

電気系のアイソレーション支援システムの開発

Development of Electrical-Isolation support system

東芝エネルギーシステムズ(株)	高倉 啓	Kei TAKAKURA	Member
東芝エネルギーシステムズ(株)	芝 広樹	Hiroki SHIBA	
東芝エネルギーシステムズ(株)	西 優弥	Yuya NISHI	Member
東芝エネルギーシステムズ(株)	高司 旭	Akira TAKAJI	
(株) 東芝	内藤 晋	Susumu NAITO	
東芝エネルギーシステムズ(株)	藤牧 拓郎	Takuro FUJIMAKI	

Abstract

An electrical isolation planning system is now under development to improve the efficiency of operating and maintaining nuclear power plant. The system automates electrical isolation planning, and evaluates the influence of the isolation plan. It also equips an algorithm that automatically adds information such as circuit connection and device attribution to the original paper-drawing. A demonstration of automatic isolation planning was conducted that used actual plant drawings. The system successfully reproduced an actual isolation plan and evaluated the validity of the plan.

Keywords: Isolation, Paper drawing, Deep learning

1. はじめに

原子力発電所の点検・改造工事では、電気系の隔離（アイソレーション）作業を実施することで、安全に作業できる環境を構築している。アイソレーション（アイソレ）の立案では、専門の知識と経験を有するエンジニアが、膨大な図書を基に時間を掛けて隔離範囲を決定しており、検討、評価に時間を要していた。またプラント図面の多くは紙であるため、立案、評価に必要な回路情報をデジタル情報として活用することができず、効率的に回路情報を取り出すことも課題であった。そこで隔離計画の立案や評価の効率化を目的に、電気系のアイソレーション作業を支援するシステムを開発している^[1]。

2. 電気系のアイソレーション支援システムの構成

開発中の電気系アイソレーション支援システムの構成を図1に示す。支援システムは深層学習等の技術を活用した以下の3つの機能で構成されている。

- 1) 紙図面の構造化機能
: 紙図面からアイソレの解析に必要な回路情報（構造化情報）を抽出する。

- 2) アイソレ自動立案機能

: 図面の情報（構造化情報）と作業条件を設定して、隔離計画を自動立案する。

- 3) アイソレ計画評価機能

: 立案した隔離計画の妥当性を評価して、図面上に評価結果を可視化する。

このアイソレーション支援システムを活用することで、作業の効率化やヒューマンエラーの低減による安全性向上が期待される。

本稿では支援システムの3つの機能である紙図面構造化機能、アイソレ自動立案機能、及び計画評価機能について詳細に述べる。

3. 紙図面の構造化機能

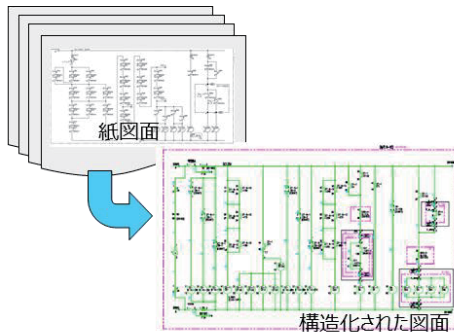
支援システムでは図面中の回路（経路）解析を行うため、図面中の回路の接続・属性情報（以下、構造化情報）が必要となるが、プラント図面の中には元のCADデータが存在しない、または存在しても構造化情報が付与されていない図面が多く存在する。図2には構造化情報の例を示す。

連絡先: 高倉 啓

〒183-8511 東京都府中市東芝町1

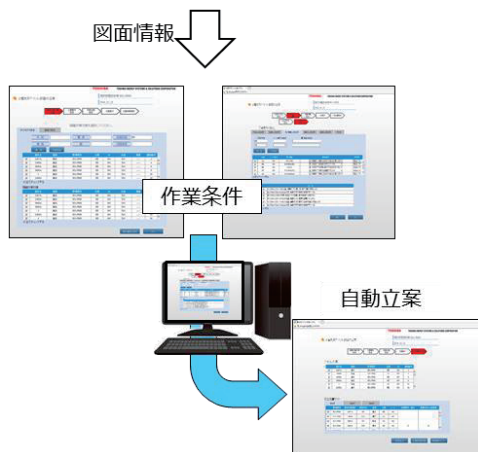
東芝エネルギーシステムズ(株)

E-mail: kei.takakura@toshiba.co.jp



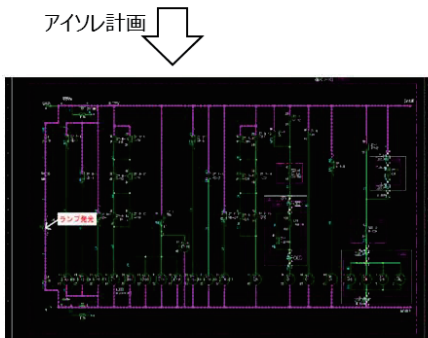
1 紙図面の構造化機能

紙図面から構造化に必要な回路情報を抽出



2 アイソレ自動立案機能

図面情報、作業条件を設定しアイソレーション計画を立案



3 アイソレ計画評価機能

アイソレ計画の妥当性（影響）を評価
図面上に評価結果を表示

図1 電気系アイソレーション支援機能の構成

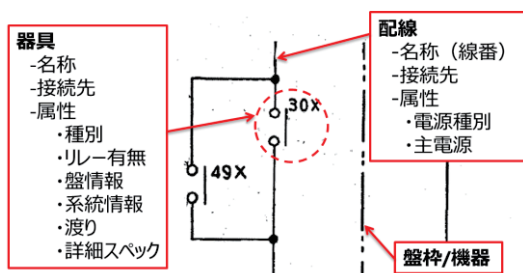


図2 アイソレーションの立案、評価に必要な構造化情報

このような場合、一般的には人手で図面をトレースし構造化情報を付与する方法がとられるが、数百冊（1冊あたり最大999ページ）に及ぶ図面に対応するためにはコストや時間が掛かるため、改善が求められている。

そこで展開接続図を対象として、アイソレの解析に必要な図面中の器具配線、他図面との接続関係と、器具の種別やリレー関係等の属性情報を付与する紙図面構造化機能を開発した。

紙図面構造化機能のフローを図3に示す。構造化機能は大きく分けて3つのステップから成る。

スキャナで読み取り画像化した紙図面は、単純なピクセルの集合体のため回路シンボルや文字情報等は一切付与されていない。そこでステップ1では、線分等の描写をベクトル（座標）で記述するベクタ化処理、および画像、文字認識処理を行っている。画像、文字認識処理では、図面中の器具名や盤名等の文字認識や、コイルや接点、ヒューズといった90種類以上の回路シンボルを認識する処理を行っている。なお回路シンボルの認識では深層学習による画像認識技術を活用することで、従来5%以下の認識率であった渡り線等のシンボルについても最大90%の認識率を達成した。

ステップ2ではステップ1で作成したベクタ化結果、認識結果を用いて構造化情報の作成を行う。具体的にはベクタ化された線分や丸オブジェクトに対して、配線や盤枠等の属性や接続関係を付与する処理や、ベクタ化された線分や丸といった図形に対して、回路シンボルとしての属性（例えば器具番号や種別など）を付与する。

以上のアルゴリズムによって属性情報と接続情報とを有する構造化図面を自動で作成することが可能となった。ただし対象となる紙図面の歪みや欠け、ノイズ等の状態によっては、誤った属性のシンボルが付与されたり、図中の配線が断線してしまったりする可能性がある。

このためステップ3では構造化した図面について人手にて確認、修正を行う。図面の確認や修正を効率化する機能として、断線個所の表示やシンボルや盤枠の修正を支援するアルゴリズムを組み込んでいる。

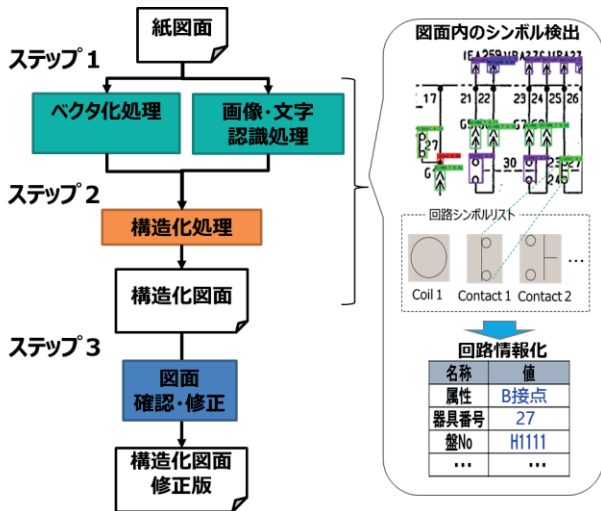
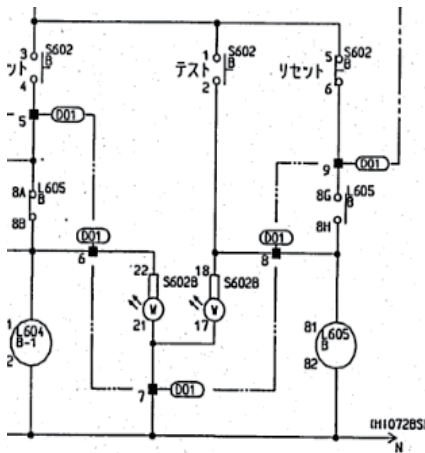
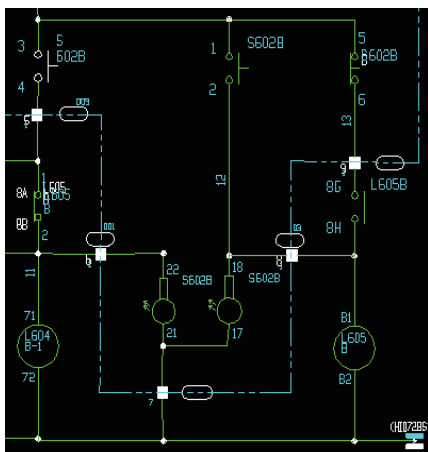


図3 紙図面構造化機能のフロー



(a) 構造化前の紙図面



(b) 構造化した図面

図4 紙図面構造化結果

3.1 紙図面の構造化結果

紙図面構造化機能を用いて、実際の図面を構造化した例を図4に示す。変換対象の図面(図4(a))にはコイルや

複数種類のa接点、b接点などのシンボルがあり、構造化機能を用いてシンボルに属性を付与し、かつ配線で接続(繋がり情報を付与)することに成功した(図4(b))

構造化機能を用いることで、人手で1からCADを作成する時間(平均3.5時間/枚)と比べて効率的(確認/修正含めて平均30~40分/枚)に図面に属性情報や接続情報を付与することができた。

4. アイソレ自動立案機能

アイソレ計画の自動立案、評価を行うためには、図面内の回路情報をもとに膨大な回路の経路を探索し、シーケンスを評価する解析システムの構築が必要である。そこで隔離対象や作業条件を入力することで、アイソレ計画を自動で立案するアイソレ立案機能を構築した。

アイソレ計画の立案システムを図5に示す。アイソレ支援システムではまず図面(器具の属性情報と繋がり情報)及び器具の初期状態を入力し、隔離作業対象と作業要件を設定する。

デフォルトの初期状態は、例えばa接点はOpen、b接点はCloseである。なお器具の初期状態は実際の器具状態に応じて、任意に設定可能である。また作業要件とは、隔離作業する上での制約条件、例えば操作可能な器具や動作禁止の器具を定めたものである。

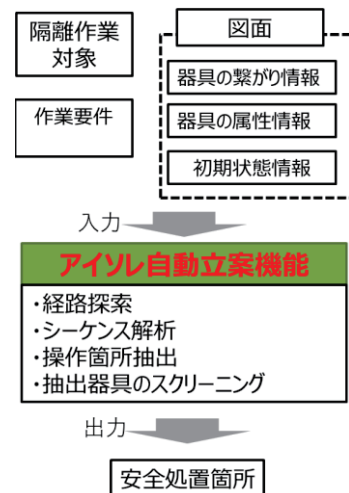


図5 アイソレ自動立案機能のフロー

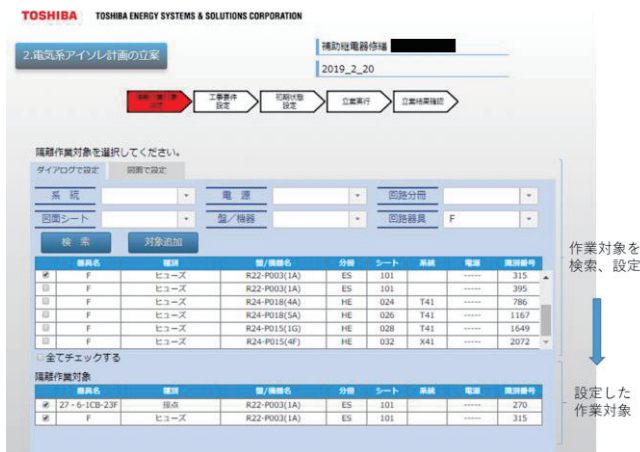


図6 隔離作業対象設定の例



図7 隔離計画の出力の例

アイソレ立案機能では入力した図面情報を元に、図面上に存在する全ての回路上の経路を探索する。次に経路上の操作可能な器具を抽出する。すなわち Open、Close 状態を切り替えることができる器具で、例えばスイッチや MCCB、ヒューズ、リフトできる端子などがある。

次に操作可能な器具の状態を切り替えた際のシーケンス動作を評価し、回路の通電状態を評価する。そして最後に、作業要件を満たし、隔離作業対象を OFF の状態にできる器具をスクリーニングする。

図6に示すように作業対象の設定や作業要件の設定は GUI (Graphical User Interface) 上で設定可能である。また立案された隔離計画案についても図7示すように GUI 上で確認することができる。

開発したアルゴリズムで展開接続図 (ECWD) のサンプル図面 1000 枚を評価したところ、HPC (CPU: Intel Xeon

E5-2690, RAM: 192GB, GPU: Tesla K20Xm) 下で、図面ごとの全経路と、図面間の経路及び操作対象器具は 10 秒程度で抽出された。

なおこれらのプロセスを、深層学習を用いて高速に抽出する取り組みも行っている²⁾。

5. アイソレ計画評価機能

アイソレ計画の妥当性の評価では、通常は、エンジニアが紙図面上に通電箇所を色塗りすることで、対象箇所が電氣的に隔離できているかを確認しており、作業の効率化や確認漏れの防止などが求められていた。

そこで我々は構造化した図面上に通電状態を自動的に可視化して、アイソレ計画の妥当性を評価する機能を開発した。

アイソレ計画の妥当性を評価する機能のフローを図8に示す。

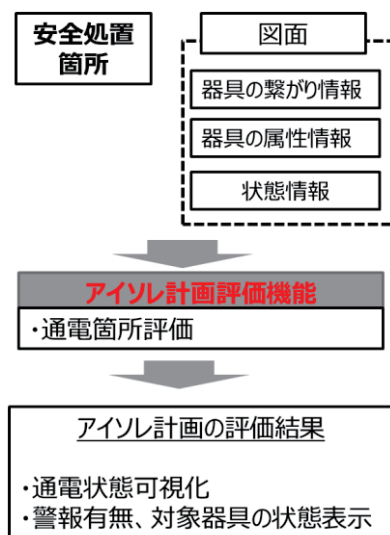


図8 アイソレ計画評価機能のフロー

この評価機能は、立案した計画、器具の状態及び、図面情報を入力して、各器具の通電状態を評価する。通電状態は図面上に可視化することができる。これにより対象の器具が隔離されているか、すなわち通電していないかを、作業員が評価可能となる。またアイソレ計画が作業条件を満たしているかも確認することができる。例えば動作が禁止されている器具が、アイソレ作業を行うことで ON になってしまう場合には、画面上に警告を表示させることができる。

6. 実図面を用いたアイソレ計画の立案、評価結果

実際の ECWD を用いて隔離計画を自動立案した。ここでは図9に示すように7枚の ECWD 中の対象 A を隔離するための計画を立案した。7枚の図面には配線や器具など 2000 点の回路要素がある。

アイソレ立案機能は以下の2つの隔離計画を立案した。1つ目の案は MCCB を Open にする計画である。2つ目の案は端子 1 と 2 をリフトするものである。

次に立案した計画を、評価機能を用いて評価した。図10には、隔離案1について評価した結果を示す。

通電状態になる配線は画面上では赤色、非通電の場合は緑色で表示される。

図10(a)は隔離処置前の状態で、主電源に接続されている MCCB が Close のため、隔離対象 A が通電状態となっている。すなわち隔離対象 A は隔離できていないことが分かる。図10(b)は隔離案1で示したように MCCB を Open にすることで、主電源から切り離され、対象 A が非導通となったことがわかる。すなわち対象 A が電気的に隔離されており、立案した計画の妥当性が確認された。なお2つ目の計画案の妥当性についても評価されている。

なお実際の工事では、対象 A を隔離するために、MCCB を Open にする処置を行っており、本機能を用いて実際のアイソレ計画を再現することに成功した。

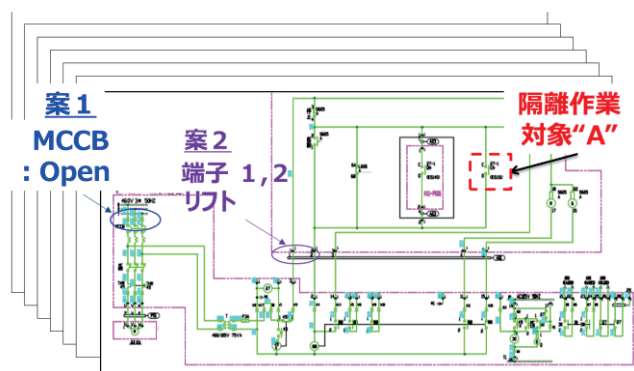
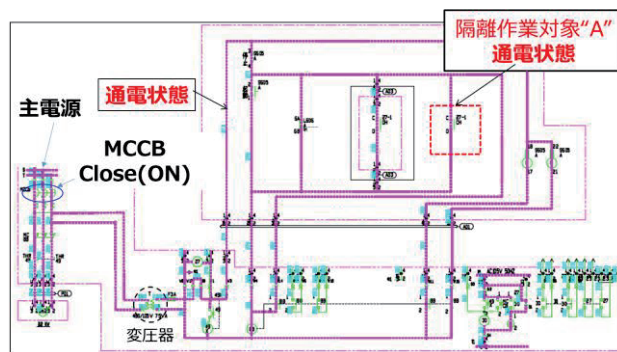
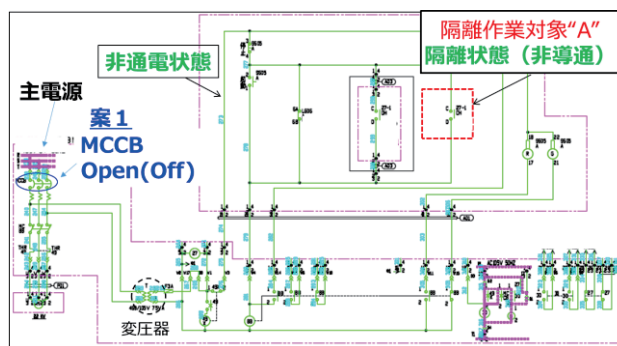


図9 対象Aを隔離する計画の立案結果
(対象図面7枚)



(a) 隔離作業前の状態 (MCCB : Close)



(b) 案1を実施後の状態 (MCCB : Open)

図10 隔離案1の評価結果

7. まとめ

原子力発電所の電気系のアイソレーション（隔離）作業を支援するシステムを開発した。本システムは隔離計画を自動立案及びその妥当性を評価する機能、これらの解析に必要な図面情報を紙図面から抽出する機能からなる。

紙図面から図面情報を抽出する機能では、展開接続図を対象に、図面の構造化を効率的に行うことを可能とした。アイソレの自動立案、計画評価機能では、実工事での隔離計画を模擬することに成功した。

盤等の設備構成を本機能で模擬・評価することで、工事等に関する様々な情報を可視化するなど、保全活動支援への展開が可能となった。

参考文献

- [1] 高倉啓, 他, “電気系のアイソレーション支援システムの開発 (3)図面構造化、計画立案・評価機能のシステム化”, 日本原子力学会 2017 年秋の大会予稿集, 3006.
- [2] S. Naito et al., “APPLICATIONS OF DATA MINING TECHNOLOGY TO ENHANCE O&M: AUTOMATIC PLANNING OF ELECTRICAL ISOLATION WITH DEEP LEARNING,” 10th International Conference on Nuclear Plant Instrumentation, Control, and Human-Machine Interface Technologies (NPIC & HMIT 2017) (2017)