

# 一般論文

## 変成器工場の革新的生産ライン構築による生産性向上

### Productivity Improvement by Innovation of Production Line in Instrument Transformer Factory

森川和則\* 橋本昭則\*  
K. Morikawa A. Hashimoto  
長岡聖市\*  
S. Nagaoka

#### 概要

電力システム改革により2020年から実施される発電送電分離政策のため、取引用変成器の需要増大が見込まれる。当社は、その対応として前橋製作所内の既存工場の改造、新設を実施し、2018年4月に完了した。工場の生産性の向上及び品質向上を目指し、生産ラインの再編成を行ったので概要を紹介する。

#### Synopsis

According to the reformation of the electric power system, demand for instrument transformer for metering outfit increase will be anticipated by the transmission separation policy of electric power company to be implemented from 2020. As this correspondence, our company has completed remodeling of existing factory and built a new factory at Maebashi works in April 2018. We will introduce the summary of factory reorganization with try to improve the productivity and quality.

#### 1. はじめに（変成器工場の歴史と経緯）

変成器工場（本工場）は1969年にコンデンサ形計器用変圧器（CVT）の専用工場として建設された。

その後、油入絶縁機器の変流器（CT）や計器用変圧器（VT）を生産し、1978年にはガス絶縁計器用変圧器（ガスVT）が追加された。その都度、製品に適した生産設備の導入やレイアウト変更を実施してきたが、結果的に効率的な生産ラインとはなっていなかった。

電力システム改革による発電送電分離政策で、電力の取引用に使用される電力需給用変成器が増え、社内の電気試験のほか、検定所による精密な誤差試験や顧客による立会試験が全製品に適用されることになる。これにより電気試験工程が輻輳することで生産性が低下することが大きな問題であった。

その対策として、隣接した既設工場を活用し、工場内部を改造して77kV以下の低電圧機器の一貫生産工場として第2工場を立ち上げた。また、これを機に本工場で生産される110kV以上の高電圧機器についても同時に

専用工場として生産ラインを変更すべく検討した。さらに、塗装工場の新設でそれぞれに機能・役割を明確に区分けした変成器工場の再編成が完成した。

既設発電所への取引用変成器追加に際して、当社の製品群では油入変成器が主体であり、油入機器の台数は17年度から徐々に立ち上がり、近々の4年間で30%増となり、増産対策が急務であった。

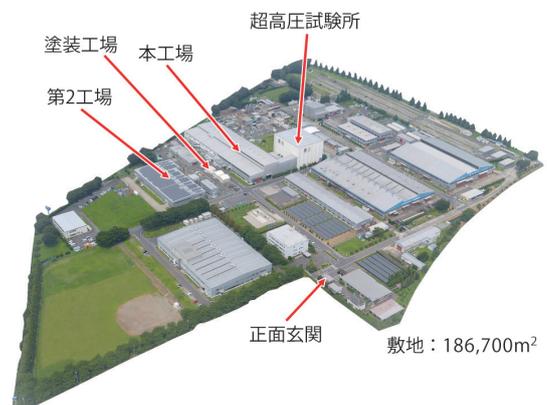


図1 変成器工場の全景と配置図

\*電力・環境システム事業本部

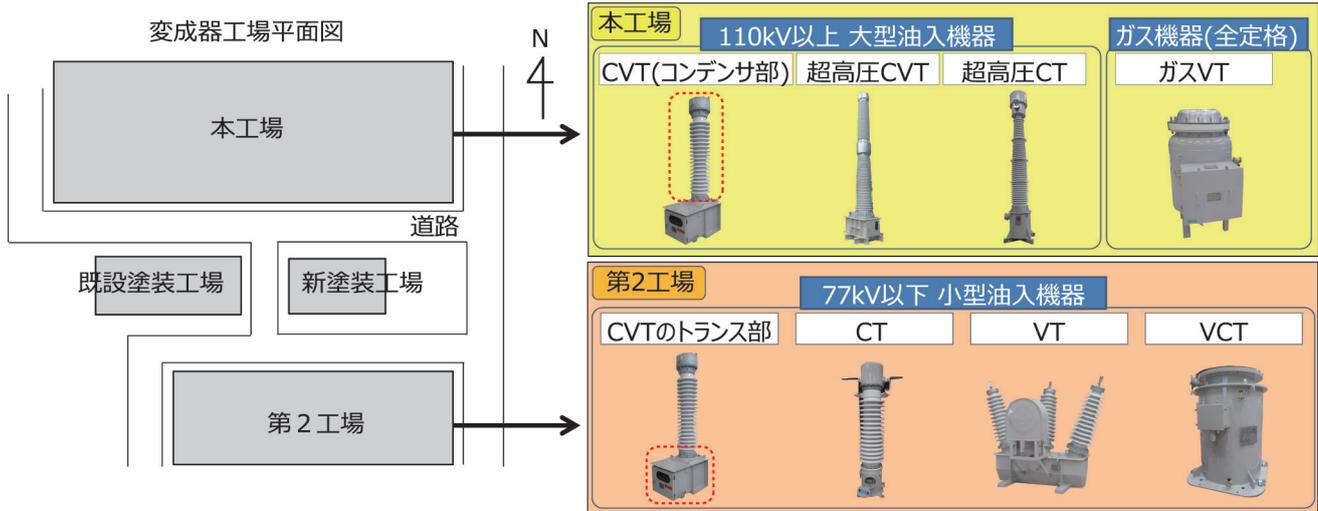


図2 工場別の製品区分

## 2. 変成器工場と製品区分

変成器工場のレイアウトと生産する製品の区分を図2に示す。

## 3. 油入機器工場再編成の全体像

### 3.1 油入機器工場再編成の概要

表1 油入機器工場の再編成項目

項目	16年度		17年度	
	上	下	上	下
第2工場改造	←→			
本工場再編成			←→	
塗装工場新設			←→	

### 3.2 工場再編成の4つのコンセプト

#### 3.2.1 多品種混合一直線生産ライン

主要製品であるCVTを基本にラインを編成し、他の機種も同一ラインで生産できるように考慮した、工程順に並べたコンパクトな直線ライン。

#### 3.2.2 クレーンレス組立、運搬

生産ラインでは組立専用の吊具を採用し、運搬は台車や電動車を使用し、天井クレーンを使用しない。クレーン資格が不要になり、誰でも運搬可能。

#### 3.2.3 部材配膳の無人搬送

工場間をフォークリフトや手押し台車で運搬していた部材や半完成品を無人搬送することで省人化を図る。

### 3.2.4 製品中身単体乾燥の適用

大型炉での製品乾燥をやめ、製品の中身だけを乾燥するコンパクトな真空乾燥炉を開発し、省エネを図る。また、ライン途中で組み込み、後戻りしない構造にする。

## 4. 第2工場の改造

### 4.1 概要

電力需給用の油入機器の需要増対応のため、77kV以下の低電圧機器の専用工場として既設工場を改造し、活用した。基本コンセプトを踏襲すべく各工程の改善をおこなった。

### 4.2 第2工場の特長とライン化の構想

第2工場として活用した既存工場の大きさは80m×42m (3,360㎡) あり、南北に2つのエリアがあるが、その北側のエリアの内部を改造してライン化した。

新ラインは図3のように工場の左端を起点とし、巻線工程から順番にコイル組立、乾燥、全体組立、溶接、注油、仕上、電気試験、出荷までの工程を一直線になるようレイアウトした。これらの工程を全て納めるにはスペース的に狭く、困難に思えたが動線分析を踏まえコンパクト化を達成した。

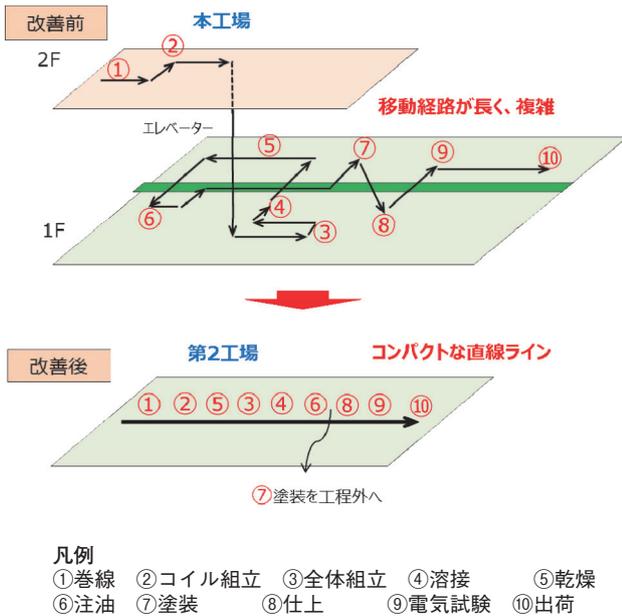


図3 製品の移動経路の直線化

#### 4. 3 多品種混合一直線ライン

##### 4. 3. 1 巻線、コイル組立などの中身製作工程

工場内に組立室を製作し、その中に巻線、コイル組立、中身単体乾燥、全体組立工程を入れ、設備を直線的に配置し、ライン化した。

特に生産量の多い、CVTのトランス部は1台流しを基本に組立できるよう、部材や工具配置、組立昇降作業台の設置などの整備を行った。



図4 組立室の直線ライン

##### 4. 3. 2 溶接、注油・仕上、電気試験、出荷工程

溶接工程は組立室出口の直近に設置した。溶接ロボットは数年前から使用していたが、多機種対応としてロボット周囲を囲む遮蔽、遮光ブースを一回り大きくし、大型機種も対応できるようにした。

電気試験場から出荷工程も同様に全工程の工程間距離を極端に短くすることで、製品運搬や部材の移動距離が短くなり、ムダのないコンパクトで直線的な新生産ラインが完成した(図5、6)。



電気試験場から見た直線ライン

大型機器もクレーンレス

図6 第2工場の生産ラインの状況

##### 4. 4 中身単体乾燥

##### 4. 4. 1 コンセプトと課題

今回、組立室の中に4つの工程が入り、その中でも乾燥炉を組立室内に置き、且つ、工程途中に組み込まなければならないという難題があった。通常の乾燥炉は扉が一つあり、そこから出し入れを行うが、今回のコンセプトである直線ライン化のためには、入口と出口が別であり、乾燥後に次の工程に送ることが要求された。

##### 4. 4. 2 課題への対応

課題を解決するため検討した結果、釣鐘式構造で中身を単体乾燥することが最適と考え、それを開発した。

これは図7のように釣鐘を上あげた状態で製品の中身を前工程側から入れ、釣鐘を降ろし乾燥後、後工程側から引き出せるという画期的な構造であった。釣鐘の中には蒸気パイプが回され、加熱しセンサにより温度管理をする構造である。

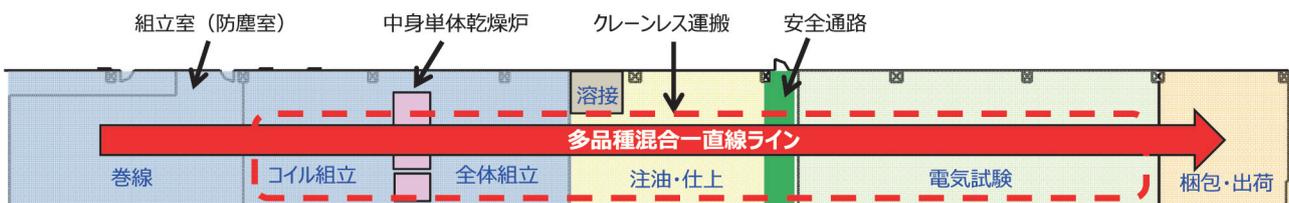


図5 第2工場の生産ラインの概要

また、炉の中を真空引きすることで釣鐘の自重と真空度により、釣鐘を下側に引っ張る応力が働き、釣鐘を上から抑える機構も不要になり、シンプルな構造になった。

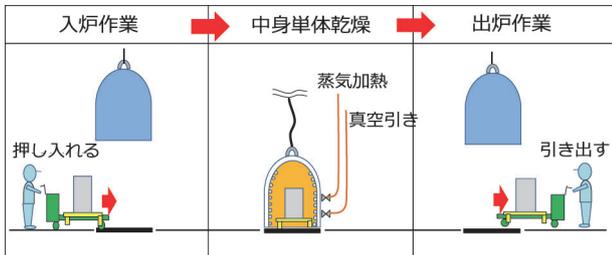
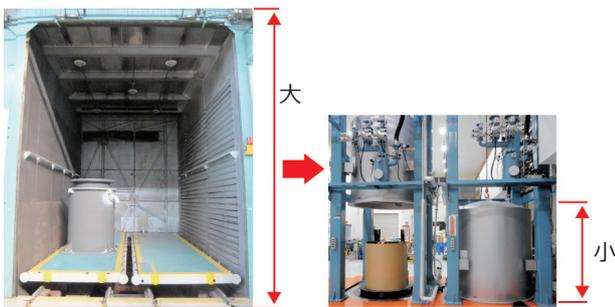


図7 中身単体乾燥炉のスルー方式

#### 4. 5 中身単体乾燥炉の特長と効果

従来は図8(a)のように製品のタンクの中に中身を入れた状態で大きな乾燥炉に入れて、外側から間接的に、中身を加熱していた。今回、開発した中身単体乾燥炉は製品の中身だけを真空乾燥することで乾燥炉自体を小さく、軽量化でき、小さくしたことで省エネ効果が得られた。

なお、乾燥した製品中身は決められた時間内にタンクに収納し、再真空引きすることで、吸湿した水分を除去する。



(a) 大気加熱炉 (b) 中身単体乾燥炉  
図8 大気加熱炉と中身単体乾燥炉の大きさ比較

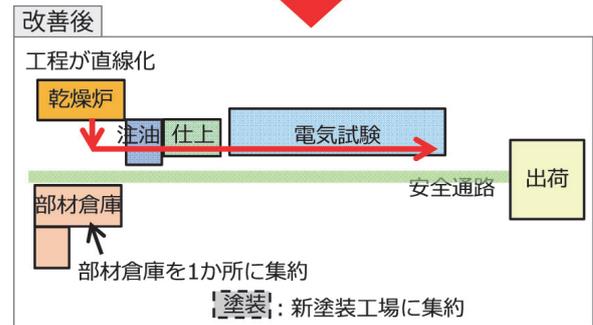
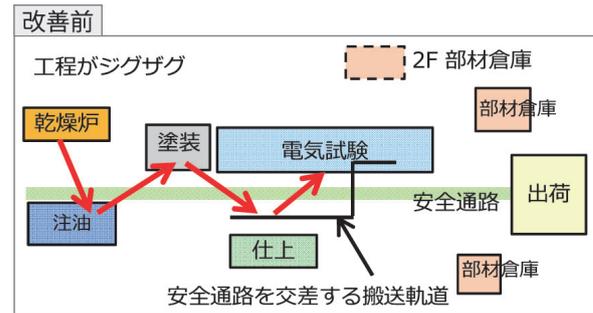


図9 直線ライン化の概要

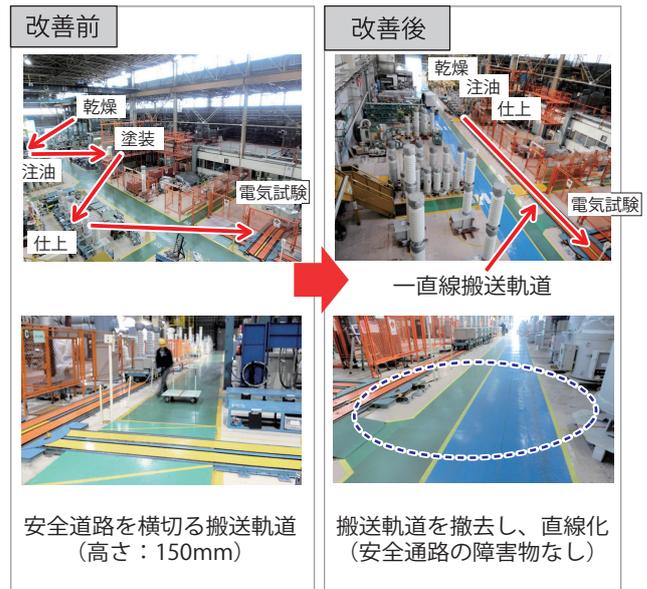


図10 直線生産ライン完成前後の状況写真

### 5. 本工場のレイアウト再編成

#### 5. 1 概要

本工場はCVTの専門工場として建設されたが、工場の生産ラインは概ね西側から東に流れる工程順の生産レイアウトになっていた。しかし、工場中央の安全通路を挟み、直線的ではなくジグザグの形態になっていた(図9、10)。

#### 5. 2 直線ライン化

##### 5. 2. 1 倉庫の集約

工場の生産ライン再編成の基本コンセプトは工程を一直線に並べることである。まずは工場内に3か所に分散していた部材倉庫を一か所にまとめ工程の先頭にレイアウトした。部材倉庫を集約したことで物の流れが一元化され、人や物のムダな動きがなくなり、部材管理面でのメリットもあった。この改善により部材倉庫を起点に各工程に無人搬送できる基盤ができ、部材配膳(搬送)の効率化につながった。

### 5. 2. 2 直線ライン化の概要と課題

部材倉庫を起点に製品の中身組立以降の乾燥、注油、仕上、電気試験（検査）工程を直線化した。工程の中心で行っていた塗装工程をオフライン化したことで広いスペースが生まれ、跡地には注油工程、仕上工程を移設した。仕上工程と電気試験工程間は専用の搬送軌道を延長し、直線化した（図10）。

### 5. 2. 3 クレーンレス運搬

仕上工程と電気試験工程間は従来から専用の軌道+台車による運搬方法を適用していたが、安全通路を交差する形で敷設されていた（図9、10）。軌道は床面より150mmほど高くなっていたので、安全通路をフォークリフトや手押し台車で運搬するには非常に不便であった。今回、曲がった軌道を外し、直線化したことでその問題が解決し、この後、採用される無人搬送車の導入にもつながった。

## 6. 新塗装工場の（ロボット適用）概要

### 6. 1 概要

塗装工程は本工場の生産ラインの途中にあったが、メインラインから外し、オフライン化することにした。既設の塗装工場に隣接して塗装工場を新設し、作業場所を集約することで作業の効率化とリードタイム短縮を図った。

### 6. 2 新塗装工場の概要

新工場の大きさは264㎡で、工場には塗装ブースと塗装ロボット、乾燥炉を各1基、新設した。

更に増産の場合に備えて、建屋の延長も考慮した設備レイアウトにした。

### 6. 3 新塗装工場と既設塗装工場の作業分担

既設塗装工場では主に油入機器以外の塗装を行っていた。ここに隣接して新塗装工場を建設し、表2及び図11のような作業分担にした。

表2 新塗装工場と既設塗装工場の作業分担

工場名	ブース数	ロボット数	作業分担
新塗装工場	1基	1台	全機種の下塗り
既設塗装工場	3基	1台	全機種の上塗り 小物部品の上下

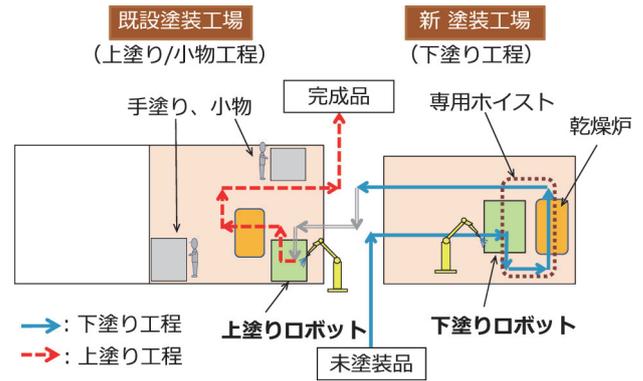


図11 塗装工場と塗装品の経路

### 6. 4 新塗装工場の塗装方法

新塗装工場では塗装ロボットと乾燥炉を隣接して設置し、その間を環状レールで結び、その下に数個のホイスツを設置した（図12）。ホイスツで吊り下げた容器類は塗装乾燥炉で予備加熱され、吊り下げたまま塗装ロボットブースに搬送され、下塗りをする。膜厚が多い場合は、再度吊ったまま塗装乾燥炉に入れ、塗装を重ねる。

ガス機器などでは200μmを超える膜厚要求があるが、効率よく重ね塗りができるため、このシステムが効果を発揮した。

下塗り完了品は隣接する既設塗装工場に移動し、上塗りされ、完成品は無人搬送車で各ステーションに運搬される。



図12 新塗装工場の塗装設備

### 6. 5 塗装工場新設（ロボットの導入）効果

新工場と塗装ロボットの効果を下記に示す。

- (1) 塗装作業は特殊技能の為、容易には増員できず、また育成にも時間が掛かるが、ロボット導入により安定した品質確保ができ、即日、塗装が可能になる。

- (2) 従来の手拭き塗装では有機溶剤を使用するため、防毒マスク、保護メガネ、つなぎの作業服を着用していたが、ロボット化により、これらの装備が不要になり身体的負担がなくなる。
- (3) 塗装ロボットはスキルのばらつきがなく、品質安定化が図られ、工数のばらつきもなくなる。また、塗料の吹付量が一定になるため、塗料の使用量も削減できる。

## 7. 無人搬送車の導入

### 7. 1 概要

4棟の工場間の部材や半完成品はフォークリフトや台車で運搬していたが、無人搬送車を導入することで運搬工数を削減した。無人搬送車は市販の電動カートを工場内で走行できるように改造し、本工場の部材倉庫を起点に4棟の工場を一筆書きで結び、各ステーションでは自動停止する。

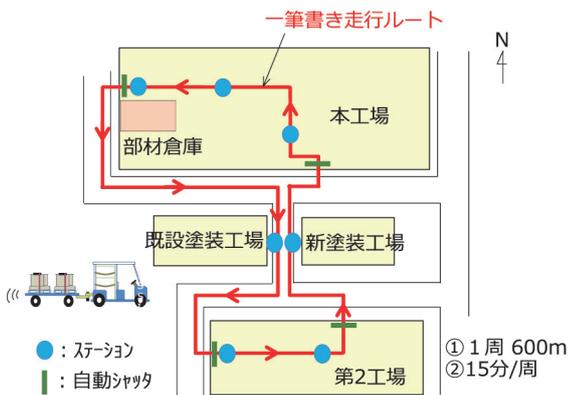


図13 無人搬送ルート



図14 無人搬送車の運行状況

### 7. 2 無人搬送車の選定

#### 7. 2. 1 電動カートによる有人試行

今まで2棟だった工場が4棟になり、工場間の距離も長くなり、部材や半完成品の運搬が課題となった。無人搬送車は工場の内部だけを走行できるものは何種類もあったが、雨の日でも屋外を走れるものはなく、頓挫していた。

そこで、電動カートなら屋外の雨天環境下でも走れることに着目し、早速、電動カートを購入し、試行したところ1トンくらいの重量は十分、牽引でき、適用可能なことが確認できたので無人搬送車の適用を決定した。



図15 有人での試行運行状況

#### 7. 2. 2 無人搬送車の環境整備と安全対策

無人搬送車は床に埋め込んだ軌道線上を走り、走行や停止の指示は本体のスイッチとリモコンによる遠隔操作が可能である。7か所のステーションを設け自動停止するようにし、再起動は手動で行うことにした。工場の入口には自動シートシャッターを設け、接近/通過で開閉する。無人搬送車本体には回転灯とメロディで接近を知らせ、また、各交差点では通過することを知らせる音声を流し注意喚起している。また、搬送車前面には安全対策として障害物を感知するセンサを取り付けている。

搬送車の後方には市販の1トン積みの牽引車を接続している。牽引車はアクリル板で囲み荒天候対策とし、多くの部品や半完成品を運搬できる構造とした。

#### 7. 2. 3 無人搬送車の効果

現在、本工場の工程先頭部に部材倉庫を集約し、ここを起点に無人搬送車で部品の運搬や各工程で製作された半完成部品を必要な工程まで無人で運べるようになり、各工場が有機的に連結し、運用できるようになった。

また、各工程の実質距離が短くなり、多くの運搬作業のムダが削減できた。

### 7. 2. 4 無人搬送車の主な仕様

- (1) 速度：5km/h
- (2) 走行距離：12km/日
- (3) 積載荷重：1,000kg
- (4) 衝突防止：前面のみ感知（光電センサ）
- (5) 走行方式：誘導線埋設電磁誘導式
- (6) 動力：バッテリー

## 8. 今後の課題、方向性

最近の2年間で50年ぶりに変成器工場の生産ラインの再構築を行った。主要なラインにはいくつかの革新的な生産方式を採用し、今後の数十年後を見越した生産ラインが完成したと確信している。

なお、変成器工場では多くの自動機械や溶接、塗装ロボット、無人搬送車、乾燥炉などがあるが、稼働率や動作状態の見える化、自動統計処理などの管理レベルの引き上げに着手している。

## 9. まとめ

2017年に当初の目的である油入機器の需要増に対応した生産ラインが完成し、対象機器の生産を開始した。電気試験ラインが2か所になったことで、顧客の立会試験や検定所による試験が容易にできるようになり、QCDSを満足できたことが、一番の成果だと考える。

今後、更に自動化、ロボット化、AI・IoT化を推進し、ブラッシュアップしながら、進化したスマート工場を目指し、顧客満足が得られる安全で高品質な製品をお届けすることで、社会貢献をしていきたい。

## 執筆者紹介



**森川 和則** Kazunori Morikawa  
電力・環境システム事業本部  
電力機器事業部 変成器製造部  
部長



**橋本 昭則** Akinori Hashimoto  
電力・環境システム事業本部  
電力機器事業部 変成器製造部  
主査



**長岡 聖市** Seiichi Nagaoka  
電力・環境システム事業本部  
電力機器事業部 変成器製造部  
グループ長