

組織モデルを用いた分散資源調整向け 非同期交渉シミュレーション手法

秋吉 政徳¹ 小野 貴久² 萩原 淳²
¹三菱電機 (株) ²東京電力 (株)

組織間の資源融通調整問題を対象に、非同期の交渉による調整案策定方式を考察する。非同期の交渉においては、調整案の競合に対して、キャンセルも非同期に発行されることから、交渉がいつの時点で収束しているのかを判断することが困難である。また、仮置量を用いた調整案作成は、組み合わせ解法に帰着すると難しい。このような対象問題の特徴を整理し、調整案作成に関してはフローグラフ計算の利用を提案する。また、調整案の選択にGAを利用し、交渉プロトコルとしてマルチステージネゴシエーションを用いた交渉シミュレーションについて述べる。

Resource transfer planning based on asynchronous negotiation with organizational models

Masanori Akiyoshi¹ Takahisa Ono² Jun Hagihara²
¹Mitsubishi Electric Corp. ²Tokyo Electric Power Co.

This paper addresses a method of simulating asynchronous negotiation on resource transfer planning among distributed organizations. Asynchronous negotiation causes asynchronous cancellation, which sometimes makes it difficult to finalize negotiation process. Moreover, use of stock yards makes the transfer planning more complex than spot transfer planning. The transfer planning is modeled as a flow network, thus, conventional flow calculation techniques can be applied. Asynchronous cancellation is embedded in the multi-stage negotiation, where a genetic algorithm is used for selecting appropriate combination of transfer plans. Finally, the simulated results are also discussed.

1. はじめに

インターネット/イントラネットの急速な進展により、地理的に分散する複数の組織間での情報交換が円滑に行なえるようになってきている。このような情報交換をベースとした組織間交渉の一つとして、分散する資源の融通調整問題を取り上げる。この際に、それぞれの組織が独立の目標を有し、交渉のための情報が不定期に発信/受信されるという状況においては、交渉における競合とその解消などの問題が、組織群の中で非同期に発生する。このような状況に対する支援システム[1]を設計するには、非同期交渉のさまざまな性質を明らかにしておく必要がある。分散人工知能においては、このような交渉問題は「交渉と均衡化」という観点から一般的に議論されている[2-4]が、対象とする問題領域との関連からみた交渉プロトコルについて、十分に整理されているとはいえない。

本報告では、対象問題である分散資源調整向けに、交渉過程での融通計画案の処理を中心に非同期交渉シミュレーション手法を議論する。第一に、分散資源の融通調整案の特徴を述べ、第二に、交渉における計画案のキャンセルの考え方を説明する。次に、これらをつまえて組織モデルを構成し、シミュレーション手法を提案する。最後に、シミュレーション結果から提案する手法の有効性や今後の課題を議論する。

2. 問題設定

地理的に分散する複数の組織間での資源融通においては、需要側と供給側が存在し、それぞれが必要計画や供給計画を立案し、交渉にのぞむという前提をおく。加えて、このような計画はスポット的な融通ではなく、例えば数カ月にまたがる需給計画を対象に、資源の仮置き場利用をも考慮した融通調整を考える。こ

のような融通調整問題の例としては、建設工事に伴う副産物の再利用があり、ある工事の掘削土を他の工事の盛土として再利用する場合には、工事としてある程度の期間が見込まれ、仮置き場の利用も実際に行われている。

2.1 分散資源の融通調整案

図1は、上述した資源融通における需要側と供給側の資源計画例とそれに対応する調整例を示すものである。

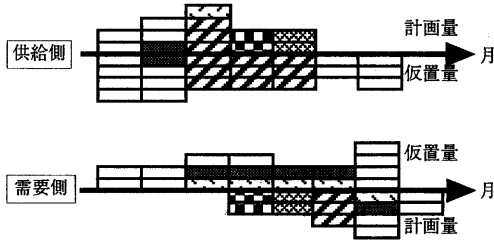


図1 資源融通調整の例

図1中にマス目の図柄にて対応関係を示したように、実際の需給量以外に仮置場も設定されているが、供給側から需要側への資源の移送として、仮置き場を利用することによりいろいろな移送計画を立案することができる。すなわち、複数の交渉先がある場合には、仮置き場を効率的に利用することで移送コストを抑制しつつ、取り引き量を最大化するような調整案を作成することも可能である。一般に、供給側は需要側の情報（資源計画）を入手することは可能であるが、他の供給側の情報（資源計画）を入手することはない。この際には、供給側からみた複数の需要先への最適調整案と、その逆が存在し、これらは調整案作成時の情報が異なることから一致しないことになる。

以上述べたように、資源の融通調整案としては、(1)移送量のみではなく、移送の手順を含む、(2)調整案として需要側と供給側では異なるものが作成される、という2点を考慮しなければならない。

2.2 交渉における競合

融通調整案としての特徴の第二点に述べたことは、交渉における競合をひき起こす。このような競合は、作成した調整案の内容そのものの変更を需要側ならびに供給側双方に余儀なくし、しかもその変更を複数の交渉先とすすめなければならないという点で、競合解

消としては非常に困難な問題である。

ところで、本問題においてはこれとは別の競合も発生する可能性がある。それは、量の制約違反に起因する競合である。公開情報の性質から、例えば図2に示すように、ある供給側が調整案を作成する際には、需要側の資源計画に関与しているのは自身のみであるということが前提となっているので、需要側では提案されてくる調整案を全て受け入れると、必要とする資源量や準備している仮置量を超過する場合がある。この場合には、供給側が作成した調整案どうしに競合が発生していることになる。

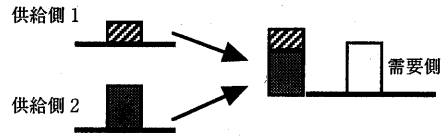


図2 需要側からみた供給側調整案の競合

以上述べたように、本問題での交渉における競合としては、(1)需要側ならびに供給側双方が作成した際の調整案内容そのものの競合、(2)需要側（あるいは供給側）どうしの調整案内容に記載の量に関する競合、という2点がある。

2.3 非同期交渉におけるキャンセル

組織どうしが非同期に交渉を進めている際には、それまでの交渉結果から合意に達していた2者間の調整案が、別の提案によりキャンセルされることが発生する。新たな提案を受け入れることにより、2.2節の第二点にて述べた競合が発生した場合には、競合解消のために、(1)合意していた調整案の内容を全てキャンセル、(2)合意していた調整案の内容に記載の量を部分的にキャンセル、ということが考えられる。キャンセルの非同期発行は、交渉の収束性を左右する重要な要因である。

3. 組織モデルとシミュレーション手法

分散資源調整として、前章にて述べた問題がもつ特徴のいくつかを考慮したシミュレーション手法を、以下に述べる。

3.1 組織モデル

2.1にて述べたように、調整案を需要側と供給側双方にて作成した場合には、情報の違いから競合が発生

し、その競合解消は難しい問題である。従って、ここでは調整案作成をどちらか一方に限定することとした。この結果、交渉としては、例えば、供給側が調整案を作成し、需要側に提案後は、需要側での量に関する競合解消を含めた調整案の選択が行われ、その選択結果が供給側に通知されるという流れがはっきりする。このような「入札-落札」という流れにおいて、本問題では、2.3にて述べたように落札されたものにキャンセルが発行され、再度調整案の作成が行われる点で、マルチステージネゴシエーション[2]と呼ばれる交渉プロトコルとなっている。

このような交渉を実行する組織として、資源計画情報管理部門、資源計画情報収集部門、資源調整案作成部門、資源調整案交渉部門といった機能的に分割された部門組織から構成されていると考える。先ほどの「入札-落札」に対応した調整案の作成や交渉に関しては、次の設定を行った。

- 公開情報に基づき調整案（仮置き場の利用計画など）を作成するのは、供給側が行なう。従って、供給側は自己にとって（コスト面などで）最適な調整案を作成することは可能であり、それらに基づき複数の需要側に調整案を提案し、その受諾可否の通知を待つ。
- 需要側では、提案された複数の調整案とすでに受諾通知を行なった調整案に対し、自己の調達計画量、仮置き場の容量の制約を満足し、かつコスト面などでできるだけ最適となるような調整案を選択し、それ以外に対してはキャンセル通知を行ない、再度の提案を待つ。

以上のような調整案の作成（供給側）、調整案の選

択（需要側）という役割分担に基づき、供給側は調整案が作成できた時点で提案/待機、需要側は調整案の選択/待機というプロセスの繰り返しを個々に非同期に実行することが可能となる。すなわち、統一的な交渉の制御は行なわないこととなり、交渉への参加/脱退も個々に自由に行なうことが可能となる。

図3は、以上の考えから構成した組織モデルとそれらの間の処理の流れを示した例である。図3中の処理にて用いられる調整案は、実施期間、実施量、仮置き期間、仮置き量を含んだデータである。部門間の連携は、図3中に記した順番に従って進められる。従って、図3中の(5)にては供給側は需要側からの通知を待機するために供給側としての一連の処理を中断するが、それ以外にては供給側、需要側ともに個々に処理を進めている。

3.2 調整案作成機能

2.1にて述べたように、調整案とは移送量のみではなく、移送の手順も含む必要がある。資源の流れとしては、図4に示すような4つのパターンがあり、これらのパターンを考慮した調整案を作成するのに、「時間-空間ネットワーク」を利用する。

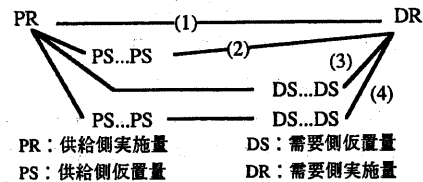


図4 資源の移送パターン

供給側からの資源の流れの最小パターンとしては、期間の最小単位ごとに、図5に示すように考える。

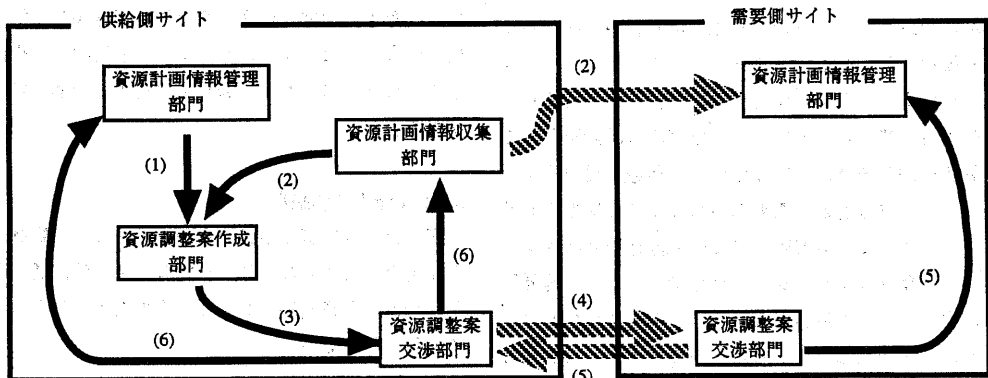


図3 分散資源調整の組織モデル

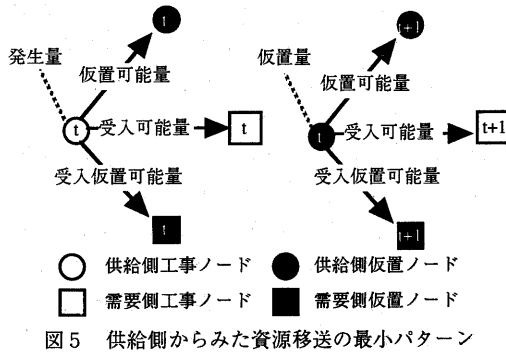


図5 供給側からみた資源移送の最小パターン

図5中のノード内の t 、 $t+1$ は、最小単位期間（時刻）を示している。供給側と需要側の仮置き場を含めた融通調整期間の重なりから、このような最小単位期間ごとの資源移送の最小パターンをつなげると、資源移送ネットワークが作成される。このような変換を実行すると、フローグラフとしての計算手法により最適な調整案を求めることができる。供給側としては、取り引き量を最大化しつつ、移送コストを最小化したいことから、それぞれ最大フロー、最小費用流の計算[5]に帰着される。

最大フローならびに最小費用流の計算が利用できるためには、ネットワークの形状として、

- ソースとシンクはそれぞれひとつ、
- ループは存在しない

という制約がある。ループについては、融通しようとしている資源が自場所に戻ってくることはないことからありえない。ソースとシンクについては、供給側ならびに需要側の融通期間が1最小単位期間でない限り、ひとつになりえない。しかし、このことは「ダミーノードの付与」という操作によって、容易に解消することができる。変換に際して注意すべき点は、仮置き場に対応するノードの接続先であり、調整期間内にて機械的に図5の最小パターンをつないでいくと、次のような場合に不都合が発生する。供給側が需要側に融通する最終時点において、供給側の資源計画として仮置き場が設定されている場合に、融通期間の重なりからこの仮置き場から需要側への資源の移送の可能性はない。従って、最終時点のこの仮置き場の利用は、禁じられなければならない。グラフとしても、需要側を示すノードへの接続がなくなり、シンクがひとつという制約を満足しなくなる。この点を考慮した変換とともに、次の容量制約に対応した「ダミーノードの付

与」によりネットワークを拡張する。

需要側には需要量や仮置き量が設定されていることから、ある時刻の需要側のノードに供給側から複数の流れ込みがある場合には、総量としての流れ込みに制約が課せられる。フローグラフとしては、アークに容量制約を課すことは可能であるが、このような総量の制約を組み入れるためには、図6に示すような中間ノードを必要とする。

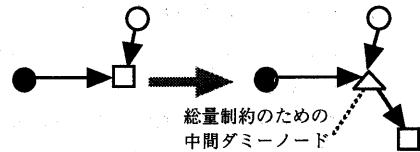


図6 総量制約に対応するダミーノード

図7は、図1に示した情報に基づいてネットワークに変換した例であり、最大フロー計算の結果を示している。

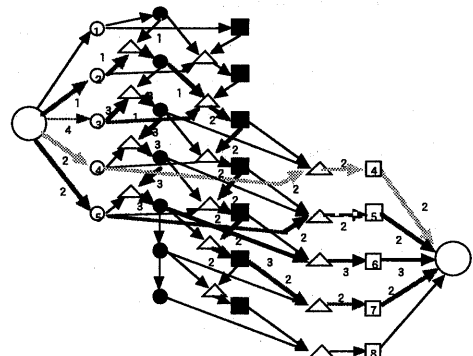


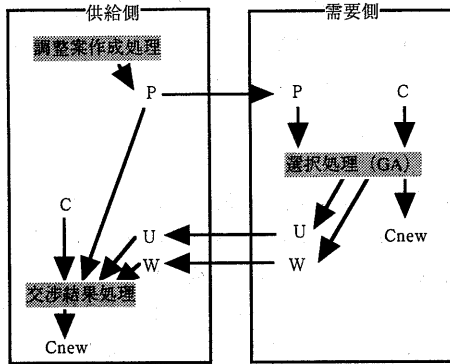
図7 フロー計算による調整案作成例

3.3 調整案交渉機能

調整案の交渉については、3.1にて述べたように供給側は調整案の提案/待機、需要側は調整案の選択/待機というプロセスにて進行する。交渉開始から交渉終了までの一連の流れを、調整案の処理と関連づけて説明する。

3.3.1 交渉中の調整案

図8は、供給側から調整案が提案され、需要側にて受諾可否の処理がなされ、供給側がその受諾通知をもとに合意した調整案をもとに、次の交渉に備えるまでの流れを示している。



P : Planned plan U : Canceled plan W : Withdrawn plan
C : Contracted plan Cnew : New Contracted plan

図8 交渉中の調整案に対する処理

図8中にも示しているが、調整案はそれぞれの交渉処理の中で意味付けが変化している。それぞれの詳細な意味は、以下の通りである。

◆交渉中の調整案 (planned)

供給側が策定した調整案であり、交渉の開始時に供給側から需要側に提案される分である。従って、供給側は提案後に需要側からの受諾可否の通知を待つこととなる。

◆キャンセルされた交渉中の調整案 (canceled)

需要側により、現交渉時点で供給側から提案されている調整案 (planned) の中で、受諾しないと決定された分である。従って、需要側から交渉中の供給側に通知される。

◆キャンセルされた仮契約の調整案 (withdrawn)

需要側により、現交渉時点で供給側と仮契約している計画 (contracted) の中で、キャンセルすると決定された分である。従って、需要側から供給側に通知されるが、交渉中でない供給側にもこのキャンセルは通知される。

◆仮契約の調整案 (contracted)

需要側においては、現交渉前での仮契約分から現交渉時点でのキャンセル分を除き、さらに現交渉時点での提案分の中で受諾する分を加えたものである。供給側においても、現交渉前での仮契約分から現交渉時点でキャンセルされたものを除き、また提案分から受諾された分を加えたものである。

以上のように交渉中の調整案を意味付けることにより、仮契約となった調整案の内容が需要側と供給側に

て保持され、非同期のキャンセル発行処理も可能となる。ただし、キャンセルとしては、2.3にて指摘した二つの中で「調整案の内容を全てキャンセル」という方式を用いることとする。

3.3.2 調整案の選択

需要側においては、図2に示したような資源量の制約違反を含めて、自己にとって最適な調整案を選択する必要がある。選択方法として、調整案の組み合わせが多目的な評価指標 (量の制約違反無かつ取り引き量最大かつ調達コスト最小など) から選択されることと、拡張が容易であることからGA (Genetic Algorithm) を利用する。この際に、資源量の制約量に対する調整案の資源量の割り合いから図9に示すようにGAのFitnessを設定すると、制約逸脱を認めないことになる。

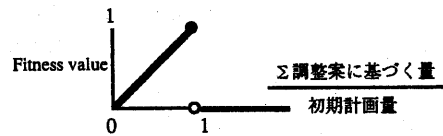


図9 制約への評価関数の例

4. シミュレーション結果

シミュレーション・プログラムは、Javaのマルチスレッドを利用して非同期性を組み込んだ。対象としては、建設工事に伴う副産物の再利用をシミュレーションした。なお、調整案の評価としては、「制約逸脱なし」かつ「調達コスト最小」かつ「再利用率最大」という観点から、それぞれを均等に重みづけして加えた。GAの収束判定として、次の条件により行った。

第一条件として、

● (第一条件) 最大フィットネスと平均フィットネスの N_i 世代前までの履歴をみて、世代毎の変化として、

- (a) 最大フィットネスの変化量 < 収束閾値₁
- (b) 平均フィットネスの変化量 < 収束閾値₂

が全て満足されるということを設定している。この第一条件の下に、さらに第二条件として、

● (第二条件) 1回前のFitnessを超える (よりいい組み合わせを選択) もしくは1回前のFitnessを超えられない状態ながらもGAの計算としては収束しているとみなせる状態が N_i 世代続いているという設定を用いている。

図10は、シミュレーションの途中を示したもので

あり、需要側においては複数の提案を選択するGAの処理を実行しようとするところである。

表1が示すのは、交渉にともなう変化する評価関数の値の変化であり、交渉経過の一面を窺い知ることができる。

これらの交渉は非同期であるために、特に図3に示す需要側にては選択/待機のサイクルの中で提案がこ

ない場合も、何も発生しなかった交渉としてカウントしている。従って、表1中のIN-5の5回目とOUT-2の2回目が、実際の交渉という場合もある。この交渉過程を詳細に調べてみると、OUT-6とOUT-2からIN-3への提案がなされた際に、移送費が安いOUT-2の提案内容を受諾するために、OUT-6と仮契約していた調整案をキャンセルする交渉の局面があった。評価関数として、コスト以外の項目も評価しているために、一律にこのようなキャンセルが発行されるとはいえないが、本シミュレーション手法によるマルチステージネゴシエーションとしての有効性を確認できた。

シミュレーションとしては、このような非同期交渉

の途中経過を理解しやすい形で提示する手段が必要であり、そのような機能は支援システムにおいても重要なものになると考える。

5. おわりに

組織間の資源融通調整問題を対象に、非同期の交渉による調整案策定方式を提案した。数理的定式化とAI的手法を組み入れ、組織間の複数回にわたる交渉をシミュレーションした。非同期性もたらず交渉経過の分かりにくさを提示する手段の検討と併せて、シミュレーション手法そのものの洗練化を図る予定である。

参考文献

- [1] 小野, 萩原, 秋吉: リサイクル調整支援へのマルチエージェント技術の適用, 情報処理学会グループウェア研究会(1998 1/29 発表予定)
- [2] 桑原, 石田: 分散人工知能(2) 交渉と均衡化, 人工知能学会誌, Vol.8, No.1, pp.17-25(1993)
- [3] 大沢: マルチエージェント環境における交渉のモデル, 人工知能学会誌, Vol.10, No.5, pp.690-696(1995)
- [4] Rosenschein, J. S.: Consenting agents: Negotiation mechanisms for multi-agent systems, IJCAI-93, pp.792-799(1993)
- [5] 伊理, 古林: ネットワーク理論, 日科技連, 東京(1976)

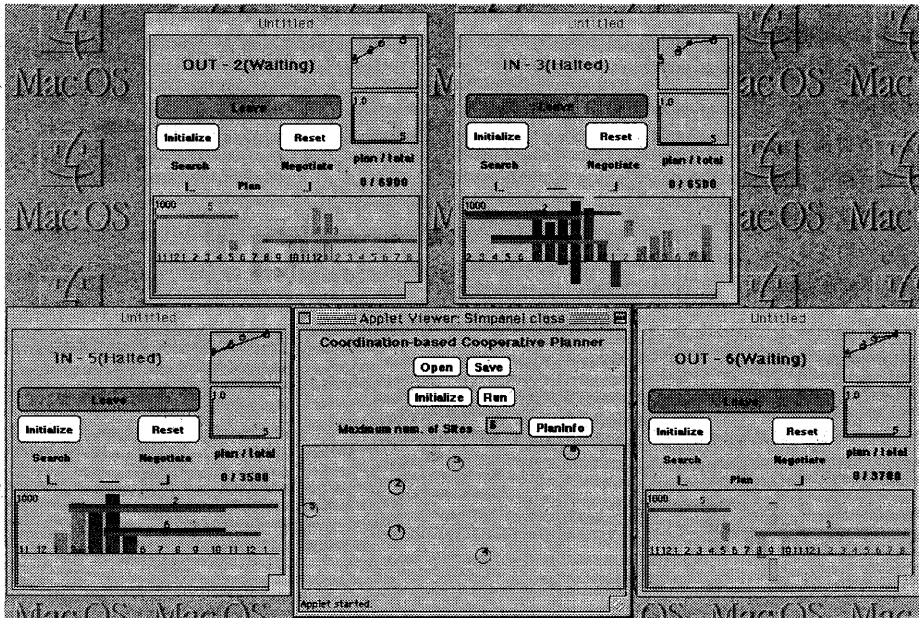


図10 分散資源調整のシミュレーション画面例