

ETAPによるアークフラッシュ解析 (デモ)

第31回 ETAP ユーザー会

November 22, 2023

株式会社エルテクス設計 / 吉田純平

1

目次

1. 設定・データ登録

- 1) 適用規格
- 2) 保護具の規定
- 3) ラベルデザイン
- 4) 系統モデリング・運転ケース
- 5) 潮流計算・短絡電流計算
- 6) 保護協調図
- 7) 盤のパラメータ

2. 解析の実行

- 1) 合計事故エネルギー Total IE
- 2) 合計アーク電流 Total Ia"
- 3) 事故除去時間 FCT
- 4) 改善策の検討

3. 解析のまとめ

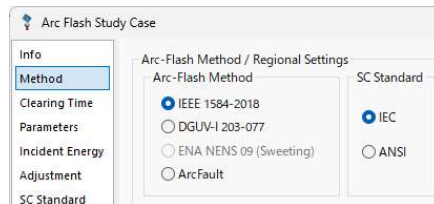
- 1) ETAP Report
- 2) Arc Flash Analyzer
- 3) ラベル作成、印刷、貼り付け

2

Section-1. 設定・データ登録

1) 適用規格

- アークフラッシュ計算
 - IEEE 1584-2018
 - DGUV-I 203-077 (ドイツ)
 - ENA NENS 09 (オーストラリア)
 - Arc Fault (15kV以上の高圧で適用)
- 短絡電流計算
 - IEC 60909-0
 - ANSI C37 (北米)



- 日本ではIEEE1584-2018、IEC60909-0を適用
- 適用規格によって設定や必要なデータが異なる

3

Section-1. 設定・データ登録

2) 保護具の規定 [1/2]

- 合計事故エネルギーIEに対する必要な保護具PPEを規定

40cal/cm²超過
→通電作業禁止

- 例: NFPA70E (National Fire Protection Association)

Level 0 1.2cal/cm ² 未満	Level 1 4.0cal/cm ² 未満	Level 2 8.0cal/cm ² 未満	Level 3 25cal/cm ² 未満	Level 4 40cal/cm ² 未満
-長袖シャツと長ズボン or つなぎ服 -革手袋 or 革製保護具付きのゴム製絶縁手袋 -ヘルメット-安全メガネ or 安全ゴーグル -耳栓 -革靴	-長袖シャツとパンツ or カバーオール or アークフラッシュスーツ -アーク定格のフェイスシールドとアーク定格の目差傷 orアーク定格の アークフラッシュスーツフード -必要に応じて...ジャケット、パーカー、レインウェア、ハードハットライ ナーなど -アーク定格の手袋 or 革製保護具付きのゴム製絶縁手袋 -ヘルメット-安全メガネ or 安全ゴーグル -耳栓 -革靴	-長袖シャツとパンツ or カバーオール or アークフラッシュスーツ -アーク定格のフェイスシールドとアーク定格の目差傷 orアーク定格の アークフラッシュスーツフード -必要に応じて...ジャケット、パーカー、レインウェア、ハードハットライ ナーなど -アーク定格の手袋 or 革製保護具付きのゴム製絶縁手袋 -ヘルメット-安全メガネ or 安全ゴーグル -耳栓 -革靴	-長袖シャツとパンツ or カバーオール or アークフラッシュスーツ -アーク定格のフェイスシールドとアーク定格の目差傷 orアーク定格の アークフラッシュスーツフード -必要に応じて...ジャケット、パーカー、レインウェア、ハードハットライ ナーなど -アーク定格の手袋 or 革製保護具付きのゴム製絶縁手袋 -ヘルメット-安全メガネ or 安全ゴーグル -耳栓 -革靴	-長袖シャツとパンツ or カバーオール or アークフラッシュスーツ -アーク定格のフェイスシールドとアーク定格の目差傷 orアーク定格の アークフラッシュスーツフード -必要に応じて...ジャケット、パーカー、レインウェア、ハードハットライ ナーなど -アーク定格の手袋 or 革製保護具付きのゴム製絶縁手袋 -ヘルメット-安全メガネ or 安全ゴーグル -耳栓 -革靴
PPE最小アーク定格 なし	PPE最小アーク定格 4.0 cal/cm ²	PPE最小アーク定格 8.0 cal/cm ²	PPE最小アーク定格 25 cal/cm ²	PPE最小アーク定格 40 cal/cm ²

4

Section-1. 設定・データ登録

2) 保護具の規定 [2/2]

- スタディーケースから保護具PPEの規定を設定

Level	ID	cal/cm ²
Level A		2
Level B		4
Level C		8
Level D		25
Level E		40
Level F		100
Level G		120
Level H		0
Level I		0
Level J		0

5

Section-1. 設定・データ登録

3) ラベルデザイン

- ラベルに記載が必要な項目 (NFPA70E 2018, Article130.5(H))

- 公称電圧
- アークフラッシュ境界AFB[m]
- 作業距離[cm]における
 - 事故エネルギー IE [cal/cm²]
 - または
 - 事故エネルギーレベル
- 機器名称
- 解析実行日

Sample

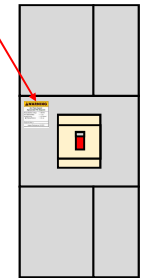
WARNING

Arc Flash Hazard
Appropriate PPE Required

Nominal System Voltage = 480 VAC
Arc Flash Boundary = 1.1 m
Incident Energy = 4.8 cal/cm²
@ Working Distance = 46 cm

Equipment: MDP-1

Analysis Performed on: 6/1/2019



- 盤で作業する際の危険性と防護具の必要性を明示 (義務)
- ETAPで用意されたラベルデザインを用いても可

6

Section-1. 設定・データ登録

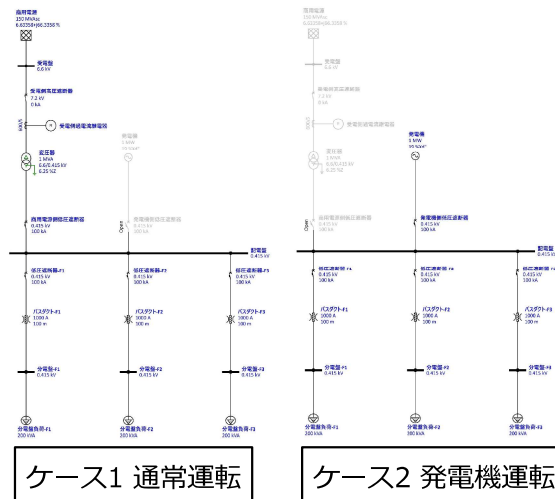
4) 系統モデリング・運転ケースの登録

- 系統モデリング

- 単線結線図の作成
- 各機器の定格の登録
 - 定格電圧
 - インピーダンス ...など

- 運転ケースを登録

- 通電作業中あり得るケース
- 例として
 - 通常運転
 - 発電機運転 ...など



7

Section-1. 設定・データ登録

5) 潮流計算・短絡電流計算

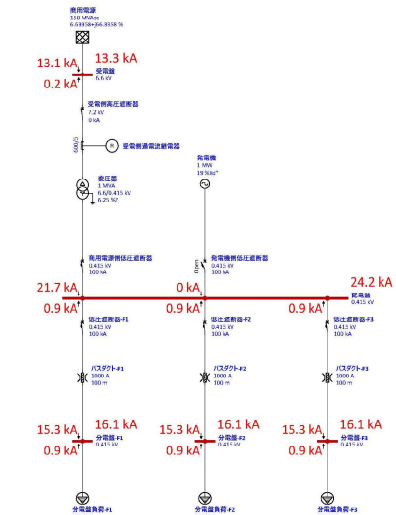
- 潮流計算

- 定常状態における各電気設備の健全性の評価

- 短絡電流計算

- 最大想定短絡電流に対する保護装置 (遮断器類) の評価

- 系統の健全性を確認
- アーク電流 (I_a'') の計算に必要な



短絡電流計算結果 (IEC60909-0)

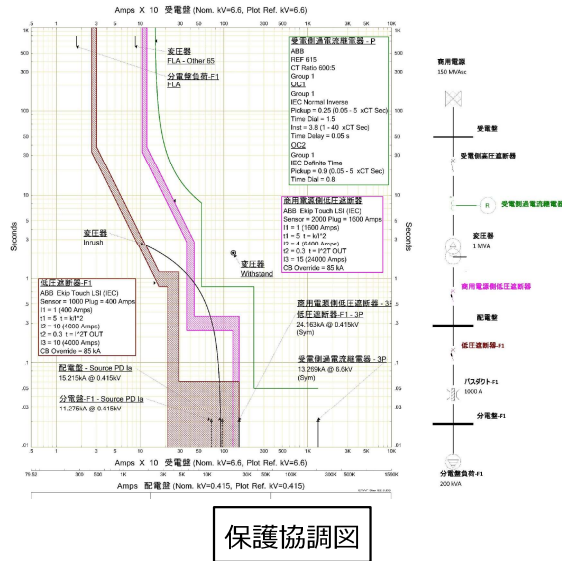
8

Section-1. 設定・データ登録

6) 保護協調図

保護協調図作成

- 保護装置のライブラリ登録
(メーカー・型番)
- 保護装置の整定値を検討
- 参考情報を登録
 - 変圧器の励磁突入電流
 - 各機器の損傷曲線
 - 各機器の定格電流



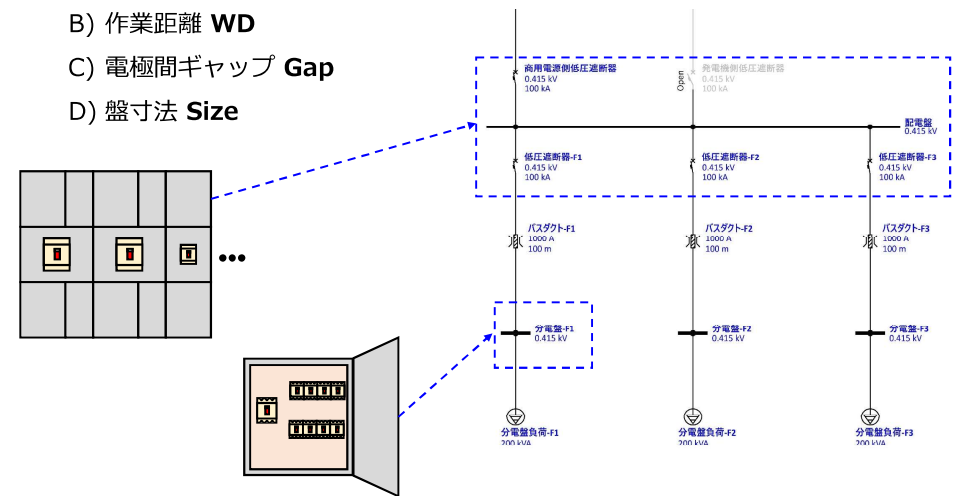
□ アーク事故の除去時間 (FCT)の計算に必要

Section-1. 設定・データ登録

7) 盤のパラメータ [1/5]

必要な盤のパラメータ

- 電極構成 EC
- 作業距離 WD
- 電極間ギャップ Gap
- 盤寸法 Size



Section-1. 設定・データ登録

7) 盤のパラメータ [2/5]

A) 電極構成 EC (Electrode Configurations)

	電極の向きが垂直	電極の向きが水平
盤内	VCB 絶縁物で終端されている場合→VCBB 	HCB
気中	VOA 	HOA

Section-1. 設定・データ登録

7) 盤のパラメータ [3/5]

B) 作業距離 WD (Working Distance)

- アーク発生源から
作業者の顔や胸までの距離

C) 電極間ギャップ Gap

- 電極の相間の距離

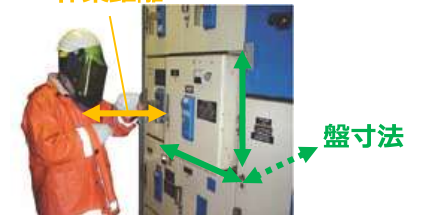
D) 盤寸法 Size

- 高さ(H)×幅(W)×奥行き(D)

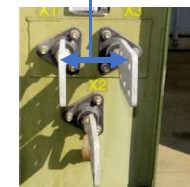
● データ収集が難しい場合・・・

- B) ~ D) は
IEEE1584-2018に基づく
典型値を適用可能

作業距離



電極間ギャップ



Section-1. 設定・データ登録

7) 盤のパラメータ [4/5]

ETAPへの登録方法

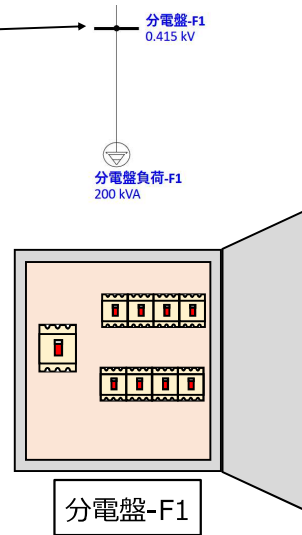
① 母線に下記を登録

- 公称電圧 **Nom.V**
- 盤の種類 **Type**
 - 配電盤 (Switchgear/Switchboard)
 - 分電盤 (Panelboard)
 - MCC …など

② ①から作業距離WD、電極間ギャップGap、

- 盤寸法Sizeの典型値が適用される
- 典型値を用いない場合は手動で登録

③ 電極構成ECを手動で登録



13

Section-1. 設定・データ登録

7) 盤のパラメータ [5/5]

14

Section-2. 解析の実行

1) 合計事故エネルギー Total IE [1/2]

合計事故エネルギー Total IE (Incident Energy)

- 作業距離において事故除去までに放出されるエネルギーの合計

アークフラッシュ境界 AFB (Arc Flash Boundary)

- アークフラッシュにより二度火傷の発症のおそれのある距離

IE Levels

- 保護具PPEの規定時に設定
- Total IEに基づいて決定されるレベル

配電盤

Nom.kV:0.415 kV
Switchgear/HCB
Gap:32 mm/WD:60.96 cm
H:508 mm W:508 mm D:508 mm

Bus IE Levels: Level 3

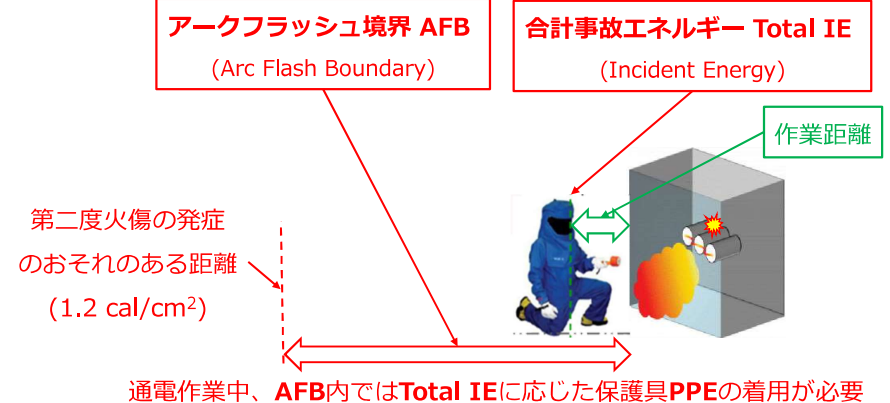
Total Ibf": 24.3 kA
Total Ia": 16.3 kA
Final FCT: 0.36 Seconds
Total IE: 17.9 cal/cm²
AFB: 2.305 m

Source PD ID: 商用電源側低圧遮断器
Source PD Ia @ FCT: 14.6 kA

15

Section-2. 解析の実行

1) 合計事故エネルギー Total IE [2/2]



合計アーク電流 **Total Ia"**や事故除去時間 **FCT**、盤のパラメータをもとに **Total IE**や**AFB**が計算される

16

Section-2. 解析の実行

2) 合計アーク電流 Total Ia''

- 合計アーク電流 Total Ia''
 - 事故点のアークのインピーダンスを考慮した短絡電流
 - Total Ibf'', 系統電圧、盤の電極構成、電極間ギャップをもとに計算される
- 合計完全短絡電流 Total Ibf''
 - 事故点のインピーダンスを0とした短絡電流
 - 短絡電流計算から求めた想定最大短絡電流と等しい

配電盤

Nom.kV:0.415kV
 Switchgear /HCB
 Gap:32mm/WD:60.96cm
 H:508mm W:508mm D:508mm
Bus IE Levels:Level 3
 Total Ibf'':24.3kA
 Total Ia'':16.3kA
 Final FCT:0.36Seconds
 Total IE:17.9cal/cm²
 AFB:2.305m
 Source PD ID:商用電源側低圧遮断器
 Source PD Ia @ FCT:14.6kA

17

Section-2. 解析の実行

3) 事故除去時間 FCT [1/3]

- 事故除去時間 FCT (Fault Clearing Time)
 - アーク事故の除去に要する時間
 - 電源から流れるアーク電流に対する電源側保護装置の動作時間から求める
- Source PD (Protective Device)
 - 電源側保護装置
- Source PD Ia''
 - 電源から電源側保護装置に流れるアーク電流

配電盤

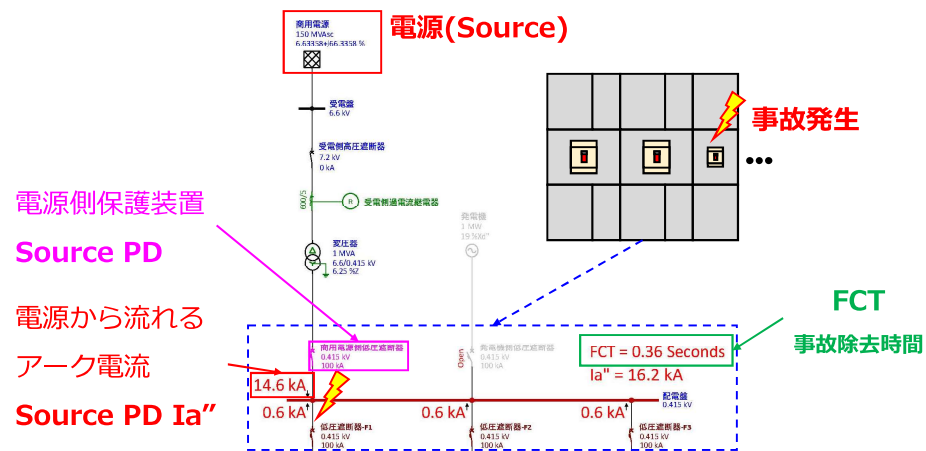
Nom.kV:0.415kV
 Switchgear /HCB
 Gap:32mm/WD:60.96cm
 H:508mm W:508mm D:508mm
Bus IE Levels:Level 3
 Total Ibf'':24.3kA
 Total Ia'':16.3kA
 Final FCT:0.36Seconds
 Total IE:17.9cal/cm²
 AFB:2.305m
 Source PD ID:商用電源側低圧遮断器
 Source PD Ia @ FCT:14.6kA

18

Section-2. 解析の実行

3) 事故除去時間 FCT [2/3]

- 事故除去時間FCTの計算

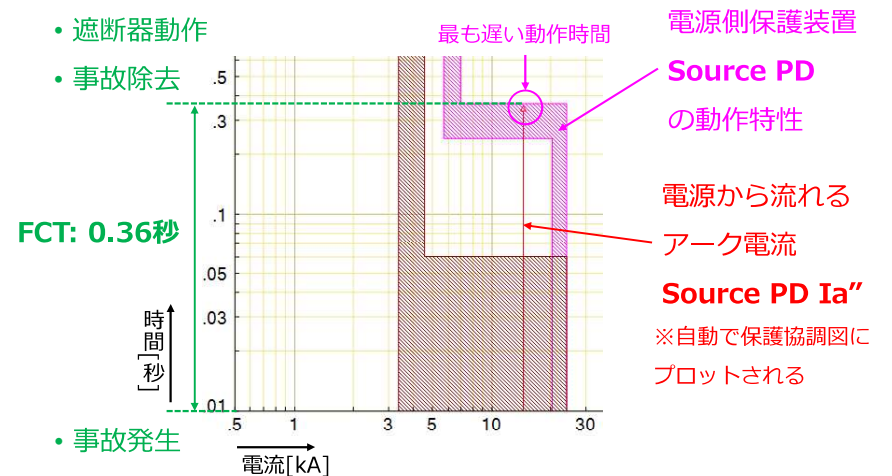


19

Section-2. 解析の実行

3) 事故除去時間 FCT [3/3]

- 保護協調図での事故除去時間FCTの確認



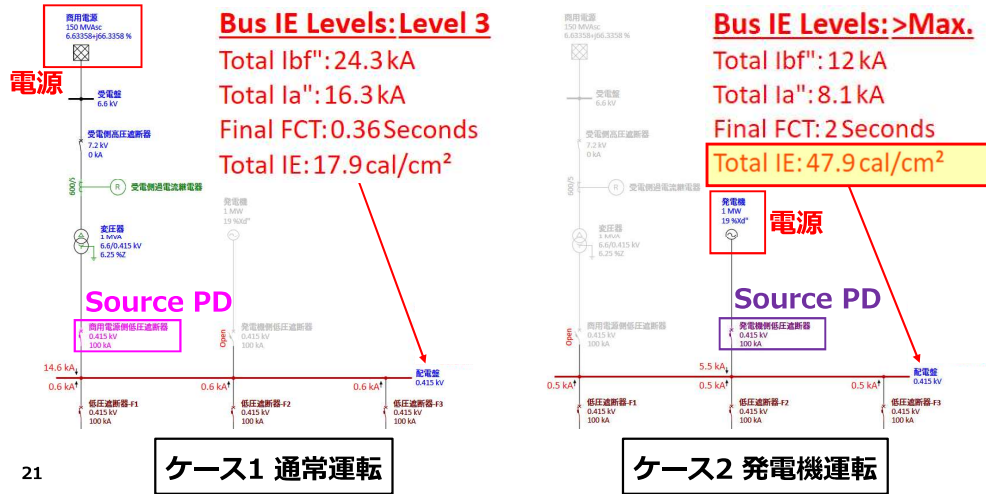
20

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [1/8]

各運転ケースにおける解析結果

- 発電機運転時、事故エネルギーIEが40cal/cm²を超過・・・**通電作業禁止!**



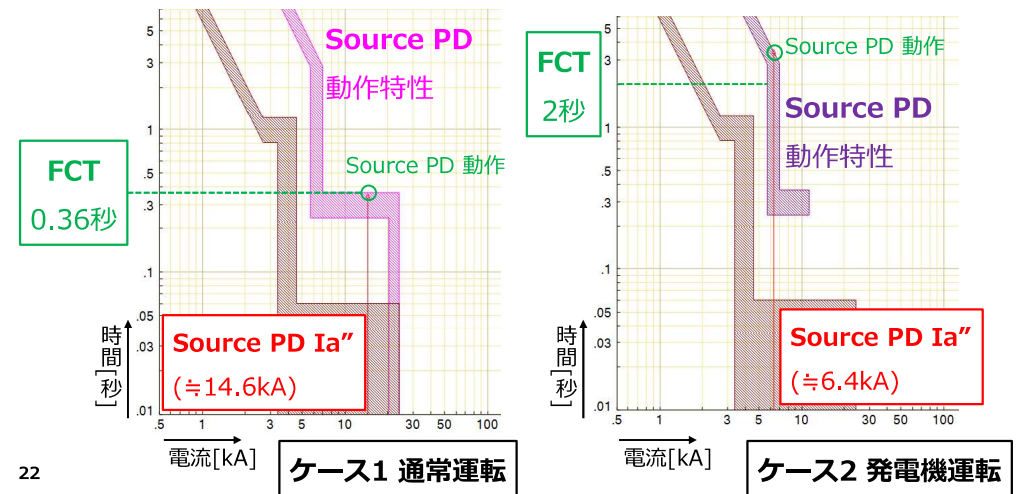
21

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [2/8]

考察

- 発電機運転時、事故除去時間FCTが長いこと事故エネルギーIEが大きい



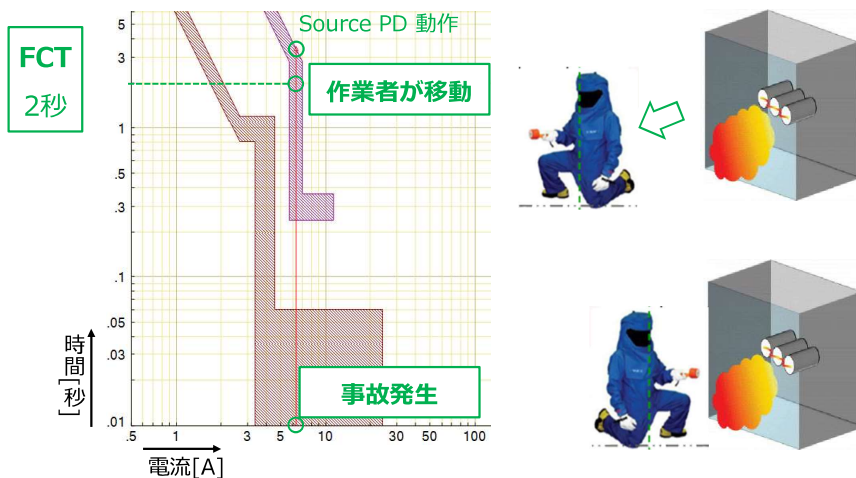
22

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [3/8]

補足：事故除去時間FCTの最大値は2秒

- 通常、2秒あれば作業者は安全な場所へ移動するため (IEEE1584-2018 P41)

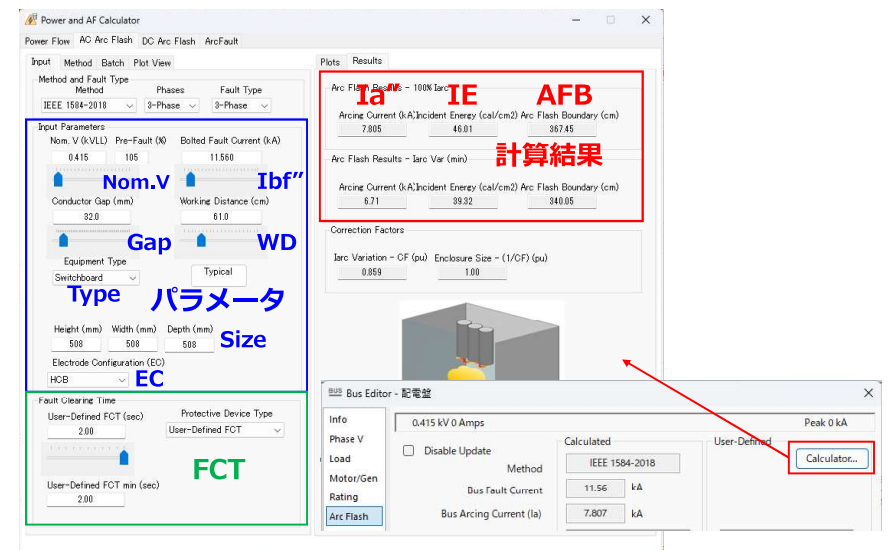


23

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [4/8]

Calculator: パラメータやFCTの調整により結果がどう変わるか分析

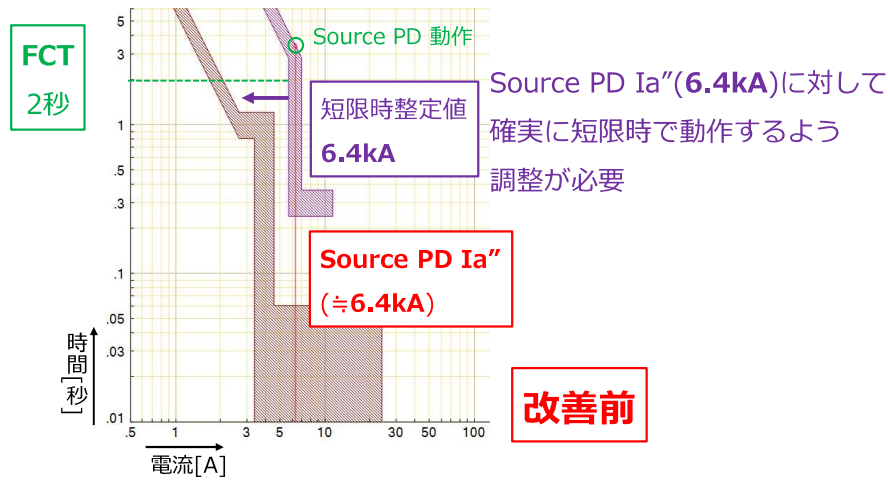


24

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [5/8]

- 保護装置の整定値調整による改善

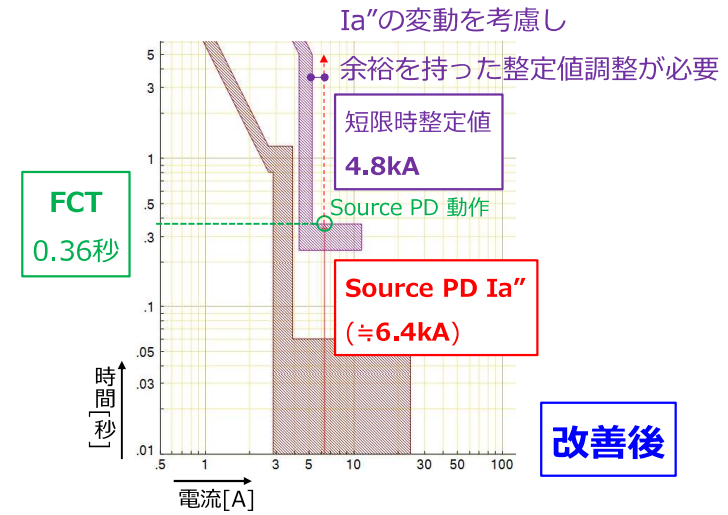


25

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [6/8]

- 保護装置の整定値調整による改善

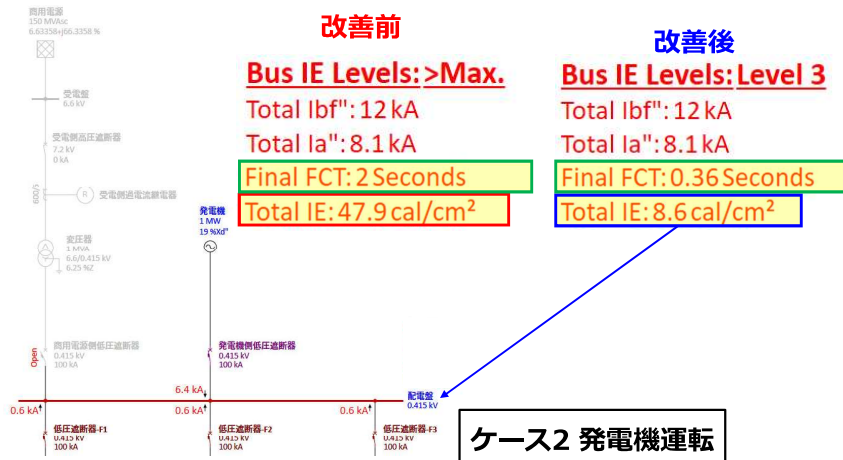


26

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [7/8]

- 保護継電器の整定値調整による改善
 - 事故除去時間FCTが短くなることで事故エネルギーIEを抑制

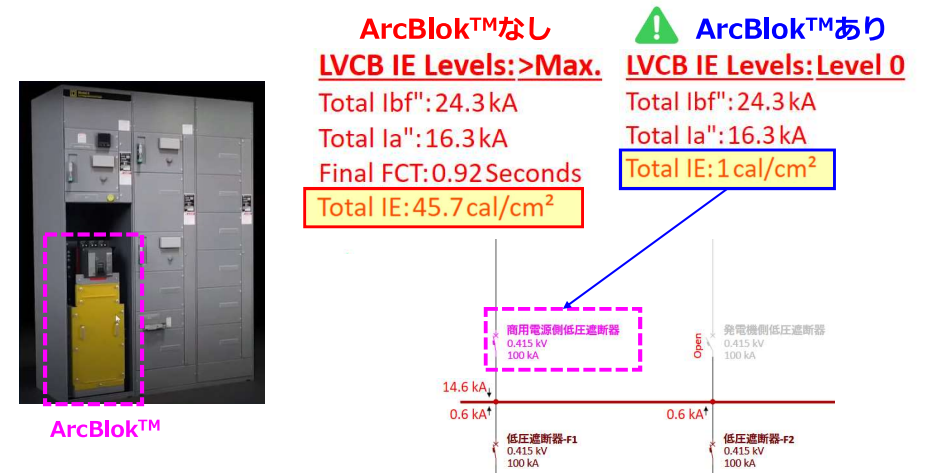


27

Section-2. 解析の実行

4) 改善策の検討 [8/8]

- ArcBlok™ by Schneider Electronic
 - 電源側で発生したアークを1サイクル以内に除去し、事故エネルギーを抑制



28

Section-3. 解析のまとめ

1) ETAP Report

- ケースごとに解析結果を簡単にPDF出力

Project: Arc-Flash Example 1	ETAP	Page: 1
Location: Tokyo, Japan	22.5.0C	Date: 10-16-2023
Contract: Eltechs	Study Case: AF	Revision: Base
Filename: AFExample		Config: 1_商用電源受電

Faulted Bus	Fault Current			Trip Device			Arc Flash Boundary (m)	Incident Energy (cal/cm ²)	Working Distance (cm)	Energy Level				
	ID	Nom. kV	Equipment Type	Gap (mm)	Bolted Fault (kA)	PD Arc Fault (kA)					Source Trip Device ID	Trip (cycle)	Open (cycle)	FCT (cycle)
分電盤-F1	0.415	Panelboard	25	16.064	15.251	11.275	低圧遮断器-F1	3.00	0.00	3.00	0.6	1.7	46	Level A
分電盤-F2	0.415	Panelboard	25	16.064	15.251	11.275	低圧遮断器-F2	3.00	0.00	3.00	0.6	1.7	46	Level A
分電盤-F3	0.415	Panelboard	25	16.064	15.251	11.275	低圧遮断器-F3	3.00	0.00	3.00	0.6	1.7	46	Level A
配電盤	0.415	Switchgear	32	24.163	21.660	14.563	商用電源側低圧遮断器	18.00	0.00	18.00	2.3	17.8	61	Level D

盤のパラメータ Ibf", Ia" Source PD, FCT Total IE, AFB

29

Section-3. 解析のまとめ

2) Arc Flash Analyzer

- ケースごとの解析結果の比較

ID	kV	Type	R-AF-1 通常運転	R-AF-2 発電機運転
1	0.4	Panelboard	1.57	0.974713
2	0.4	Panelboard	1.02	13.71
3	0.4	Panelboard	19.08	17.27
4	0.415	Switchgear	17.85	8.61
5	0.415	LV CB	17.85	8.61
6	0.415	LV CB	17.85	8.61
7	0.415	LV CB	17.85	8.61
8	0.415	LV CB	1	1
9	0.415	LV CB	1	1

例：ケース1 通常運転とケース2発電機運転におけるTotal IEの比較

30

Section-3. 解析のまとめ

3) ラベル作成、印刷、貼り付け

- 解析ケース、機器を選択

- ラベルのテンプレートを選択



Arc Flash Boundary 0.61 m
 Incident Energy in cal/cm² 1.2
 Working Distance 61 cm
 Level A
 Minimum PPE Requirements
 PPE Requirements have not been approved

Shock Hazard Exposure 415 VAC
 Insulating Gloves Class 00
 Shock Hazard when covers removed

Limited Approach Boundary 1.07 m
 Restricted Approach Boundary 0.30 m

商用電源側低圧遮断器

- ラベル作成→印刷、貼り付け

31

ETAPによるアークフラッシュ解析のメリット

設定

- 豊富なデータベース: PPE規定・ラベルデザイン・盤パラメータ
- 短絡電流計算・保護協調図作成をシームレスに実行

解析

- 複数の盤 × 複数のケースの解析
- 改善検討: 協調やアーク電流の変動を考慮

まとめ

- Arc Flash Analyzerによる複数ケースの解析結果の比較
- レポート・ラベルの自動作成

32