

この文書は、皆様のご便宜のための参考翻訳です。必ず、原文と併読してください。原文は、<http://www.powerop.co.uk/#top> から入手できます。

UNIT COMMITMENT AND ECONOMIC DISPATCH SOFTWARE TO OPTIMISE THE SHORT-TERM SCHEDULING OF ELECTRICAL POWER GENERATION

イントロダクション

電力会社の発電システムは、24 時間(一日)、および、週単位のサイクルで変動する電力需要を満たすにはどうしたらよいか、という問題を抱えています。この業界での短期的な最適化問題は、満足させなければならない、多くの制約条件を満足させながら、通常、一日というスケジュールの対象期間で、燃料費を最小とする、もしくは、利益を最大にするには、どのように発電機をスケジュールしたらよいか、という問題です。電力会社の役割は、電力需要を充足することです。そして、そのための最も重要な制約条件は、発電量の合計が、30 分単位で予測される電力需要と等しくなければならないということです。

発電機のスケジュール問題は、各発電所のどの発電機を、いつ、始動させ、いつ、停止させるかを定めるプロセスです。経済的な発電は、それぞれの時間帯で発電される電力を、スケジュールされているどの発電機で発生させた電力で構成したらよいかを決めるプロセスです。発電機を稼働させるスケジュール問題は、対象とする期間で、すべての発電機のオンとオフの状態の組合せの数が天文学的な数字になるので、非常にチャレンジングな最適化問題です。

Power Optimisation 社は、コンサルタント会社で、電力会社向けに、POWEROP と呼ばれる、発電機の割当てのためのソフトウェアを開発している会社です。このソフトウェアは、発電機の割当てと、経済的な発電の両方を、同時に考え、この二つの側面から生み出すスケジュールの質を向上させようとするものです。このソフトウェアは、モデル化される電力会社のユニークな特徴を念頭に、ユーザ会社の正確な要件に合わせてソフトウェアをカスタマイズし、それを、ユーザのコンピュータ・システムに統合します。

Power Optimization 社が北アイルランド電力会社(NIE:Northern Ireland Electricity)向けに、開発したソフトウェアは、1996 年 12 月以来、毎日、北アイルランドを対象とするパワー・システムで、スケジュール作成に使用されています。NIE 社でこのソフトウェアを使っているユーザは、彼らの会社にとって、このソフトウェアは不可欠なものであり、作成されるスケジュールは、一貫して、非常に高い品質のスケジュールであると報告しています。

発電機の時間帯への割当てソフトウェアは、他の電力会社でも使われています。例えば、イギリス電力市場の BETTA (British Electricity Trading and Transmission Arrangements)に参加している多数の電力会社です。そして、ソフトウェアは、個々の会社の要件にあわせて、カスタム設計されます。

この文書は、皆様のご便宜のための参考翻訳です。必ず、原文と併読してください。原文は、<http://www.powerop.co.uk/#top> から入手できます。

利点

このソフトウェアは、数学的に厳密な最適化の方法である混合整数計画法 (MILP: Mixed Integer Linear Programming) をベースとして弊社が開発した、独自仕様のマルチステージのソフトウェアで、それを使う利点としては、以下のものがあげられます。

- このソフトウェアによって作成されるスケジュールは、常に、実行可能なスケジュールである。すなわち、データが矛盾のない、首尾一貫しているものである限り、ソフトウェアによってモデル化されたすべての制約条件を満たしたスケジュールである。(データ、もしくは、制約条件が矛盾を持ち、首尾一貫していない場合は実現可能な解は存在しないが、それでも、ソフトウェアは、比較的、重要ではない制約条件を自動的に緩和して、使用できるスケジュールが、いつも、作成される。)
- 作成されるスケジュールは、手動や「priority-order 法」が見つけるスケジュールものより良いので、年間の燃料コストを低下させ、年間利益を高くできる。
- さまざまな制約条件やプラントの条件に適ったモデルが作成できる。複雑なスケジュール作成についての制約条件、非線形の費用曲線、エネルギーが限られたプラント、買電契約、および、排気についての条件も、勿論、モデル化できる。
- 取り巻く環境が変化するにつれ、それらを反映させるために、新しい制約条件やフィーチャーをモデルに追加することが必要です。したがって、それらの変化をモデルに組み込むことが容易に行えルール必要がありますが、このソフトウェアでは、それが比較的簡単に、迅速にできます。
- このソフトウェアは、ソリューションについて、なんらの事前的な仮定もおかかれていないので、運転条件や相対的な燃料コストの変化に強健 (robust) である。
- 独自仕様の MILP マルチステージバージョンを使用することの結果、このソフトウェアは、標準の MILP メソッドを使用する場合に較べて、はるかに速く、良い実行可能なスケジュールが見つけられる。

フィーチャー

最適化の目的は、対象とする期間で、与えられた制約条件を満たしつつ、燃料コストを最小とすること、もしくは、電力販売からえられる総収入から燃料コストを引くという定義でえられる利益を最大にすることです。最適化の対象とする期間は、30 分の時間帯に分割されます。そして、期間の長さは、30 分の時間帯一つから、30 分の時間帯で構成される数日間です。

このソフトウェアは、モデル化されるパワー・システムの以下のフィーチャー、制約条件、および、その組合せを考慮します。

この文書は、皆様のご便宜のための参考翻訳です。必ず、原文と併読してください。原文は、<http://www.powerop.co.uk/#top> から入手できます。

発電機のタイプ

このソフトウェアは、買電契約も考慮して、火力発電、水力発電の両方のタイプの発電機のオペレーションをモデル化できます。モデル化できる火力発電機のタイプには、石炭、石油、ガス、原子力による蒸気タービン、蒸留油を燃料としているガスタービン燃焼が含まれます。また、火力発電には、二種類の代替燃料で発電するタイプの発電機も含むことができます。このソフトウェアは、同一の発電機、もしくは、発電機の一つのグループを対象に、異なる燃料の混合をどのように使用したらよいかをモデル化し、最適化できます。水力発電機では、従来型の水力発電機だけでなく、揚水発電も考慮できます。ガス発電機、水力発電機は、energy-limited plantとして扱われます。エネルギーの上限、下限は、他のタイプの発電機にも適用可能で、また、例えば、量的に限りのあるサプライヤーや、「テイク・オア・ペイ契約（買主が契約で取り決めた全量を引き取らなかったとしても、全量に対する対価を売主に支払うことを義務づけた契約）をモデル化することにも使えます。

システムの制約条件

- すべての発電機の発電量の総計は、各時間帯で、システムに求められている需要の予測値と等しくなければならない。しかし、ユーザ要件によって、例えば、インフィージビリティを回避するため、「発電機の発電量の総計と需要予測値とが等しくなくてもよい」ということを許す場合には、ユーザは、そのためのペナルティを設定できます。すなわち、この条件は、「ソフト」にも、「ハード」にも設定できるということを意味する。
- すべての発電機のスピニングリザーブの合計は、システムのスピニングリザーブ・リクワイアメントと等しいか、それ以上でなければならない。スピニングリザーブは、Mega Watts (MW)で表された固定リクワイアメント、発電機の負荷時最大出力の指定されたパーセントのどちらかでモデル化できる。そして、ユーザは、この制約式も、「ソフト」にも、「ハード」にも設定できる。スピニングリザーブ・リクワイアメントを保有しておく目的は、発電機の負荷時、または、常時、個々の発電機の偶発的な発電不能による供給ロスや、予測値よりも高い需要を満たすカバーすることである。ユーザは、その要件にしたがい、特定の発電機が、どのくらいのスピニングリザーブを持つかを厳密に定義できる。
- リザーブは、30分単位でモデル化できる。これは、「スピニングリザーブ」+「緊急時に30分以内にスタートアップでき、電力を送電できるクイックスタート・プラント」から構成できる。（「緊急時に30分以内にスタートアップでき、電力を送電できるクイックスタート・プラント」は、「待機中のリザーブ(standing reserve)」と呼ばれることもある。）
- また、マイナスのリザーブ要件を課すこともできる。これにより、常時、Minimum Stable Generation レベル以上で稼働している十分な発電機を確保しておき、発電量を指定されたMW数まで急速に低下させることができる。（このような要件が必要となる理由はさまざまであるが、一つ、例を挙げると、電力需要が予測値より低くなった場合に備えるするため。）
- このソフトウェアは、同一の発電機の出力を一様に保つことができるが、これは、こうすること

で、他の制約条件を守ることができない、というようなことが起こらない場合においてのみ、可能である。

送電の制約条件

- ユーザは、「あるゾーンから別のゾーンへの送電量、受電量に制限がおかれているゾーン」にある発電機のグループを定義できる。ゾーンの外への送電量、外からの受電量は、ゾーンの需要予測値を考慮しつつ、送電、受電についての制限限度に等しいか、それよりも小さくなくてはならない。

発電機の費用特性

- 発電機ごとに、負荷のないときの固定費、負荷を大きくしてゆくときの限界的な運用費のデータより、非線形の費用プロフィールを定義する。これらのコストは、代替的に、固定的な、もしくは、限界的なヒートレート(heat rate)に燃料費を乗じたもので表現することも出来る。この場合、燃料コストは、対象期間中で、変わり得る。限界的な運用費やヒートレートは、単調増大である必要はない。
- 発電機ごとに、単一のスタートアップ費用、もしくは、温度に依存するスタートアップ費用(warmth-dependent start-up cost)を与えることができる。そして、温度に依存するスタートアップ費用は、温度条件に対応させることもできる。ここで、温度条件とは、「熱い」、「温まっている」、「冷えている」などのように、停止されてからの状態に対応して決める。
- また、ワークス・パワー(works power)もモデル化できる。スタートアップ費用と同じように、ワークス・パワーも発電機の温度に依存し、温度は発電機が停止されてからどれくらい経っているかに依存する。

個々の発電機のスケジュール作成制約条件

- 発電機ごとには、運転開始、停止の最低回数を設定できる。
- 発電機ごとに、スタートアップ回数の上限を設定できる。これらは、日ごとの回数として設定し、ここで、「最初の日」は、対象とする期間の初日となる。
- ユーザは、発電機の運転を制限できる。これにより、発電機は、システム需要が指定された値よりも大きければ、指定された期間、指定したレベルに等しいか、そのレベル以上で稼動する。このとき、システム需要の指定されている値はゼロでもあり得る。あるいはまた、発電機の発電量は、指定された期間、指定されている値を取るように強制することもできる。

個々の発電機の運転についての制約条件

- 発電機が稼働中、そのパワー出力は、スタートアップ時、シャットダウン時を除き、Minimum Stable Generation の値に等しいか、それよりも大きくなければならない。
- 発電機の出力は、指定された最大値を超えてはならない。
- ユーザは、発電機のキャパシティ制限を指定できる。これにより、指定された期間、発電機の最大出力は抑えられる。あるいはまた、ユーザは、異なる期間ごとに、発電機の利用可能なキャパシティに異なる値を指定することもできる(これは、profiling the availabilities と呼ばれる)。
- 各発電機は、その発電機の出力に依存する、複数のセグメントのスピニング・リザーブの特性を持つ。
- 発電機に、温度に依存する上昇率(run-up rate)を設定できる。このような条件を付された発電機が始動すると、その発電機は、Minimum Stable Generation 以下のパワー出力で作動し始め、そして、その発電機が前に停止されてから堂レベルくらい経過したかにより決まる非線形の出力上昇プロフィールに従い、出力を増してゆく。
- 発電機は、Minimum Stable Generation 以上で運転すると、最大ローディング率 (loading rate)、最大ディローディング率 (deloading rate) に制約される。それぞれの発電機に、一つ以上のローディング率も許される。そして、ユーザは、適用されるローディング率が変化する出力値を定義する「区切り点」に MW 値を指定できます。同様に、それぞれの発電機に、一つ以上のディローディング率を設定できる。
- 発電機に、ランダウン・レート(run-down rate)を設定することもできる。このような設定をされている発電機をシャットダウンするとき、発電機は、Minimum Stable Generation 以下では、非線形のランダウンプロフィールに従う。

発電所についての制約条件

- 発電所で、「発電所同期インターバル(station synchronising interval)」と「発電所同期インターバル(station desynchronising interval)」を設けることができる。これらは、同じ発電所の発電機のスタートアップ、シャットダウンの間の最小の時間ギャップである。

複数燃料の使える発電所

- 二種類の燃料を燃焼して発電できる発電機は、これらを混焼することは出来ず、一度には一種類の燃料しか使えない。例えば、石炭か重油のどちらか一つである。このソフトウェアは、このような二種類の燃料を燃焼して発電できる発電機のスケジュールの作成と出力パワー

を、コスト、ヒートレート、および、燃料別の最大出力を考慮して、最適化する。また、ユーザは、なんらかの非経済的な理由によって、二種類の燃料を燃焼して発電できる発電機に、常時、特定のタイプの燃料を強制的に使用させることもできる。このような発電機で、発電したまま、ある燃料から、別の燃料にスイッチする場合、このソフトウェアは、スケジュール一致された燃料のスタートアップ費用やランナッププロフィールを適用しない。

混燃発電機

- 混燃発電機は、例えば、重油とガスのような異なる種類の燃料を、同時に、継続的に異なる比率で燃焼できる。このソフトウェアは、燃料コスト、ヒートレート、それぞれの燃料の最大出力を考慮し、このような混燃発電機のスケジュール作成、パワー出力、および、燃料使用を最適化する。

一日あたりのガス消費量の制約条件（もしくは、ガス以外の一日あたりの消費量の制約条件）

- ガス発電機は、発電所で使用される総ガス量、もしくは、個別のガス契約により、最大、最少の日用使用量を制限することができる。このような、日々の供給量についての制約は、必要なら、他のタイプの発電機にも適用できる。
- ガス契約が「テイク・オア・ペイ」タイプであってもモデル化できる。このような契約では、日量の使用量が最少レベルより少ないとある一つの価格が、そして、日量の使用量が最少レベルを超える場合は別の価格が適用されるような場合がある。
- 一つの発電所で使用されるガスが、複数の契約や供給者から供給される場合、契約が、それぞれ、それ自身の価格、特性、および、供給量の制限を持っている場合がある。
- 発電所で使用される総ガス量、個々のガス契約に最少と最大のフローレートがあってもよい。
- すべてのガス発電機からの総パワー出力は、「gas impact factor」により制限される場合がある。「gas impact factor」は、各時間帯でのシステム需要を増加する。

揚水水力発電機

- このソフトウェアは、揚水サイクルに失われるエネルギーを考慮に入れ、揚水水力発電機の使い方も最適化できる。このソフトウェアは、ポンプで揚水する回数と水量、および、揚水池の水を使って行う発電を最適化する。
- 揚水発電機の揚水貯水池に蓄えられている水量は、水の効果的な利用を念頭に、特定の、指定された上限、および、下限の間に保たれ、無駄な排水を防止する。ユーザは、スケジュール作成の対象期間の終わりでの、貯水レベルの最小、最大、目標レベルを設定できる。ユーザは、また、適切なペナルティ・コストを選定して、目標レベルをどれくらいしっかり守らせるかを決めることができる。

他の電力会社との電力融通契約

- このソフトウェアを使用して、他の電力会社との電力融通契約は、相手を疑似発電機として、または、需要'ユニットとみなして、モデル化できる。このオプションでは、上で説明したすべてのフィーチャー、例えば、ランプ速度、エネルギー数量制限、および、最小オン/オフ回数などのフィーチャーを使える。これらのフィーチャーは、契約が、このようなフィーチャーを含んでいる場合に便利である。
- また、このソフトウェアには、イギリスの電力市場向けに、電力交換や電力ブローカーによって提供される電力契約を、直接、モデル化するオプションがある。これらの電力契約は、「買う」、または、「売る」というタイプのものである。このソフトウェアは、「イギリス契約市場 (British contracts market)」でオファーされている電力契約の細目をモデル化できる。電力契約は、もし、あるグループの一つの契約を受け入れるなら、そのグループの他のすべての契約を受け入れなければならないように、任意にグループ化されている。電力契約の「ダイレクトモデル化」により、これらを疑似発電機としてモデル化するよりも、ソフトウェアが、もっと多数の、このような電力契約を考慮できるようになる。これにより、電力会社は、どの契約を行い、その契約からどれだけの電力量を受け入れたら、利益を最大にできるか、そして、他方、これらの契約を結んだら、ランプレートを含む、物理的な発電機の出力に副次的、偶発的な影響を考慮することができる。
- このソフトウェアには、電力契約だけを使うことだけで、特定の需要パターンや、望ましい「ネット契約ポジション (Net Contract Position)」を満たすことが出来るオプションもある。このオプションは、自社の発電設備を持っていない電力商社にとって便利なオプションである。この場合、このソフトウェアは、利用可能な、多数の契約の中から、最も利益の挙がる契約を選び、同時に、手動ではなかなか見つけるのが困難な裁定機会 (arbitrage opportunities) を特定することができる。

初期条件

- ユーザのオプションとして、ソフトウェアは、指定された初期条件を使うことも、またはそれは、ソフトウェアが作成する初期条件を選ぶこともできる。短期的な運用目的の場合、指定された初期条件を使うほうが適切だ。ソフトウェアに初期条件を選ばせるオプションは、長期間計画に相当である。

この文書は、皆様のご便宜のための参考翻訳です。必ず、原文と併読してください。原文は、<http://www.powerop.co.uk/#top> から入手できます。

インターコネクターを通じての輸入、および、輸出

- インターコネクターを通じて、隣接電力会社との電力の輸出入を最適化するのに、このソフトウェアを使うことができる。また、インターコネクターを対象に、コスト、ベネフィットを評価するのに、このソフトウェアの「what-if」モードが使える。
- あるいはまた、インターコネクターの両サイドにまたがって、発電と需要をモデル化することも可能である。このとき、ユーザが指定する、インターコネクターを越えるフローの 30 分の時間帯ごとの推定値を使う。このとき、これは、送電制約条件のように機能する。また、インターコネクターの片方のサイドで、もう一つのサイドよりも、需要が「よりハード」であるとして扱うことも可能である。

直前のスケジュールからの変化を最小化する

- このソフトウェアは、前にこのソフトウェアをランしたとき以来に起こった需要や発電所の利用可能なキャパシティの変化を考慮しながら、前のスケジュールからの変化を最小化する、というオプションも持っている。これは、事情が急に大きく変化した、システムオペレーターが、以前に発電所に指示されたことを、大幅に変更したくない、という場合に便利です。

出力されるスケジュールの変更を抑える

- 発電機の「ランピング」、すなわち、パワー出力を変更することは、機械の摩損の原因となりメンテナンス費用を増加させる。このソフトウェアでは、ユーザは、各発電機のランピングにペナルティ費用を課すことができ、このペナルティは、出力の MW 当たりの変更に適用される。これにより、不要なランピングを行わない、という力が働きます。ランピングが必要なときは、ユーザは、ペナルティ・コストを発電機ごとに変えることで、ある発電機の出力を変えるよりも、別の発電機の出力を変えるようにという選択を指示することができる。

BETTA バージョン

「発電機割当てのソフトウェア」の、いくつかのバージョンは、イギリスの電力市場の British Electricity Trading and Transmission Arrangements (BETTA)傘下の電力会社向けに、self-scheduling のために、特に、開発したものです。

このソフトウェアの BETTA バージョンは、MWh(Mega Watt Hours)の 30 分の時間帯ごとの「Net Contract Positions」に対して発電機をスケジュールします。このソフトウェアは、電力の一般的な市場価格をモデル化でき、また、個々の「買電契約」、「売電契約」を、それらの特性と価格を使ってモデ

この文書は、皆様のご便宜のための参考翻訳です。必ず、原文と併読してください。原文は、<http://www.powerop.co.uk/#top> から入手できます。

ル化することにも使用できます。これは、トレーダーに、これらの契約を結んだら、ランプレートを含む、物理的な発電機の出力に副次的、偶発的な影響を考慮しながら、どれだけの電力量で、どの契約を選んだらよいかについてのガイダンスとなります。

このソフトウェアの BETTA バージョンは、各発電機ごとに、毎分、BETTA 規則の下に必要な「物理的な通知 (physical notification)」のための「出力プロフィール」を計算します。これらの出力プロフィールは、発電機に課される制約条件を満たし、他方、総合出力プロフィールと「Net Contract Positions」の間の乖離を最小とします。このソフトウェアの BETTA バージョンは、の対象期間は、30 分の時間帯を単位として、何日間 (several days long) にもなります。

北アイルランド電力会社のバージョン

北アイルランド電力会社(NIE)向けに開発された発電機の割当てソフトウェアのバージョンは、1996 年 12 月以来、毎日、北アイルランドパワー・システムの発電機のスケジュール作成に使用されています。北アイルランドパワー・システムは、ガス、石炭、重油、油を燃料としている蒸気タービン、燃焼タービン、および、多数のコンバインド・サイクル・ガス・タービン(CCGT)ステーションなどの さまざまな火力発電機からなっています。ガス発電機、および、CCGT によって使用されるガス使用量合計は、日量で、最低と最大、また、フローレートで、その最低と最大が決められています。スコットランドと南アイルランドの間には、インターコネクターがあります。

このソフトウェアは、北アイルランドパワー・システムの複雑な業務規定と煩わしいスピニングリザーブ要件を考慮しています。そして、30 分の時間帯に分割された 48 の時間枠を対象にし、燃料費合計を最小とすることを目的とするものです。NIE のユーザは、ユニットが、難しい燃料制約条件があるので、北アイルランドパワー・システムのスケジュールを作成するためには、この発電機割当てソフトウェアは欠かせないものだと考えています。そして、彼らは、このソフトウェアが生み出すスケジュールは、一貫して非常に高い品質のものであると報告しています。

ユーザーインターフェース

ユーザは、「Power Optimisation」は、Microsoft の Excel ワークブックを間に、「発電機割当てソフトウェア」との快適なユーザーインターフェースを享受できます。あるいは、この「発電機割当てソフトウェア」は、ユーザが開発する「ユーザーインターフェース」により、簡単なテキストファイルを通してコミュニケーションできる「ソリューションエンジン」として使うこともできます。

この文書は、皆様のご便宜のための参考翻訳です。必ず、原文と併読してください。原文は、<http://www.powerop.co.uk/#top> から入手できます。

CUSTOMISATION OF FEATURES

Power Optimisation は、ユーザの個々の需要を満たすために、発電機割当てソフトウェアのカスタム設計を行う容易があります。実際、既存ユーザは、ユーザ自身の要件に適合したソフトウェアのバージョンを使っています。上で説明したフィーチャーは、どのような特定のバージョンにすべて含まれているフィーチャーではなく、このソフトウェアのいろいろなバージョンに含まれているフィーチャーで、ユーザ要件により、このようなことも出来る、というように、お考えになってください。

CONTACT INFORMATION

To discuss how this software may be of benefit to your company and for further information, please contact:

Power Optimisation, Woodside Avenue, Beaconsfield,
Buckinghamshire, HP9 1JJ, England, United Kingdom.

UK Telephone: 01494 675175.

International Telephone: +44 1494 675175.

E-mail: info@powerop.co.uk