

# 配電系統停電時における復旧操作の エキスパートシステム化

職業能力開発総合大学校 林 文 彬  
前 原 貞 裕  
岡 田 正 之  
山 崎 聖 之  
八 田 昌 之

Restoration of Local Distribution System from Outage by Expert System

Bunhin LIN, Sadahiro MAEHARA, Masayuki OKADA,  
Satoshi YAMAZAKI, Masayuki HATTA

**要約** 近年、コ・ジェネレーションシステムなど効率の高い分散電源が積極的に導入されることにより、企業内の配電系統は複数電源化になりつつある。しかし、それらの電源が電力会社の系統と連系して負荷に電気を供給すると、系統構成の複雑化と共に、管理運営も難しくなる。もし系統に何らかの事故により停電が発生する場合、停電に伴う心理的要因に加えて操作の煩わしさから操作員が適切な復旧操作を行うのは難しいと予想される。そこで、本研究は実規模の企業内の配電系統を対象モデル系統とする。この系統に各種な故障形態を予め想定し、もし停電事故が発生すると、どうやって復旧操作を行うかを考える。方法としては、まず、系統の操作則とベテラン操作員の経験則を参考にして、その停電の故障パターンに対応できる緊急停電操作手順および故障除去後の復電操作手順を一々検討する。検討の結果でまとめた各故障パターンの操作手法を知識ベースとしてコンピュータに蓄えてエキスパートシステム化する。本システムの特徴は実際運用形態に沿った復旧ができることと、多様な停電パターンへの対応ができることである。さらに、将来電気技術者の配電系統管理教育の補助教材としても活用することができる。

## I はじめに

近年、企業および工場において、経営コストを節約するために、コ・ジェネレーションシステムなど効率の高い分散電源が導入されつつある。しかし、複数の分散電源が電力会社の系統と連系して工場内の負荷に電気を供給すると、配電系統の運営管理は複雑化となる。もし事故などにより停電が発生する場合、緊急性と共に操作の煩わしさから操作員に大きな心理的負担が掛かり、間違い操作があれば、大きな事故に繋がる可能性もある。そこで、系統操作に関する規則や経験則を知識ベースに蓄え、それに基づく推論から操作を

行ったり、操作員の判断を支援するエキスパートシステムの導入が提案されている<sup>2)</sup>。

本研究は実際にコ・ジェネレーションシステムを導入している企業の配電系統をモデルとし、この系統に全域停電事故または部分停電事故が発生することを想定している。系統に事故により停電が起こると、それに対応できる緊急停電操作および故障除去後の復電操作を行うためのエキスパートシステムを構築する。

システムを構築する方法としては、配電系統の運営管理に使われている緊急時系統操作則とベテラン操作員の経験則を参考に、系統に停電が発生する場合、その停電に対応する復旧操作手順を確立する。次に操作

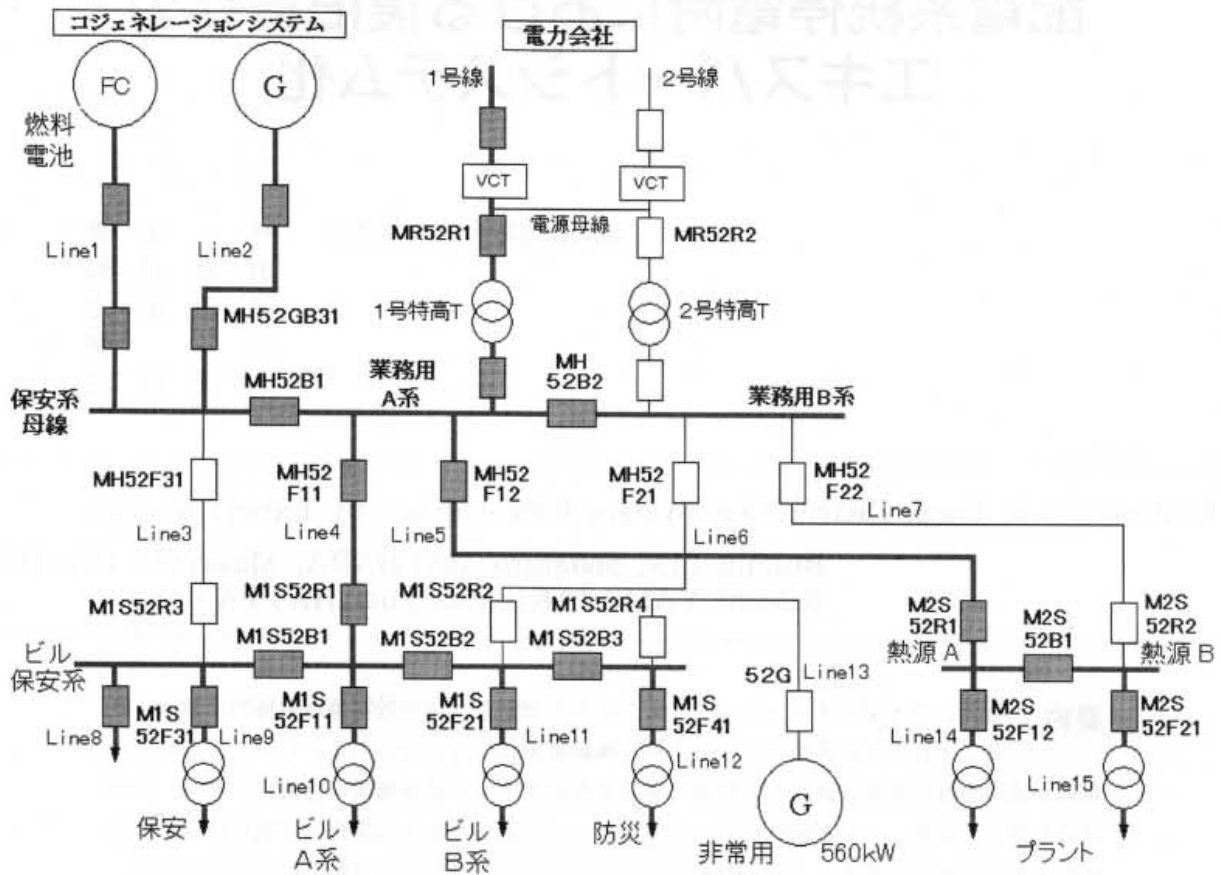


図1 対象系統

則と経験則からまとめた復旧操作手順を推論に使用されるルールに編集し、最後に編集したルールを知識ベースとしてコンピュータに蓄えてエキスパートシステムを試作する。

## II 対象系統

図1は本研究に対象とするモデル系統である。左上のガスタービン発電機と燃料電池の2つのコ・ジェネレーションシステムが整備され、その出力は電力会社の系統と連系して、保安、ビルA系、ビルB系、防災およびプラントなどの負荷に電気を供給する。右下に、一機の非常用発電機が設置しており、これは停電などが発生するとき防災システムの負荷に電気を供給するためである。

平常時には図1の1号線のような太線の配電線により負荷に電気を供給する。2号線のような細線は予備線で平常時に受電されていないが、太線からの送電ができなかったときに利用される。また、非常用発電機は平常時に運転していない。コ・ジェネレーションシ

ステムが特高電源との連系または解列は遮断器 MH52B1の on-off により行われる。

## III 事故時の緊急操作例

### 1. 全停電例—特高停電

#### 1.1 停電操作

例えば、電力会社側の特別高圧系統は停電が発生する場合、まず、コ・ジェネレーションシステムの運転に影響を与えないため、遮断器MH52B1を遮断して電力会社系統との連系を解列する。

もし解列が成功する場合、遮断器M1S52B1を遮断し、「ビルA系母線」と「ビル保安系母線」が切り離される。次に、遮断器MH52F31とM1S52R3をONして、「保安系母線」から「ビル保安系母線」に充電する。これにより、コ・ジェネレーションシステムの出力は保安系の負荷だけに電気を供給する。

しかし、もし解列失敗する場合、コ・ジェネレーションシステムの運転が停止になる。このとき、停電1分後、コ・ジェネレーションシステムを自立起動する。

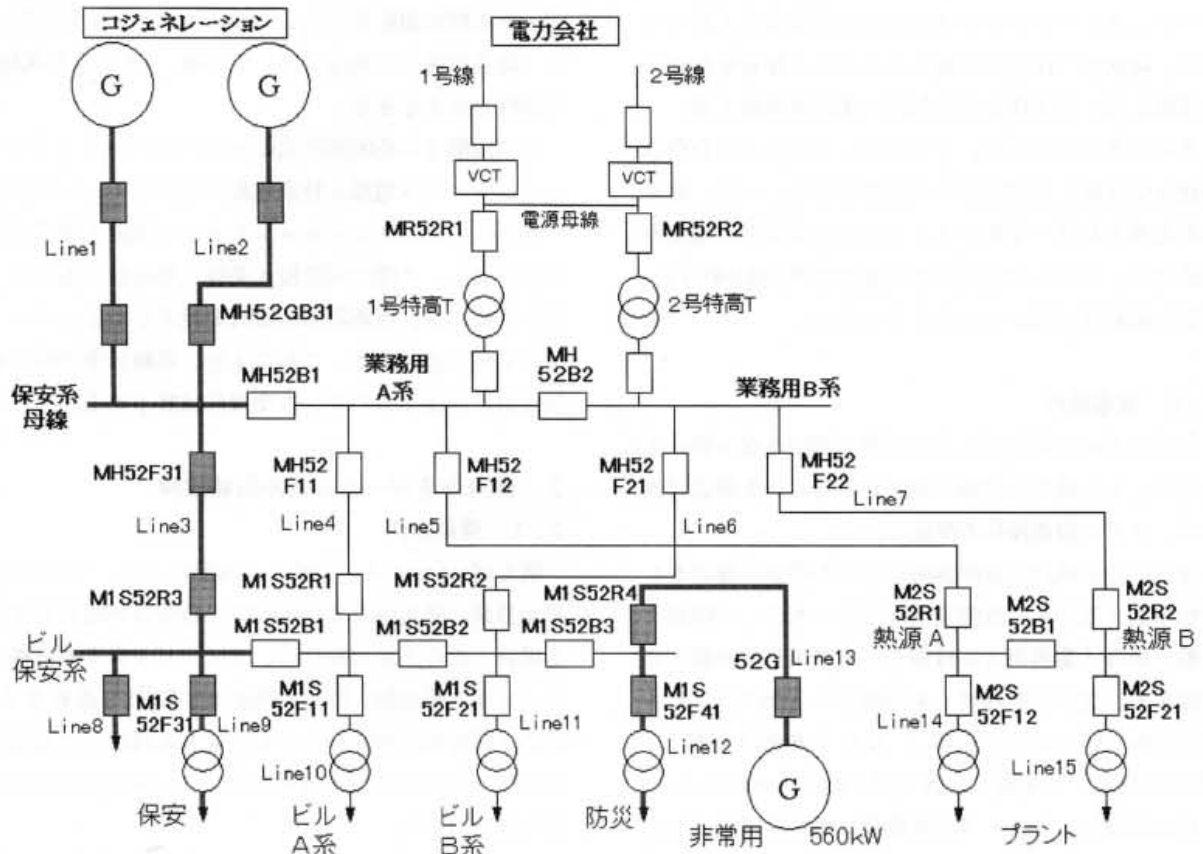


図2 特高停電

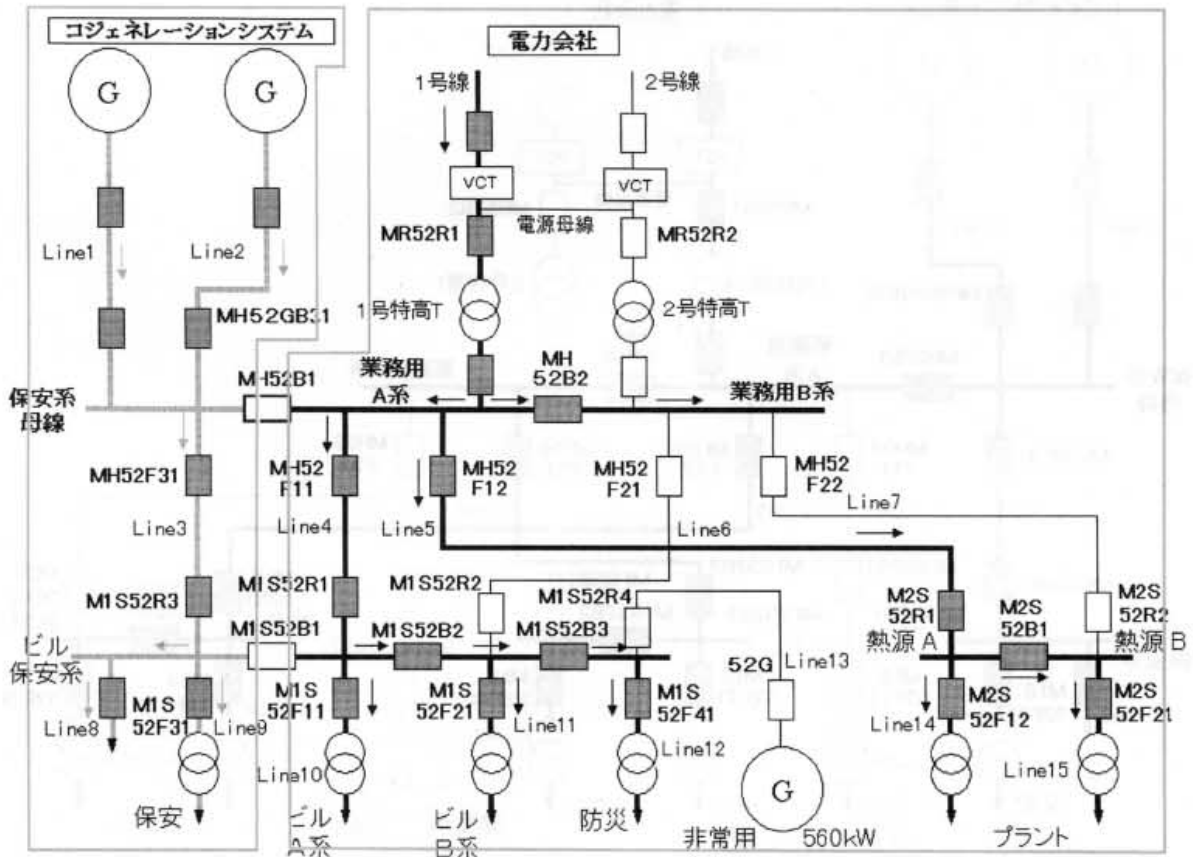


図3 特高停電からの復旧操作

コ・ジェネレーションシステムの出力は立ち上がったから、順次に「保安系母線」から「ビル保安系母線」に充電して、ビル保安系の負荷へ電気を供給する。

このときのビルA系、ビルB系、プラントの負荷は系統と切り離して電気待ちの状態となる。一方、非常用発電機も起動・発電することにより防災系に電気を供給する。ここまで特高停電の緊急処理手順が終了し、電気供給範囲は図2の示すようになる。

### 1.2 復電操作

前節に系統が図2のような状態で運用を保ち続けているが、もし特高1号線に電気があることを確認できれば、すぐに復電操作の準備に入る。

復旧には系統内に故障箇所があるか否かの確認をしてから始まる。もし故障箇所がなかったら、「特高1号線」から「業務用A系母線」、「業務用B系母線」に充電する。次に「業務用A系母線」から順次に「ビルA系母線」、「ビルB系母線」、及び「熱源A母線」、「熱源B母線」に充電し、各負荷へ電気を供給する。

特高電源からスムーズに各負荷に電気を供給することが確認できれば、次は「防災母線」と「非常用発電

機」との間の遮断器を切ってから、「ビルB系母線」は「防災母線」に充電する。その後、「非常用発電機」の運転を停止させる。

この段階での系統復旧は図3のようにコ・ジェネレーションシステム電源と特高電源の2つブロックになる。

もしコ・ジェネレーションシステム電源と特高電源の2つブロック間の同期投入条件（周波数と電圧が一致）が揃えば、遮断器MH52B1を投入して2つブロックの系統を連系する。これにより、系統は平常時の運用状態に回復するので、復電操作は終了する。

## 2. 部分停電例—ビルA系母線故障

### 2.1 停電操作

例えば、「ビルA系母線」の故障により、ビルA系、ビルB系、防災系および保安系の負荷は停電が発生する場合、このときの操作は、まず「ビル保安系母線」と「ビルA系母線」間の遮断器M1S52B1を遮断する。次に「保安系母線」から「ビル保安系母線」に充電し（MH52F31とM1S52R3を投入する）、保安系の負荷に電気を供給する。

続いて、「業務用A系母線」と「ビルA系母線」間

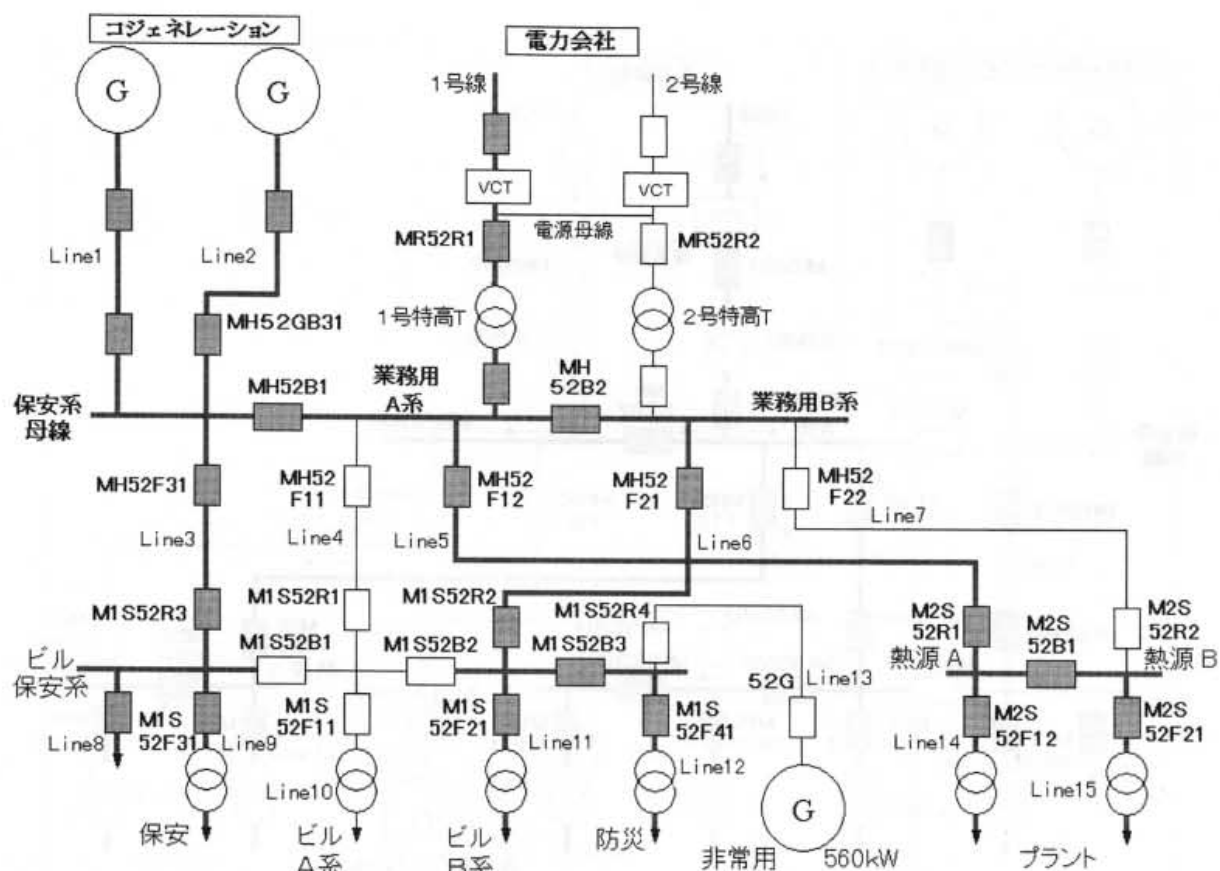


図4 「ビルA系母線」故障の復旧操作

の遮断器 (MH52F11とM1S52R1) および「ビルA系母線」と「ビルB系母線」間の遮断器M1S52B2を遮断する。こうすると、故障箇所の「ビルA系母線」と下位の負荷は系統と分離される。

最後に「業務用B系母線」から予備線 LINE6 に經由して「ビルB系母線」を充電する (遮断器MH52F21とM1S52R2を投入)。「ビルB系母線」に電気の確認ができたなら、「防災母線」を復旧すると共に、下位の負荷に電気を供給する。「ビルA系母線」故障の停電操作は図4の系統になる。

## 2.2 復電操作

もし「ビルA系母線」の故障が除去されれば、復電操作が始まる。まず、「業務用A系母線」から「ビルA系母線」を充電する (遮断器MH52F11とM1S52R1を投入)。次に、「ビルA系母線」は「ビルB系母線」と併用する (遮断器M1S52B2を投入)。「ビルA系母線」の下位負荷は復電された後、「ビル保安系母線」と連系する (遮断器M1S52B1を投入)。最後に、予備線 Line3とline6を切って、系統は図1の運用状態に戻るので、復電処理は終了する。

## IV エキスパートシステムの構築

### 1. 操作則のルール化

本システムでは停電時における系統の操作則やベテラン操作員の経験則を基にエキスパートシステムを構築する。しかし、企業の操作則やベテラン操作員の経験則などをそのままプログラムにすることは困難である。そこで、まず操作則を整理し、プロダクションルールに変換する。

例えば、本系統の全停電時 (特高停電) の復電処理は次のような操作則がある。

#### 1. 手動による処理

1) 手動にてA系受電形態により業務A系母線まで復電して下さい。

#### 2. 業務用A系母線電圧“有”を確認して下さい。

1) 各商業用電源の自動復電処理を行う。

#### 3. ビルA系、B系母線の商用復電を行う。

1) ビルA系母線電圧“有”を確認して下さい。

2) ビルB系母線電圧“有”を確認して下さい。

3) ビルA系、B系母線の商用復電を行う。

上記の操作則を次のようなルールに変換する。

#### ルール1

もし

特高1号線に電圧があり

ならば

- 1) 1号線から1号特高トランスを充電する。(高圧側の遮断器を投入する)
- 2) 業務用A系母線を充電する。(低圧側の遮断器を投入する)

#### ルール2

もし

業務用A系母線に電圧があり

ならば

- 1) 業務用A系母線から業務用B系母線を充電する。(MH52B2を投入する)
- 2) 業務用A系母線からビルA系母線を充電する。(MH52F11、M1S52R1を投入する)
- 3) 業務用A系母線から熱源A母線を充電する。(MH52F12、M2S52R1を投入する)

#### ルール3

もし

ビルA系母線に電圧があり

ならば

- 1) ビルA系母線からビルB系母線を充電する。(M1S52B2を投入する)
- 2) ビルA系負荷を投入する。(M1S52F11を投入する)

#### ルール4

もし

熱源A系母線に電圧があり

ならば

- 1) 熱源A母線から熱源B母線を充電する。(M2S52B1を投入する)
- 2) 熱源A系、熱源B系負荷を投入する。(M2S52F12、M2S52F21を投入する)

#### ルール5

もし

ビルB系母線に電圧があり

ならば

- 1) ビルB系母線から防災母線を充電する。(M1S52B3を投入する)

2) ビルB系負荷を投入する。(M1S52F21を投入する)

以上のようにそれぞれの故障パターンに対応する復旧操作則を検討し、その検討した操作手順をルール化に編集する。ここで、一つ停電パターンの復旧操作に一つのルールグループを作り、ルールグループは複数のルールから構成したものである。最後に編集したルールに基づいてプログラムを構築する。

## 2. システムとオブジェクト

Ⅲ章のような緊急操作例を基にエキスパートシステムを試作した。今回は市販のエキスパートシステム構築用ツールを使用せず、コスト削減と汎用性のために、オブジェクト指向の機能を持っているC++言語でエキスパートシステムの構築を試してみる。

システムの構築に当たって、系統のデータを体系的に整理し、コンピュータに蓄えなければならない。本システムでは、配電系統データをそれぞれ送電線、母線および遮断器の3つ要素に分類し、表1のようなクラスとして定義する。各要素に所属するデータはそれぞれクラスのオブジェクトとしてmain関数に定義され、コンピュータに蓄える。

例えば、クラス「送電線」のオブジェクト「Line3」は表2のように定義している。また、コ・ジェネレーションシステム、非常用発電機およびそれぞれの負荷はクラス「母線」のオブジェクトとして定義している。

システムの実行途中は必要に応じて各オブジェクトを呼び出してデータの処理を行う。また、処理後の新しいデータもオブジェクトの方式でコンピュータにセーブする。こうすると、システムは常に系統の最新の復

旧状況を把握することができる。

システムとオブジェクトの関係は図5の示すようになる。

表1 クラスの定義

クラス名	データメンバー
送電線	送電線名
	母線 1
	母線 2
	遮断器 1
	遮断器 2
	受電か否か
母線	母線名
	受電か否か
遮断器	遮断器名
	受電か否か

表2 クラス「送電線」のオブジェクト定義

オブジェクト名	データメンバー
Line 3	送電線名 : Line3
	母線 1 : 保安系母線
	母線 2 : ビル保安系母線
	遮断器 1 : MH52F31
	遮断器 2 : M1S52R3
	受電か否か : No

## 3. システムの概要

図6に本システムにおける処理の流れを示す。図6によると本システムは主に緊急時の停電処理と復電処理の2つ流れからなる。

処理は給電指令の選択から始まる。給電指令は選択

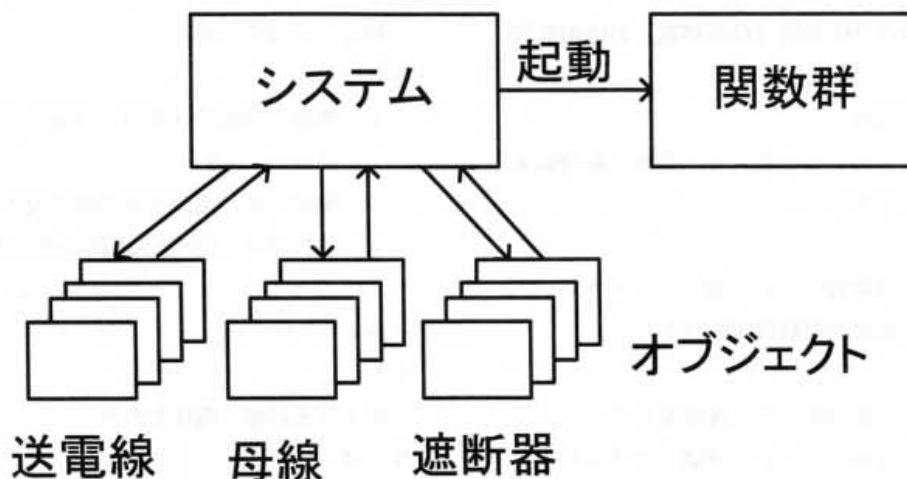


図5 システムとオブジェクト

されれば、選択された給電指令の内容に応じて、ルールグループが起動される。ルールグループの実行で、そのルールグループの推論に従って、停電処理または復電処理を行うことになる。

例えば、特高停電は発生する場合、まず「給電指令」の「停電操作」、「特高停電操作」を選択する。こうすると、「特高停電操作」というルールグループが起動され、停電の復旧操作を行い始まる。復旧途中、「系統の解列が成功したか否か」などの質問が出てきて、操作員の判断に委ねる操作はいくつがある。

最後に、系統の復旧は図2の状態になると、「特高停電操作」は終了する。システムは図6の「給電指令」ルールグループに戻って次の指令待になる。

復電操作については、図2の系統状態から始める。もし特別高圧系統1号線に電気が回復されれば、操作員はシステムに「復電操作」、「全停電」という給電指令を出せば、システムは「故障なし」、「一号特高故障」、

「業務用A系母線故障」の選択指令が画面に出てくる。このとき、もし系統の故障がなかったら、「故障なし」という指令を選択する。システムは選択指令に応じて「故障なし」のルールグループを起動して復旧操作を行う。

最後に系統は図1の平常時運用形態に復旧されれば、復電処理が終了する。これで、システムは再び「給電指令」のルールグループに戻って、次の指令待ちになる。

## V 結論

本研究では、企業内の配電系統は停電になったときの復旧操作のエキスパートシステム化を検討する。以下にその結果をまとめる。

1. 企業内の配電系統データと復旧操作手法を整理してルール化を行い、それを基に知識ベースを構

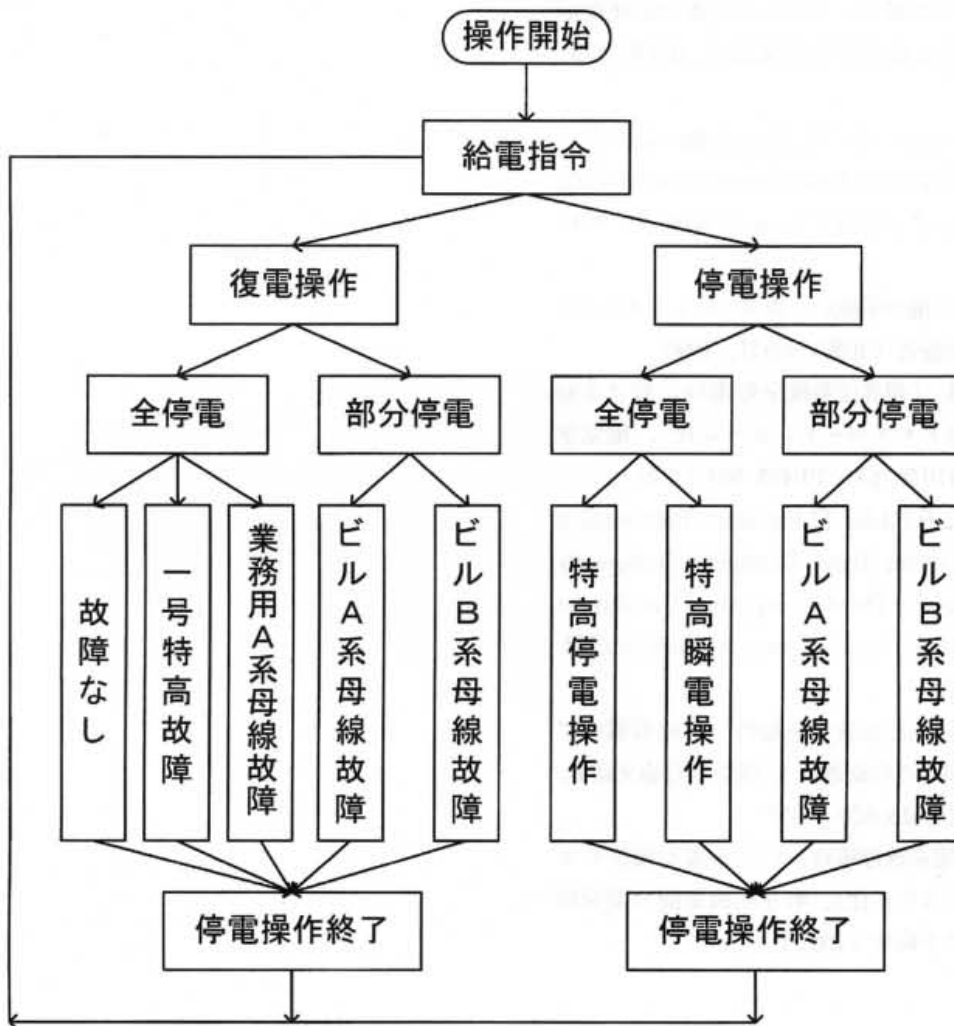


図6 復旧処理の流れ

築した。これにより現実の操作方法に近い自然な復旧操作ができるようになった。

2. ルールを各故障状況ごとにルールグループ化する。給電指令もわかりやすく分類したことにより、緊急時の操作推論に無駄な時間を減らすことができた。
3. 実際のシステムの操作則と現場ベテラン操作員の経験則に基づく操作を行うので、将来、電気技術者の教育訓練の補助教材として有効に活用することができる。

最後、本システムのプログラムの試作に当たって、沖縄職業能力開発大学校電気技術科一期生上里直君と賀数一勝君の協力をいただき、ここで感謝の意を表す。

#### [参考文献]

- (1) 査専門委員会：「電力系統における系統操作」、電気学会技術報告（Ⅱ部）107号、1981.
- (2) 松本・坂口：「知識ベースに基づく電力系統復旧方式の決定法」、電気学会論文誌 B, 103巻, 175, 1983.
- (3) K. Shimakura, et. al.: "A Knowledge-based Method for Making Restoration Plan of Bulk Power System", IEEE Tran, PWRS-7, 914, 1992.
- (4) 専門委員会：「電力系統のエキスパートシステム」、電気学会技術報告（Ⅱ部）339号、1990
- (5) 垣本・林・林：「超高圧系統全停電時における初期復旧操作のエキスパートシステム化」、電気学会論文誌B, 110巻, 6号, PP495-503 (平2)
- (6) N.Kakimoto, B.P.Lin, M.Hayashi: "Restoration of Power System from Complete Outage by Expert System", Third Symposium on Expert Systems Application to Power System, (p.262 ~269) (1991)
- (7) 垣本・林：「超高圧系統全停電時の系統再構成における給電指令の自動選択」、電気学会論文誌 B, 113巻, 6号, PP613-620 (平5)
- (8) 林・他：「配電系統停電時における復旧操作のエキスパートシステム化」、第9回職業能力開発研究発表講演会予稿集 (2001年)