

A-011

遺伝的アルゴリズムを用いたコージェネレーションシステムの最適設計 Optimum Design of Cogeneration System using with Genetic Algorithm

廣安 知之* 三木 光範† 平井 聡‡ 下坂 久司§
Tomoy Hiroyasu Mitsunori Miki Satoshi Hirai Hisashi Shimosaka
梅田 良人¶ 青木 修一¶ 田中 洋一¶
Yoshito Umeda Syuichi Aoki Yoichi Tanaka

1. はじめに

近年、高い効率でエネルギーを生成するコージェネレーションシステム (Cogeneration System: CGS) [1] が注目を集めている。CGS とは、1つのエネルギー資源から2つ以上の有効なエネルギーを生成して利用するエネルギー再利用システムである。

CGS の設計には、複数のエネルギー需要に対して、適切な機器の選定を行い、それらを時間に応じて適切な負荷で稼働させることが重要である。適切な機器および稼働率で CGS を設計できれば、より少ないエネルギー資源で目的の需要を供給することが可能になる。

そのため本研究では遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) [2] を用い、より少ないエネルギー資源で、目的のエネルギー需要を満たす CGS の最適設計について検討する。

2. コージェネレーションシステム

2.1 CGS の概要

CGS とは、「共同の発電」に由来を持つ、1つのエネルギー資源から複数のエネルギーを生成するエネルギー再利用システムである。CGS の構成は、原動機、排熱利用機器、ボイラーの3種類からなる。

原動機とは、電気を生成すると同時に、熱を排出する機器である。従来ではこの熱は排気されていたが、再利用することにより高いエネルギー効率を実現できる。排熱利用機器は、原動機から生成された熱を再利用し、暖房、冷房、そして給湯といったエネルギーに変換する機器である。ボイラーは原動機から排出された熱だけでは、十分な暖房、冷房、給湯のエネルギーが生成されない場合に、熱を生成する機器である。

この3種の機器を複数、適切に選定し、各時間ごとに適切な負荷率で稼働させることで、より少ないエネルギー資源を用いて目的のエネルギー需要が生成できる。

2.2 CGS の設計変数

CGS の設計は、機器の選定およびその機器の稼働率を決定する必要がある。そのため、設計変数は整数で表される機器の稼働開始・終了時刻、各機器の組み合わせ、実数で表される各機器の稼働率の3種からなる。以下は各設計変数の説明である。

● 機器の稼働開始・終了時刻

*同志社大学工学部助教授

†同志社大学工学部教授

‡同志社大学大学院工学研究科知識工学専攻修士前期課程

§同志社大学大学院工学研究科知識工学専攻修士後期課程

¶東邦ガス株式会社基盤技術研究部エネルギー利用技術グループ

CGS の利用においては、各機器を何度も停止させることはできない。そのため、各機器は稼働を開始した時刻から継続して終了時刻まで連続して稼働させなければならない。そのため、開始・終了時刻という設計変数が必要となる。

● 機器の選定

原動機、排熱利用機器、ボイラーは出力、エネルギー生成効率、エネルギー回収率などの違いがある複数の機器コードから構成される。機器選定とは、機器の稼働数と機器コードを決定することである。

● 稼働率

機器の選定後の各機器における、各時間の稼働率を示す。

3. 提案手法

3.1 遺伝的アルゴリズム

自然界では、環境に適応できない生物は淘汰され、環境に適応した生物が生き残り子供を残していく。そして、それらを繰り返すことにより、群れの中に優れた遺伝子が広がり群れが繁栄する。このメカニズムをモデル化し、環境により適応した生物、すなわち目的関数に対して最適値を与える設計変数値を持つ解を計算機上で生成しようというのが遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) である。

GA は設計変数のコード化によって、多くの問題に対して同様に最適化を行うことができる汎用性のある手法である。しかし、対象問題に適したコード化は困難であり、また、コード化が適していなければ、選択、交叉、突然変異といった遺伝的オペレータが有効に働かず効率的な最適化が行えない。

CGS は3種の異なる設計変数を持ち、また依存関係がある非常に難しい問題である。そのため、効果的なコード化を行わなければ最適化が行えないと考えられる。そのため、本研究では3段階最適化モデル、整数値コーディングといった手法を提案する。

3.2 3段階最適化モデル

3段階最適化モデルとは、時刻、機器コード、稼働率を別々の GA 操作により最適化を段階的に行うモデルである。この手法ではまず、時間の最適化を行う。その際の稼働率と機器コードは、一定および小規模の GA によりある程度の良い設計まで計算を行う。時間が GA により求められれば、求められた時間を用い機器コードを GA により厳密に設計する。最後に求められた時間および機器コードを用い稼働率を GA により厳密に設計する。このように段階的に最適解を求める手法を用いた。

3.3 整数値コーディング

時間、各機器コードは整数で表現され、ビットでコード化では設計変数間交叉が行えず、良好な解探索性能が得られない。つまり、交叉や突然変異において良好な親個体の部分解を破壊や、すべての対立遺伝子が等しい確率で変異することができない。そのため、時間および機器の選定にはビットではなく、整数でコード化を行う遺伝的アルゴリズム (以下 ICGA と略す) を提案する。

4. 数値実験

4.1 初期パラメータ

数値実験に用いた GA の初期パラメータを表 1 に示す。

表 1: Parameters of GA

	Time	Code	Load factor
Number of islands			5
Island's individuals			10
Chromosome length	2	15	2400
Max of generation	20	200	5000
Corssover method	Two point crossover		
Crossover rate			1.0
Mutation rate	1/Chromosome length		
Selection method	Tournament selection		

また、実験に用いたエネルギー需要を図 1 に示す。図 1 は夏の小規模なオフィスを想定した電力、冷房からなるエネルギー需要からなる設計問題である。専門家の設計により、原動機、排熱利用機器を各 2 台ずつ利用すれば比較的良好な機器構成が得られることがわかっている。

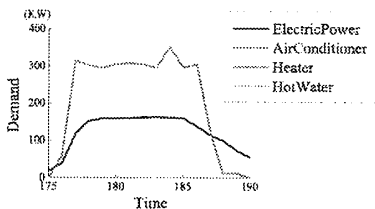


図 1: Energy demand

4.2 実験結果

CGS の最適化において、3 段階最適化モデルの有効性を検証する。最適化後の 30 試行のすべてのエネルギー消費量を図 2 に示す。図 2 の横軸は試行回数、縦軸はエネルギー需要を満たすために消費したエネルギー資源であり、より効率的にエネルギー需要を満たすことが目的であるため、小さい値ほど良好な結果を示す。最適化後のエネルギー値を検討するため、図 2 に専門家が CGS を設計した場合、および媒体電力を用いた場合の消費したエネルギー資源を示す。媒体電力を用いた場合のエネルギー資源は「Without CGS」とし、専門家が CGS を設計したエネルギー資源を「Expert」で示す。

また、専門家および GA により設計された原動機の機器コード、稼働率とエネルギー需要の関係を図 3 に示す。

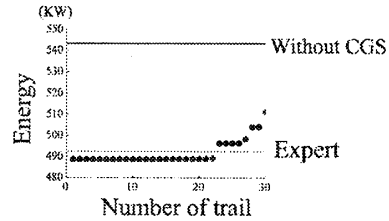


図 2: The result of transaction of trails

横軸は各時間、縦軸は生成されたエネルギーである。傍線で示している値が必要とするエネルギー需要である。

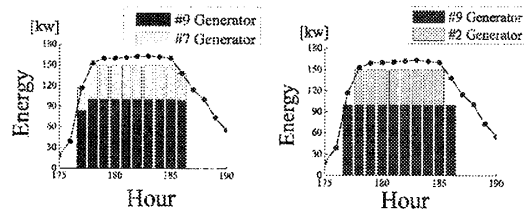


図 3: The result of generator load factor

4.3 考察

数値実験の結果より、多くの試行回数で専門家より良好な結果を得られたことより、開始終了時間、各機器の選定、そして各機器の稼働率を分離して最適化を行う 3 段階最適化モデルと ICGA が有効であることがわかった。

図 3 より、GA と専門家の設計の違いは、機器コードおよび稼働率で見られた。機器コードでは、専門家は異なる熱を排出する原動機を使用しているのに対し、GA では排出される熱は等しくなる原動機を用いている。また、稼働率では、専門家は時間により稼働率を適切に操作できないのに対し、GA は適切な稼働率で設計している。この 2 つの違いにより GA は、高いエネルギー効率で CGS を設計できたと考えられる。

5. おわりに

本研究では、GA を用い CGS の設計最適化を行った。CGS は設計変数が開始・終了時刻、機器選定、稼働率の 3 種からなる最適化問題である。そのため、最適化を行うには、CGS のコード化が重要な役割を持つ。実験結果より、各設計変数を個別に最適化するモデル、ICGA の検討を行い、数値実験よりその有効性を示した。その結果、GA を用い CGS の最適化を行う際、提案手法が有効であることがわかった。

参考文献

[1] 伊東弘一, 横山良平. コージェネレーションシステムの最適計画—インテリジェント・フレキシブル・コージェネレーションを目指して—. 産業図書, 1990.
 [2] D.E.Goldberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.