資源山積みの局所区分平準化を考慮した 工程計画アルゴリズムの開発

非会員 好永俊昭 (日立)
正員 小林康弘 (日立)
非会員 三浦 淳 (日立)

非会員 中嶋 明 (日立)
非会員 高元政典 (日立)

Development of a Scheduling Algorithm for Resource Leveling in Local Time Intervals

Toshiaki Yoshinaga, Non-member, Akira Nakajima, Non-member
Yasuhiro Kobayashi, Member, Masanori Takamoto, Non-member
Jun Miura, Non-member, (Hitachi Ltd.)

We have developed a scheduling algorithm, which simultaneously levels resource profiles in both the total time span and local time intervals, for plant construction schedule optimization. Resource leveling in local time intervals minimizes resource peaks through a heuristic search method with a target profile.

The developed scheduling algorithm has been experimentally evaluated with realistic construction data of a power plant. The resulting profile from overall resource leveling have been improved with the local resource leveling function. From the results it is confirmed that the local leveling is helpful in resource peak reduction.

キーワード：スケジュール最適化、資源山積みの性能指標、局所区分平準化、ヒューリスティック解法、建設計画

1. まえがき

発電プラントの建設はその規模が大きいため、工程計画の作成にも大きな作業量が伴う。従って、工程計画業務の効率化、省力化には、自動的あるいは対話的に工程計画を調整する機能を持つ工程計画作成支援システムが有効となる。建設プラントの大規模化、複数プラントの同時建設等が予想される中、建設作業全体を見渡した作業の合理化、作業工数や建設コストの的確な評価が、ますます重要となってきた。そこで、合理的な建設計画作成を目的として、「プラントコンストラクションCAEシステム」の開発も進められている[1]。工程計画業務の計算機化に向けて、実際的なアプローチとして対話的な工程計画支援システム[2]が開発されている。さらに、0-1整数計画法[3]に基づいたアルゴリズムを用いて、規模の大きな工程で資源山積みの自動平準化を行なう機能の開発例もある[4]。

工程計画の計算機による自動作成手法としては、PERT・CPM[5]を挙げることができる。しかし、これらの手法は、順序ネットワークによる工程調整の効率化を指向したもので、最適化機能としては山崩し法による資源平準化機能を持つ程度である。また、建設計画システムとして、資源平準化に対応した自動化機能を持つものは、現在のところほとんど見あたらない。従来の平準化アルゴリ

ズムでは、資源山積みにおける最大ピーク値の抑制という観点では有効であるが、最大ピーク値以外の部分のプロファイルについては、時として対話修正に依らざるを得ない。最大ピーク値以外の部分の改善策として、[4]では分散の最小化が提案されているが、資源山積みの凹凸の平滑化が追及される場合には、必ずしも効果的ではない。資源山積みの観点から計画をさらに改善するには、一元的な指標に基づく全体的な平準化だけではなく、局所的なある時間区分を対象として変動の回数や変動の傾きに着目した局所的な平準化が重要となる。

そこで今回、既開発の全体平準化アルゴリズム[4]を補完する局所区分平準化アルゴリズムを提案し、両者を組み合わせた工程計画アルゴリズムを開発し、現実規模のプラント建設工程へ試験的に適用した。

2. 工程の全体平準化と区分平準化

<2.1> エリア工法と段階的な資源平準化過程

工程計画での資源平準化（工程平準化）の動機は、主として“必要資源の安定供給”にある。プラント建設に必要な資源量は膨大であるが、一時期に供給可能な必要資源には制限がある。このため、山積みを平準化し、まずは最大ピーク値を抑制する必要がある。

プラント建設では建設作業の効率化を目的として、プラント建屋をエリアと呼ばれる区画に分割し、エリア毎に工

図1 建設工程計画の作成プロセス

事を進めるエリア工法を用いる場合がある。その場合、工程計画業務も、エリア工法に沿って段階的に進められる。図1に建設工程計画の作成プロセスを示す。ここで、資源の具体例として作業人員を用いており、エリア工法に従った段階的な資源平準化の過程が示されている。

ステップ1：エリア内の工程の開始日を決定しエリア毎の工程計画を作成。

ステップ2：エリア毎の工程計画を単位として各エリアの開始日を決定し、全体の工程計画を作成。

ステップ3：ステップ2で決定したエリアの開始日を固定した上で、エリア内の工程の開始日を再度調整。この際、ステップ1、2では固定して扱っていた各工程の作業期間と日毎の必要資源を変更可能とする。〔6〕

<2. 2> 工程計画の評価基準

(1) 計画目標としての資源平準化

プラントの工程計画では、計画の目標として工期の短縮、コストの最小化、資源山積みの平準化が取り上げられることが多い。コストを十分記述できるまで詳細なモデルが確立していれば、コストを直接取り上げることが可能となる。コストの評価条件が明確に決められないような場合、あるいは決められたとしても計画結果の解釈が容易でない場合もある。そのような場合、工期短縮や資源平準化が直接の計画目標となる。

プラントの規模が大きくなると、建設に関わるグループの数が増え、その間で分業が行われるようになる。その結果、大規模プラントでは、そのグループの間で時間目標を含めて分担を明確にし、その境界条件の下でグループ単位で計画を立てるという業務の流れとなる。その結果、工期短縮よりも資源平準化が計画目標として重要になる場合が生ずる。

(2) 資源所要量の時間的分布の最適化

プラント建設計画において、資源平準化を目標とする場合でも、広い意味での資源所要量の時間的分布の最適化が求められている。資源山積みの分布に注目すると、図2に例示されているように、

(a) 最大ピーク値を抑制すること

(b) 山積みの凹凸の変動幅を小さくすること

が計画の品質を高めることになる。これらは、局所ピーク値の改善という要求にまとめられる。

最大ピーク値の抑制だけであれば、資源山積みの最大値に注目した局所的な評価基準を採ることもできる。ここでは、凹凸の変動幅の低減も加味して、山積みの分散を最小とするという大域的な評価基準を取り上げる。分散を小さくすることにより、当然、図2(a)左のようなケースでもより品質の高い図2(a)右のような分布に変えていくし、図2(b)左のようなケースでもより品質の高い(b)右のような分布に変えていくことを期待できる。このとき完全に大域的に最適化が行なえれば、上記(a)、(b)は同時に達成可能である。すなわち、分散の最小化は、最大ピーク値の最小化だけでなく、凹凸の変動幅の最小化を含めた山積みの分布を最適化する総合的な性能指標である。以下では、このような観点から計画期間全体にわたって資源所要量の時間的分布を最適化する処理を、全体平準化と称する。

(3) 全体平準化による最適化の課題

上記のような全体平準化により、資源山積みの分布を最適化するに当たっては、二つの課題がある。これらは、組合せ最適化という問題の性格によるもの、資源山積みの分散という性能指標によるものである。図3に分散の値がほぼ等しい資源山積みパターン(例)を示す。

(a) 準最適解へのトラップ

全体平準化は、現実には規模の大きな組合せ最適化問題となるため、準最適解（局所最適解）で妥協せざるを得ない。局所最適解にトラップされるため資源山積みの凹凸を低減できなくなることは、組合せ最適化という問題の性格による課題である。例えば、図3（a）の左図に現われるような小さな凹凸は、問題の規模が大きくなると、右図に比し分散の差としては小さな量にしかならないため、評価関数への感度が鈍くなり、質の低い準最適解にトラップされやすくなるため、十分局所ピーク値を改善できない場合が想定される。その結果、得られた準最適解が、必ずしも図3（a）右図のように平準化できていないケースが生じる。その場合、追加的な平準化の処理は、分散の最小化に注目した全体平準化の後で行なう。このとき、問題を分割し局所的な時間区分に対し部分改良を行なうことになる。このような処理は、従来、必要に応じて手作業により行なう必要があった。

(b) 資源山積みの形状

計画によっては、資源山積みの変動幅だけでなく、変動のパターンが重要となる場合がある。資源の総量を一定とすると、変動幅が同様であれば、変動の回数や傾きが異なる分布も同様な分散の値を取り得るので、分散の最小化は、変動幅は低減できるが、変動回数や傾きを改善できない。これは、資源山積みの分散という性能指標による課題である。

建設計画の観点から資源山積みの形状に注目すると、図3（b）（c）に例示するように、

- (i) 山積みの変動の回数を少なくすること
- (ii) 増加、減少の傾きを緩かにすること

が望ましい場合がある。これらは、山積みの凹凸の平滑化という要求にまとめられる。

項目（i）（ii）については、次のような背景により、変動のパターンの形状の改善が追及される。平準化の対象としている資源の運用という面から、短期間に資源の投入撤去を繰り返すことは現実的でなく、予備的に資源を確保するため、一定期間は投入したままの状態とせざるを得ない場合がある。このような点から、変動回数を少なくし、変動の周期を長くして一定期間は安定した資源投入量を保てるよう、山積みの変動の回数を少なくすることが求められる。

同様に、資源の運用という面から、短時間に大量の資源の投入や撤去を完了することは現実的でない場合がある。例えば、資源が急増する場合早めに投入を開始したり、資源が急減する場合撤去が遅れざるを得ない場合がそれに当たる。このような点から、変動に際しての増加、減少の動きを緩かにすることが求められる。

資源山積みの分散という性能指標は、一定期間内の変動回数や変動の傾きとは独立であり、図3に示唆されているような意味では、資源所要量の時間的分布を平滑化することは難しい。このような処理は、従来必要に応じて対話的に手作業で行う必要があった。

図2 資源山積みのパターンの例

図3 資源山積みのパターンと分散の値の関係

(a) 山積みの例

(b) 山積みの目標値

図4 資源山積みの目標値の計算例

(4) 課題解決へのアプローチ

準最適解にトラップされやすくなる原因は、数多くの工程が含まれることと相俟って、資源山積みの分散に基づく評価関数が小さい凹凸に鈍感になることに起因する。局所最適解からの脱出をはかるためには、異なる性格の性能指標を採る方が効果的である。この対策については、計画期間を局所的な時間区分に分割して、分散とは異なる性能指標を用いて、準最適解にトラップされた状態を脱して解をさらに改善するアプローチを取る。問題を分割し局所的な時間区分に対し部分改良を行なうことを局所区分平準化と称する。

変動回数を減らしたり変動の傾きを緩やかにするという意味で山積みの凹凸を平滑化できないことは、資源山積みの分散に基づく評価関数の一元的な性格に起因する。一元的な性格とは、各時点での山積みを一律に平均値に近づけようとして資源山積みの形状の特徴を考慮できないことである。この対策としては、現状の資源山積みの特徴を反映して各時点の目標値を設定して、山積みを平滑な形状に近づけるようガイドすることが考えられる。この場合、ある時点における山積みの目標値は、その時点の前後の現状の山積みの値の移動平均により、自動的に生成させることができる。ここでは、局所的なピーク値に着目してヒューリスティックに平坦化することで山積みのプロファイルの大きな変動を抑制するアプローチで対応する。以上のような処理は、全体区間の中の一部を対象とする局所区分平準化の形で行なうことができる。

開発すべき手法は、次のような要件を満たす必要がある。

- (i) 分散とは異なる性能指標を用いて局所区分での分布の形状を目標値にしたがって平滑化する機能
- (ii) 局所区分平準化により生じうる副作用をチェックし、分散に基づく全体平準化結果との間で分布の形状を調

整する機能

前者については、各時点での目標値と資源山積みの二乗偏差の総和を最小化する方法も考えられるが、局所区分平準化のニーズが「資源山積みの分散」という性能指標と相容れない面があるため、採用していない。

後者については、局所区分平準化をステップ2の後で実施し、その後ステップ3として全体平準化を実施すれば、ステップ3の処理の流れの中で実現できる。

<2.3> 全体平準化と局所区分平準化

資源山積みの変動のパターンの形状の改善が追及される場合には、分散の最小化による全体平準化の他に局所区分平準化が必要となる。局所区分に対する平準化では、対象とする時間区分を決めることと、その区分で工程の変動をどこまで許すかという、境界条件を決めることがポイントとなる。局所区分平準化アルゴリズムは、上下変動の小さな分布を目標形状として設定し、プロファイルの凹凸に着目して資源山積みが目標形状に近づくように移動可能な工程を調整する。以下、移動可能な工程を可動工程と称する。

資源山積みの局所区分平準化を考慮した工程計画作成の処理は次のような手順となる。

- (1) ステップ1、2による全体平準化の実行
- (2) 局所区分平準化の対象とすべき区間と可動工程の決定
- (3) 局所区分平準化の実行
- (4) ステップ3による全体平準化

図5 平準化前後の資源山積みと局所区分

資源平準化を扱うためのアルゴリズム

3. 1> 全体平準化のアルゴリズム

全体平準化には、山積みの分散を最小化する既存のアルゴリズム [4] を用いる。

1) 資源平準化の0-1二次計画問題への定式化

エリア数 k 、全工期 L 日の、2.1節ステップ2における資源平準化を考える。エリア i に対し、 L 個の0-1変数 x_{ij} ($j=1,2,3,\dots,L$) を設け、エリア i の開始日と同じ数を添字 j に持つ変数のみを1とし他を0とする。また、事開始から m 日目の、全体の資源山積み値を y_m 、エリア i の作業期間を t_i 日、エリア i の開始から j 日目のエリア i の必要資源量を h_{ij} ($1 \leq j \leq t_i$) とする。この時、数の定義より次の式が成り立つ。

$$\sum_{j=1}^L x_{ij} = 1 \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (1)$$

積み値 y_m は、各エリアの資源量の積算として次の式で表される。

$$y_m = \sum_{i=1}^k \sum_{j=b_i}^m h_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} b_i &= 1 & (m < t_i) \\ b_i &= m - t_i + 1 & (m \geq t_i) \\ & & (m=1,2,\dots,L) \\ & & (i=1,2,\dots,k) \end{aligned}$$

また、制約条件「エリアの作業可能期間」は、エリア i の開始日を U_i 、最早着手可能日を S_i 、最遅終了期日を T_i として、次のような不等式で表わされる。

$$S_i \leq U_i \leq T_i - t_i + 1 \quad (3)$$

一方、目的関数を式(2)で示される各日の山積み値の二乗和とし、これを最小化することにより平準化を行なう。

$$f = \sum_{m=1}^L y_m^2 \quad (4)$$

結局、資源平準化は、式(1)(2)(3)を制約条件として、式(4)の目的関数 f を最小化する0-1二次計画問題となる。

式(2)の行列表現 $\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$ を以下に求める。ここで、 $\mathbf{y}$ は y_m ($m=1,2,\dots,L$) を要素とする列ベクトル、 $\mathbf{x}$ は要素 x_{ij} を $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1L}, x_{21}, \dots, x_{kL}$ と辞書順に並べた列ベクトルとする。ここでは、式を単純化し手順を明快とするため、各作業に対し全工期のすべての日を着手可能日として扱っており、作業が所定の期間に納まらないような着手日にも変数を割り当てている。

さらに、 L 行 L 列の行列 $\mathbf{H}_i$ の要素を

$$\begin{aligned} H_{jm} &= h_{i(m-j+1)} & (1 \leq m-j+1 \leq t_i \text{ and } j \leq L-t_i+1) \\ H_{jm} &= 0 & (\text{上記以外}) \end{aligned} \quad (5)$$

と置き、 $(\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2, \dots, \mathbf{H}_k)$ で表わされる L 行 $[L \times k]$ 列の行列を $\mathbf{A}$ とすれば、 $\mathbf{y} = \mathbf{A} \mathbf{x}$ は、式(2)と等価となる。

図6 区分1における本手法の適用結果

(2) 資源平準化アルゴリズム

あるエリアの開始日を変更して計画を更新することは、そのエリアの開始日に対応する変数 x_{ij} の値を 1 から 0 に変更し、新しい開始日に対応する変数 x_{ij} の値を 0 から 1 に変更する基底変数入れ替えのピボット操作に対応する [7] [8]。

いま、変数 x_{ir} と変数 x_{is} にピボット操作を施すとする。 $\mathbf{a}_R$ と $\mathbf{a}_S$ は、 $\mathbf{A}$ 中でそれぞれ x_{ir} と x_{is} に対応する列ベクトルとする。このとき、 f の変化量は、山積み $\mathbf{y}$ の変化量を介して求められる。 f の変化量 df は次式で表される。

$$df = C + \mathbf{q} \cdot \mathbf{a}_S \quad (6)$$

$$C = \mathbf{a}_R^t \cdot \mathbf{a}_R - 2\mathbf{a}_R^t \cdot \mathbf{y} + \mathbf{a}_S^t \cdot \mathbf{a}_S$$

$$\mathbf{q} = 2(\mathbf{y} - \mathbf{a}_R)^t$$

エリア i を指定すれば C は定数となり、 df は $\mathbf{q} \cdot \mathbf{a}_S$ のみに依存する。以上より、ピボット変数選択規則を次のように設定することにより、目的関数 f を減少できる。

- ① 適当に定めた優先順位によりエリア i を指定する。
- ② $\mathbf{q} \cdot \mathbf{a}_S$ が最も小さい変数 x_{is} を決定する。
- ③ x_{is} に対し df を計算する。
- ④ ステップ①②③を全エリアで行ない、 df を負で最小にするエリアの基底変数 x_{ir} と非基底変数 x_{is} にピボット操作を施す。

(3) 制約条件の充足

制約条件式(3)を満足させるため、操作ステップ②で、

$\mathbf{q} \cdot \mathbf{a}_S$ を計算する変数を式(3)を満たす U_i を添字 j に持つ変数 x_{ij} に限定する。例えば、エリア i の開始日 U_i が $v \leq U_i \leq w$ ならば操作②で選択可能な変数を $x_{iv} \sim x_{iw}$ に限定する。

作業が所定の期間に納まらないような着手日に割り当てた変数は、基底として選択されず、その値は 0 となる。

<3. 2> 局所区分平準化のアルゴリズム

(1) 平準化対象区分決定

局所区分平準化では、特定の期間に対して資源山積みの分布を目標とする形状に近づける処理を行なう。平準化対象区分とは、そのときの期間である。区分の設定については、あらかじめ全体期間を分割して区分を設けておき、全体の分布形状との関連から、対象区分を選定する。通常、ピークが生じている期間や凹凸が顕著な期間を選定し、重点的に実施する。

(2) 局所区分平準化での可動工程の決定

選定された区分内で平準化を行なう場合、計画済みの他区分との整合性を保つよう可動工程およびその可動範囲を設定する必要がある。可動工程およびその可動範囲の決め方としては、局所区分平準化の対象区間の境界との関連から次の二通りがある。

(a) 区分内の資源の総量を保存する場合

選定された局所区分に対し、その区分内で作業が開始かつ終了する工程のみを可動工程とし、可動範囲もその区分内で作業を開始・終了できる範囲とする。この場合、局所

図7 区分2における本手法の適用結果

区分平準化前に対象区分に工程全体が含まれており、かつ固定されていない工程は、すべてこのような候補となる。このような工程の最早着手、最遅終了に関する制約条件は、対象区分に合わせて変更する必要が生ずる。

この場合、対象区分の外の山積みに影響を生ずることはないが、制約条件を対象区分に合わせて変更することが煩雑となる。

(b) 区分内の資源の総量を保存しない場合

選定された局所区分に対し、その区分内に存在する工程をすべて可動工程とし、可動範囲を本来の制約条件から決められる範囲とする。この場合、まず、局所区分平準化前に対象区分に少なくとも工程の一部が含まれており、かつ固定されていない工程は、すべてこのような候補となる。このような方式をとった場合でも、局所区分を広げた区間においては、資源の総量が保存されている。そのような区間は、局所区分平準化が終了した段階で、可動工程全体の最早着手、最遅完了の時期より決まる。

ここでは、制約条件を対象区分に合わせて変更する必要がない本方式を採用した。そのため、対象区分外に副作用を生ずる可能性があるが、＜2. 3＞（4）のステップ3で対応できる。

(3) 局所区分での資源平準化

局所区分平準化を行なう方法としては、資源山積みの目標値にしたがって局所的にピークの緩和を行なうヒューリスティックな方法を開発、採用した。

本手法は、以下の5段階よりなる。

① 選択された区分内の山積み目標値の作成

選択された区分 $[m, n]$ における山積みの目標値を以下のように定義する。

$$g(i) = 1/(2M+1) \cdot \sum_{j=i-M}^{i+M} y(j) \quad (7)$$

ただし、 M は適当な大きさの整数、 $g(i)$ は第 i 日目の山積みの目標値、 $y(i)$ は第 i 日目の山積み値を表わす。目標値 $g(i)$ は第 i 日周辺の M 日近傍の山積みの平均値である。

② 区分内の山積み値と目標値との差の算出

①で算出した山積みの目標値 $g(i)$ と山積み値との差 $\delta(i) = y(i) - g(i)$ を算出し、 $\delta(i)$ の最大値 $\max |\delta(i)|$ を減少させるべき目的関数とする。

③ 移動させる可動工程の選択

可動工程中で $\max |\delta(i)|$ に寄与している工程を絞り込み、その中から適当な優先順位により移動すべき工程の一つを選択する。区分内の資源の総量を保存しない場合、局所区分平準化前に対象区分に部分的にでも含まれており、かつ固定されていない工程は、すべてこのような候補となる。優先順位は、工程の作業期間の長い順や資源量の大きい順等、工程の配置上適当なヒューリスティクスに従って指定する。

④ 選定した可動工程の移動 選択した可動工程をその可動範囲内で、 $\max |\delta(i)|$ の減少量が最大となる位置に移動し、この工程の開始日および山積み値 $y(i)$ を更新する。

⑤ 終了判定 移動により $\max |\delta(i)|$ を減少させる可動工程を選択できなくなるまで②③④を繰り返す。選択不可となった時点で処理を終了する。

(4) 区分内の山積み目標値

局所区分平準化の方法自体がヒューリスティックな方法であるが、その中で目標値を設定するために、目標値算出のための時間幅を与えるパラメータMを用いている。このパラメータが目標値に与える

効果を、資源山積みを想定して定量的に評価した。その結果を図4に示す。図4(a)は、資源山積みであり、中央の区間を局所区分平準化の対象として山積み目標値を算出する。ここでは、変動が顕著なパターンを想定している。

パラメータの値を変えて求めた結果を図4(b)に示した。パラメータの値が小さ過ぎると、目標値が小さな凹凸を拾ってしまい、平滑な目標値が得られない。逆に、大き過ぎると、目標値が区分の平均値に近づくことになり、局所的な分布の特徴を反映した目標値が得られない。この場合、区分の期間の半分位にパラメータの値を設定すると、平滑でかつ分布の特徴を反映した目標値が得られている。

4. 試験的な適用結果

< 4. 1 > 適用例

発電プラントの建設計画を模したデータを用いて、開発した手法の適用・評価を試験的に行なった。エリア数は約100エリア、工程数は約5000、資源は作業人員とした。また、2.1節のステップ1、3の工程計画には既存の資源平準化アルゴリズム[4]のみを使用した。

開発した手法は、ステップ2に対して、既存の資源平準化アルゴリズムにより全体平準化した後の工程計画を局所区分平準化する形で適用した。使用した計算機は、計算性能120MIPSのエンジニアリングワークステーションである。

< 4. 2 > 適用結果

図5に、初期解とした最早工程計画の山積み、およびステップ2で全体平準化した後の工程計画の山積みを示す。平準化後の資源山積みに対してさらに局所区分平準化を行なうため、特に凹凸の激しい区間1[500日、620日]、区間2[621日、740日]を局所区分として選定した。

区分1、2に対し開発した局所区分平準化手法を適用した結果を図6、図7に示す。図6、図7ではそれぞれの区間での、全体平準化後の山積み、この山積みを基に算出した山積みの目標値、および局所区分平準化後の山積みを比較して示す。

ここでは、区分内の資源の総量を保存しない方式を採用しており、局所区分平準化前にこの区間に含まれていた工程は、すべて最適化の対象となるので、この区間内の資源の総量は、局所区分平準化後に変化する。

この結果を、資源山積みの凹凸の平滑化、局所ピーク値の改善の観点から見ると、次のようなことが言える。まず、凹凸の平滑化という観点からは、区間1、区間2ともに、全体として資源山積みが目標値に近づいたものとなっていることがわかる。そのため、ピークに近いところで凹凸の変動回数が減ったり、変動の傾きが緩やかになっている。

ピークに近くないところでは、逆の傾向を生ずることがあるが、全体としては分布の形状が改善できている。区間1に対しては、510日付近、525日付近で変動の傾きが緩やかになっている。また区間2に対しては、680日～700日にかけて凹凸の変動回数が減っている。

局所ピーク値の改善という観点からも顕著な効果が得られている。区間1に対しては、510日、535日付近の局所ピーク値が約30人減少した。また区間2に対しては、660日～720日付近の局所ピーク値が約40人減少した。そして大きなピークはほぼ解消されている。

計算時間は、各区分とも局所区分平準化に必要な時間は約3秒であった。

これら結果の比較より、局所区分平準化により資源山積みの分布形状を改善できることを確認できた。この結果は、最終調整的なステップ3の後にも反映されていることから、局所区分平準化の効果は、計画の品質の向上に寄与するものと期待できる。

5. むすび

プラント工程計画の資源山積みの平準化において、全体平準化と局所区分平準化を組み合わせ、資源山積みの変動幅だけでなく、凹凸の平滑化を可能とする工程計画アルゴリズムを開発した。基本となる全体平準化アルゴリズムは、資源山積みの分散を最小化するように資源平準化を0-1二次計画問題に定式化し準最適解を求め、局所ピーク値を改善するものである。全体平準化の後で局所区分について資源平準化を行ない、分散の最小化では有効とならない山積みの凹凸の平滑化とともに、さらに局所ピーク値の改善を行なう。局所区分平準化アルゴリズムとしては、区分内で資源山積みの目標値を設定し、目標値にしたがって分布形状を改善するヒューリスティックな方法を開発、採用した。

発電プラントの建設計画を模したデータを用いて、開発した手法の適用・評価を試験的に行なった。エリア数は約100エリア、工程数は約5000、資源は作業人員とした。その結果、局所区分平準化の処理を用いることにより、全体平準化により得た計画の品質を更に向上できることから、本手法の有効性を確認できた。

(平成8年4月4日受付、平成8年11月5日再受付)

文 献

- [1] 好永俊昭、他：原子力発電プラントコンストラクションCAEシステム、日立評論、Vol.72、No.10、pp.991-1002 (1990)
- [2] 野中久典、他：プラント建設工程計画支援システムの開発、火力原子力発電、Vol.43、No.1 (1992)
- [3] 今野浩、鈴木久敏：整数計画法と組合せ最適化、日科技連 (1982)
- [4] 高元政典、他：工程計画の資源山積みを平準化する0-1 2次計画アルゴリズム、電子情報通信学会論文誌D-II、Vol.J77-D-II、No.10、pp.2075-2082 (1994)
- [5] 関根智明：PERT・CPM：ORライブラリー11、日科技連 (1983)
- [6] 高元政典、他：資源山積みを平準化のための大規模工程計画作成手法、電子情報通信学会論文誌D-II、Vol.J79-D-II、No.2、pp.221-229 (1996)
- [7] 坂和正敏：線形システムの最適化、森北出版 (1989)
- [8] V.フバータル著、坂田省二郎他訳：線形計画法(上)(下)：哲学出版 (1988)

好永 俊昭 (非会員) 昭41茨城大・短・機械卒。

原子力プラント機器設計、プラント計画・建設計画、プラント統合CAD・CAEシステムの開発に従事。現在(株)日立製作所日立工場、副技師長プラントCAES研究会、日本機会学会、日本原子力学会各会員。

中嶋 明 (非会員) 昭57都立大・工・修士卒。

原子力発電プラント建設工事の見積・予算管理・現地建設支援システムの開発に従事。現在(株)日立製作所日立工場、主任技師。

小林 康弘 (正員) 昭45東大・工・原子力卒。

昭50同大大学院原子力工学専攻博士過程了。同年(株)日立製作所入社。同社エネルギー研究所を経て平7より日立研究所に勤務、現在に至る。プラント設計自動化、スケジューリング最適化の研究開発に従事。人工知能学会情報処理学会、日本原子力学会、IEEE、AAAI各会員。

高元 政典 (非会員) 昭62阪大・工・原子力卒。

平1同大大学院原子力工学専攻修士過程了。同年(株)日立製作所入社。同社エネルギー研究所を経て平7より日立研究所に勤務、現在に至る。数理計画法に従事。画法を用いた工程計画最適化手法の研電気情報通信学会、日本OR学会各会員。

三浦 淳 (非会員) 昭59早稲田大・理工・建築

卒。原子力発電プラントの建設工事計画・現地建設支援システムの開発に従事。現在(株)日立製作所日立工場、技師。