

## 燃料電池製造のスマート化への取り組み

Efforts toward Smart Operation of Fuel Cell Manufacturing Facility

澤本 徳達 SAWAMOTO Noritatsu 鈴木 孝志 SUZUKI Takashi 山形 康一 YAMAGATA Koichi

東芝エネルギーシステムズ(株)は、燃料電池増産に対応するため、2020年9月に製造拠点を移転し、生産能力の強化とともに、品質向上を目指した製造改革に取り組んでいる。燃料電池の製造プロセスで起こる品質・生産・安全面のトラブルを未然に防止できる製造ラインを構築するため、IoT (Internet of Things) 技術によってリアルタイムに取得した様々なデータを情報化し、AIを活用して異常兆候などを自動で検知し、現場でのPDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルの高度化・自動化が可能なスマートファクトリーを目指して活動している。

Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation transferred its fuel cell manufacturing base to a new facility in September 2020 to tackle manufacturing reforms, with the aim of increasing production volume and improving product quality.

We are now working toward the realization of smart operation, in order to construct production lines capable of preventing various problems related to quality, productivity, and safety that might occur during the manufacturing of fuel cell products. Smart operation of the facility, which will lead to the creation of a smart factory, involves the use of artificial intelligence (AI) to automatically detect any signs of abnormalities based on data collected in real time from each process by means of Internet of Things (IoT) technologies, making it possible to enhance and automate plan-do-check-act (PDCA) cycles at the site.

### 1. まえがき

東芝エネルギーシステムズ(株)は、燃料電池増産に対応するため、2020年9月に、スペースに制約のあった横浜事業所磯子地区から浜川崎工場浮島地区に燃料電池の製造拠点を移転した(図1)。この移転により、拡張性と効率の課題を解消し、生産能力の拡大とともに、製造品質の向上・安定化で、製造の生み出す価値を高める製造改革に取り組んでいる。製造に関わるデータに基づいて製造状態を把握できる仕組みを構築し、製造に関わる作業員、技術者がその仕組みを使って歩留まり低下や生産効率の低下など製造で起こるトラブルを未然に防止できる工場を実現するような製造改革を、スマート化と呼んでいる。スマート化では、まず、基となるデータをIoTで取得し、そのデータを一元管理する。次に、実世界(フィジカル空間)で取得したデータ間をつなぐことでデータを情報化し、仮想空間(サイバー空間)で製造状態を再現する。そして、この情報に基づいて分析・監視・可視化を行い、異常の発生など非定常な製造状態への移行を検知・予測する。当社は、これを現場(フィジカル空間)にフィードバックして対応を実施することまでを含めたシナリオ(PDCA)を直ちに実行できる工場、すなわちCPS(サイバーフィジカルシステム)を構築し、スマート化された工場の実現に向けた活動を進めている。ここ



図1. 燃料電池製造ライン

浜川崎工場浮島地区の製造ラインで、生産能力の拡大や製造品質の向上・安定化などで、製造改革に取り組んでいる。

Fuel cell production lines

では、このスマート化への取り組みについて述べる。

### 2. 燃料電池製造について

燃料電池は水素又は水素原料となる物資を燃料として空気(酸素)と反応させ、化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換させる発電装置であり、二酸化炭素を発生させないため、カーボンニュートラル実現への貢献が期待されている<sup>(1)</sup>。燃料電池製造工程の特徴は、半導体や液晶などの

デバイス製品と同様に、製造工程、組立工程、及び試験工程から構成されている量産型の工程であり、データに基づいた製造管理が可能である。しかし、取得されるデータ量不足のほか、品質や稼働率に関わるデータ取得方法が確立されていないため、不適合発生時や装置停止時の原因調査が困難であった。そこで、それらを解決するため、スマート化が必要とされていた。

### 3. 五つのみせる

スマート化によるスマートファクトリーの構築にあたり、製造に関わる全員の意識を合わせるために必要なステップを分かりやすくまとめたのが、以下に示す五つの“みせる”である(図2)。この五つのみせるの英語表記の頭文字をつなげると“SMART”となる。

- (1) 見せる (Show) リアルタイムでのデータ収集・可視化の仕組みを作る。

IoT技術で製造に関わる様々なデータをリアルタイムで取得し、その時系列変化をグラフや表で可視化する。また、取得したデータをDB(データベース)で管理し、更に、データ間をつなぐことで、様々な切り口の情報としてまとめて可視化する。

- (2) 視(み)せる (Monitor) 生産・品質・稼働状況の監視及び異常事態を知らせる仕組みを作る。

装置データや監視情報が、正常に製造されている状態に対して差異が生じているかなど、不適合の兆候を検知して通知し、すぐに改善対応を実施する。

- (3) 診(み)せる (Analyze & Act) 不適合発生の要因、真因が診断できる仕組みを作る。

データ、情報を分析員(データサイエンティスト)が分析し、異常(不適合)発生の要因、真因を診断する。また、診断の結果に基づいて改善対応を実施する。診断結果と改善状況から、(2)で述べた不適合の兆候を判断するための管理基準を定義する。これらを実施することで、トラブルによるライン停止や不適合品を作らない仕組み(予防保全と傾向管理)を確立する。

- (4) 観(み)せる (Represent) 顧客の信頼度を向上させた観せることのできるラインを作ることで世の中に高品質を訴求する。

製造状況は常にモニタリングされており、完成した製品の製造履歴を全て追跡できる。このように管理されたラインで製造することで、高品質の製品を安定して製造できる。また、トラブルが発生した場合も、発生工程だけでなく前工程に遡っての要因分析が容易になる。更に、必要なデータをダッシュボード化することで、必

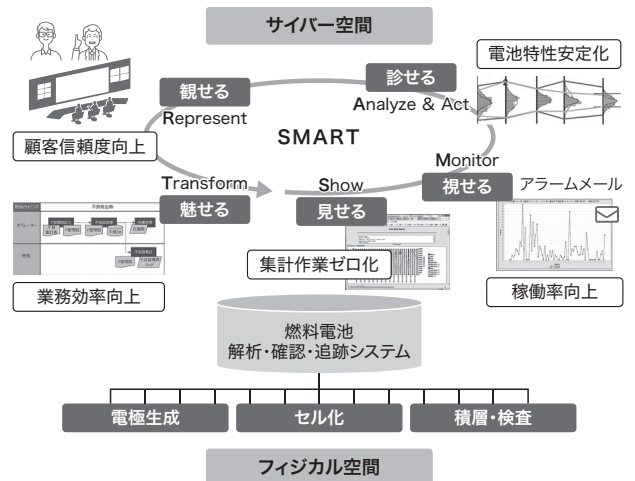


図2. 製造時の問題を未然に防止するスマートファクトリー概念  
製造関係者の目標を明確化するため、スマートファクトリーの構築に必要な五つのみせるを定義した。

Concept of smart factory capable of preventing problems at time of manufacturing

要な人に必要な情報をすぐに知らせることができる。

- (5) 魅(み)せる (Transform) 働きがいのある魅力的な製造ラインを作る。

現場の活性化・製造・業務プロセスの変革を目指し、働きがいのある製造ライン作りを目指している。顧客にとっても、高品質の安定した製品製造がなされていることが魅力となる。製品製造に関わる者にとって、働きがいのある魅力的な工場は、製造にとどまらない、更なる業務プロセス変革のモチベーションにつながる。

### 4. スマート化への施策

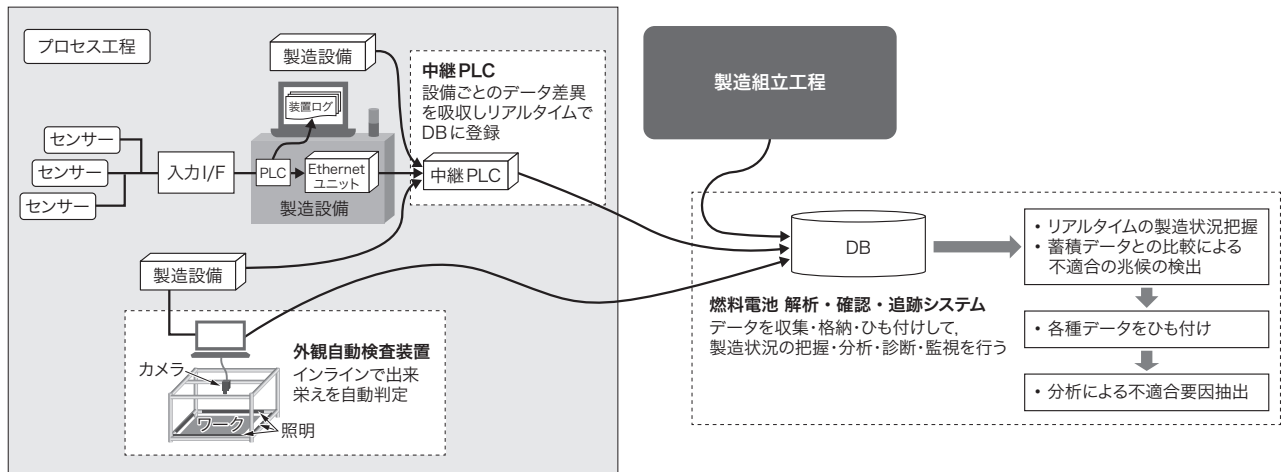
燃料電池製造でのスマート化への施策について、以下に述べる(図3)。

#### 4.1 燃料電池 解析・確認・追跡システム

スマート化のベースとなる仕組みで、DBに格納した設備やセンサーなど様々なデータをひも付けた情報にして可視化を行う。格納した情報を監視し、不適合、あるいはその兆候を検知して通知する。また、全工程の出来栄、全工程のプロセス、材料物性のデータがトレーサビリティによって管理され、トラブルが発生しても、全体の品質問題などが追跡可能となり品質管理ができる。更に、各データについてBI(ビジネスインテリジェンス)ツールを用いて深掘り診断を行うことで、不適合要因を特定して短期間で常態に復帰できる。

#### 4.2 製造設備情報のリアルタイム取得

製造プロセスでは、設備やプロセスの瞬間的な不適合状



I/F：インターフェース

図3. 燃料電池製造工程のスマート化

各装置の間を中継PLCでつなぎ、燃料電池解析・確認・追跡システムにデータを収集し、分析・解析することでトラブルを未然に防ぐ。

Smart operation of fuel cell manufacturing processes

態は信号灯などでリアルタイムに通知されるが、不適合の兆候などの傾向管理をリアルタイムで行うためには、瞬間的な状態を管理基準に基づいて判断しなければならない。しかし、設備ごとにメーカーや仕様が異なるため、個別に対応する必要があった。そこで、この差異を吸収してデータを収集し、判断を一元管理する手法として、各設備のPLC (Programmable Logic Controller) とDBの間に、中継PLCと呼ぶシステムを導入した。設備PLCから得られる稼働状況のデータやセンサーから得られるプロセス状態のデータを、中継PLCのメモリー空間にマッピングして汎化し、設備の差異を吸収する。中継PLCデータをDBに登録することで、タイムラグなく各設備で何が起きているかを知ることが

できる。この手法により不適合の兆候を検出し、リアルタイムで警報を発報することが可能となった。設備稼働データから設備稼働率の改善を進めている。更に、設備稼働データとプロセス状態データをひも付けて分析することで、プロセス改善・プロセス制御を継続的に行えるようになり、製造品質の安定性向上に役立っている。

#### 4.3 外観自動検査の導入

AIを用いた画像学習をインラインで実行する技術である。データの活用方法として、目視検査の結果はデータとして使用できない。そこで、データ取得を目的として、外観検査を自動化した。

外観自動検査装置で得られたデータと映像は、DBに上



図4. BIツールを使用した分析例

燃料電池解析・確認・追跡システム内のデータを基に、BIツールを使用して分析することで、不要な停止の回避やトラブルの未然防止などができる。

Results of analysis using business intelligence (BI) tools

げて一元管理し、そのデータを利用して分析・解析ができる。また、映像については、不適合が目視できるようになることにより、不適合状態の把握ができる。

#### 4.4 分析・解析

DBに格納されているデータを基に、装置のメンテナンス時期や、消耗部品の交換タイミング、品質の傾向などを、分析員がBIツールを使用して分析することで、計測データのしきい値を適正化し、不要な停止を回避し、かつトラブルを未然に防ぐことができる(図4)。

### 5. あとがき

燃料電池製造の品質向上・製造力強化によって、生み出す価値を高める製造改革について、取得データに基づき製造状態を把握し、不適合を未然に防止できるようにするスマート化を、当社と東芝の生産技術センターで協力し、進めてきた。

今後も、このPDCAサイクルの高度化・自動化を進め、工場が自律して高品質の製品を安定して供給できる、工場のスマート化に向けた活動を継続して進めていく。

### 文 献

- (1) 深沢大志, ほか, 燃料電池向け触媒層の省白金化技術, 東芝レビュー, 2013, 68, 4, p.54-57.



澤本 徳達 SAWAMOTO Noritatsu  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
エネルギーアグリゲーション事業部 水素エネルギー製造部  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



鈴木 孝志 SUZUKI Takashi  
東芝エネルギーシステムズ(株)  
エネルギーアグリゲーション事業部 水素エネルギー製造部  
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



山形 康一 YAMAGATA Koichi  
生産技術センター 業務プロセス変革推進領域  
設計生産システム変革推進部  
Design & Manufacturing Innovation Dept.