

設備最適取替計画機能を具備した電力会社配電部門向けアセットマネジメントシステム開発

横浜事業所 技術第2部 電力情報システム課
野口 智也

1. まえがき

電力会社は、電力の安定供給や公衆安全を確保するため、電柱、電線、変圧器等の配電設備を古い設備から順次取替えを行っている。これまでは、一律の設計寿命に基づくTBM (Time Based Maintenance)^(注1)の取替計画を立案していた。現在は、託送料金制度^(注2)改革の影響もあり、適正な設備投資であることの説明責任がより一層高まっており、設備の状態、リスクに基づくRBM (Risk Based Maintenance)^(注3)の取替計画が求められている。電力会社配電部門向けアセットマネジメントシステム(以降、本システム)は、電力会社が蓄積してきた設備の故障影響をリスクとして定量的に評価し、最適な取替計画の立案を支援するシステムである。

三菱電機(株)では、本システムの需要の高まりに応えるため、海外の電力会社で導入実績のある電力・社会インフラ設備向けアセットマネジメント意思決定支援ソフトウェア製品C55^(注4)を適用したアセットマネジメントシステムを開発した。

当社は、国内電力会社に初めてC55を適用するシステムの要件定義から参画した。本稿では、アセットマネジメントシステムの概要とC55を国内電力会社に適用した開発事例について説明する。

2. アセットマネジメントシステムの概要

三菱電機(株)が提唱するアセットマネジメントシステムは、図1に示すEAM (Enterprise Asset

Management)、APM (Asset Performance Management)、AIPM (Asset Investment Planning and Management)の3つのサブシステムで構成している。本章では、各サブシステムの位置付けと、本システムの機能概要を説明する。

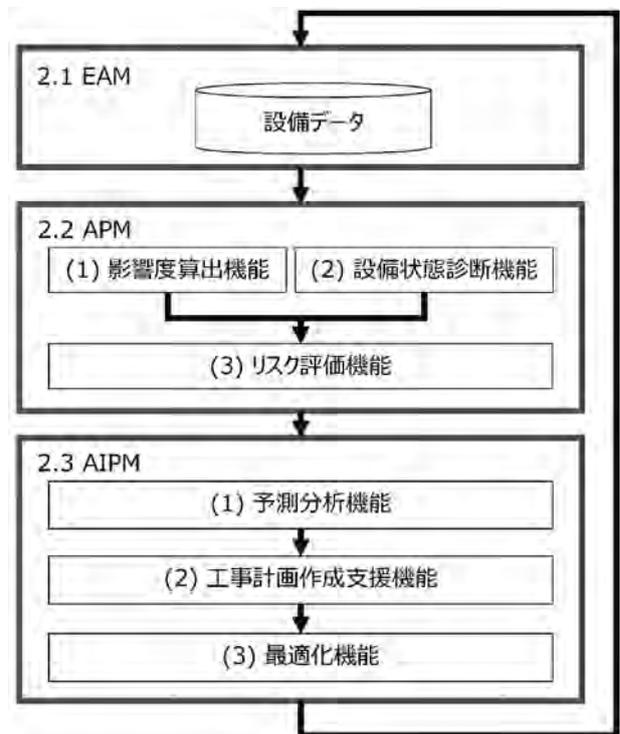


図1. アセットマネジメントシステムの全体構成

2.1 EAM

EAMサブシステムは、管理対象設備の設備仕様、系統情報などの設備データを一元管理する。AIPMサブシステムが立案した工事計画を受けて、設備データを更新する。

2.2 APM

APMサブシステムは、EAMサブシステムが管理している設備データを受け取り、設備個々の影響度算出、設備状態診断、リスク評価を行う。

(注1) TBMは、設備の製品設計寿命等を基準に一定の経年で取替・修理を計画する考え方。
 (注2) 託送料金制度は、電気の小売事業者が需要家へ送電する時に送配電事業者へ支払う料金の制度。託送料金の設定には、経済産業大臣の認可が必要。
 (注3) RBMIは、設備の状態等から設備のリスクを評価して取替・修理を計画する考え方。
 (注4) C55は、Copperleaf社が開発したアセットマネジメント意思決定支援ソフトウェア。三菱電機は、国内市場における販売パートナー契約を締結している。

(1) 影響度算出機能

影響度算出機能は、配電設備の故障発生時の影響度を金額ベースで算出する機能である。

(2) 設備状態診断機能

経年度合い、点検結果を基に、現在の劣化状態を診断し、設備が故障する確率を算出する機能である。

(3) リスク評価機能

影響度と故障発生確率を乗算し、リスク値を算出する。算出したリスク値は、図2に示すリスクマトリックスにプロットし、リスク状態を評価する。

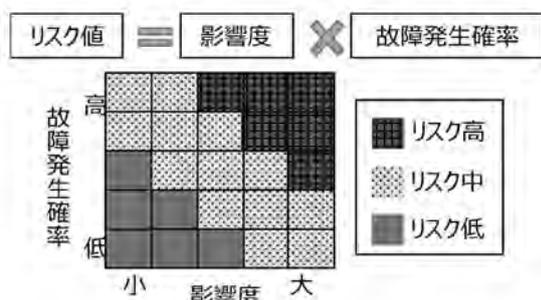


図2. リスク評価機能

2.3 AIPM

AIPMサブシステムは、APMが算出したリスク値を基に設備ごとの取替、修繕などの最適な対処時期を算出する機能と、中長期的な工事計画を立案する機能を提供する。

(1) 予測分析機能

APMが算出したリスク値を基に、対処に掛かる費用対効果を考慮して、最適な対処時期(取替、修繕など)を決定する。ここでは、取替を例にC55が最適時期を決定する手法を説明する。C55は、取替えを実施することで軽減されるリスク値や、発生する取替費用を「価値」と呼ぶ絶対指標値に換算し、取替時期を決定する。

(a) リスク軽減の価値

取替えない場合のリスクの推移を「ベースラインのリスク推移」と呼ぶ(図3(A))。これに対して、取替えた場合のリスクの推移を「結果のリスク推移」と呼ぶ(図3(B))。この差を設備取替により軽減されるリスク量と考え、そのリスク量の積算(図3(C))をプラスの価値とみなす。

(b) 取替費用の価値

取替に掛かる費用は、取替のマイナスの価値とみなす。

(c) 最適な取替時期の決定ロジック

リスク軽減の価値と取替費用の価値の合算値を取替価値とする。取替価値が最も高くなる時期を最適な

取替時期として算出する。最適な取替時期を算出するイメージを図4に示す。

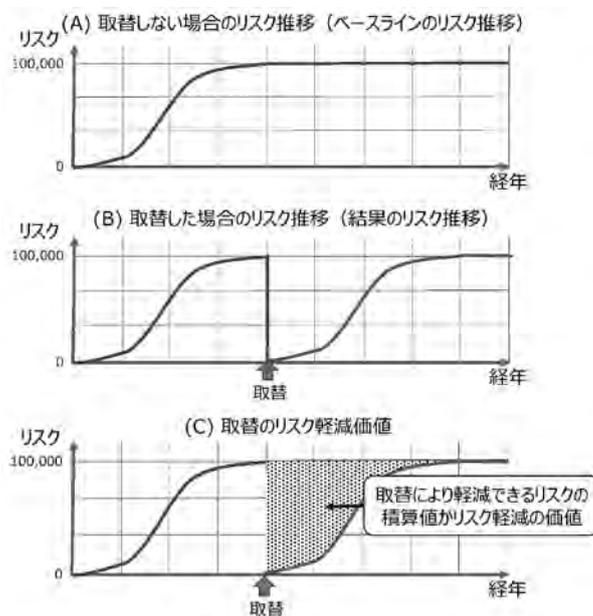


図3. 取替のリスク軽減価値

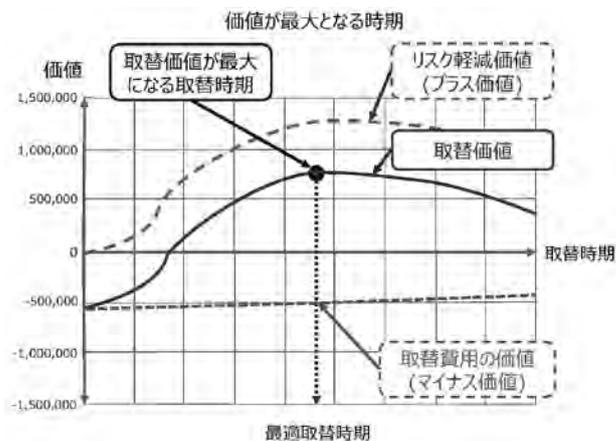


図4. 最適な取替時期の算出イメージ

(2) 工事計画作成支援機能

配電部門では営業所ごとに、古い設備の取替工事、需要増に対する工事、契約者や官公庁からの要請工事、配電設備の点検や修繕工事などを実施している。本機能は、これらの工事計画の作成を支援する。

C55の利用者は、工事計画ごとに表1の投資情報、計画情報、価値情報を入力する必要がある。

表1. 入力する工事計画

投資情報	工事名称、工事期間、ポートフォリオ(営業所)
計画情報	工事に必要な年度別の費用、人的リソース、資材量
価値情報	工事の結果、得られる価値(リスク軽減など)

(3) 最適化機能

工事計画作成支援機能で作成した工事計画に対し、制約条件(例：年間の費用、人的リソース、供給可能な資材量の上限など)を設定して最適化を行う。最適化では、制約条件を満たすように、工事の実施時期を自動調整する。また、一つの工事計画に複数パターンの計画を登録していた場合、最適な計画パターンを選択する。最適化のイメージを図5に示す。

予測分析機能は設備の価値を評価し、最適化機能は、工事計画の価値を評価する。評価対象は異なるが評価手法は同じである。工事実施により低減されるリスクや付加価値をプラスの価値とみなし、工事に掛かる費用をマイナスの価値として評価する。最適化では、この価値が最も高くなる組合せを算出する。

3. アセットマネジメントシステムの開発

本システムは、C55を中心にシステムを構築し、追加要件部分のソフトウェアを開発した。本章では、本システムの開発内容を説明する。

3.1 システム構成

システム構成を図6に示す。C55は、アプリケーションサーバ(APサーバ)とデータベースサーバ(DBサーバ)で構成している。利用者は、クライアントパソコン(クライアントPC)からブラウザを使用してC55を利用する(①)。設備データの一括登録などのバッチ処理は、バッチサーバからWeb API(注5)経由でC55にアクセスする(②)。C55の全データは、C55データ(③)で管理されており、外部から参照可能

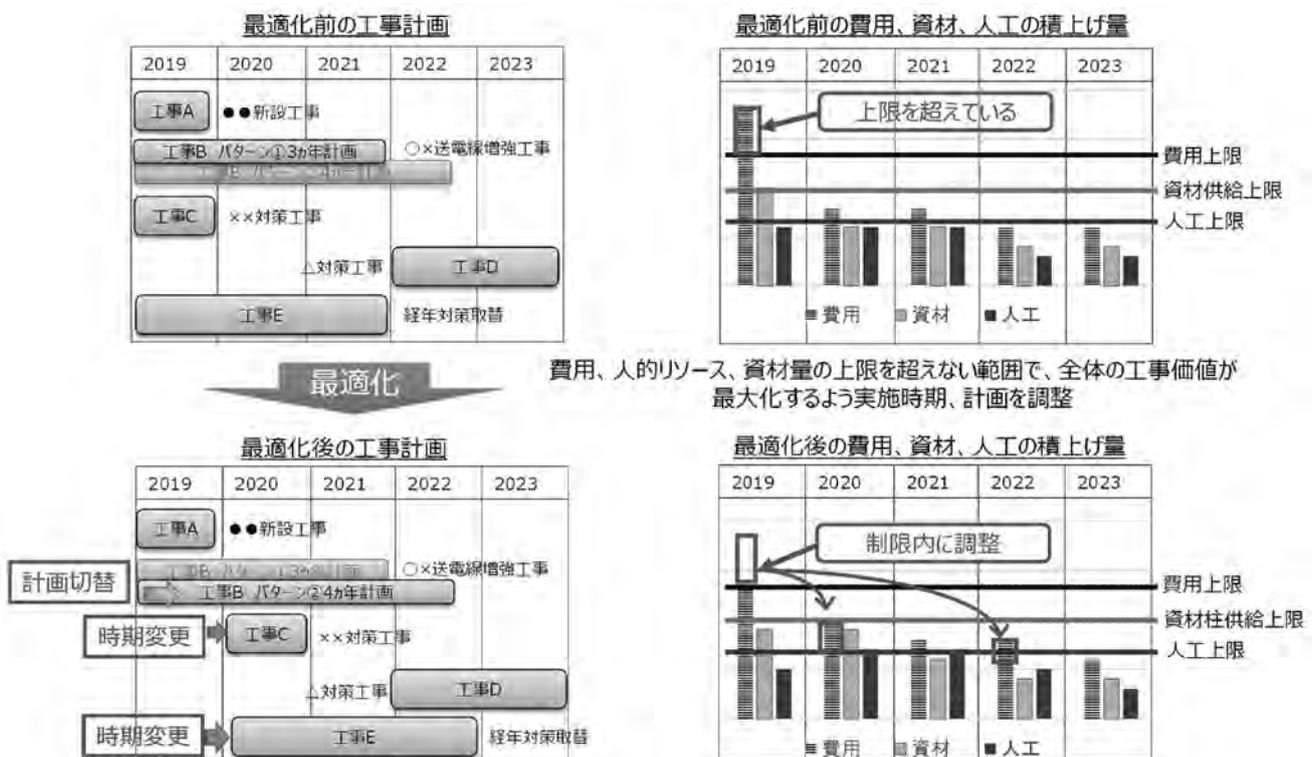


図5. 最適化のイメージ

(注5) WebAPIはHTTP/HTTPSプロトコルを用いてネットワーク越しにアプリケーションを呼出すインタフェース。

なデータは、RDS (Reporting Data Source)と呼ばれるデータベースに出力されている(④)。RDSはデータ構造が公開されており、アプリケーションからSQL(注6)を使用してアクセス可能である(⑤)。

3.2 当社開発範囲

当社は、C55システムのカスタマイズ設定、C55のAPサーバに組み込む機能、及びクライアントPCやバッチサーバ上の追加要件機能の開発を担当した。当社開発範囲を図6に示す。図6の項、節番号は、本文の項、節番号に対応しており、当該項にて機能概要を説明する。

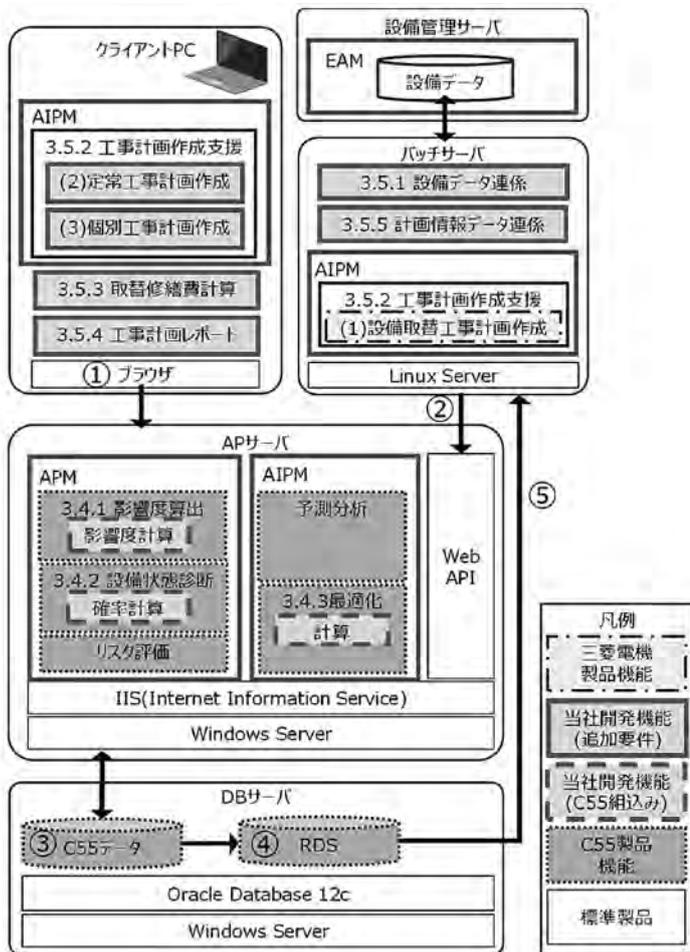


図6. システム構成と当社開発範囲

3.3 C55システムの構築

C55は、Copperleaf社の定める設計項目が図7に示すように関連付けられており、これらをカスタマイズしてシステムを構築する。各設計項目には、設計ガイドが用意されてお

(注6) SQLはISOで規格化されているデータベースのデータ操作や定義を行うためのデータベース言語。

り、Copperleaf社のサポートを受けて設計を進めた。各設計項目は、C55の画面を顧客と確認し、合意しながら設計を進めることで、仕様齟齬を防止した。

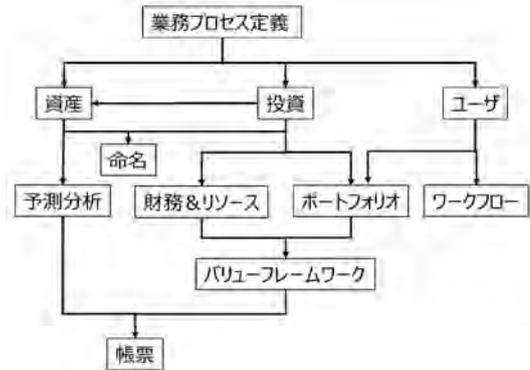


図7. C55設計項目

各設計項目で実施するC55のカスタマイズは、画面、又は設定情報を記載したExcelファイルをインポートして行う。カスタマイズ可能な設計項目は100種類以上あり、本システムでは60種類の項目を設計し、約5000行の設定データを作成した。

3.4 C55組込み計算機能の開発

APMサブシステムの影響度算出機能、設備状態診断機能、及び、AIPMサブシステムの最適化機能に必要な計算処理は、設定データによるカスタマイズが不可能なため、計算機能を開発してC55に組み込んだ。

3.4.1 影響度算出機能

本システムでは、図8に示す電力供給支障、公衆安全、会社資本の観点でそれぞれ影響額を算出し、その合計額を影響度とした。

$$\text{影響度} = \text{電力供給支障} + \text{公衆安全} + \text{会社資本}$$

図8. 影響度の考え方

(1) 電力供給支障

停電発生に伴う影響費用である。停電区間の需要家数、契約容量、想定される停電時間から算出する。

(2) 公衆安全

設備の落下、発火などによる人的被害費用である。事故発生時の損害賠償想定額から設備の種類ごとに算出する。

(3) 会社資本

故障により発生する事後対応費用である。事故発生時の直接的な作業費に加えて、必要となる予防措置費用などを算出する。

3.4.2 設備状態診断機能

本システムでは、電力会社が蓄積してきた設備の故障情報を基に、図9に示す経年による設備劣化カーブ、劣化状態による故障確率カーブを作成した。このカーブを使用し、設備の経年度合いから発生確率を算出する。

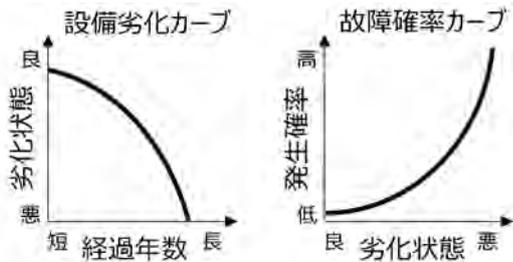


図9. 設備状態診断機能

3.4.3 最適化機能

本システムでは、工事計画に対して、4種類の費用、8種類の人的リソース、58種類の資材量に上限値を設定し、最適化を可能とした。

3.4.4 開発方法

C55の組込み計算式の開発方法を図10に示す。

- ① 開発者は、C55の画面上で、計算処理に必要な設備や工事情報の項目を定義する。
- ② C#言語で記述された計算処理のひな形ソースコードが、自動的に作成される。
- ③ 開発者は、C55の画面から、ひな形ソースコードを取り出す。
- ④ 開発者は、取り出したひな形ソースコードに、計算処理を記述する。
- ⑤ 開発者は、記述したソースコードを、C55の画面から登録して利用する。

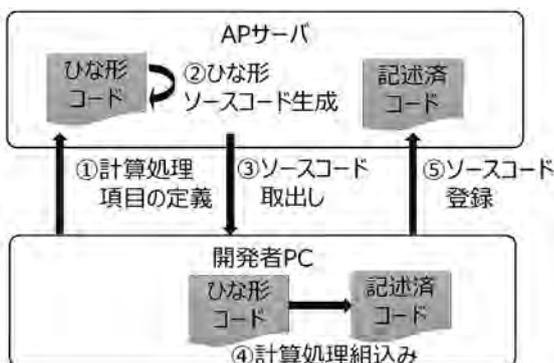


図10. 組込み計算処理の開発方法

3.5 追加要件の開発

C55標準機能で実現できない追加要件は、当社がアドオンとして開発した。

3.5.1 設備データ関係機能

C55のAPMを利用するためには、C55に設備データを登録する必要がある。アドオンとして、外部システム(EAM)から設備データを取り込むバッチ処理を開発した。

3.5.2 工事計画作成支援機能

工事計画の入力作業を軽減するため、次の3つの作成支援機能を開発した。

(1) 設備取替工事計画作成機能

予測分析機能で算出した取替価値と最適取替時期を基に取替工事計画を作成する機能である。本機能は、膨大な設備の予測分析結果から自動的に工事計画を作成する。本機能は、当社で仕様提案し、三菱電機にて製品開発した。

(2) 定常工事計画作成機能

電力需要量想定から将来の需要対応工事、要請工事、修繕工事などの工事数を予測し、その工事計画を作成する機能である。

本機能は、図11に示す過去の工事数と電力需要量との相関から線形近似式を算出し、工事量を予測する。

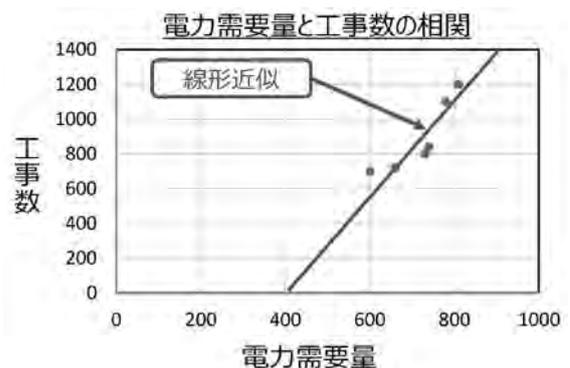


図11. 電力需要量と工事数の相関

(3) 個別工事計画作成機能

法令規制対応、電力ネットワーク強化、次世代対応、大規模開発などの工事は、個別に工事計画を作成する必要がある。本機能は、ユーザがExcel上に入力した個別工事の工事情報、計画情報、価値情報を基に工事計画を作成する機能である。

3.5.3 取替修繕費計算機能

電力会社配電部門では、設備工事費、修繕費に分類して費用計画を行う。日本国内の電力会社には、電気事業会計規則^(注7)が適用される。本規則では、撤去／取付した設備の設備工事費を修繕費として計上する。この撤去／取付に掛かる費用を取替修繕費と呼ぶ。取替修繕費の計算は複雑であり、また、修繕費の中で取替修繕費が占める割合は高く、投資計画に大きく影響を及ぼす重要な計算要素である。本機能は、AIPMサブシステムの最適化機能と組み合わせて、取替修繕費を加味した目標の修繕費に工事計画を最適化する。本システムではアドオン開発したが、国内他電力会社でも必須機能であるため、三菱電機にて製品化を予定している。

3.5.4 工事計画レポート機能

最適化機能で策定した中長期計画の費用、工事量、資材量、リスク値などをレポート出力する機能である。

3.5.5 計画情報データ連携機能

最適化機能で決定した設備取替計画をEAMサブシステムに連携する機能である。EAMサブシステムで取替工事伝票が発行される。

4 システム開発における課題と対策

本章では、C55を国内電力会社に適用する上で考慮した点を説明する。

4.1 膨大な配電設備の取替工事の計画立案

4.1.1 検討事項

国内電力会社は、数百万から数千万台程度の配電設備を保有している。海外事例では、地域や設備種類ごとにグロスで取替工事の計画を立案していたが、国内の配電部門では、より綿密な計画が求められる。設備個々に取替工事を計画することで綿密な計画は立案できるが、最適化機能の実行時間とのトレードオフとなる。このため、配電部門向けに適切な粒度にまとめて取替工事を計画する必要があった。

4.1.2 対策

本システムは、設備リスク、故障確率、取替費用を考慮した複数設備をまとめて一つの取替工事計画とすることで、取替工事計画数を削減する設計とした。まとめる条件は、表2の観点から決定した。その結果、約2600万台の設備を約14万件の工事計画に集約でき、数時間で最適化された取替計画の立案が可能となった。

表2. 設備取替工事のまとめに関する設計観点

観点	設計
当面取替すべきでない設備は対象外	最適な取替時期が中長期計画の対象期間にある設備が対象
故障確率の高い設備が故障確率の低い設備に紛れて取替されないことを防止	同じ劣化傾向の設備をまとめる
リスクの高い設備がリスクの低い設備に紛れて取替されないことの防止	リスク値の高い順にまとめる
最適化した結果の費用の偏りを防止	一定の費用内にまとめる
最適化した結果の資材数の偏りを防止	一定の設備数にまとめる

4.2 取替修繕費計算での電気事業会計規則対応

取替修繕費は、同じ設備に取替えられた場合、取付数と撤去数の少ない方を取替数とみなし、残りが純増、又は、純減として扱う方法である。取替修繕費の考え方を図12に示す。

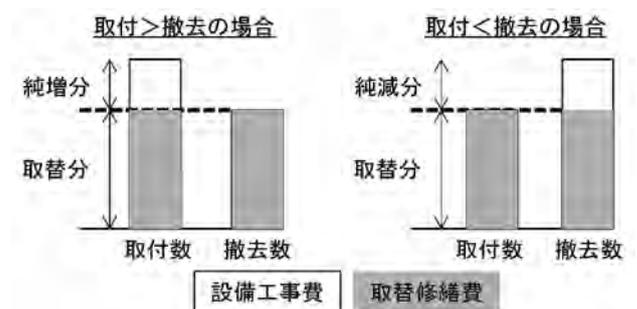


図12. 取替修繕費の考え方

(注7) 電気事業会計規則は、電気事業法が規定する電気事業者に適用される会計の規則。

4.2.1 検討事項

取替修繕費は、事前に目標額が設けられており、目標額に近い金額となるよう工事計画が最適化される必要がある。取替修繕費の計算は、最適化後の取付予定数と撤去予定数を計算パラメータとして用いる。一方で、取付予定数と撤去予定数の計算は、取替修繕費をパラメータとして用いる。

取替修繕費、取付・撤去予定数の計算は、互いの最適化後の値をパラメータとして用いるため、通常の計算方法では、最適化できない課題があった。

4.2.2 対策

図13に示す2回の最適化を実施する方式で実現した。初回の最適化では、取替修繕費の目標値を設定せずに実行し、取替修繕費計算機能におおよその取付予定数と撤去予定数の大小関係を特定させる。その後、2回目の最適化では、最適化時の計算処理に大小関係を設定し、取替修繕費の目標値を設定して実行する。本対策により目標の取替修繕費となるように工事計画を最適化することができた。

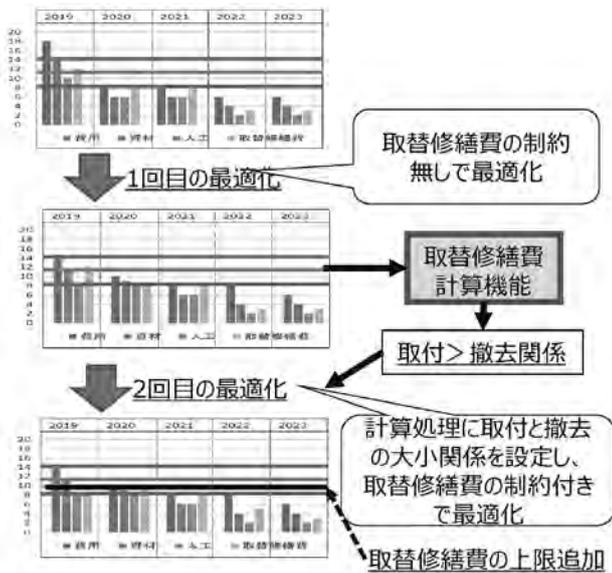


図13. 取替修繕費の最適化

4.3 C55バージョンアップへの対応

C55は、4半期ごとにマイナーバージョンアップ、1年ごとにメジャーバージョンアップし、機能拡張、バグ改修される。また、リリース後のソフトウェア保証期間は、原則として最長1年半となるため、基本的には1年半ごとにバージョンアップする運用が前提にある。

4.3.1 検討事項

C55は、バージョンアップ時の機能拡張が多様であり頻度も高いため、下位互換性が保たれない場合もある。この場合、バージョンアップ時に、影響調査と必要に応じてソフトウェア改修が必要となる。

4.3.2 対策

影響範囲を局所化させるため、C55と追加要件で開発したソフトウェア間に隠蔽化するソフトウェアを挟み込む設計とした。隠蔽化するソフトウェアは、当社から三菱電機へ仕様提案し、三菱電機にて製品開発した。

(1) インタフェース隠蔽化

C55は、データ登録インタフェースとして、WebAPI、又は、Excelデータのインポート機能を利用する。各インタフェースの隠蔽化を図14に示す。WebAPIは、Java APIを挟み込み隠蔽化した。Excelデータは、フォーマット変換のソフトウェアを挟み込み隠蔽化した。

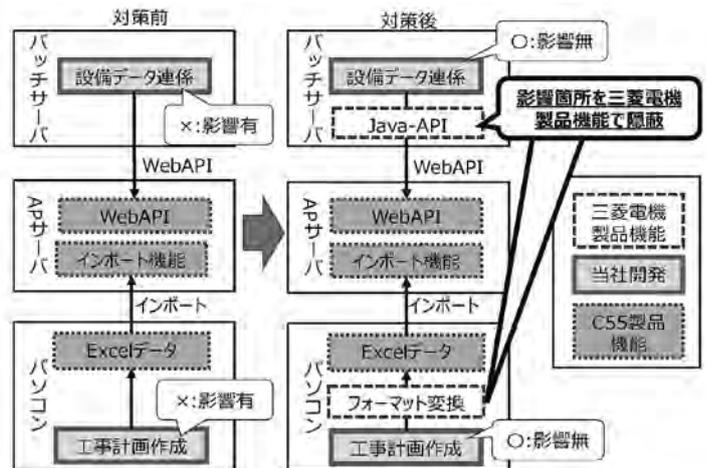


図14. C55 インタフェースの隠蔽化

(2) 公開用データ

C55は、予測分析や最適化後の工事計画をRDS (Reporting Data Source)と呼ぶデータベースに出力している。しかし、RDSのデータ構造が複雑であり、また、バージョンアップにより、データベースの構造が変更となる可能性がある。そのため、図15に示すとおり、開発したソフトウェアからRDSを直接参照せず、構造が単純で、簡易に参照可能なデータベースに出力する方式とした。このデータベースは、公開用データと呼び、RDSから公開用データに変換するソフトウェアを開発した。バージョンアップ時は、必要に応じて変換ソフトウェアを改造することで局所化した。

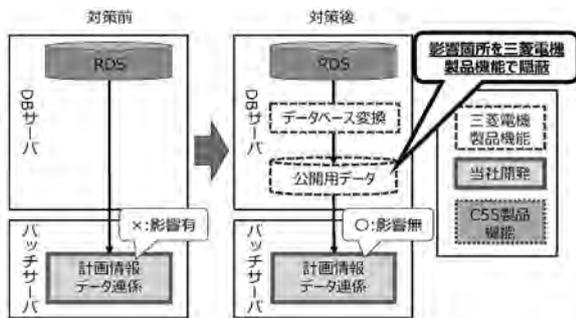


図15. 公開用データ

5. むすび

本稿では、電力会社配電部門向けアセットマネジメントシステムの開発事例を報告した。本システムを導入することで設備のリスクを定量的に評価し、不必要な設備投資の排除や効果的な投資計画への見直しを実現でき、費用削減が可能と評価している。C55は、AIPMサブシステムを実現できる数少ないパッケージである。AIPMサブシステムを実現したアセットマネジメントシステムは、現時点では、競合する他社システムがない。他電力会社からも引き合いが多く、今後の受注が見込まれるため、今回の開発経験を活かしたいと考えている。

最後に、本開発に当たりCopperleaf社との問合せサポート、システム構築のご指導をいただいた関係者の方々に深く感謝申し上げます。

執筆者紹介



野口 智也 ノグチ トモヤ
1996年入社。主に電力会社向け情報システムのソフトウェア開発に従事。
現在、横浜事業所技術第2部電力情報システム課。