなニーズに対して、最適なダイヤモンドNVセンサの試作・探索が可能となっている。

ダイヤモンドは耐環境性に優れており、過酷環境においても安定にかつ、長期にセンサとして機能することも期待されている。

このようなダイヤモンドNVセンサ技術について、この度当社は、ダイヤモンドNVセンサのペン型およびアンテナ型モジュールを試作し、小型で可搬な状態での磁気計測、および、金属ケーブルを使用しない高電圧部分の電流磁場計測を実証したので、以下の通り報告する。

ペン型モジュールは住友電気工業の光技術を利用して試作を行った（図5）。本モジュールは、ペン型筐体内にNV⁻センターを有するダイヤモンド、レーザーダイオード（LD）と合分波モジュール、マイクロ波コイル、受光素子を内蔵し、LD制御信号、受光信号、マイクロ波信号の送受信の電線ケーブルを外部からペン内に導入、および引き出して、利用するものである。細いケーブルのみが接続された小型のセンサヘッドであるため、測定したい磁界部に手軽に近づけて測定できることを特徴とする。本モジュールにて、ダイヤモンドNVセンサでの小型で可搬な状態での磁気計測

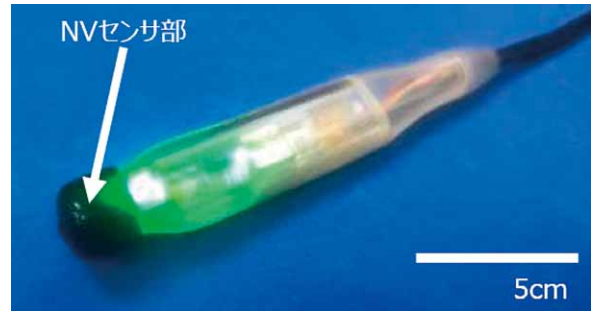


図5 ペン型モジュール外観

が可能であることを確認した。

続いて、金属ケーブルなしでの磁場計測を目指した、ダイヤモンドNVセンサのアンテナ型モジュールの試作について報告する。高電圧電力機器の近傍にセンサを設置する場合、マイクロ波を伝送する同軸ケーブルは金属できていて、そのまま近接させると地絡事故を起こしてしまう。そこで、電氣的に絶縁を施した状態での測定を目指し、マイクロ波をアンテナで送受信するアンテナ型NVセンサモジュールを試作した。本モジュールは図6に示す構成により、模擬電力線（50Hz、30A）とアンテナを最大10m離隔しても計測できることを確認した。図7の4m離隔した場合の実験結果に示す通り、交流電流に応じて磁界が時間変化する事を確認できた。これにより、金属ケーブルなしでダイヤモンドNVセンサで高電圧部分で計測できることを実証した。

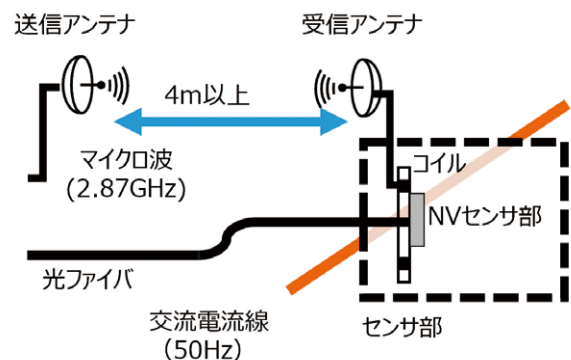


図6 交流磁界（電流）計測実験系

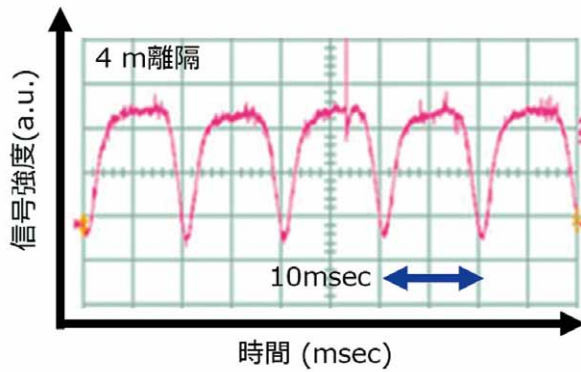


図7 交流磁界（電流）計測結果

このように、ダイヤモンドNVセンサはさまざまな用途や環境で利用できる簡便な高感度センサとして、利用拡大が期待される。今後、ダイヤモンドNVセンサの実用化に向けて、住友電気工業、NIC、NHVCと協力し、高品質ダイヤモンドやセンサモジュール製品化、および、その応用製品開発に取り組んで行く。

参考文献〔1〕 研究・開発

- (1) 黒田、加茂、牧、栗尾、高野：「直流配電システムの開発」,日新電機技報,Vol65 No.2,pp.33-41(2020.4)
- (2) H. Y. Jeong, et al. “Coplanar amorphous-indium-gallium-zinc-oxide thin film transistor with He plasma treated heavily doped layer”, Appl. Phys. Lett. 104, 022115(2014)
- (3) T. Ui, et al. “Characteristics of noble-gas-ion-implanted amorphous-InGaZnO films on glass”, 27th AM-FPD’ 20, 115(2020)
- (4) 左、林、出口、中西、西林、辰巳、寺本、小林：「NVセンサ用ダイヤモンド素子とその応用の可能性」,住友電気テクニカルレビュー,第198号,pp.67-72(2021.1)

(*) 「SPSS」は、日新電機株の登録商標です。