

発電プラント計装制御システムとタービン発電機のデザイン開発

深川浩史*

山田 亘*

Design Development of Power Plant Instrumentation and Control Systems and Turbine Generators

Hirofumi Fukagawa, Wataru Yamada

要 旨

重要な社会インフラである発電プラントを支える電力機器は、世界的な電力需要の高まりによって、電力安定供給のための高度化や、運用の容易性・安全性の向上が求められている。そのため、従来はユーザー側に高度な習熟や運用を求めてきた専門性の高い産業機器でも、“分かりやすい”“間違えない”といった使いやすさへの配慮が必要となっている。このような課題に対し、三菱電機では、“ユニバーサルデザイン(Universal Design: UD)”や“空間・環境デザイン”を適用し、製品ライフサイクル全体を考慮した開発を推進している。

発電プラント計装制御システムの“MELSEPシリーズ”、“MELTACシリーズ”では、ハードウェアとソフトウェアの両方にユニバーサルデザイン視点の配慮を行い、素早く

正確な情報把握と操作を行えるようにした。

タービン発電機“VP-Xシリーズ”では、大容量でありながら外付け部品や配管をなくしたコンパクトな外観を創出し、点検効率や安全性の向上、輸送コストと環境負荷の低減を実現した。また、精度や信頼性を表現しながらも、機械的な威圧感のない外観としている。

これらのデザイン開発の取組みによって、グッドデザイン賞や全国発明表彰を受賞した。電力機器のような大規模な社会インフラシステムの開発では、デザインと技術の両方によって品質を高めていくことがますます重要になると考えられる。今後も継続的に研究開発を進め、より良い社会の実現を目指していく。



発電プラント計装制御システム

タービン発電機

電力機器のデザイン開発事例

発電プラント計装制御システムの開発では、ユニバーサルデザインの視点で幅広いユーザーの使いやすさを実現した。タービン発電機の開発では、輸送・組立て・保守点検の容易性、安全性など、製品ライフサイクル全体の“在り方”をデザインした。

1. ま え が き

電力機器は電力インフラを構成し、人々の生活を支える重要な役割を担っている。近年、世界的な電力需要の高まりを背景に電力安定供給が急務となっており、電力機器の性能向上とともに、運用の容易性や安全性への対応が顧客から求められている。このような課題に対して、“ユニバーサルデザイン”や“空間・環境デザイン”を適用し、製造から輸送、保守にいたるまでの製品ライフサイクル全体を考慮した開発を推進している。

本稿では、電力事業における事例として、発電プラント計装制御システムMELSEPシリーズ、MELTACシリーズと火力発電所向け水素間接冷却タービン発電機VP-Xシリーズのデザイン開発について述べる。

2. 発電プラント計装制御システムMELSEPシリーズ・MELTACシリーズのデザイン開発

2.1 開発の背景

国内電力会社へ多数の納入実績があるこれらのシリーズは、前機種の市場投入から年数が経過し、新機種投入時期を迎えている。従来、これらプラント計装制御システムは、ヒューマンエラーが深刻な影響を及ぼす専門性の高いシステムとして、高度な教育や習熟をユーザー側に求めてきた。しかし、近年の熟練者減少やシステムの高度化によって、ユーザーの習熟度向上を支援するとともに、“分かりやすい”“間違えない”といったシステム自体の使いやすさに配慮することが急速に求められてきている。そこで、今回の開発では、制御ユニットなどのハードウェアと、ソフトウェア(Human Machine Interface : HMI)である監視制御画面のそれぞれにUDの理念を適用し、未熟者を含めた幅広いユーザーにとっての使いやすさを実現した。

2.2 ハードウェアのデザイン開発

制御盤内に設置されるユニット群(CPUユニット、PIO(Process Input Output)ユニット)のデザインでは、作業の優先度に合わせて、筐体(きょうたい)に表示する情報の並び順を整理した(図1)。機器名称の表記位置や、黒枠内

に配した動作状況の表示ルールを統一することで、読み間違いなどのヒューマンエラーを抑制する。

また、PIOユニットは、機器種別のイニシャルを強調することで、同じ形状の機器が多数並ぶ盤内の個々の機能を一目で理解できるようにした。例えば、デジタル入力(Digital Input)のPIOユニットの場合、“D”と“I”を強調表示することで、ほかの種類 PIOユニット(アナログ入力など)と容易に区別することができる。作業頻度が少なく習熟困難な機器であっても、緊急時に素早く正確な対応が可能となる。

PIOユニットの筐体デザインでは、内部の風路を改良してコンパクト化を実現した。従来、要素が多く複雑に見えるやすい放熱孔を製品の顔である正面に配する構成は避けられてきたが、この製品では放熱孔を表示面の1段奥にすることで、縦1本のスリットとしてすっきりと見えるデザインとし、機能性と意匠性の両立を図った。

2.3 ソフトウェア(HMI)のデザイン開発

監視制御画面のデザインでは、情報把握や操作の容易性に配慮したレイアウト、グラフィック表現を行った。警報や稼働状況など、プラント全体にかかわる情報を画面上部に集約し、中央部に配した号機ごとの詳細情報と切り分けた。さらに、左上から右下へ順を追って操作を進めれば設定が行えるよう、表示要素の配置を整理している(図2)。

また、ボタンの各種状態(通常時・押下時)やランプの表現を明確に分けるなど、識別性の高い部品デザインの採用によって、誤操作を抑制する。

2.4 UDフォントの採用

文字の表記にUDフォント(UDの考え方によって、読み取りやすさや誤読防止への配慮がなされたフォント)を採用した。適切な文字サイズとコントラストを用いて、視認性を確保している。

2.5 課題解決の効果

先に述べたように、ハードウェアとソフトウェアの両方に対して、素早く正確な情報把握と操作を行えるようにデザインの取組みを実施した。運転員が日常的に目にする監視制御画面だけでなく、制御盤内に設置された機器にいた

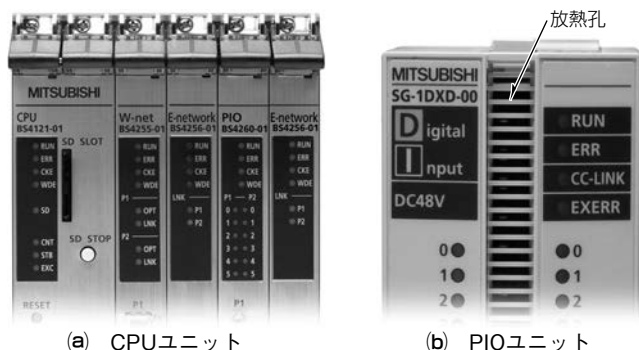


図1. CPUユニットとPIOユニットの情報表示



図2. 監視制御画面の情報レイアウト

るまで、一貫してUD視点の配慮を行うことで、緊急時対応を含めた業務全体の、ヒューマンエラー抑制、作業負荷軽減、効率化を実現している。

3. タービン発電機VP-Xシリーズのデザイン開発

3.1 開発の背景

タービン発電機など大型電力機器は、一般の人の目に触れることが少なく、また、価格面や効率性が重視されることから、主に美観を目的とするような外観デザインへの要求は低かった。しかし、近年、グローバル市場の拡大とともに供給国や事業者が多岐にわたると、タービン発電機に対する要求は輸送・組立て・保守といった製品ライフサイクル全体にも及ぶようになり、作業側立った改善ニーズが高まっている。

そこで、作業の容易性や安全性なども含め、作業者と製品の関係がどうあるべきかというデザイン視点での開発アプローチによって、顧客に対する付加価値向上を試みた。

3.2 コンパクトでシンプルな構造

電力需要の高まりとともに、発電容量の大きなタービン発電機が求められている。従来、大容量の発電機に採用される冷却方式は水冷却が主流であった。しかし、水冷却方式は発電容量が大きい代わりにサイズが大きく、さらに、配管や付帯設備を伴うため、輸送・組立て・保守作業が複雑化するという欠点がある。水冷却方式の次に発電容量を大きくできるのは水素間接冷却方式である。この方式は水冷却機よりサイズが小さく、構造及び付帯設備も簡素にすることが可能である。しかし、従来技術では大容量化に伴う発電機内部の温度上昇を抑えることができないという課題があり、発電容量限界は700MVAまでであった(図3)。

VP-Xシリーズの開発では、水素間接冷却方式の簡素な構造を活用しながら、水冷却方式に匹敵する発電容量の実現を目指した。まず、本体内部の回転子を下方にずらし、上部に生まれた空間に冷却機と風路を格納する構造で冷却用の配管や付帯設備をなくして機械的な威圧感が少ないシンプルな外観を創出した(図4)。それによって点検箇所そのものが削減され作業効率や安全性の向上にも貢献している。

また、①高効率ファン、②薄型クーラー、③通風抵抗の

冷却方式	発電機容量(MVA)												
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,500~		
水冷却													
水素間接冷却													
空気冷却													

図3. 冷却方式と発電容量

少ない回転子冷却構造、④高性能固定子絶縁材などの最先端技術を導入することで(図5)、発電効率を向上させている。これによってVP-Xシリーズは水素間接冷却機では世界最大(注1)の900MVA級出力という水冷却方式に匹敵する発電容量でありながら、従来の88%の設置面積というコンパクト化を実現している(図6)。

(注1) 2014年12月8日現在、当社調べ



図4. 外付け配管のない冷却構造

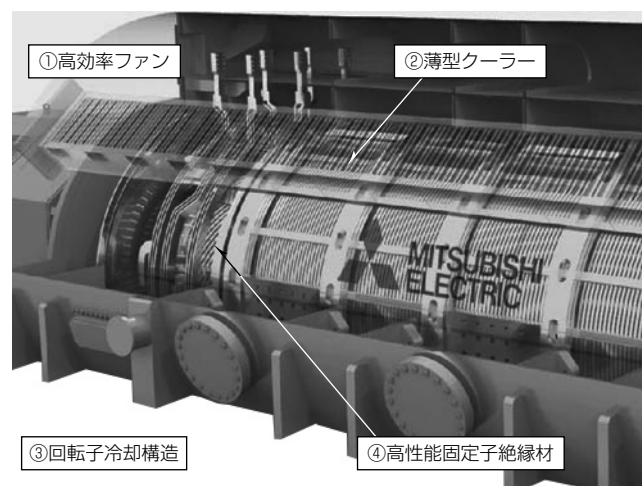


図5. 内部構造

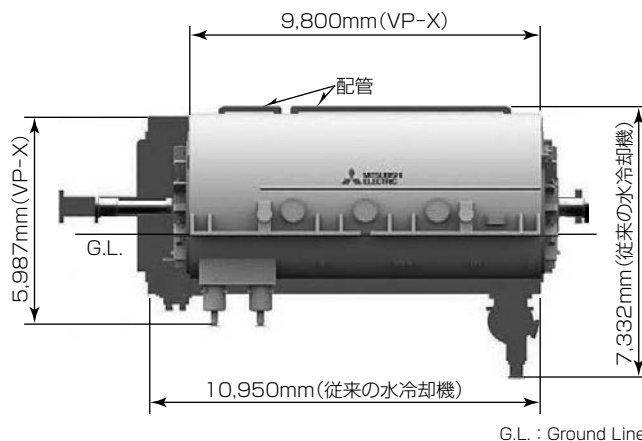


図6. 従来の水冷却機とVP-Xシリーズのサイズ比較

3.3 快適な作業環境

製品サイズをコンパクト化したことに加え、作業者の移動の妨げとなり得る凹凸部分を極力減らすことで、作業スペースにゆとりを与え、安全で快適な作業環境を提供している。また、業界標準的にベージュに塗られていた本体色にはライトグレーを採用し、明るく活力ある作業空間の形成を目指した(図7)。

3.4 精度感の表現

製造に当たり加工箇所や形状に応じて加工条件を調整し、寸法計測時に温度補正を行うことなどで、10mを超える大型製品でありながら0.01mm単位の精密な部品精度を確保している。シンプルな円筒の持つ力強さを活用しながらも、細部をシャープな印象に仕上げることで、高効率発電機としての信頼感を感じさせるデザインを目指した。



(a) 従来機



(b) VP-Xシリーズ

図7. 従来機とVP-Xシリーズ



(a) トレーラー輸送



(b) 鉄道輸送

図8. トレーラー輸送と鉄道輸送

3.5 環境負荷低減

構造をシンプル化したことで分解・組立て箇所を削減し、輸送性と設置性が向上した。510MVA以下の機種については、コンパクト化したことで米国鉄道網の多くの路線での輸送寸法制限に対応することで、従来のトレーラー輸送から鉄道輸送への切替えを可能とした。トレーラー輸送に係る大量の作業人員と輸送時間、運送経路の補強などのコスト増を抑制するとともに環境負荷の低減につなげている(図8)。

4. むすび

電力機器のデザイン開発について述べた。電力機器は専門性が高い分野であるため、デザイナーと開発者が一体となり、関係者へのヒアリングや業務フローの評価などを粘り強く進めることで、ユーザーにとって本当に使いやすい製品・システムを実現した。

1つ目の事例である発電プラント計装制御システムでは、このシステムにおける一貫したUDの取組みが評価され、2014年度のグッドデザイン賞を受賞した⁽¹⁾。熟練者の減少やシステムの高度化に対し、デザインによるユーザビリティ改善の期待が今後も高まっていくと考えられる。

2つ目の事例であるタービン発電機のデザイン開発では、産業機器におけるデザインの可能性を広げた製品であることが評価され2014年度のグッドデザイン賞⁽²⁾、及び平成28年度全国発明表彰の発明協会会長賞を受賞した⁽³⁾。今後はタービン発電機以外的大型電力機器についても、作業員の快適性向上や設置環境の改善など、デザインが貢献できる領域の拡大に努めていく。

電力機器のような大規模な社会インフラシステムの開発では、デザインと技術の両方によって品質を高めていくことがますます重要になると考える。今後も継続的に研究開発を進め、より良い社会の実現を目指していく。

参考文献

- (1) 公益財団法人日本デザイン振興会：Good Design Award, 発電プラント計装制御システム MELSEPシリーズ, MELTACシリーズ (2014)
<https://www.g-mark.org/award/describe/41822>
- (2) 公益財団法人日本デザイン振興会：Good Design Award, 高効率タービン発電機VP-Xシリーズ (2014)
<http://www.g-mark.org/award/describe/41401>
- (3) 公益社団法人 発明協会：発明協会会長賞, コンパクトでシンプルなタービン発電機の意匠 (2016)
<http://koueki.jiii.or.jp/hyosho/zenkoku/2016/jiii.html>