

三菱電機技報

6

2023
Vol.97 No.6

カーボンニュートラル実現に貢献する
Energy & Facility ソリューション

No.6

特集	カーボンニュートラル実現に貢献するEnergy & Facilityソリューション	Energy & Facility Solutions for Realizing Carbon Neutral
巻頭言		
カーボンニュートラル実現に向けた 社会の動向と技術開発……………	1-01	Social Trend and Technological Development towards Carbon Neutral Soichi Hamamoto
濱本総一		
巻頭論文		
世界のカーボンニュートラルに向けた エネルギーマネジメントの役割……………	2-01	Energy Management Role for Global Carbon Neutrality Yukitoki Tsukamoto
塚本幸辰		
画像解析・AI技術を活用した 送電線・鉄塔の保全高度化……………	3-01	Advanced Maintenance of Power Lines and Steel Towers by Using Image Analysis and AI Tomohiko Kamijo, Masahiko Kubota, Hiroki Komoto, Airi Nakagawa, Mizuki Iwamoto
上條朋彦・久保田雅彦・古元宏樹・中川愛梨・岩本瑞樹		
“MELSEC iQ-Rシリーズ”のDCS適用を目指した エンジニアリングツール“MELGEAR”……………	4-01	Engineering Tool "MELGEAR" for DCS Application of "MELSEC iQ-R Series" Yuki Serizawa, Atsuhiko Fujii, Masayuki Tanizawa, Daiki Fukamizu
芹澤佑樹・藤井敦啓・谷澤正幸・深水大樹		
カーボンニュートラル実現に貢献する 系統安定化システム……………	5-01	Remedial Action Scheme Contributing to Achieving Carbon Neutrality Tomohiro Adachi, Kenichiro Kusaba
安達友洋・草場健一郎		
カーボンニュートラル実現に貢献する 直流配電システム……………	6-01	Direct Current Distribution Network System Contributing to Realization of Carbon Neutral Hayato Takeuchi, Yusuke Kato
竹内勇人・加藤優典		

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集ではインフラ領域の“カーボンニュートラル実現に貢献するEnergy & Facilityソリューション”をご紹介します。

巻頭言

カーボンニュートラル実現に向けた 社会の動向と技術開発

Social Trend and Technological Development towards Carbon Neutral



濱本総一 Soichi Hamamoto

上席執行役員 電力・産業システム事業本部長

Executive Officer, Group President, Energy & Industrial Systems

近年、世界の様々な地域での自然災害が増加し、その災害の規模も激甚化しています。気候変動問題が人類共通の喫緊の課題として顕在化し、持続可能な社会実現に向けた取組みは私たちのあらゆる活動での主要課題になっています。2022年11月に開催された国連気候変動枠組条約第27回締約国会議(COP27)では、パリ協定の1.5℃目標達成の重要性が再確認され、その実現に向けて将来のカーボンニュートラル実現を表明する国・地域が増加し世界的に脱炭素の機運がますます高まってきています。日本も岸田内閣総理大臣を議長とするGX(グリーントランスフォーメーション)実行会議によって、2030年度の温室効果ガス46%削減、2050年カーボンニュートラルの実現という脱炭素目標とともに、エネルギー安定供給、産業競争力強化・経済成長を同時に実現するという“GX実現に向けた基本方針”が2023年2月に閣議決定され、再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の主力電源化、原子力などエネルギー安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い電源を最大限活用する、省エネルギーの徹底推進等の方針が示されています。

脱炭素社会を実現するためには多様な取組みが必要とされ、またエネルギーをめぐる不確実性が高まる中で、あらゆるエネルギー源とエネルギー技術を総動員することが重要であるとされています。再エネの主力電源化には、大規模集中電源(火力・原子力等)を中心とした電力エネルギー供給・流通形態との連携・協調が必須になります。エネルギー源として太陽光・風力等の再エネ電源、蓄電池を複数組み合わせ、都市近郊・マイクログリッドごとに分散配置された電力を需要家へ供給するとともに、余剰電力を活用した電力融通を需要家間で積極的に行うなど、電力エネルギーの最適性を追求した供給・運用の導入も実証から実用に向けて各種進められています。より複雑かつ双方向の潮流の増加や大型回転機を持つ大規模集中電源の減少に伴う慣性力の低下、再エネの中でも安定的な発電が見込める地熱・水力などの最大活用に向けた環境整備・技術開発、天候・気候変動を受けやすい太陽光・風力などの変動型自然エネルギー源の増加による出力抑制など、系統運用にかかる社会課題はますます大きくなっていると認識しています。さらに、エネルギーコストの高騰や大規模需要家での燃料転換、新たなエネルギー源開発でも、経済性の追求と地政学的リスクへの対応など複雑化しています。

このようなエネルギー転換、エネルギーコスト高騰の社会課題に対して、電力・産業システム事業本部では、デジタル技術を活用したエネルギーソリューションとして、分散化・複雑化した電力系統を最適に制御し、効率的なエネルギー運用を実現するエネルギーマネジメントシステム、慣性力を補完する機能を具備したグリッドフォーミング、将来の水素・アンモニアの活用を見据えた監視制御装置などのコンポーネントやシステムを提供し、脱炭素化と経済性の両立を目指した製品開発に取り組んでいます。また、設備の高経年化や保守人材の高齢化、技術・技能伝承力の低下などの顧客課題に対し、経済産業省が推進しているスマート保安への取組みとして、IoT(Internet of Things)、AI等を活用した異常兆候・劣化診断システムや総合的なエンジニアリングツールを提供し、発電設備や送配電・受配電設備の保守の合理化に貢献することを目指しています。さらに、環境ソリューション分野で製品として貢献が期待できる温室効果ガスを使用しない自然ガスを適用した消弧方式の高電圧遮断器、洋上風力発電で発生した電力を送電する際の損失ロスを低減できるHVDC(高圧直流)変換器や直流配電システムなど新たな電力流通システムを支える電機コンポーネント開発にも力を入れています。

三菱電機の目指す“循環型デジタル・エンジニアリング企業”の実現に向けて、コンポーネントやシステムの提供だけでなく、インフラ事業で蓄積したエンジニアリングとフィールドナレッジを基盤に、設備運用によって得られる多岐にわたるデータを蓄積・解析・評価し、熱・電気の両面でのエネルギーの効率的運用や設備管理・保守からコンサルティングに至る一連のサービスを“Energy & Facility(E&F)ソリューション”として提供することで、顧客の新たな価値を創造し、活力とゆとりある社会の実現に貢献していきたいと考えています。

この特集号では、特に“E&Fソリューション”で期待される最新技術について紹介します。

世界のカーボンニュートラルに向けたエネルギーマネジメントの役割

Energy Management Role for Global Carbon Neutrality



塚本幸辰*
Yukitoki Tsukamoto

*DigitalEnergy事業統括センター準備室長

要 旨

国連は、SDGs(Sustainable Development Goals)の実現のために全ての企業にサステナビリティ経営を求めている。それに呼応して世界のESG(Environment, Social, Governance)投資は急速に増えている。企業がESG投資を呼び込むためには、SDGsに向け企業の行動変容を促進することが不可欠である。中でも、各企業のサステナビリティ経営での地球環境対策の一つとして、エネルギーマネジメントは極めて重要な役割を担う。エネルギーマネジメントは、各事業者内のエネルギー管理にとどまらず、再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)を送配電ネットワークに接続するための環境整備や再エネの電力や環境価値を売買する電力市場の整備のほか、業種や需要種間のセクターカップリングを念頭に地域レベルでのマネジメントが重要になってくる。また、地域的に広がる再エネを最大限活用するためには、最新のIoT(Internet of Things)やデジタル技術を活用したデジタルプラットフォームの整備が不可欠である。

1. ま え が き

化石燃料の消費と自然資本の利用に依存し続けてきた国際社会は今まさに岐路に立たされている。また、エネルギーだけでなく、地球環境、ジェンダー、貧困などの問題はどれも地球規模であり、人類はかつてない多くの課題に直面している。さらに、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)やウクライナ侵攻は、戦後国際社会が築いてきた枠組みに強く影響を及ぼしている。特にウクライナ侵攻はエネルギーの地政学的な需給ギャップを悪用しており、国際社会は明らかにその影響を受けている。

混迷する国際社会の中で、気候変動対策は待ったなしの状況であり、豊かな社会を作り出してきた生物多様性を含む自然資本の保全についても地球規模での取組みが求められている。にもかかわらず、2015年の国連サミットで採択されたSDGsの達成や、パリ協定での気候変動枠組条約の遵守が危ぶまれている。各国は、カーボンニュートラルの達成に向けた公約を掲げているが、そこには法的拘束力がなく達成の不確実性が高まっている⁽¹⁾。

一方で、国連はSDGsの実現のために企業の活動を重視しており、全ての企業にサステナビリティ経営を求めている。そうした中、世界のESG投資は急速に増えており、2020年にはその額は35.3兆ドルに上った。特に、各企業は気候変動への対応を中長期計画に統合するために、再エネの最大限の活用を前提としたエネルギー供給網の整備、サプライチェーン全体での排出量の見える化とその管理、モビリティの電動化を代表とする化石燃料消費の低減策など、あらゆる分野で革新的なエネルギーマネジメントの導入が必要である。さらに、ESG投資では、グリーンウォッシングなどの不正の防止や、移行リスクの低減が求められている。IoTやAIを始めとするデジタル技術を活用し、デジタルプラットフォームを整備することでエネルギーや環境価値の見える化やトラッキングが期待される。

本稿では、世界のCO₂排出量の状況、及びカーボンニュートラル実現に向けての国際的なイニシアチブでの各種取組みを述べるとともに、電力エネルギーシステムでの各種エネルギーマネジメント、及びそれを支えるデジタルエナジープラットフォームについて述べる(図1)。

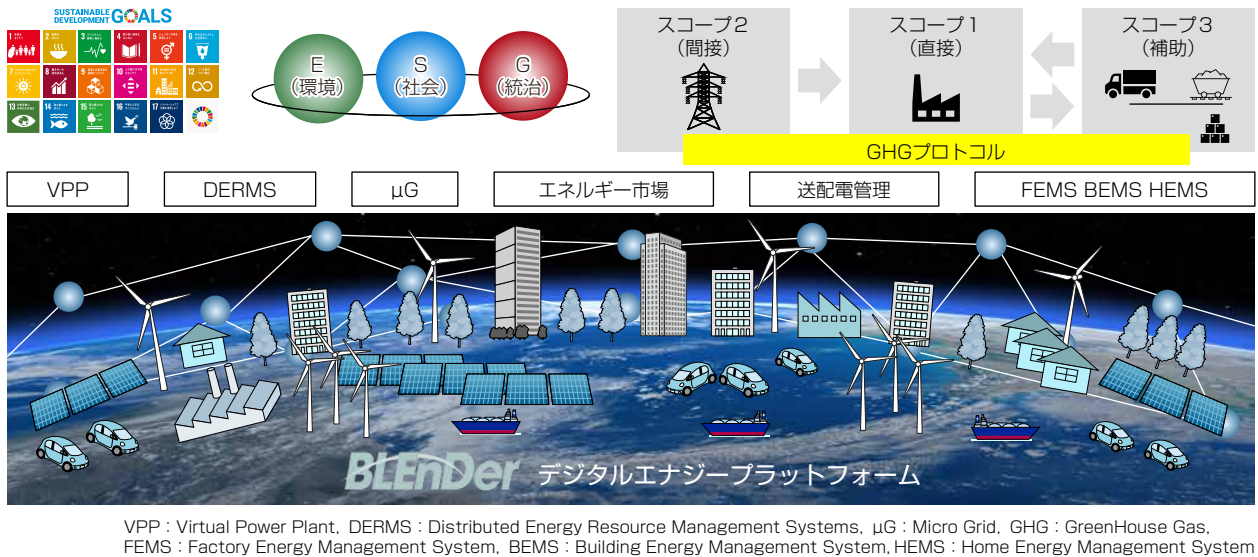


図1. SDGs, ESG経営を支えるデジタルプラットフォーム

2. 世界のエネルギー・環境を取り巻く情勢

2.1 世界及び日本のCO₂排出量

図2に、産業革命以降の世界のCO₂排出量の推移を示す。2000年前後から中国を筆頭にアジア地域の排出量がOECD（経済協力開発機構）加盟国のそれを超えつつあり、今後の経済発展のポテンシャルを踏まえれば、アジア地域の排出量が世界の排出量の大半を占めることが確実である。2020年時点での世界全体のCO₂排出量は年間約335億トンであり、国別では、中国98.8億トン(29.5%)、米国47.2億トン(14.1%)、インド23.1億トン(6.9%)、ロシア16.4億トン(4.9%)に次いで、日本は5番目(10.4億トン：3.2%)に多い排出国になっている。また、一人当たりの排出量は米国14.5トン/人、韓国11.3トン/人、ロシア11.3トン/人に次いで、日本は8.4トン/人になっている。世界的には排出量の約75%が石油や石炭などの化石燃料の燃焼によるものであり、脱炭素化に向けては、化石燃料の燃焼の代替策が最も重要な対策である。

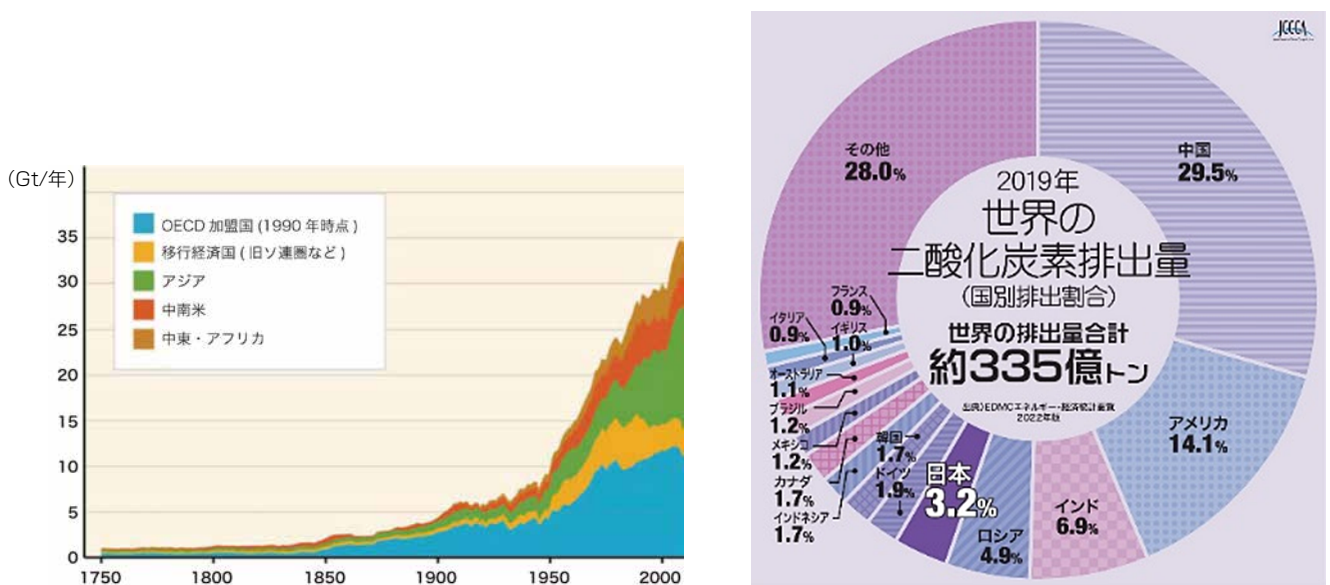


図2. 2019年世界の地域・国別排出量 (出典：エネルギー経済統計要覧2022/ IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 第5次評価報告書)

2.2 日本での部門別のCO₂排出量

図3に日本での部門別のCO₂排出量を示す。1990年以降の排出量は緩やかな上昇傾向であったが、2013年以降は下降基調になっている。特に、電力・ガスなどのエネルギー転換部門でも1990年以降は緩やかな増加傾向が続いて、2011年の東日本大震災以降更に増大したが、2013年以降は人口減少や省エネルギーの普及によって低下傾向にある。2020年時点での排出量は10.4億トンであり、部門別の排出量比率は、直接排出量ベースでエネルギー転換部門40.4% (4.2億トン)、産業部門24.3% (2.5億トン)、運輸部門17% (1.8億トン)、そして業務、家庭部門が各々約5% (0.5億トン)になっており、燃料消費に伴う排出量が全体の約92%を占めている。

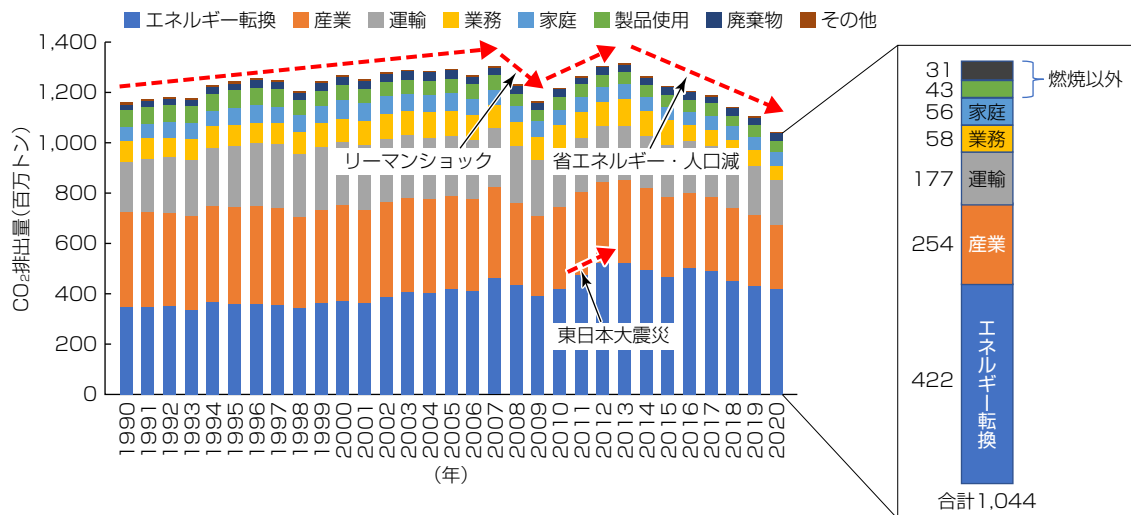


図3. 日本部門別CO₂排出量の推移

3. ネットゼロに向けての世界のイニシアチブ

3.1 SDGsとパリ協定

3.1.1 SDGsに対する世界の進捗と日本の評価

2015年9月の国連サミットで、2030年までに持続可能かつより良い世界を目指す国際目標として17の持続可能な開発目標(SDGs)が採択された。17項目には、人権、経済、社会、地球環境の保全に関わる目標が設定されており、各国の積極的な活動が求められているが、既に各国の間でその進捗には大きな差が生まれている状況である。SDGsレポートによると、世界165か国のSDGs指数に関しては、フィンランド、デンマークなどの北欧諸国が上位を占めており、日本の平均順位は19位(2022年)に位置付けられている。日本は、特に“質の高い教育”“産業と技術革新の基盤”“平和と公正”の面で目標を達成していると評価されているが、“ジェンダー平等”“作る責任と使う責任”のほか、“気候変動への対応や自然資本の保全”の観点で大きな課題を残している。“気候変動への対応や自然資本の保全”の観点では、再エネを中心としたクリーンエネルギーの導入拡大やGHG排出量対策が必要になっている。

3.1.2 パリ協定での1.5°C報告書⁽²⁾

2015年12月には、SDGsに含まれる気候変動対策として、先進国及び途上国全ての国が協力してCO₂排出量を削減するためのパリ協定が合意された。2050年に気温上昇を1.5°Cに抑えることが重要であり、そのためには2050年までにネットゼロを達成する必要があることが報告された。

先進国は、これを受ける形で野心的な目標達成に向けた公約を発表し、米国は2005年比52%、欧州は1990年比68%、さらに日本は2013年比46%の目標値を設定している。

3.2 企業でのESG経営

3.2.1 企業が取るべき行動指針

国連は、SDGsの実現のために企業活動でのSDGsへのコミットメントを重視している。健全なグローバル社会を実現するためのイニシアチブである国連グローバルコンパクト(UNGC: United Nations Global Compact)は、企業活動に対して人権、労働、環境、腐敗防止に向けての10の原則の遵守を求めている。特に環境分野では、①課題に対する予防的措置の実践、②環境に対する責任の自覚、③環境改善に向けての技術開発推進の三つが設定されており、それらを企業の経営計画に織り込む必要がある。UNGCには、世界の2万社を超える企業が参加しており、国内からも500社を超える企業が参加している状況である。

3.2.2 気候変動リスクとESG経営

(1) 気候変動リスク

人類が直面している気候変動リスクには、気候変動に伴う異常気象の多発、頻繁な山火、海面上昇などによって社会や企業が直接的に被る“物理リスク”、及び社会や企業が気候変動対策のために被る“移行リスク”に分けられる。移行リスクには、再エネ導入拡大や、排出量取引、国境炭素税の導入に伴うコスト増や、気候変動防止のための研究開発コストなどが挙げられる。なお、移行リスクについては、国際的なイニシアチブが強化される中で、各企業が移行リスク対策を将来に向けた投資と見立てて、経営の中長期計画に織り込むことで新たな事業創出につなげようという動きが活発になってきている。移行リスクをヘッジしつつ物理リスクを顕在化させないための活動が世界レベルで求められている。

(2) ESG経営

各企業が移行リスクを中長期の事業戦略に織り込んで、新しい事業の創出に取り組む中で、ESGへの投資は急速に増えている。また、SDGsが叫ばれる中、企業に変革を求める声は強くなってきており、各企業は企業活動でのSDGsへの適合に加えて、社会的な課題を解決するための製品・サービスの開発が求められている。また、ESG投資を行う投資家は、中長期的な価値に重きを置いており、企業価値を見極めるためにTCFD(Task Force on Climate-related Financial Disclosure)への対応を求めている。

TCFDは、ガバナンス、戦略、リスクマネジメント、指標と目標の4項目から成り立っている。ガバナンスでは、サステナビリティに対する取締役会の監視とその役割、戦略やリスクマネジメントでは、気候変動リスクに対する企業戦略を求めているとともに、指標と目標に関しては、GHGデータの開示を中核として気候変動リスクに対する定量的評価を求めている。GHGデータに関しては、GHGプロトコルに沿って、直接排出量としてのスコープ1、電力購入を始めとした間接排出量としてのスコープ2だけでなく、サプライチェーンでの排出量であるスコープ3についても開示することが勧告されている。ESG経営として、GHGプロトコルを適切に管理し、ネットゼロを目指すためには、電化の推進、電力の再エネ化、エネルギーフローの見える化、各種省エネルギー対策のほか、送配電ネットワークへのアクセス環境や電力市場の整備など地域を含めた総合的なエネルギー管理が求められる。

4. エネルギー管理

4.1 エネルギー管理でのセクターカップリング

エネルギー管理とは、エネルギーの利用を合理的に管理することを言い、一般的には工場やビルでのエネルギー管理を指すことが多いが、一次エネルギーの燃焼及び二次エネルギーへの変換、また輸送から利用に至るエネルギー需給のより広い範囲の管理を包含する概念でもある。

各企業は、ネットゼロに向けて、またESG経営の観点からGHG排出量の削減を強く求められることになるが、それに対応するためには、正確なエネルギー需給データとGHGプロトコルに則(のっと)ったスコープ1, 2, 3への対応及び排出量の正確なトラッキングが必要であり、さらに各企業は直面する移行リスクを網羅的に把握した上で、適切なエネルギー管理を行う必要がある。

一方、再エネの地域的な広がりや、多くの再エネが需要家内に設置される環境下で、異なるセクター間での電力の売買

も含めたより広域でのエネルギー管理に焦点を当てるのが重要である(セクターカップリング)(図4)。そのため、市場参加者が、電力市場や送配電ネットワークに、よりアクセスしやすい環境を提供する必要があり、国際的にもそのルール作りが進められている。

ここでは、電力市場や送配電ネットワークに求められるエネルギー管理のあり方、及び再エネ拡大環境でセクターカップリングを意識した地域や企業に求められているエネルギー管理について述べる。

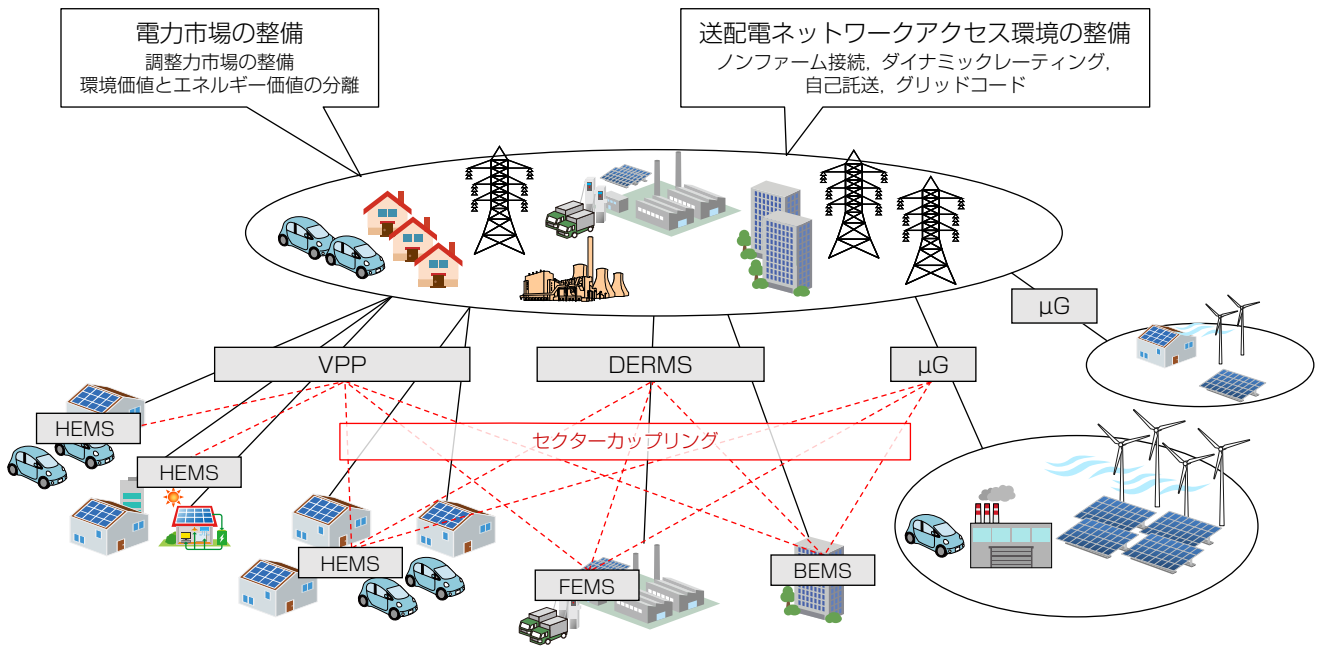


図4. 電力市場でのセクターカップリング

4.2 電力システムでの各種対策

4.2.1 電力市場整備

世界の電気事業改革は1990年代から進められてきた。当初の電力市場では、エネルギー(kWh)を経済的に取引するエネルギー市場の設立に始まり、スポット市場、先物・先渡市場、さらに時間前市場の整備が進められた。その後、中長期的な供給力としての設備容量を確保する目的で供給力(kW)を取引する容量市場の整備が始まり、さらに再エネが増加する中で、調整力(ΔkW)の調達を確実にを行うための調整力市場やインバランス市場の整備も進められている(表1)。

表1. 電力市場の整備

取引対象価値	年～月前		～実需給1日前	実需給1時間前	実需給
kWh価値(エネルギー市場)	先物市場	先渡市場	スポット市場	時間前市場	インバランス市場
ΔkW 価値(調整力市場)			需給調整市場		
kW価値(容量市場)	容量市場				
環境価値	非化石市場				

また、電気事業での電源リソースは多種多様なエネルギー源から構成されるとともに、将来の電源構成も含めた電気事業分野でのCO₂排出量の抑制が強く求められている。したがって、排出量削減へのインセンティブを付与するためには、環境価値をエネルギー価値から分離させる取組みも行われている。つまり、カーボンニュートラルの実現に向けて、多くの市場参加者が参加する電力市場では、それぞれの価値を分離して取引することで、多種多様な市場参加者への参入機会の提供と選択肢の拡大を与えて、各市場の流動性を高めることが重要である。

一方、電力システムの安定運用の観点からは、あらゆる瞬時にkW, kWh, ΔkW が確実に確保される必要があり、法的制度面だけでなくその運用可用性の面からも適切な対応が必要である。

4. 2. 2 DERMS

再エネが送配電網に大量に連系される場合には、電力システムの運用で新たな課題が顕在化する。例えば、天候の急変などの短期的な外部要因に影響を受けやすい再エネ出力は、電力システムの系統周波数に影響を及ぼしやすいことや、回転機の相対的な減少による慣性力の低下に伴い系統擾乱(じょうらん)時の安定度に影響を及ぼす可能性も指摘されており、従来の火力、水力機への制御だけでなくこれらの再エネリソースに対する電力制御が必要になってくる可能性がある。また、電圧階級の低い配電網に多くの再エネリソースが分散的にかつ偏在して連系される場合には、配電網を流れる電力潮流の変動が激しくなり、変電所から需要家だけでなく需要家側から変電所に向けて潮流(逆潮流)が流れるケースが常態化する。従来、逆潮流を前提にしない形で形成されてきた送配電網の設備に関しては、非定常的に容量を上回る電力潮流の可能性もあり、送配電網の混雑管理の仕組みの導入も検討されている。

特に、透明性と公平性が求められる電力市場では、需給バランス維持や送電混雑管理のために所有者の異なる再エネリソースをどのように管理、制御するかは重要な視点である。DERMS(分散型エネルギーリソースマネジメントシステム)は、送配電網に連系される多数の再エネリソースを適切に管理する仕組みとして期待されている(図5)。

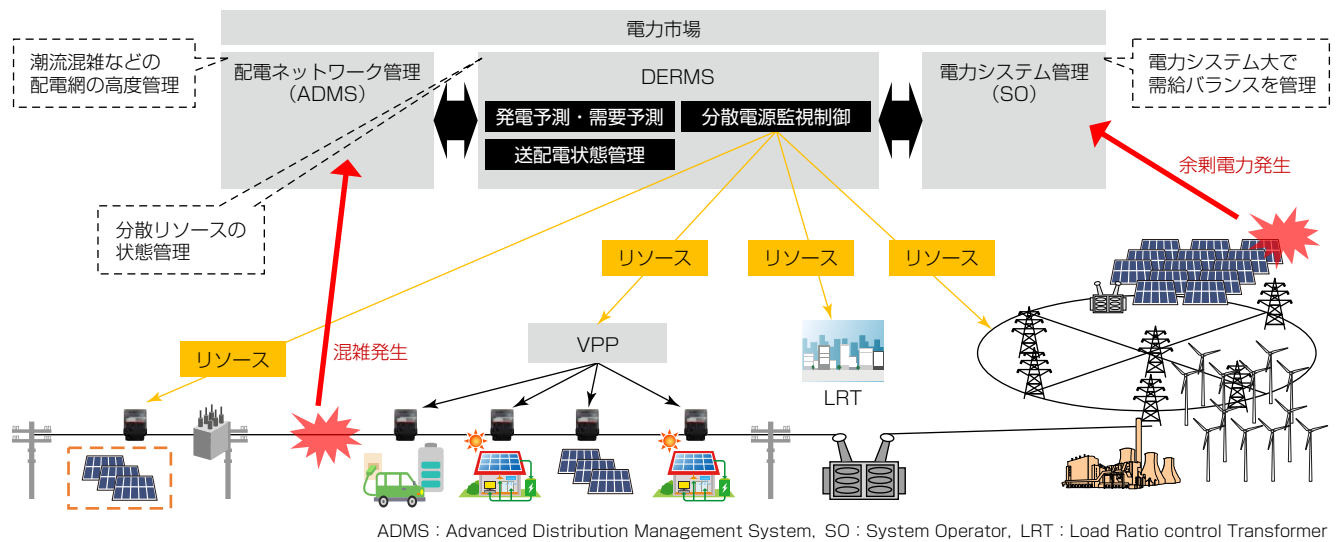


図5. DERMS

4. 2. 3 VPP(仮想型デジタル発電所)

再エネは地理的に広範囲に点在し、しかも一つ一つのエネルギー密度は極めて小さく、また出力が不安定であるが、それらを束ねることで一定規模の出力を確保できる。この概念をVPP又は仮想型デジタル発電所と呼んでいる(図6)。通常の発電機は何らかの形で出力等に対する制御能力を持っているが、例えば、太陽光などの再エネは、少ない出力を最大限に活用することから、一般的には出力を抑制する機能を持っていない。しかし、蓄電池の併設や、電力制限のための制御機能を持たせて、これらを束ねて全体として一定の制御能力を持つならば、それをkW価値として扱うことも可能である。また、需要家に設置される空調機器や温水器などの電力機器をネットワークで統合し、負荷制御を適切に組み入れることで、需給制御性能を向上させて電力システムの調整力に活用することが試みられている。

このようなVPP実現のための高度なエネルギー管理のためにはIoTの活用が重要である。多数の電気機器を接続するため、インターネットを前提としたオープンなプロトコルや多種多様なリソースに対する統合制御は重要な技術要素である。また、一つ一つのリソースが果たす役割が極めて小さいものの、それを統合することでメリットを引き出す場合に、同じVPPに参加する参加者同士のルールやインセンティブ付与についてはゲーム理論や意思決定論などの経済的アプローチが重要である。

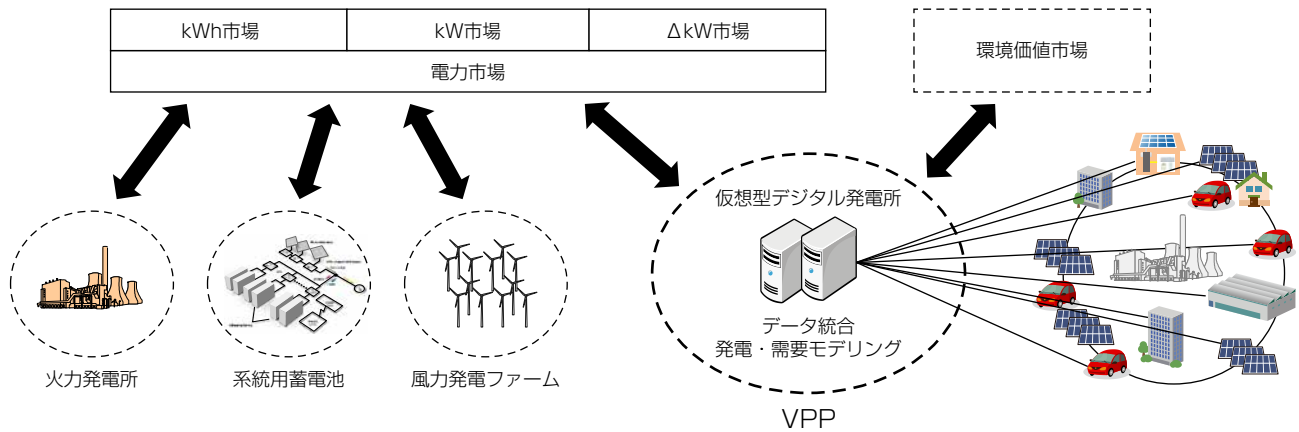


図6. VPP

4.2.4 マイクログリッド(地域独立系統)

マイクログリッドの“マイクロ”は、一般的な広域系統に対する相対的な言葉であり、絶対的な規模を指すものではない。マイクログリッドは、あるローカルな地域で電力供給と負荷が一体的に管理され、そのローカル地域の特殊なニーズに対応するために、広域系統とは系統的に分離した形で独立的に運用されるものと説明できる。

例えば、離島では燃料調達問題や環境対策課題があり、今後、大幅な再エネ導入が見込まれる。そのため、離島という限られた地域で蓄電池やDR(Demand Response)を統合したエネルギー管理が求められることが考えられる。

また、ある政策的な重要地域で、電力供給のより高い信頼性が求められるケースもあり、広域系統停電時の無停電供給やフィーダー冗長化などの信頼度向上対策が取られることがある。以前からデータセンターや半導体工場では広域停電に対するバックアップ対策が行われてきたが、これをある地域レベルで実現するものでもある。

マイクログリッドの独立性は、広域系統の事故波及からの隔離を可能にすることや、また、ある特定の地域では、需要地近接型電源と蓄電池の広域系統に頼らない供給システムで、メリットを引き出すケースが考えられる。

4.2.5 需要家サイドエネルギー管理(FEMS, BEMS, HEMS)

以前から電力の供給者と需要家は電力量計器を境にして区分されてきたが、今後、多くの需要家が電力供給設備を持ち、電力消費だけでなく電力供給の一躍を担うことが予測される。このような需要家をプロシューマーと呼ぶ。

プロシューマーは、自家発電装置を持っている工場や、バックアップ電源を持つオフィスビルや、また太陽光や蓄電池を設置する一般家庭の場合もある。従来は、需要家は電力を効率的に使うことで自らの経済余剰を最大化してきたが、プロシューマーは、電力消費による経済合理性の追求だけでなく電力供給に対する合理性についてもその意思決定を行う。需要家サイドのエネルギー管理については、既に、FEMS, BEMS, HEMSという形で具現化されており、需要家内の機器のネットワーク化による空調、照明、動力といったエネルギー消費のカテゴリー別管理や電力消費機器の管理が進展している。

今後、再エネ電源や蓄電池が需要家内に設置されることで、各機器の電力消費を最適化するなどしてDR能力を拡大させ、それを供給側と連動することで、電力システム全体への貢献が可能である。需要家の供給側への積極的な介入は、需要と供給の相互の選択肢を広げて、経済余剰の拡大につながることもなる。

さらに、プロシューマーは、電力という財の運用だけでなく、付随する環境価値に対する評価とその管理が求められる。経済活動の財やサービスに対して環境価値の側面が重視される中、カーボンニュートラル実現に向けて、需要家サイドのエネルギー管理にその役割が期待されている。

5. デジタルエナジープラットフォーム

地域的広範囲に分散する多種多様な再エネ電源を4章に示したDERMSやVPP、マイクログリッドのようなエネルギー管理モデルで活用するためには、最新のIoTやデジタル技術を活用したプラットフォームの整備が不可欠である。BLEnDer DEP(Digital Energy Platform)は、様々な種類の分散電源や需要関連機器からのデータをリアルタイム又は

準リアルタイムに収集・蓄積するとともに、各アプリケーションからの要求に従って様々な形でデータを提供し、また必要に応じてフィールド機器を制御できる(図7)。

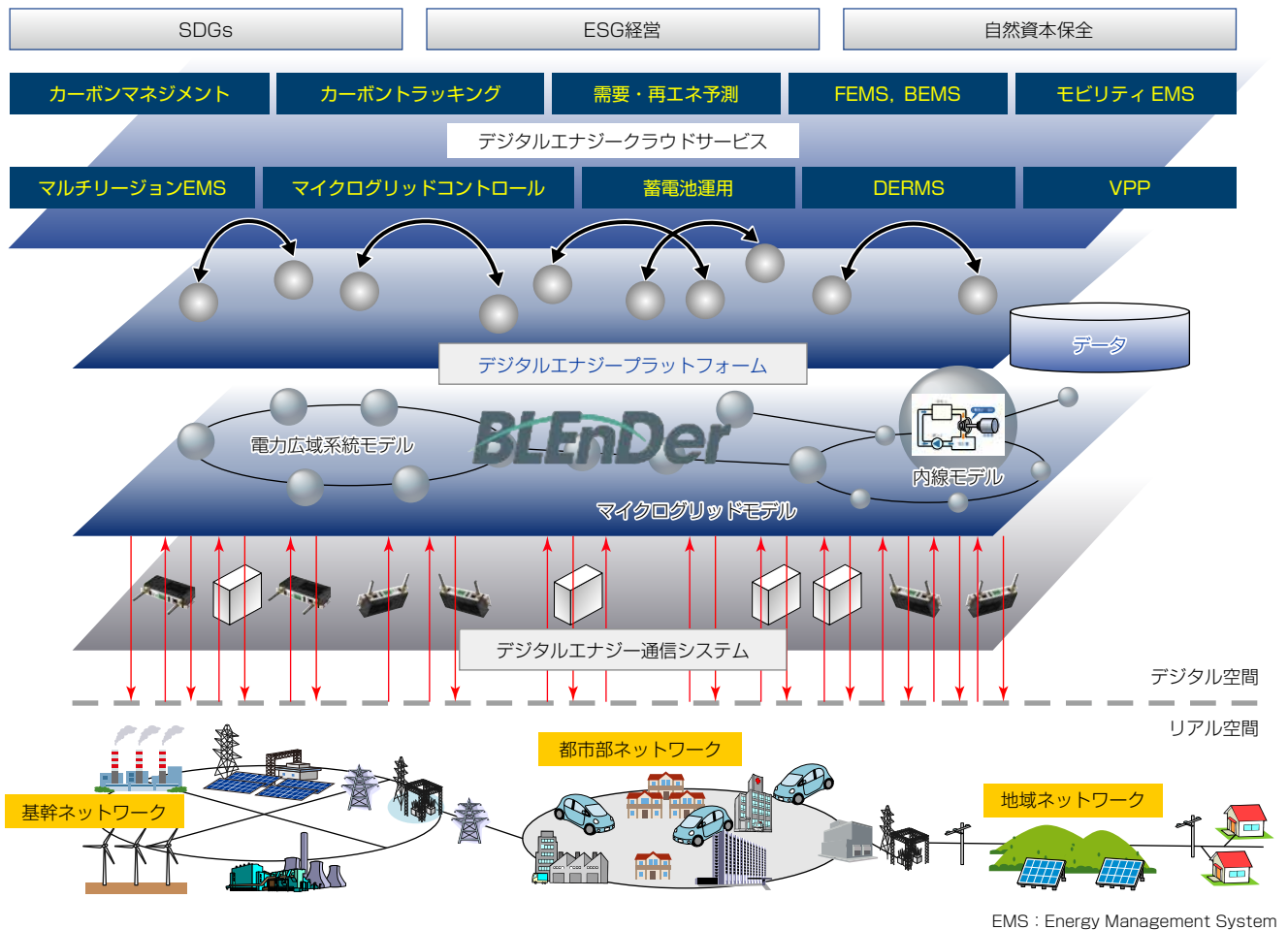


図7. デジタルエネルギープラットフォーム(BLenDer DEP)

フィールド機器に設置するエッジ機能にはBLenDer ICE(Intelligent Communication Edge, 以下“ICE端末”という。)を利用しており、産業用から業務用、さらに家庭用機器の標準プロトコルに対応し、多種多様なリソースとの接続が可能である。マルチベンダーでのゲートウェイ接続やプラットフォームとの関係も想定しており、それらと接続するリソースも対象とした統合監視・制御の実現を目指している。

DEPでは、数百万台のICE端末を管理できる仕組みを提供しており、プロトコル差異やデータ収集周期の差異を吸収するレイヤーを備えていることから、オープンなIoTプラットフォームを提供している。また、このプラットフォームはクラウドサービスとして提供しており、世界中の分散リソースをマネジメントすることが可能になっている。

6. マルチリージョンEMS

ネットゼロに向けて、各企業はGHGプロトコルに基づく排出量の管理と情報の開示が求められていることから、使用する電力についても再エネ設備を自らの敷地内に設置することや、コーポレートPPA(Power Purchase Agreement)などを通じて排出原単位の低い電力を購入することが必要になっている。一方、企業の多くは、複数の事業所を活用して事業を営んでいることが多く、エネルギー管理については各事業所に個別に実施されているのが通常である。

しかしながら、各企業が再エネ設備導入を進める中で、設置スペースに余力のある事業所とそうでない事業所や、各事業所のサプライチェーンの違いからネットゼロに向けた要請が異なるケースが予想される。したがって、状況の異なる複数の事業所が連携してエネルギー管理を行うことで各々の事業所の再エネ価値を高めることが可能である。

デジタルエネルギープラットフォーム上で提供されるマルチリージョンEMSは、企業が再エネ導入を進める中で、エネ

ルギー価値と環境価値を各事業所の要求に従って適切に配分し、各事業所のエネルギー管理でのスコープ1, 2を支援する。

6.1 自己託送

マルチリージョンEMSは、地域的に離れた複数の事業所間でエネルギー価値や環境価値を融通するために自己託送制度を活用する。自己託送の活用では、事業所ごとにエネルギーバランスの管理や需給関連データの送配電関連機関への提示など送電アクセス要件(グリッドコードや託送ルール)に基づく運用が求められる。

現在、各国の送電アクセス要件は、電力市場での再エネ拡大と安定供給を両立させるために様々な検討が積み重ねられており、今後、送配電網のより利用しやすい環境が期待される。

6.2 カーボントラッキング

電力システムでは、時々刻々供給コストが変化しているのと同じく、CO₂排出原単位も常に変化している。例えば、太陽光発電が増加する日中は電力システムでの原単位は低くなるため、その時間帯に電力を消費する需要家の排出量は相対的に低く算出されるべきである。また、コーポレートPPAを通じて直接電力を受ける場合には、供給コストだけでなく環境価値についてもその供給者の時々刻々の原単位で評価される必要がある。今後多くの再エネが連系される電力システムでは、環境価値をエネルギー価値と同じ時間単位でトラッキングし、公平に評価することで正確なインセンティブを付与することにつながる。

マルチリージョンEMSは、エネルギー価値と環境価値の流通を確実にトラッキングし、各事業所の要件に沿って、スコープ1, 2への適切な対応が可能である。カーボンフリー電力を必要とする事業所には、優先的に自社再エネ電力を優先送電するとともに、もしも不足する場合には、環境価値証書の購入で補完する(図8)。

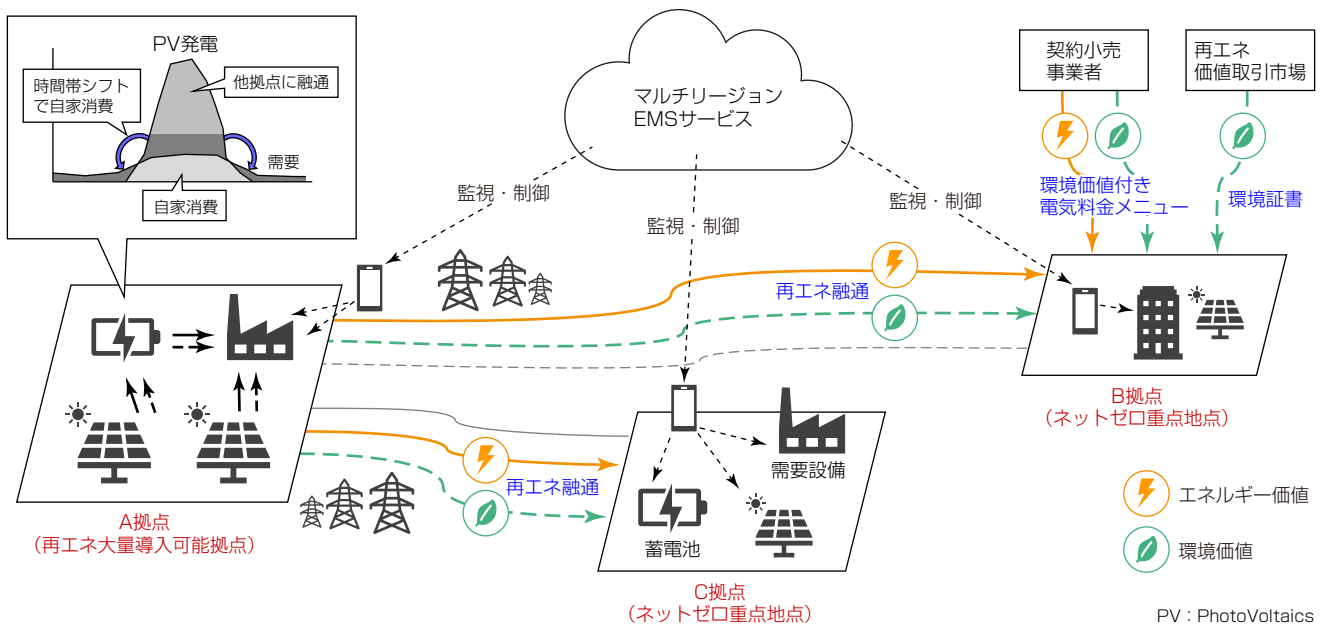


図8. マルチリージョンEMS

7. むすび⁽³⁾

地球温暖化対策は待ったなしであり、まさに差し迫った人類の最も重要な課題の一つである。この課題は、一国だけで解決できるものではなく、世界全体が共通のフレームワークを作り、その意義を理解し、全ての国がそれを遵守するための具体的かつ実効性のある取組みを行わなければならない。

日本の現時点での年間排出量は約10億トンであり、世界の年間排出量335億トンの3%程度を占めるが、高度成長以降に先進国である我々が排出してきた量を踏まえれば、将来の削減に向けて極めて重要な責務を負っていると言える。

世界的なイニシアチブが強化される中で、企業は、サステナブル経営を強く求められ、環境面ではサプライチェーンでのGHGプロトコルへの対応が必要になっている。エネルギー管理への期待が高まる中、電力市場や送配電網へのアクセス環境の整備、また異なる業種間や需要種間のセクターカップリングも踏まえたDERMSやVPP、マイクログリッドなどの地域目線でのエネルギー管理が極めて重要である。また、地域に広く分散する多種多様のリソースを適切に管理するためには、デジタルプラットフォームの整備が不可欠であり、当該プラットフォームは各企業のESG経営に寄与できる。

日本が世界に向けて発信した2050年カーボンニュートラルを実現する上でも、エネルギー管理の役割は大きく、産業界全体で環境整備を整える必要がある。そして、日本の先進的取組みが世界に向けて発信され、世界レベルでのカーボンニュートラルが実現できることを期待する。

参考文献

- (1) 環境省：IPCC第6次評価報告書(2021)
<https://www.env.go.jp/earth/ipcc/6th/index.html>
- (2) 環境省：IPCC 1.5℃特別報告書(2018)
<https://www.env.go.jp/content/900442311.pdf>
- (3) IEA：Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector (2021)
https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

画像解析・AI技術を活用した 送電線・鉄塔の保全高度化

上條朋彦*
Tomohiko Kamijo
久保田雅彦*
Masahiko Kubota
古元宏樹*
Hiroki Komoto

中川愛梨†
Airi Nakagawa
岩本瑞樹‡
Mizuki Iwamoto

Advanced Maintenance of Power Lines and Steel Towers by Using
Image Analysis and AI

*三菱電機㈱ 電力システム製作所
†同社 情報技術総合研究所
‡九州電力送配電㈱

要 旨

国内電力会社の送配電部門が担う設備点検は、ヘリコプターで撮影した送電線や鉄塔画像を人間が目視で劣化度合いを判定しており、大きな業務量になっている。

この課題解決のため、AIや画像解析技術を活用して設備の劣化状況を自動で判定する手法を九州電力送配電㈱と共同で検証した。送電線の例では、見落とし防止のため過検出する課題に対して、AIを組み合わせることで異常箇所を100%検出(正常を異常と判定した過検出が1.1%あり)できている状況である。この手法を用いることでヘリコプター撮影結果の確認や報告書作成が人手と比較して91.0%削減できる見込みで、点検業務効率化や安全性向上に大きく寄与する。

1. ま え が き

国内電力会社の送配電部門は、電力供給の中核として地域社会の公共インフラである大量送配電網の維持・運用を行っており、発電所で作られた電気を需要家に安全・安定に供給するという使命を担っている。一方、設置後50年を超える高経年設備の増加、労働人口の減少、災害の激甚化、再生可能エネルギー導入拡大など社会的な背景が大きく変化しており、従来手法だけでは電力の安定供給を維持することが困難になっている。特に送配電設備は発電設備と比較して設備数が多く、高所・へき地・地中など巡視点検に係る時間的・人的負担、安全向上の必要性が大きい。これら構造的な課題や様々な環境変化に対応するため、官民が連携し、スマート保安と呼ばれる各種の高度なデジタル技術導入の検討を進めている。

三菱電機が取り組んでいる電力送配電分野でのスマート保安の全体像を図1に示す。三菱電機は、送電線及び鉄塔の巡視点検に着目し、ヘリコプターで撮影した画像から点検対象の設備を抽出し、劣化を自動判定するためのAI技術の実証、評価に関する取組みを九州電力送配電㈱と共同で実施中である。

本稿では、共同研究の過程で発生した技術課題と解決法、及びその評価、今後の展望について述べる。

2. AI・画像解析を活用したシステム概要

送電線の点検は、ドローンやヘリコプターで撮影した画像や動画から作業員による目視確認で実施している。異常見落としを防ぐためにスロー再生や作業員2名によるダブルチェックを実施している一方で、画像の大半は正常な電線であり、大変非効率な状況である。また、鉄塔点検は作業員が昇塔し、目視確認で鉄塔部材の劣化度合いを確認しており、作業効率だけでなく安全性にも課題がある。これら課題解決のため、送電線及び鉄塔の点検を効率化する手法としてヘリコプターの撮影画像(約1億画素の超高解像度静止画カメラによる撮影)を用いて、システムが自動的に異常箇所や劣化部位を抽出するシステムを開発した。

2.1 送電線異常検出

ヘリコプターで撮影した画像から送電線の異常検出を自動化するためには、現状の目視確認の判定精度を落とさず確実に異常を検出する必要がある。このため人による目視確認の判定手順と同様に、送電線異常抽出、送電線異常AI判定の二つの機能を持つシステム構成としている(図2)。

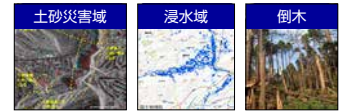
送電線異常抽出処理では、(A)送電線領域抽出、(B)異常箇所抽出の一次判定を行っている。(A)で、色情報を使った検出では、送電線と背景の区別ができずに見逃しが生じやすいため、形状から推定した領域内の送電線を一本ずつ検出し、輪郭線を見つけることで、正確な領域を抽出する。(B)は、画像の状態によって評価に使用する値を正規化することで、画像の値に応じて実質的にしきい値を変動させる。正規化した値に固定のしきい値を適用することで、画像の値に合わせて異常

ドローン点検対象の自動追尾技術による巡視効率化

- 従来目視で行われていた送電設備点検を、ドローンで撮影した結果に基づく点検に置き換えることで、省人化・省力化・安全性向上を達成する。
- ドローン搭載センサー(カメラやLiDAR等)の観測情報に基づいて、継続的に点検対象を捕捉できるようにドローンを制御し、撮影漏れを回避する。

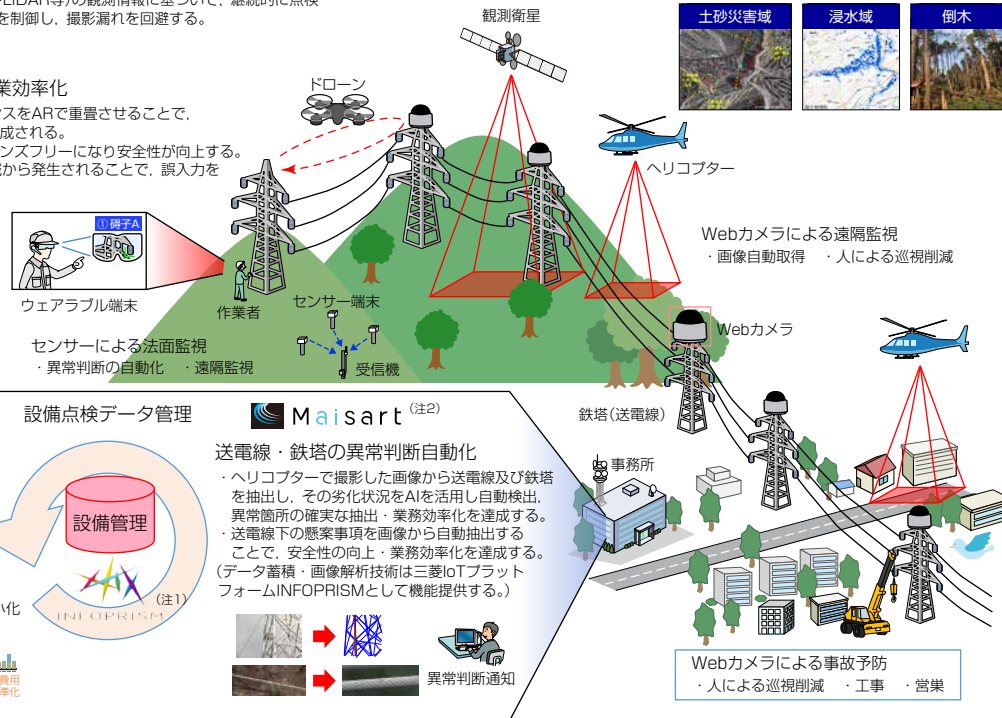
衛星画像を活用した災害対策・伐採業務支援

- 災害発生時の初動体制確立のための広域被災情報、送電設備の被害情報、孤立地域、電源車通行可否等を事前に把握する。
- 平時の情報活用として、送配電線への植生繁茂による伐採要否判断など定期巡視点検業務の効率化を実施する。



ARと音声認識を活用した現場作業効率化

- ウェアラブル端末に点検対象のガイダンスをARで重畳させることで、点検漏れの回避や、点検品質の向上が達成される。
- 点検時は音声で結果登録することで、ハンズフリーになり安全性が向上する。
- 音声合成技術で登録した点検内容が機械から発生されることで、誤入力を防ぎ、点検品質が向上する。



(注1) 社会・電力インフラ設備の運用・保全業務の効率向上に貢献するIoTとAI技術を採用したIoTプラットフォーム。
 (注2) 三菱電機の持つ様々なAI技術を統合したブランド。コンパクト、機器の知見を生かした高効率化などが特長である。
 LiDAR: Light Detection And Ranging, AR: Augmented Reality, IoT: Internet of Things

図1. 電力送配電分野でのスマート保全体像

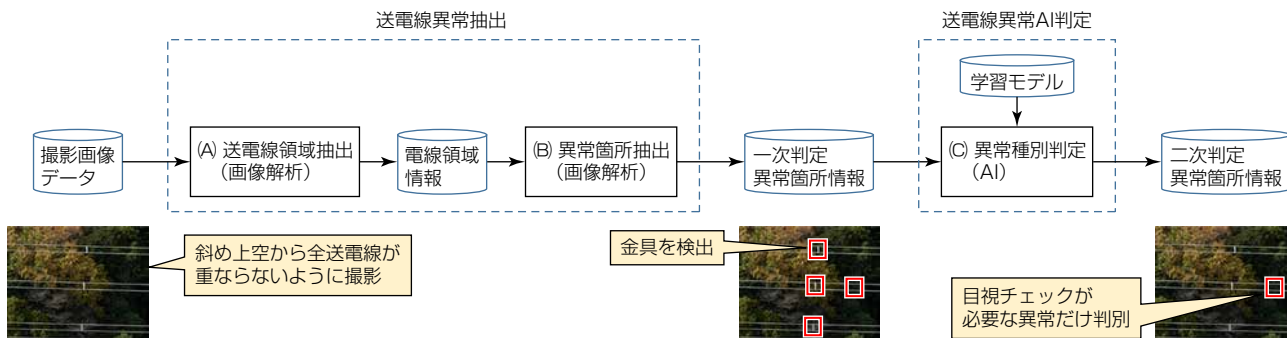


図2. 送電線異常抽出処理の流れ

箇所を検出できる。異常箇所が鮮明になるような画像補正処理を施して検出精度を向上させた。異常箇所が非常に小さい場合や、画像にノイズが多い場合に、異常箇所の見落としや、誤検出が増加する問題があったが、検出を行う前に画像内に異常箇所があるかどうかを判定する処理を追加し、異常がなさそうな画像に対しては、検出を行わないようにすることで、ノイズ等の影響による誤検出を削減した。なお、一次判定では電線検出見逃しを可能な限り少なくすることで正常な電線や背景を異常として過検出することを許容し、(C)異常種別判定のAIを利用した二次判定を行うことで漏れなく精度の高い異常抽出を実現している。異常種別はあらかじめ定義された数値のラベルで表され、異常、金具、難着雪リング等の分類を行い、検出された異常箇所ごとに判定結果コードの数値を出力する(図3, 表1)。

次に、送電線異常検出の評価について述べる。一次判定では、抽出した454本の送電線から18,538か所の異常箇所を検出した。二次判定結果の内訳を表2に示す。AIによって正常箇所・異常箇所が振り分けられた結果、最終的に858か所の異常箇所を検出した。あらかじめ目視確認した正解値の送電線異常(損傷, 変形, 付着物)計668か所を、100%異常判定できている。残る190か所の過検出は、特殊形状の風音防止用の電線や異常ではない塗料の付着物等であった。これらの過検出箇所は、今後AI強化学習を行うことで更なる判定精度向上が期待できる(1)。



図3. 異常判別種別画像例

表1. 異常種別コード

種別コード	異常種別名
-4	損傷・変形
-3	異物付着
-2	その他(重大)
-1	その他(軽微)
0	背景
1	金具
2	電線
3	影
4	難着雪リング

表2. 二次判定結果(内訳)

正解値	二次判定結果					正解率 (%)	
	正常	異常					
		損傷	変形	付着物	合計		
正常	17,680	118	71	1	190	98.9	
異常	損傷	0	423	0	0	423	100.0
	変形	0	0	225	0	225	100.0
	付着物	0	0	0	20	20	100.0
計	17,680	541	296	21	858		

単位:箇所

2.2 鉄塔劣化判定

今回の手法は、ヘリコプターで撮影をした画像を入力し、鉄塔自体の抽出と劣化判定を行う機能を持つシステム構成にしている(図4)。

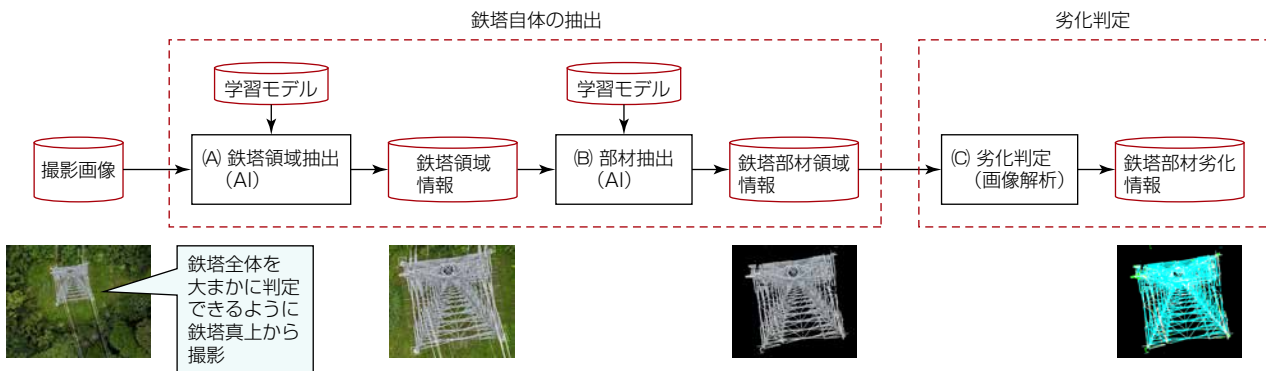


図4. 送電鉄塔劣化判定処理の流れ

鉄塔自体の抽出は、(A)物体検出AIを利用し、鉄塔の画像と鉄塔を囲むバウンディングボックス情報を学習させ、鉄塔領域を抽出する処理と、(B)セマンティックセグメンテーションAI^(注3)を利用し、鉄塔の画像とそのマスク画像を学習させ、入力鉄塔画像から部材のマスクを出力する部材抽出処理の二つの機能で構成している。(C)劣化判定は、塗装鉄塔を対象にした判定は現在検討中であるため、未塗装鉄塔を対象としている。未塗装鉄塔は、劣化の進行に一定の規律性があると考えて、AIではなくルールベースの劣化度推定方式を採用し、劣化進行の特徴を分析し、劣化度を5段階に分けた。図5の劣化サンプル画像が示すように、劣化進行によって、灰色から徐々に赤色に変化する規律性を使って、画像から鉄塔の劣化度を推定できる。静止画像から未塗装鉄塔の各ピクセルの色によって、対応するピクセルの劣化度が推定できる(図5)。実際の鉄塔真上画像による検証では、劣化レベルの分割基準で各劣化レベルの範囲が狭く、基準策定の基になる疑似撮影画像と鉄塔真上画像の撮影条件等の違いによって、有効な劣化レベル判定ができないことが分かった。そこで、色特徴情報を追加利用することで、RGB(Red, Green, Blue)情報だけを使ったマッピング方法から改善できることを確認した。

鉄塔領域抽出及び部材抽出の評価を表3、表4に示す。初期段階で目標にしていた精度は既にクリアしており、更なる精度改善に取り組んでいる状況である。また、抽出後の画像に対する劣化自動判定処理については、実運用へ向けた継続改善・調整を行っており、九州電力送配電㈱と共同で実データを用いた評価・試運用を順次行っていく計画である。

(注3) 画像のピクセル(画素)一つ一つに対してラベル付けしていく手法。

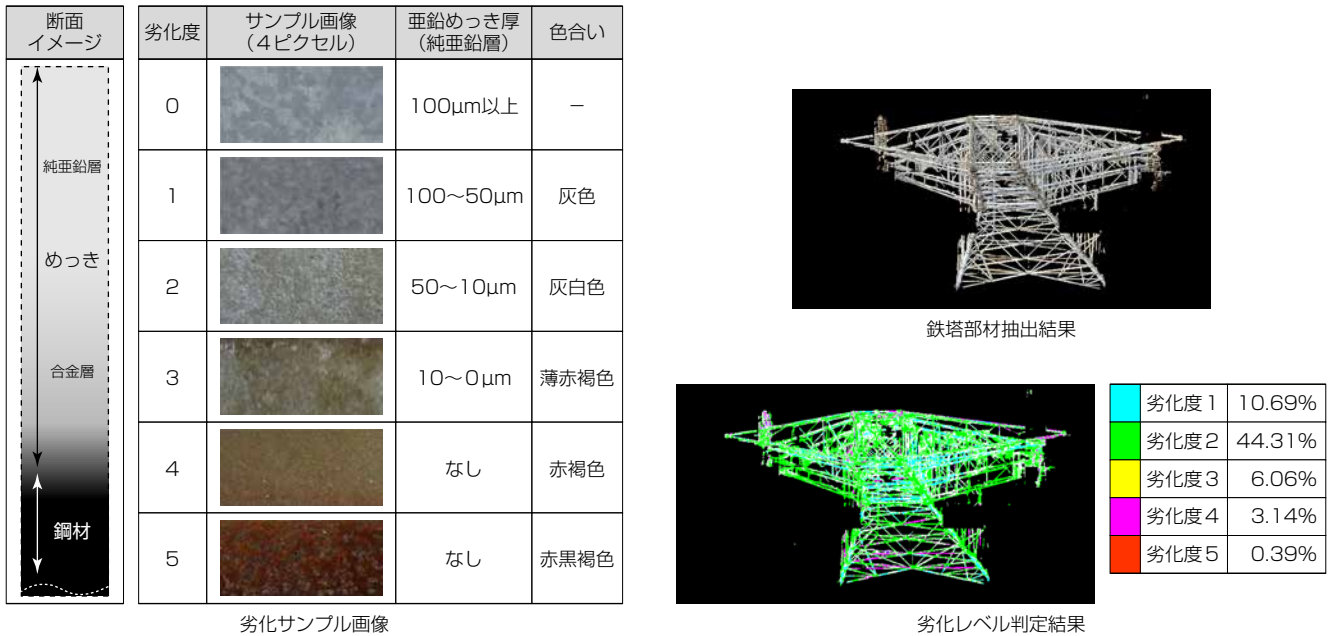


図5. 劣化レベル基準と判定結果

表3. 鉄塔領域抽出精度

評価区分	具体的な評価内容	検証データ数492基 (全体比)
成功	正しく鉄塔検出 (鉄塔検出率)	472基 (95.9%)
失敗	一部検出又は未検出	20基 (4.1%)

表4. 鉄塔部材抽出精度

評価区分	検証データ数492基 (全体比)
部材抽出率	442基 (89.8%)
誤検出率	320基 (65.0%)

3. 将来に向けた取組み

送電線・鉄塔点検の効率化に加えて、鉄塔敷地周辺及び送電線下の懸案有無判定の自動化について九州電力送配電㈱と実施中である。鉄塔と同様、送電線の真上からヘリコプターで撮影した画像を用いて、送電線下に存在する事故につながる懸案事項を、人手による目視確認を介さずに自動検出することを目的としている(図6)。具体的には物体検出AIを使

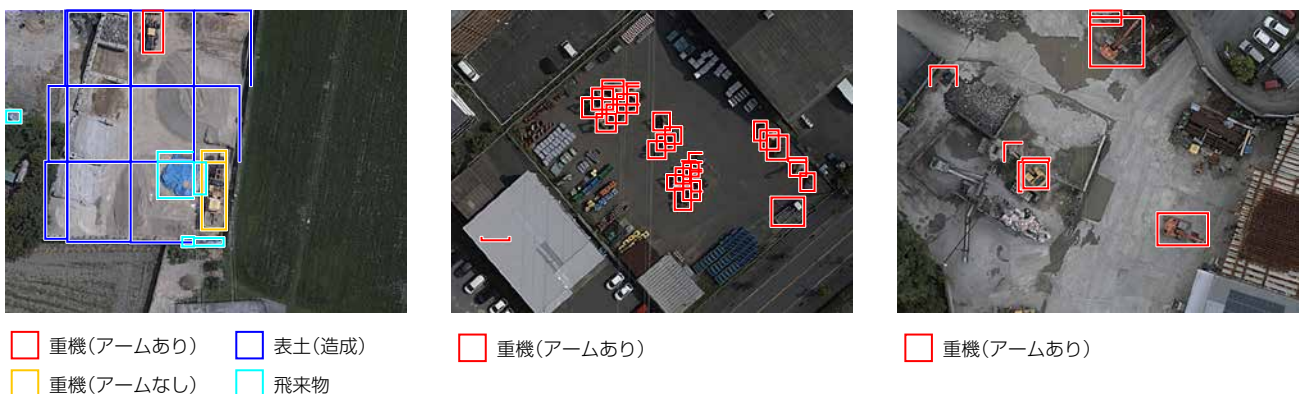


図6. 送電線下懸案事項の自動抽出

用し、検出対象になる重機(アームあり／なし)、構造物、表土(造成／崩壊)、索道施設、電線損傷、飛来物の計8種類の自動検出を目指して、検出エンジンを開発中である。送電網の保安・維持や、点検作業の省力化・効率化に対しては、ここまでに触れた取組みのほかにも、画像解析・AI活用技術の適用先ニーズとして、ドローン点検結果、地中設備、橋梁(きょうりょう)付随設備等が存在している。

4. む す び

ヘリコプターでの撮影画像から送電線と鉄塔設備を抽出し、異常検出や劣化判定を自動化する処理について述べた。送電線の異常箇所は100%抽出できており、過検出を一定抑制したため、現場業務への試運用段階に入っている。今後は、課題である過検出の抑止に向けて引き続き活動を実施する。また、更なる保全高度化に向けて、送電線下懸案事項の自動抽出の検討に着手している。国内送配電部門の業務効率化を達成し、電力安定供給の高度な実現に寄与するためにこの技術を継続して検討していく。

参 考 文 献

- (1) 岩本瑞樹, ほか: 高解像度静止画における画像解析を活用した電線抽出手法について, 電気学会 電線・ケーブル研究会, EWC-23-003 (2023)
- (2) 中川愛梨, ほか: 点検動画における電線領域抽出手法の検討, 電気学会 情報システム研究会, IS-20-033 (2020)

“MELSEC iQ-Rシリーズ”のDCS適用を目指したエンジニアリングツール“MELGEAR”

芹澤佑樹*
Yuki Serizawa
藤井敦啓*
Atsuhiko Fujii
谷澤正幸*
Masayuki Tanizawa

深水大樹*
Daiki Fukamizu

*電力システム製作所

Engineering Tool "MELGEAR" for DCS Application of "MELSEC iQ-R Series"

要 旨

従来、システムインテグレーターがDCS(Distributed Control System)を適用する場合は、専門メーカーの専用機を使用するケースがほとんどであった。

“MELSEC iQ-Rシリーズ”は、“MELSEC-Qシリーズ”の後継機種であり、DCS専用機に匹敵する性能を具備している。そのMELSEC iQ-RシリーズをDCSに適用するため開発したエンジニアリングツール“MELGEAR(メルギア)”は、従来の市販ソフトウェアでは実現困難であった機能を容易に実現できる。また、MELGEARはシステムインテグレーター向けとしてオールインワン・オープンシステムをコンセプトに開発されており、電力・産業・ビル・食品・医薬関連等、様々な分野に適用可能なオペレーターステーション・制御装置(MELSEC iQ-Rシリーズ)をエンジニアリングするための統合エンジニアリングツールである。

1. ま え が き

三菱電機では、DCS適用を目指してMELSEC-Aシリーズからエンジニアリングツール開発を手掛けてきた。MELSECシリーズは様々な分野に適用されているが、システムインテグレーターがDCSとして適用するための必須機能を実現するため、MELSEC iQ-Rシリーズ向けとしてオールインワン・オープンシステムをコンセプトにエンジニアリングツール“MELGEAR”を開発した。MELGEARには、オペレーターステーションの標準機能(アラーム、ガイダンス、トレンド、4区画面面等)、エンジニアリングツールの標準機能(HMI(Human Machine Interface)エディター、制御装置エディター)をオールインワンで実装している(図1)。また、システム定義等の詳細設定情報も全てオープンにし、DCS専門メーカーが開示しなかった定義情報等についてもシステムインテグレーターがカスタマイズ可能にしている。MELGEARに実装されているHMIエディター・制御装置エディターの各種ツールはGUI(Graphical User Interface)によって使いやすさを追求するとともに、DCSで一般的に使用されているタグデータで連携可能とし、HMI用データと制御装置用データを統合データベースで一元管理できるようになっている。HMIエディターではシステム定義・グラフィック・帳票データを生成でき、制御装置エディターではシステムインテグレーターの用途に応じてエディターを使い分けることが可能になっている。

本稿ではMELGEARによるオペレーターステーション主要機能、及びエンジニアリングツール主要機能について述べる。

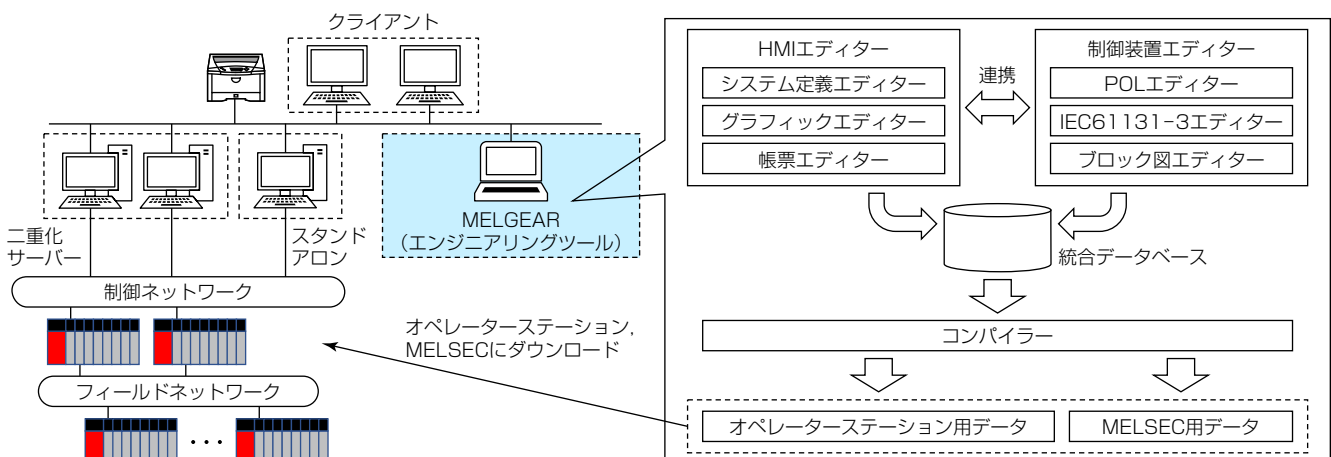


図1. システム構成

2. オペレーターステーション主要機能

オペレーターステーションは、DCSに必要な機能を標準実装しており、Fill in the form形式での定義・設定だけで容易に運用開始できる。標準機能は幅広い分野で共通的に適用できるため、大部分の機能で市販SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)ソフトウェアのような個別の作り込みが不要である。また、詳細設定情報を全て開示し、DCS専門メーカーが開示しなかった定義情報等についても変更可能にしている。そのため、システムインテグレーターが容易にカスタマイズできるエンジニアリングツールになっている。

2.1 標準HMI

オペレーターステーションには、プラントデータを計器イメージで監視・制御する計装機能、制御装置のデータを一定周期で収集・表示するトレンドグラフ、アラーム／ガイダンス等を一覧表示するイベントサマリー、プラントデータを収集／集計／蓄積し日報・月報等を表示する帳票、2.2節に述べるシステムモニター及びロジックモニター等の機能が標準搭載されている。例えば、画面や計装機能のレイアウトは標準レイアウトが提供されているため、市販SCADAソフトウェアのような作り込みが不要である。画面の標準レイアウトは、アラーム／ガイダンスの速報等を表示するトップエリア、系統図・トレンド等の各画面や保守サービス機能呼び出すメニューエリア、及び作画画面やトレンド画面等の各種画面を表示するメインエリアに分割される。メインエリアは4区画に分割表示可能であり、任意の4画面を一つのディスプレイで表示できる。さらに、1台のオペレーターステーションに最大4台のディスプレイが接続でき(全てのディスプレイが同一標準レイアウトで表示可能)、情報量の高密度化による視認性の向上やオペレーターステーションの台数削減による原低効果が得られる。また、専用のサーバーを設置することで、制御装置の実行周期で蓄積したデータをトレンドグラフとして表示できる高速トレンド機能も具備する。高速トレンド機能では高速周期データを保存できるため、より詳細なプラントデータによる解析が可能になる。

2.2 システムモニター⁽¹⁾

システムモニター(図2)は、システムの運用状況を監視し、故障・異常状態を表示する機能である。監視範囲はオペレーターステーション／制御装置／ネットワーク／入出力カード等であり、エラーの原因調査に必要な情報も表示される。また、3.1節に述べるシステム定義エディターの設定情報から自動でシステムモニターが生成される。システムモニターは大きく3階層に分かれており、1階層目はオペレーターステーション等のユニットレベルの表示である。ここで該当の装置をクリックすると2階層目のユニットレベルの表示に遷移し、さらに3階層目ではユニットのエラー情報を表示できる。グラフィカルな表示による高い視認性と詳細状態の表示によって、原因調査の容易性を持つ。

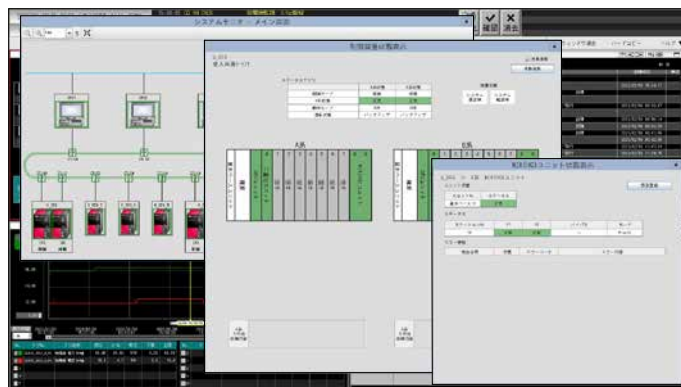


図2. システムモニター

2.3 ロジックモニター

ロジックモニター(図3)は、制御装置のリアルタイムデータを反映した制御ロジック画面をオペレーターステーション上でモニターする機能である。それに加えて、パラメーターチューニング・データ設定が可能であり、任意の信号の出力

を固定もできる。また、画面上のシンボル／イベントサマリー／トレンド／操作器・制御器等から関連したロジックシートを容易に表示できる。この機能によって、例えば異常時に発生したアラームから関連ロジックを素早く呼び出すことができるため、状況の早期確認・復旧に寄与する。なお、セキュリティを考慮し、ロジックモニター起動権限を持つユーザーを設定することも可能である。

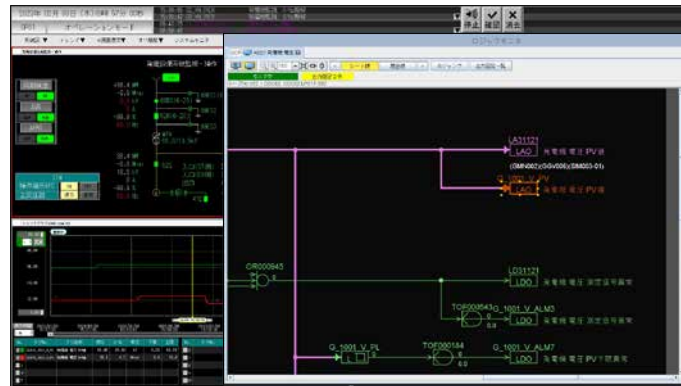


図3. ロジックモニター

3. エンジニアリングツール主要機能

MELGEARには、システム構成や構成機器の詳細設定を行うシステム定義エディター、グラフィック・帳票などを作成するHMIエディター、用途に応じて複数の言語で制御ロジックを作成できる制御装置エディターの各種ツール群をオールインワンで実装している。オペレーターステーションと制御装置のエンジニアリングを統合し、システムインテグレーターのコスト削減・品質向上に貢献する。

3.1 システム定義エディター

システム定義エディター(図4)は、ドラッグ&ドロップ等のマウス操作によって、制御装置、オペレーターステーション、制御ネットワーク等の構成機器をグラフィカルに配置することでシステム構成を定義する。構成機器の詳細設定も行うことができ、オペレーターステーションのサーバー/クライアント、スタンドアロン構成にも柔軟に対応する。また、システム定義エディターで作成したシステム構成を、そのままシステム全体の運転状態を監視するシステムモニターの画面として表示できる。

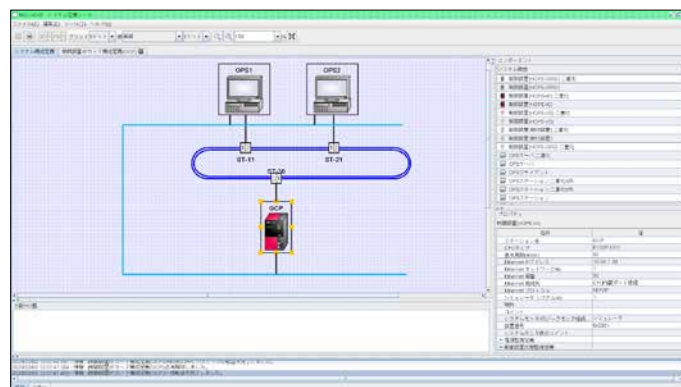


図4. システム定義エディター

3.2 制御装置エディター

制御装置エディターは、用途に応じて複数の言語を使い分けて、制御ロジックを作成できる。どの言語でも共通の中間言語に変換するプリコンパイラー、及び共通中間言語からMELSEC用の実行コードに変換するコンパイラーを開発した。これによって、MELSEC以外の制御装置に対応する場合でも、プリコンパイラーはそのまま利用可能であり、中間言語から制御装置用の実行コードに変換するコンパイラーに切り替えることで対応可能になる。

3.2.1 POLエディター⁽¹⁾

POL(問題向き言語: Problem Oriented Language)は、主に電力向けに利用されている当社独自のグラフィカル言語である。演算命令ごとに命令部品の形状が異なり、視認性に優れた制御ロジックを作成できる(図5)。DCSに特化した演算命令もサポートしており、効率的に制御ロジックを作成可能である。

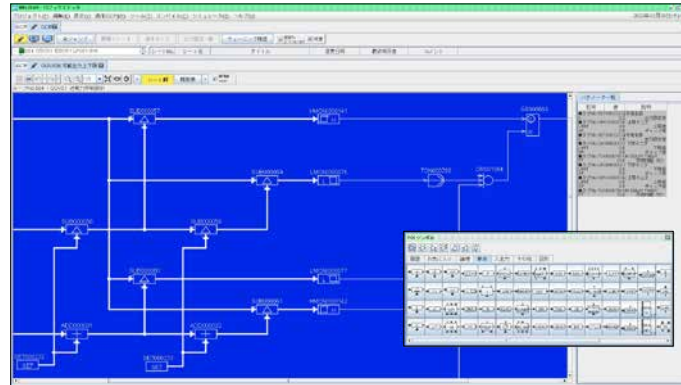


図5. POLエディター(制御ロジック作成ツール)

3.2.2 IEC61131-3エディター

IEC61131-3エディターは、PLC(Programmable Logic Controller)の国際規格言語であるIEC61131-3のFBD(Function Block Diagram)言語、ST(Structured Text)言語に対応しており、従来PLCシステムを手掛けてきたシステムインテグレーターの既存制御ロジック資産の活用を可能にする。また、ST言語で作成した制御ロジックをPOLエディターから命令部品として呼び出し可能にする独自拡張機能を実装している。

3.2.3 ブロック図エディター⁽²⁾⁽³⁾

ブロック図は、システム全体の取りまとめであるプラントメーカーが、プラント設計時に作成する図面である。プラント機器からの信号入力から出力まで、信号の一連の流れが記載される。従来は、プラントメーカーがCADツールで作成した図面から手作業で制御ロジックを作成していた。ブロック図エディターでは、作成した図面から制御ロジックが自動生成され、入力ミス防止や制御ロジック作成の省力化を可能にしている。

3.3 HMIエディター

HMIエディターは、オペレーターステーションで使用する信号、計器、アラーム・イベントを設定するHMIデータベースエディター、ユーザー画面を設定するグラフィックエディター、帳票エディターで構成される。

3.3.1 HMIデータベースエディター

HMIデータベースエディターでは、HMIの入出力信号定義、指示計などのアナログ計器を定義するループタグ定義、スイッチ計器などデジタル計器を定義するステータスタグ定義が可能である。HMIの入力信号として定義したデータは、全点トレンド保存対象点として登録され、トレンド収集される。デジタル入力点は、アラーム・イベントとして設定可能である。

3.3.2 グラフィックエディター

グラフィックエディター(図6)は、オペレーターステーションに表示する監視・制御画面を作成するためのエディターであり、基本図形の作成、バーグラフ等の可変図形の作成、可変図形へのHMI入力信号割り付けや色替えロジックの割り付けが可能である。グラフィック画面上の部品や領域を指定して、マウスのクリック操作で画面を表示するなどのアクション定義を行うこともできる。また、基本図形・可変図形を組み合わせた画面部品の作成、複数の画面部品をロジックで切り替えて表示する複合画面部品などが容易に作成できるシンボルエディターを備える。

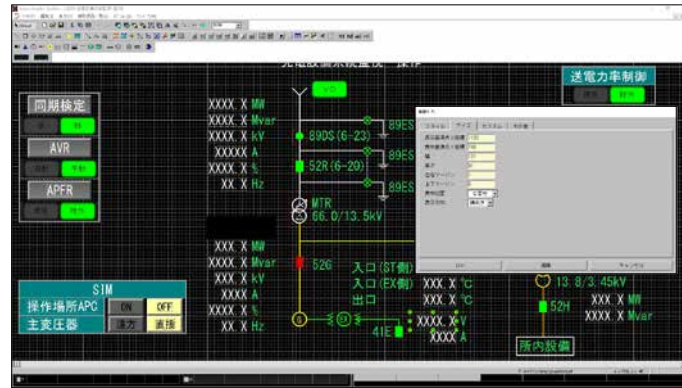


図6. グラフィックエディター

3.3.3 帳票エディター

帳票エディター(図7)では、オペレーターステーションで表示・印字する帳票フォーマット、帳票に表示・印字するデータ割り付け、帳票内の列間計算・集計の定義を行うことができる。日報、月報、年報等の帳票を作成可能であり、自動印字スケジュールの設定が可能である。作成した帳票は、日報を修正すると、修正結果が、関連する月報と年報のデータへ自動反映される。帳票データを用いたグラフ(折れ線グラフ・棒グラフ・円グラフ)を帳票に追加することも可能である。

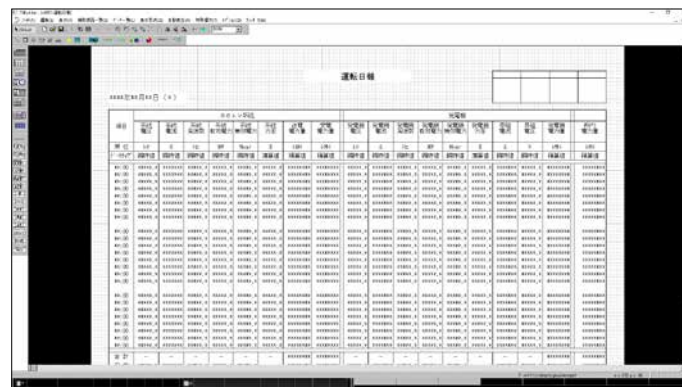


図7. 帳票エディター

3.4 デスクサイドシミュレーター

デスクサイドシミュレーターでは、パソコン内に制御装置とオペレーターステーションの模擬実行環境を構築することで、制御ロジックの動作確認とオペレーターステーションでの監視画面表示・操作の動作確認を行うことができる。複数台の制御装置とオペレーターステーションの模擬環境を構築し、1台のパソコン内でシステム全体の動作確認が可能になる。

4. む す び

MELSEC iQ-Rシリーズ向けエンジニアリングツールとしての主要機能開発は完了しているが、更なる適用拡大に向けて、FDA21 CFR Part11(食品・医薬品製造ラインに求められる規則)対応、当社製グラフィックオペレーションターミナルへのグラフィック系統図データ変換機能追加、IEC61131-3 SFC(Sequential Function Chart)言語追加、専用機種向け分散PIO(Process Input Output)(耐環境性能・盤実装効率向上、二重化アナログ出力・SOE(Sequence Of Events)付きデジタル入力対応)接続開発等を実施する計画である。

参考文献

- (1) 高橋浩一, ほか: 発電プラント向け新計装制御システムの要素技術, 三菱電機技報, 87, No.11, 619~622 (2013)
- (2) 発電プラント向け計装制御システム用エンジニアリングツール“MELGEAR”, 三菱電機技報, 91, No.1, 10 (2017)
- (3) 末次 満: ブロック図エディタ適用によるエンジニアリングの効率化, MCR技報, 26, 42~46 (2018)

カーボンニュートラル実現 に貢献する系統安定化システム

Remedial Action Scheme Contributing to Achieving Carbon
Neutrality

*系統変電システム製作所

要旨

カーボンニュートラル実現に向けて必要になる再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の主力電源化には様々な課題が想定されている。課題の一つに系統安定性の維持があり、その有力な解決手段として、高速な制御によって系統の不安定現象を未然防止する系統安定化システムがある。三菱電機は1970年頃から、その時代のニーズに合った系統安定化システムを多数開発してきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。最近では、2020年以降に運用を開始し、再エネの主力電源化によって生じる課題への対策機能を具備する2件の系統安定化システムを開発している。

1. ま え が き

2050年カーボンニュートラル実現、2030年温室効果ガス46%削減に向けて策定された第6次エネルギー基本計画で示されているように、再エネの主力電源化に向けた取組みが進められている。一方で、発電量が間欠的であり、インバーター経由で分散的に系統連系される再エネの増加は、電力系統の安定性に関して様々な課題を引き起こす。そのため、再エネ主力電源化に向けては、経済性面、需給バランス面だけでなく、系統安定性の課題解決が重要になっている。

従来の電力系統では、過酷事故発生時に電源制限や負荷制限を高速に実施することで事故影響が系統全体に波及することを防止し、大規模停電を未然に防止する系統安定化システムが、系統安定性を維持する上で重要な役割を担ってきた。再エネ主力電源化に向けた系統安定性の課題解決でも、運用対策(系統事故発生時に系統安定性の維持が可能な系統構成にしておくなど)、設備対策(無効電力補償装置、グリッドフォーミングインバーター等の設置)に加えて、電力系統全体の状態を監視し、事故発生時に高速で制御を実施する系統安定化システムの役割は更に重要になってくる。

本稿では、再エネ主力電源化によって生じる系統安定性での課題とその対策として次の2点を取り上げて、これらに対応する系統安定化システムの役割を、当社が開発した系統安定化システムの実例によって述べる。さらに、その他の課題への対策も含めて、今後の系統安定化システムに求められる役割について示す。

(1) 系統事故時の再エネ不要解列による周波数低下への対策

従来主力電源であった火力発電、原子力発電等での同期発電機と比べて、インバーター経由で系統連系する再エネは系統の周波数変動・電圧変動によって系統から解列しやすい特性がある。このため、系統擾乱(じょうらん)発生時に大量の再エネが系統から不要に解列し需給アンバランスが生じて周波数が大幅に低下してしまうおそれがあり、この対策が必要になっている。

(2) 再エネ発電電力送電による系統混雑発生への対策

再エネ発電ポテンシャルが高い地点は、大規模需要地や従来の大規模発電所設置地点から離れていることが一般的である。このため、再エネ発電電力を需要地に向けて送電するための送電設備の容量が不足し系統混雑が発生するおそれがある。再エネ主力電源化に向けては再エネ発電電力を最大限需要地に送電する必要がある。系統安定化対策を前提とすることで送電設備を増強せずに送電容量の運用上限を増加させることが可能になる。

2. 北海道電力ネットワーク(株)向け統合型系統安定化システム

1章(1)に示した系統事故時の再エネ不要解列による周波数低下対策機能を具備した系統安定化システムとして、当社が開発を進めている統合型系統安定化システム(IRAS: Integrated Remedial Action Scheme)について述べる。

2.1 開発の背景

北海道電力ネットワーク㈱では、“平成30年北海道胆振東部地震”に伴う北海道エリアの大規模停電(ブラックアウト)を契機に、電力系統レジリエンス強化を目的とした系統安定化対策を検討してきた。この対策の一つとして、当社が、IRASの開発を担当した。2024年3月の運用開始を予定している。

2.2 IRASの概要

IRASの全体構成を図1に示す。全ての装置をデジタルリレーで構成し、中央装置は別地点2か所に設置している。中央装置と端末装置間はリング状伝送路で接続し、合計55面が連携して機能する大規模システムである。IRASを構成する装置を表1に示す。

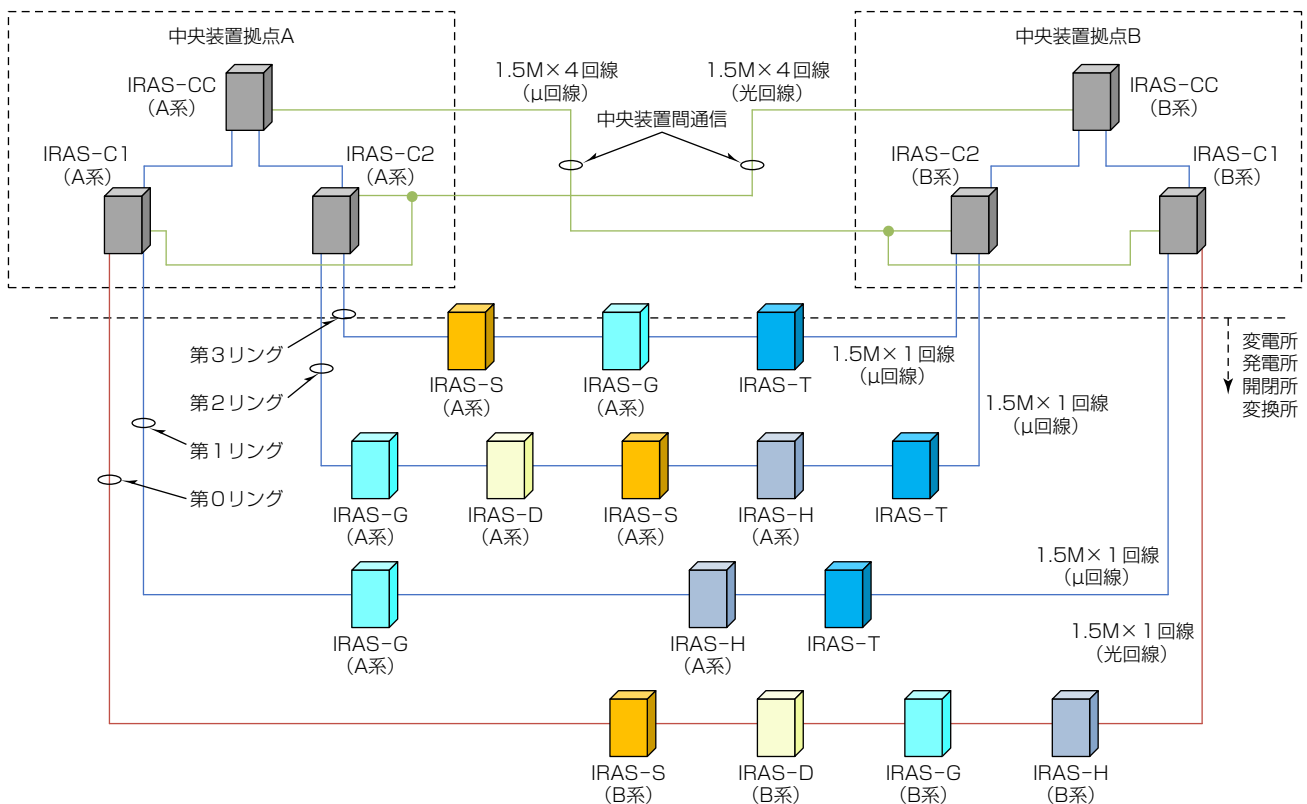


図1. IRASの全体構成

表1. IRASの装置構成

略称	機能概要	設置場所
IRAS-CC	制御演算	系制
IRAS-C1	端末装置～中央装置の伝送インターフェース	系制
IRAS-C2	端末装置～中央装置の伝送インターフェース	系制
IRAS-G	発電機出力計測・電源脱落検出・電源制限	発電所
IRAS-D	HVDC潮流計測・状態取得	変換所 変電所
IRAS-S	275kV変電所での潮流計測・回線停止検出	変電所 開閉所
IRAS-H	揚水機潮流計測・状態取得・揚水機遮断	揚水発電所
IRAS-T	潮流計測・負荷制限	変電所
IRAS-IF	通信ユニット(光電気変換)	全箇所

HVDC : High Voltage DC

2.3 周波数維持機能

周波数維持機能は、電力系統での事故によって生じる周波数変化を、負荷、発電機、揚水機のうち適切な対象の制御で抑制するものである。この機能は、事故前の系統状態を基に目標制御量を演算し、事故検出後即座に実行する主制御と、事故検出後の系統状態を基に目標制御量を演算し、周波数変化に応じて実行する補正制御で構成している。また、周波数維持機能ではHVDC連系設備(北本, 新北本)の状態を取得し、HVDCが具備する緊急時AFC(Automatic Frequency Control)機能に期待できる制御量を考慮して目標制御量を算出し、系統安定化システムによる制御量最小化を図っている。

大規模発電所での発電機脱落や、HVDC連系設備の重故障停止による周波数変化は、当該箇所に設置するIRAS-G, IRAS-Dで検出して主制御による対応が可能であるが、直接的な検出ができない再エネ電源等の脱落については、大規模発電所での発電量変化等、計測可能な電気量を基に需給アンバランス量を推定し、補正制御で対処する。この機能によって、先に述べた再エネ不要解列時の周波数低下に対応できる。

3. 北海道北部風力送電(株)向け転送遮断システム

1章(2)に述べた、再エネ発電電力送電による系統混雑発生への対策向け系統安定化システムとして、当社が開発し納入した転送遮断システムについて述べる。

3.1 開発の背景

北海道北部風力送電(株)は、風力発電ポテンシャルの高い北海道北部地域での風力発電(以下“WF”という。)導入拡大を目指して、WFの発電電力を主要需要地に向けて送電するための送電網を整備している。一方で、北海道北部地域は従来大型電源が存在する地域ではなく、主要需要地向けの送電経路には送電容量の限界があり、WFの発電電力を送電するためには、送電容量を最大限活用する必要があった。そこで、送電線1回線停止時に瞬時に送電量を抑制する転送遮断システムを構築することで、系統安定性の面での懸念を解消し、運用容量を確保することにした。なお、転送遮断システムは2023年2月に運用開始している。

3.2 システムの概要

転送遮断システムの概要を図2に示す。

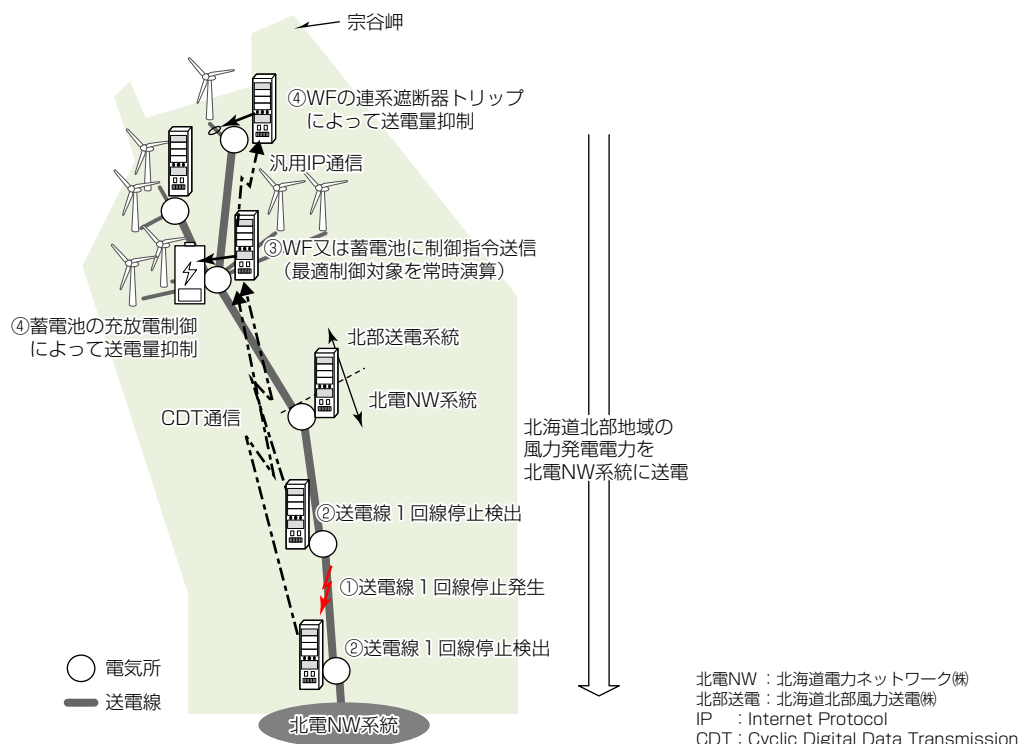


図2. 転送遮断システム概要(4)

3.3 転送遮断機能

転送遮断機能は、制御対象演算機能、事故検出機能、蓄電池制御機能、WF遮断機能から構成される。送電線1回線停止時の送電量抑制では、抑制後の送電量を既定値以下にすること、送電抑制量を既定値以下にすること、遮断対象WF数をできるだけ少なくすることを実現する。

制御対象演算機能では、蓄電池充放電量、各WF発電量等の情報を基に、先に述べた3点を満たす最適な制御対象を定周期で演算する。蓄電池は送電量を瞬時に調整する機能を持ち、転送遮断システムからの指令に基づいて送電量を抑制する。遮断対象WF数をできるだけ少なくするため、蓄電池で必要な抑制量が確保できる状況では蓄電池を制御対象として選択し、蓄電池だけでは抑制量が不足する場合にだけWFを制御対象として選択する。WFは複数あり遮断パターンが多く存在するが、全パターンのうち最も遮断対象WF数が小さく、必要な抑制量を確保可能なパターンを選択する。

事故検出機能では、監視対象送電線の遮断器パレット接点動作によって送電線1回線停止を検出する。

蓄電池制御機能、WF遮断機能は、それぞれ蓄電池に対する制御指令送信、WF連系遮断器のトリップを実施する。装置間での制御指令伝送は汎用IP通信で実現している。

転送遮断機能は、先に述べた再エネ発電電力送電による系統混雑発生への対策に該当し、送電線運用容量を引き上げて再エネ発電量を最大化することに貢献している。

4. 今後の系統安定化システムに求められる機能

2章と3章に述べたとおり、再エネの増加に伴って生じる課題への対策として系統安定化システムは既に重要な役割を担っているが、再エネ主力電源化に向けては、その役割はますます重要になってくると考えられる。

今後の系統安定化システムに求められる役割として想定される機能例を次に示す。

4.1 慣性力低下への対策

慣性力を持たないインバーター経由で系統連系する再エネが主力電源化した電力系統では、系統事故の影響による周波数変化速度が増加する。周波数変化速度が一定値より大きくなると再エネ電源が系統から解列する場合があります。過酷事故発生時に再エネが大量に系統から解列し事故が波及して大規模停電につながるおそれがある。これに対して、グリッドフォーミングインバーター・同期調相機の設置など、慣性力自体を増加させる設備対策に加えて、従来よりも高速に制御を実施し事故波及を防止する対策が有効になる。

従来の系統安定化システムでは、発電機・負荷等を遮断器トリップによって系統から解列することで制御を実現している。しかし、遮断器トリップは機器動作を伴うため一定の動作時間を要して、系統安定化システムでの制御所要時間のうちの大きな割合を占めている。制御の高速化に向けては、機器の動作を伴わずに高速に潮流制御が可能なインバーター機器を制御対象とする方法が考えられる。3章に示した転送遮断システムで蓄電池を制御対象とした事例は、この一例である。

4.2 各種制御システムとの連携

従来の電力系統では、基幹系統の大型発電所から配電系統に向けて一方通行で潮流が流れていたが、再エネが主力電源になった系統では、従来と比べて低い電圧階級に小容量の電源が分散化することになる。このような電力系統では配電系統の電源を制御することが系統安定性の維持に最も効率的になることが考えられる。しかし、系統安定化のための専用設備や通信回線を全ての小容量電源に設置することは非現実的であるため、系統安定化システムが既存の制御システム、例えばDERMS(Distributed Energy Resource Management Systems)等と連携し、これを經由して系統安定化システムから制御を実施することで、効率的に系統安定化制御を実現することが可能になる。

また、4.1節に述べたような制御高速化を目的としてインバーター機器を制御する場合だけでなく、再エネが主力電源化した系統で十分な制御量を確保する観点で、発電機・負荷等の従来機器以外に蓄電池やHVDCなどを制御対象とする必要性が生じることが考えられる。この実現に向けても、系統安定化システムと各種制御システムの連携が必要になる。

4.3 広域安定化制御

再エネ電源の偏在化や地域間連系線の増強等によって、ある地域での事故が他地域に波及することや、ある地域の事故

に対する系統安定化制御が地域をまたいだ遠方に影響を与えることが考えられる。自律分散的な制御や、複数の系統安定化システムを連携した中央集中型制御など、対応方法は複数考えられるが、いずれにしても連系する全系統を考慮した広域的な系統安定化制御の設計が必要になる。中央集中型制御の実現に当たっては、PMU(Phasor Measurement Unit)からの情報収集方法の確立など、広域的に多数のノード間で高速伝送を実現する方法の検討が必要になる。

5. む す び

再エネ主力電源化によって生じる課題への対策機能を持つ系統安定化システムとして、北海道電力ネットワーク(株)向けIRASと、北海道北部風力送電(株)向け転送遮断システムについて述べた。また今後の系統安定化システムに求められる機能の例を示した。これからも電力系統の安定化と効率的なネットワーク運用に寄与していく。

参 考 文 献

- (1) 押田秀治, ほか: 大規模系統安定化システム, 三菱電機技報, **86**, No.9, 484~489 (2012)
- (2) 小和田靖之, ほか: 最近の自端判定型系統安定化システム, 三菱電機技報, **89**, No.11, 609~612 (2015)
- (3) 草場健一郎, ほか: 再生可能エネルギー電源の大量導入に対応した系統安定化システム, 三菱電機技報, **92**, No.11, 621~625 (2018)
- (4) 再生可能エネルギー大量導入に寄与する転送遮断システム, 三菱電機技報, **97**, No.1, 58 (2023)



カーボンニュートラル実現 に貢献する直流配電システム

Direct Current Distribution Network System Contributing to
Realization of Carbon Neutral

*受配電システム製作所
†先端技術総合研究所

要 旨

三菱電機は、2016年に中低圧直流配電システム実証棟を当社の受配電システム製作所内(香川県丸亀市)に建設し、直流配電システムの安全性・信頼性の実証に取り組んできた。2020年には直流系統内の太陽光発電電力などの再生可能エネルギーやエレベーターなどの回生電力の余剰電力を逆変換して交流系統への融通を可能にする双方向型中低圧直流配電ネットワークシステム“D-SMiree Standard(単機100kW)”を開発した。2022年には当社の先端技術総合研究所で更なる高電圧化・高効率・小型化を目指した次世代機の実証機を開発し、ZEB(net Zero Energy Building)関連技術実証棟“SUSTIE”(サスティエ：神奈川県鎌倉市)で社内実証実験を実施している。今後、受配電システム製作所で次世代機の製品化・事業化を目指す。

1. ま え が き

近年、温室効果ガス排出を実質ゼロにするカーボンニュートラルの実現に向けた取組みが世界的に加速している。EU (European Union)の炭素国境調整メカニズム(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism)に対応するために、多くの国内企業でも、温室効果ガス排出削減を始めとした環境課題解決に向けた取組みを行っており、再生可能エネルギーの導入や省エネルギー設備の開発を進めている。中でも直流配電システムは、太陽光発電などの再生可能エネルギーとそれを蓄える蓄電池との親和性が高く、既存の交流配電システムと比べて電力変換損失が少ない次世代の電力供給システムとして注目されている。その一方、交流配電システムよりは簡単な構成ではあるものの、当然ながら接続する複数の設備機器に対して最適な電圧を出力するためには変換器を多数配置する必要があり、電力変換器の更なる低損失化とシステム全体の小型化が課題であった。

本稿では、直流配電システムの次世代機であるDCマルチ電圧システムの実証機開発とZEB関連技術実証棟SUSTIEでの社内実証結果について述べる。

2. DCマルチ電圧システム実証機の開発

2.1 DCマルチ電圧システム

DCマルチ電圧システム(図1)は、DC750V以下の中低圧直流配電システムとして、一つの盤に複数の変換器を搭載することで各種設備機器に対して最適な電圧を供給可能にする“マルチ電圧給電回路”を搭載する。DCマルチ変換器盤は双方向変換可能なAC/DC変換器、負荷に応じて直流電圧を配電するためのDC/DC変換器及びDCバスからの給電経路で構成しており、変換器のスイッチング素子にはSiC(シリコンカーバイド)-MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)を適用した。これによって、当社製現行機のD-SMireeに対して電力変換器盤の体積20%低減、質量36%低減を達成している。

2.2 社内実証実験

開発したDCマルチ電圧システムの実証機を用いて、当社のZEB関連技術実証棟SUSTIEで、実負荷と接続し、その効果と安定性を確認する実証実験を実施した。評価時間を9:00~17:00として、システム入出力電力を計測した(図2)。システム出力電力/入力電力からシステム効率(受配電効率)を求めた結果、DCマルチ電圧システムは平均92.9%の高い効率(制御電源類を除く主回路部)を達成可能であり、計測した電力データから試算した交流配電システムの受配電損失に対して、平均29%を削減できることを確認した(図3)。

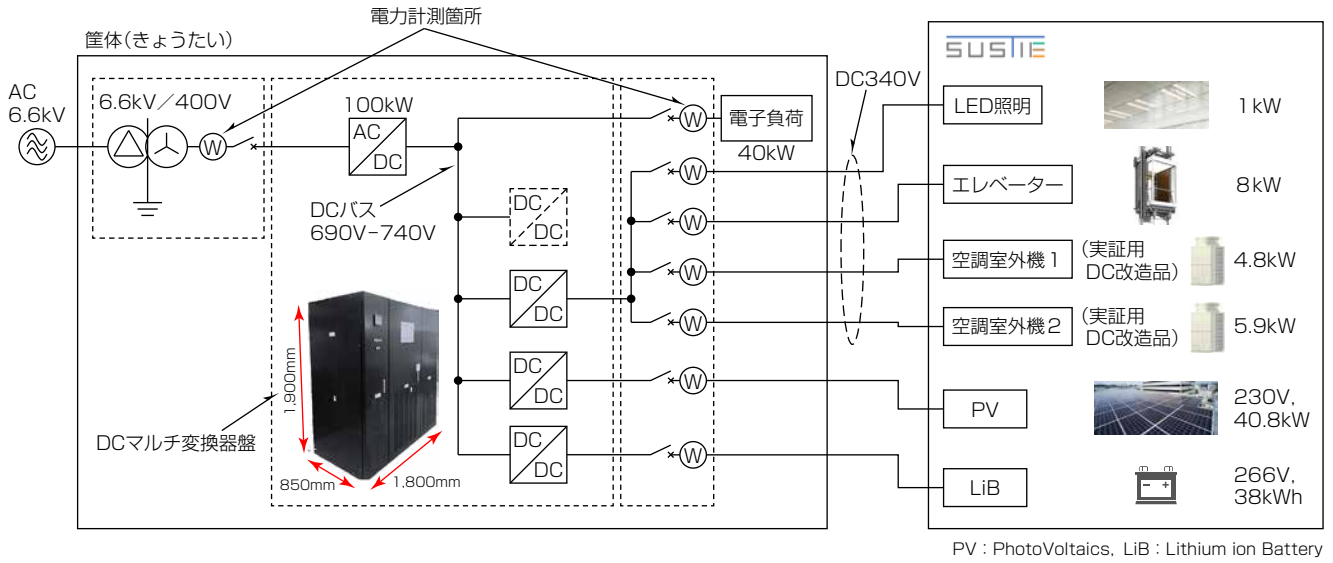


図1. 次世代機(DCマルチ電圧システム)の実証構成

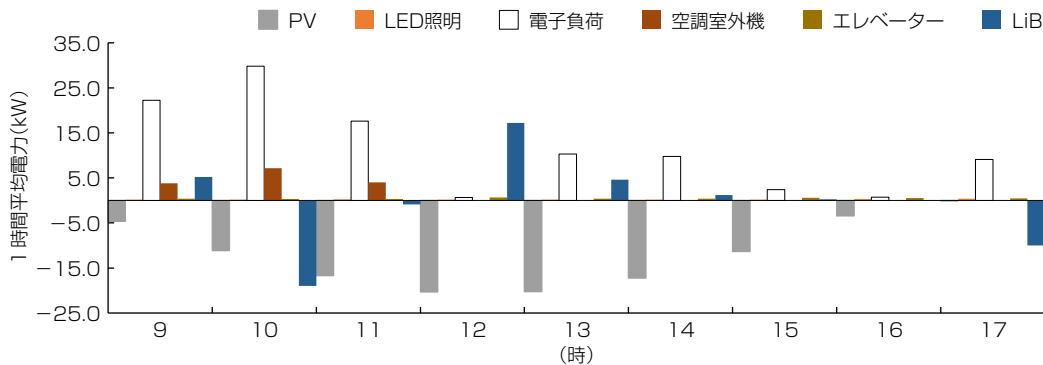


図2. 実証で取得したデータの一例(9:00~17:00)

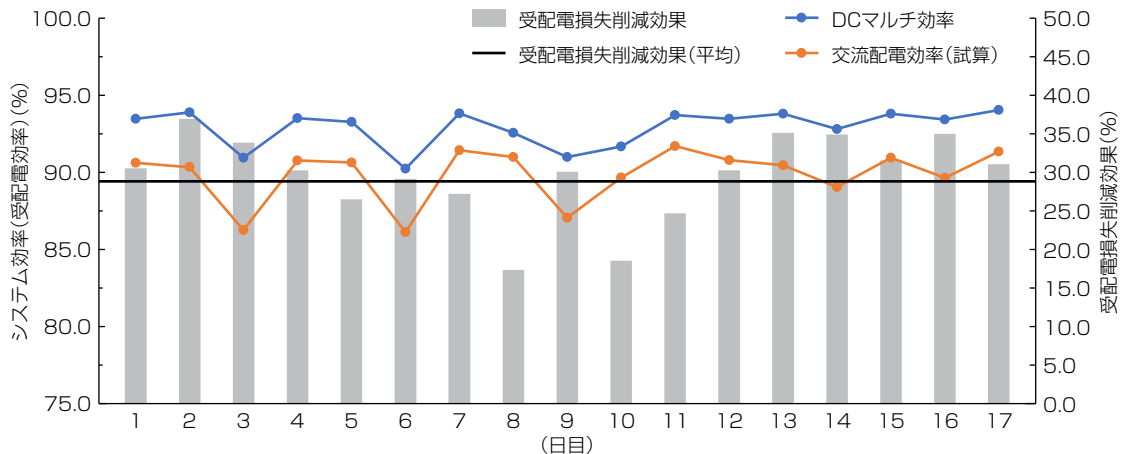


図3. 実証実験結果(システム効率及び損失)

3. む す び

次世代機のDCマルチ電圧システムの実証機を用いた実証実験を行い、従来の交流配電と比べて受配電損失が抑えられることを確認した。

今後、負荷側の直流対応も見据えて、2050年カーボンニュートラルの実現に貢献する製品化・事業化に取り組んでいく。



三菱電機株式会社