

論文

2重化ニューラルネットを用いたスケジューリングシステムの開発

Development of Scheduling System using Dual Neural Networks

伊藤照明

徳島大学工学部機械工学科

製品の多様化とリードタイムの短縮要求に伴って、プロジェクトスケジューリングの重要性がますます高まっている。我々は、こうしたプロジェクトスケジューリングの支援を目的として2重化ニューラルネットによるアプローチを試みた。まず、1次ニューラルネットでは、各工程の重みを計算する。2次ニューラルネットでは、納期と経費に関して与えられた条件を満足するスケジューリングの最適化を行いその推奨値を計算する。そして、推奨値を参考にして対象工程の内容変更を行いプロジェクトスケジューリングを完成する。本稿では、我々の用いた手法について述べるとともに、その手法を用いて開発したニューラル・スケジューリングシステムとその応用としてエクステリア製品開発プロジェクトへの適用事例について述べる。

1. はじめに

市場ニーズの多様化・高度化により、変種変量生産・仕様変更など、市場環境の激変がおきている。こうした厳しい企業環境の中で市場ニーズに迅速に対応し競走力の強い製品を提供し続けるには、製品開発の効率的な運用のための管理技術が重要な要素と考えられる。さらに、管理者が行う管理計画立案においては、管理者自身の経験や勘に頼るのではなく、論理的なアプローチが鍵を握ると考えられており、PERT等に代表されるいくつかの手法が提案されている。しかし、そうした問題は非定形的、突発的な要素を含み、線形な式で表現することが困難であること、また、時間、コスト、製品の質等の異なる評価基準に基づいた総合的評価が求められていること、さらに、市場から要求される急激な変化への対応を迫られていること等の理由から従来の手法では要求に十分に答えることができないのが現状である。

本研究では、プロジェクト型のスケジューリングを対象とし、ニューラルネットの最適化手法により管理計画調整を行うシステムを

開発した。その特徴としては、各工程の重みを計算する1次ニューラルネットとその重みに基づいて各工程の最適な内容変更をアドバイスする2次ニューラルネットの2重化したニューラルネットで構成されるスケジューリングエンジンを中心とするシステムである。このエンジンにより提案される変更内容を参考として、各行程の内容変更を対話的に行い、与えられた条件を満足するスケジューリングを行うシステムである。

本論文では、ニューラルネットを用いたスケジューリングエンジンの仕組みについて述べ、今回適応対象としたエクステリア製品開発への適用例について紹介し、本システムの有効性について検証する。

2. 日程計画・日程管理

製品開発等のプロジェクトにおいて、設定から開発までの工程を滞りなく進行させるためには、各工程を時間の進行に沿ってきめ細かく計画(日程計画)し、その計画通りの進行のための管理(日程管理)が必要となる。こうした日程計画・管理を行うための手法とし

て、PERT(Program Evaluation and Review Technique) が代表的な手法として利用されている。

日程計画の手順としてはプランニング(Planning)とスケジューリング(Scheduling)の2つの段階の分けられる。前者はプロジェクトを定性的に解析する段階であり、後者はプロジェクト内の各作業に対して、見積りのデータ(所要の時間、費用など)を与え、日程計画上の諸元を計算し、実際の日程計画を作り上げる段階である。

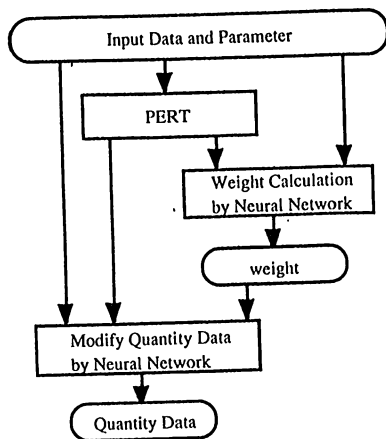


図1 二重化ニューラルネットの構成

こうして作られた日程計画は、外部要因から要求される工期等の制限を考慮し、適切な日程計画に改善される。そして、この改善された計画に基づいてプロジェクトが実行され、計画からのずれが常にチェックされる。このずれをできるだけ小さく保つように管理面で行われる努力を、フォロー・アップ(Follow up)といい、初期段階の見積もりである各種データは、プロジェクトの進行とともにより正確な値が与えられ、またプロジェクト実行中の予期できなかった遅れを取り戻すために、作業の手順・所要時間に変更が加えられる。本研究では、こうした日程計画・日程管理のモデル化を行い、納期短縮と経費削減要求として与えられる条件を満足するスケジューリングをニューラルネットにより行う手法を開発しそのシステム開発を行った。

3. ニューラル・スケジューリング手法の提案

3.1 ニューラル・スケジューリング手法の考え方

人間の脳の神経回路網をモデルとしたニューラルネット(Neural network)が人工知能的なアプローチの一つとして、工学の各分野で応用されており、各種最適化問題の解法としても注目されている。本研究では、プロジェクト型スケジューリングの最適化に、ニューラルネットのアルゴリズムの1つであるボルツマンマシン(Boltzmann machine)を適用し、最適なスケジューリングのために、ニューラルネットの二重化を試みた。そして、その二重化ニューラルネットをPERTと組み合わせ、統合的にスケジューリングを行う手法を開発した。図1にその処理の概略を示す。

本手法では、プロジェクト完成納期および総経費の条件を同時に満足するスケジューリングを目標としている。スケジューリング手順としては、まず作業順序および各作業の所要時間等を設定する各種入力データおよびパラメータを用いることで、PERTの計算により暫定的なスケジュールを立案する。このスケジュールは納期等の制約が考慮されないという意味で暫定的である。もし、納期等の条件が設定されると、その納期を満たすために再スケジュールが必要となる。この場合、PERTの入力値である各作業の所要時間が固定という前提を崩す場合、各行程において何らかの処理を施す(例えば、作業人員の増員等)ことで解決が可能と考えられる。

そこで本手法では、日数短縮の対象となる工程の選別とその対象工程の内容変更の検討、そして経費節減に寄与できる工程の選別とその対象工程の内容変更の検討を相互に考慮しつつ最適なスケジューリングを行う。但しシステム構築においては、計算結果はシステムの推奨値として提示し、設計者がこの値を参考として内容変更を加えることでスケジューリングを行う仕様とし、最終判断は設計者に委ねることとした。

表 7: 第 1 ニューラルネットにおけるパラメータ

| | |
|---|--|
| ① | 【仕事量】 = 【作業日数】 × 【人員/設備の数】 【稼働率】 = 【仕事量】 / (【作業日数】 - 【短縮日数】) 【稼働率増加量】 = 【稼働率】 - 1 |
| ② | 全ての作業行程のうち、1日あたりのコストが最も高い値を1としたときの比 $f(x) = 0.1$ |
| ③ | 最大を1とした各人員/設備の追加の難易度を決め、それらを各作業毎に計算(例えば追加できない行程は1) $f(x) = 0.1$ |
| ④ | 【短縮エネルギー】 = { (【作業日数】 - 【短縮日数】) / 【作業日数】 } $y = 0.5, 0.7, 1.0, 1.4, 1.7, 2.0$ (作業分類による) |
| ⑤ | 【時期】 = 【各完了日】 / 【最終完了日】 |
| ⑥ | 【余裕度】 = 1 / 【余裕時間】 (【余裕時間】 = 0 のとき【余裕度】 = 1) |

3.2 第一ニューラルネット(重み計算)

第一ニューラルネットは各工程の重みを計算する処理である。各ユニットの状態は、0～1までの実数で表される。それは1に近いほど各作業の状態は変化させにくく、0に近いほど柔軟性があることを意味する。各工程を表現するデータとして、①各作業に対する時間および作業順序、②人員設備の初期配置および単価、③人員設備の追加の可否、④作業工程の分類の4つを設定した。④作業工程の分類に関しては、作業行程の特徴付けによる4種類の分類法を採用した。すなわち、GI(仕様または評価等の比較的柔軟性のある行程)、GII(作図・加工・テスト等の作業的要素の強い行程)、GIII(外注行程)、GIV(内容変更の困難な行程)であり、GIおよびGIIはさらに小分類で構成される。こうした設定においては、実際のプロジェクトを対象とし、現場責任者の協力による詳細な解析によりデータ作成を行っており、各行程の特徴表現としては十分であると考えている。

さらに、これらのデータに基づいて今回各工程の重みをニューラルネットで算出する場合のパラメータとして、①稼働率増加量、②コスト、③追加の難易度、④作業分類上の短縮エネルギー、⑤作業の時期、⑥作業の余裕度の6種類を導入した。表1にその内容を示す。各行程の重み計算においては、時間、コスト、製品の質等の異なる評価基準に基づいた総

合的評価が求められるが、本研究で採用したデータ表現およびパラメータにより、総合的な観点による判断を行っている。次に、これらのパラメータを用いて行う重み計算について述べる。

$$E = C_m \sum_m \sum_{ij} (P_{ij} - W_{ij}) \quad (1)$$

ニューラルネットのエネルギーE(式(1))は、上記で述べた各種パラメータとの比較値とした。それぞれCは各種パラメータに対する定数係数、Pは各種パラメータ値、Wは各作業の重みを示す。ニューラルネットでは、このエネルギーEを減少させるように動作する。その方法として、ある時点の状態状態で任意のユニットの状態からを0.1加算したときと、0.1引いたときのエネルギーの差を計算する。

$$\Delta E = E|_{w_{ij}-0.1} - E|_{w_{ij}+0.1} \quad (2)$$

$$W_{ij} = \begin{cases} W_{ij} + 0.1 \times |0.5 - p| \times 2.0 & : \Delta E > 0 \\ W_{ij} - 0.1 \times |0.5 - p| \times 2.0 & : \Delta E < 0 \end{cases} \quad (3)$$

この式(2)から、 ΔE の正負によりどちらがエネルギーを減少させる状態であるかがわかる(負であれば-、正であれば+)。そして式(3)より状態を変化させる。

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-\Delta E/T)} \quad (4)$$

表2 追加効力係数

| 作業分類 | 管理者 | 技術者 | 労働者 | 外注 | 設備 A | 設備 B | 設備 C |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| G I-(a):全体的 | 0.9 | 0.8 | 0.6 | 0.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| G I-(b)-1:部分的 (技術系) | 0.9 | 1.0 | 0.7 | 0.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| G I-(b)-2:その他 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| G II-(a): 技術力の必要性 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| G II-(b):その他 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| G III:外注 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| G IV:操作不可能 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

G I: 仕様または評価 (弾力性がある), G II: 作図・加工・テスト (作業的要素が強い)

ここで式 (4) はボルツマンマシンのシュミレーテッドアニーリングのクーリングスケジューリングに使われる応答関数であるが、今回状態変化の関数にも利用している。このような条件式から最終的に式 (3) は、 $\Delta E=0$ に向かい、求める解も収束する。(式 (5))

$$W_{ij} = W_{ji} : \Delta E = 0 \quad (5)$$

表3 第2ニューラルネットにおけるパラメータ

| | |
|---|---|
| ① | 作業日数 = 仕事量 / 追加効力係数 × (人員/設備の数) |
| ② | コスト上昇率 = (コスト更新値 - コスト初期設定値) / コスト初期設定値 |

3.3 第二ニューラルネット (最適配置)

第二ニューラルネットは、各工程の最適な変更内容を計算する処理である。重みの計算により選ばれた工程に対して、どのような変更内容 (ここではコスト上昇率と対比し、効率のよい人員設備の加減) を与えればよいかについて、その推奨値を出力する。ここでは、人員設備配置のマトリックスをそのままニューラル表現とした。

まず、この最適配置を考える際の各種パラメータとして、①作業日数、②コスト上昇率、③追加効力係数について考えた (表2, 表3)。

第一ニューラルネットでは重みの範囲を0~1としたが、ここでは扱っている対象が人と設備であることから整数値とした。また、エネルギーEを減少させるように働かせることは第一ニューラルネットとほぼ同じである

が、第二ニューラルネットでは、ある時点の状態で任意のユニットの状態からの1加算と1減算のエネルギーの差を計算している。このようにして、あらかじめ入力された人数、設備の数に増減を試み、最適な人員設備の加減を行う計算する。またそのときニューラルネットによって求められた値は、最適配置としての推奨値を示すものとし、この推奨値を参考にしてシステム利用者が各工程の内容変更を行うことで、スケジューリングを行う仕組となる。

4. システムの構成

本システムはC言語を用いて、Sun SPARC Station (Solaris 2.3) 上に構築した。システム構成を図2に示す。本システムは3つのモジュールと、そのモジュール間の制御するメインメニューで構成される。以下に3つのモジュールの概要を述べる。

4.1 セットアップモジュール

システムで取り扱うスケジューリングのフローダイアグラムを入力するモジュールであり、初期状態からダイアグラムの構築、あるいは既存のダイアグラムに関するデータの変更・訂正を行う。ダイアグラムが完成すると、以後のシミュレーションの基礎となる各種パラメータを作成し、同時にニューラルネットによる重みの計算を行い、その計算結果を意思決定支援情報の一つとして提供するモジュールである。

4.2 実行モジュール

実行モジュールは、セットアップモジュールで作成された各種パラメータによりスケジ

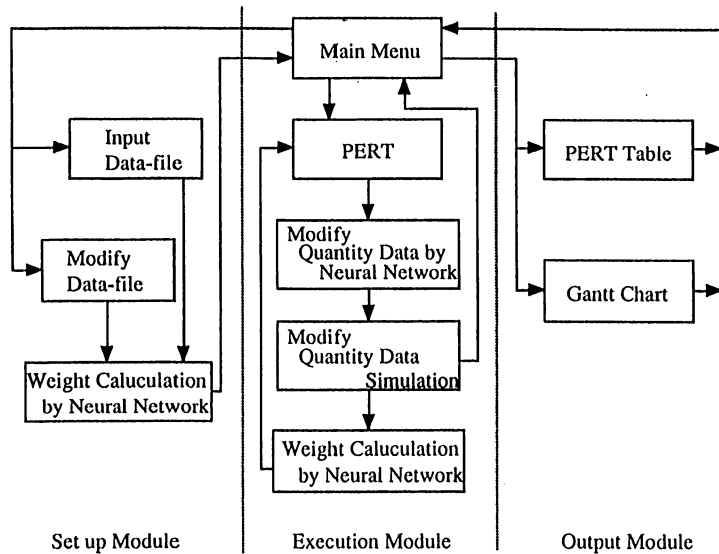


図2 ニューラル・スケジューリングシステムの構成

ューリングを行う。スケジューリングのアルゴリズムにはPERTを使用し、そのスケジュールの評価もPERTの計算表により行う。計算されたスケジュールが採用できない場合は、ニューラルネットによる各人員設備の追加削減に関する計算結果を提示し、その結果に基づいた調整をユーザー自身が行う仕組とした。それでも満足な解が得られない場合には、各人員設備調整後の各作業工程に対する重みを再度計算し、スケジューリングシミュレーションを再実行する。このような手順で、満足な結果が得られるまで調整を実行する。

4.3 出力モジュール

出力モジュールは、実行モジュールで得られたスケジュールをPERTの計算表(または図)として出力する。また、スケジューリング手法としてなじみの深いガントチャートの出力も行える仕様とした。

4.4 スケジューリングの流れ

本システムによるスケジューリングの開始から終了までの流れを図3に示す。ここで終了判定とは、その都度できているスケジュールが、ユーザーの満足いくものであるときを終了とする。

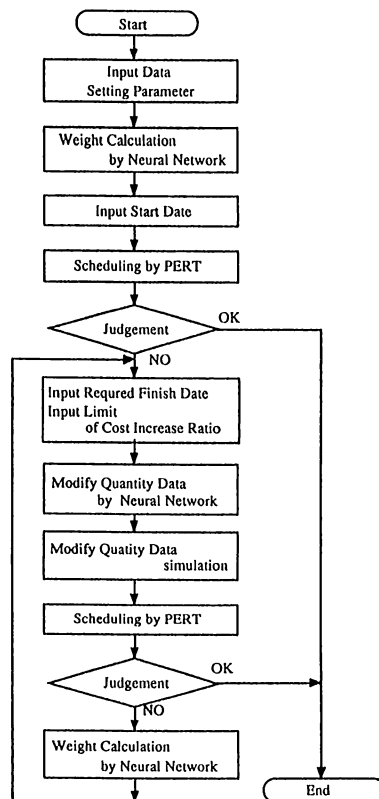


図3 処理の流れ

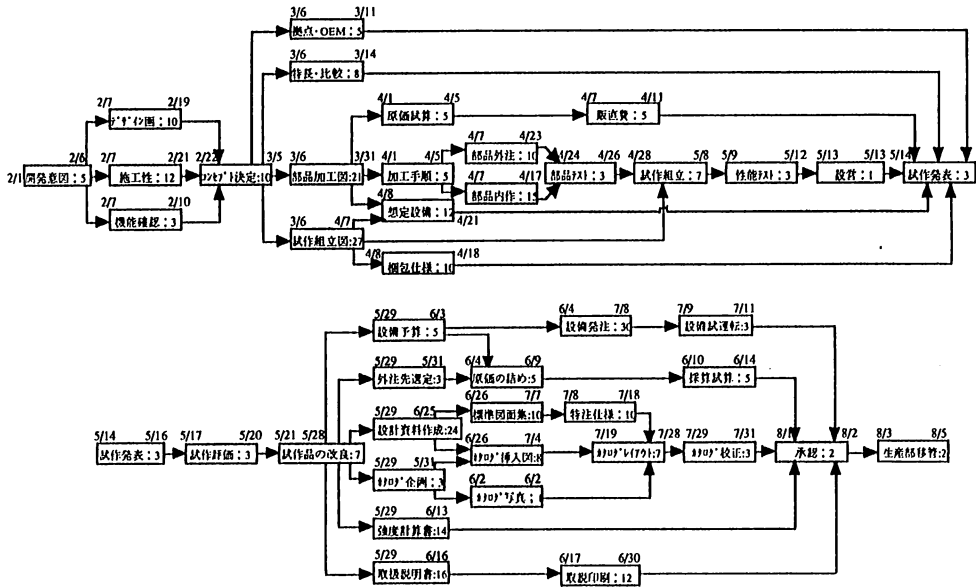


図4 エクステリア製品開発のフロー・ダイアグラム

5. ニューラル・スケジューリングシステムの適用と評価

5.1 システムの適用例

本システムを用いたスケジューリングの例として、エクステリア製品開発を対象とするシミュレーションを行った。

エクステリア製品では、デザイン性重視の観点から、短期間で次々と新しいモデルを開発することが求められている。また、従来の開発期間短縮によりそれだけ市場ニーズに応えることが可能となり、その結果、より効率的な生産活動に結び付くと考えられている。図4にエクステリア製品開発のフロー・ダイアグラム例を示す。

この例では、2月1日にプロジェクトを開始し、8月5日にプロジェクトを完了し、生産管理部に移管という153日間の計画となっている。このダイアグラムに対して、納期短縮3日かつ経費上昇率3%以内の条件を与え、本システムによりスケジューリングを実施した。図5は、システムの推奨値を参考として行った対象工程の内容変更例である。①、②の処理により工期短縮となるが4日短縮と

なっていることから、3日短縮かつ経費上昇率抑制を目指して③、④の処理を試みた。

これらの結果は3日短縮かつ経費増加率3%以内の条件を満たしているが、総合的に判断して①、②の処理によるスケジューリングを採択した。その結果、表4に示すPERTの計算結果となり、それをフローダイアグラムとして表示すると図6に示すスケジューリングを得ることができた。図6において、網かけの工程が今回のスケジューリングにより変更されたことを示している。また、全体のスケジュールは休業日を除いて納期が3日短縮され、かつコスト上昇率は2.336%となり、上限の3%を満たしていることがわかる。

5.2 システムの評価と今後の課題

本研究では実際のプロジェクトを対象とし、現場責任者の協力による詳細な解析によりデータおよびパラメータ作成を行っている。本システムによるスケジューリングでは評価の高い結果を得ることができたが、そうした客観性、信頼性の高いデータを使用できた理由によるところも大きいと考えられる。表5は、短縮日数と経費上昇限度の数種類の値に対してスケジューリングを行った結果である。

| | | |
|--|---|---|
| Process modification ① (Build_ability) manager (0)(0) → 0 engineer (1)(2) → 2 labor (1)(2) → 2 subcontractor(0)(0) → 0 equipment_A (1)(1) → 1 equipment_B (0)(0) → 0 equipment_C (0)(0) → 0 <hr/> Original finish date → 8/ 5 Required finish date → 8/ 1 Scheduled finish date → 8/ 2 Changed days → -2 <hr/> Cost increase ratio → 0.804(%) | ⇒ | Process modification ② (Order_plan) manager (1)(1) → 1 engineer (1)(1) → 1 labor (0)(1) → 1 subcontractor(0)(0) → 0 equipment_A (0)(0) → 0 equipment_B (1)(4) → 4 equipment_C (0)(0) → 0 <hr/> Original finish date → 8/ 5 Required finish date → 8/ 1 Scheduled finish date → 7/31 Changed days → -2 <hr/> Cost increase ratio → 1.443(%) |
|--|---|---|

図5 工程内容変更の実施例

これらはいずれも条件を満足するスケジューリングを実現することができている。しかし、実際のプロジェクト・スケジューリングでは、本研究で行った詳細な解析は困難であり、データ作成の簡略化が重要な課題と考えている。

表5の結果の考察から、条件は満たすもののいきすぎた処理を行った結果も得られている。これは、一人追加あるいは設備の1台追加により短縮される日数が1日となる場合が発生するためと考えられる。また、最適条件や拘束条件に対しての解析が不十分な点も影響していると思われる。

表5 異なる条件でのスケジューリング
計算結果

| 入力値 | | 出力値 | |
|---------------|---------------|----------|------------|
| 要求される 短縮日数 | コスト上昇 率の上限 | 短縮 日数 | コスト 上昇率 |
| 1日 | 3% | 2日 | 1.098% |
| 2日 | 3% | 7日 | 2.745% |
| 3日 | 3% | 3日 | 2.336% |
| 4日 | 3% | 5日 | 1.928% |
| 5日 | 3% | 6日 | 2.438% |

本システムの開発においては利用者との対話性を重視した。つまり、本システムによるスケジューリングは途中経過を隠蔽化し、入力に対して単に結果が表示されるという仕組みではない。システムは推奨値提案により利用

者の判断を支援し、対話的処理を通じてスケジューリング調整は利用者が主体的に行うことを念頭に置いている。システム使用例で示したように、この機能は本システムで実現することができた。

ニューラルネットは最適化手法の一つとして様々な研究によりその有効性が報告されているが、その適用方法によっては十分な成果を得られない場合がある。今回の例では、1次ニューラルネットの重み計算は問題なく収束したが、2次ニューラルネットの人員設備配置では多数存在する極小解に陥りやすい傾向が見られた。こうした点を改善するためには、新たな条件式の追加等の検討も今後の課題である。

本研究では、納期短縮と経費削減要求という観点からのスケジューリングを中心に検討したが、実際には品質管理等のさまざまな観点からの検討も求められている。そうしたより複雑な条件を考慮することも今後の課題として考えている。その他の今後の課題としては、今回対象としたエクステリア製品開発以外の製品開発分野への適応検討、各工程の表現方法の拡充、処理の高速化、インターフェースの充実等について取り組んでいきたいと考えている。

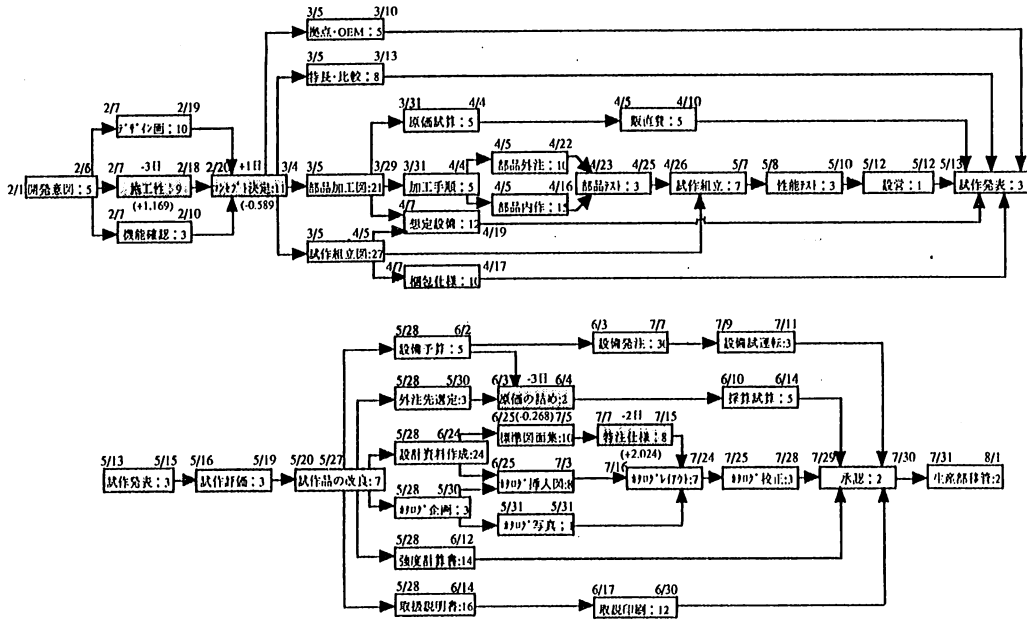


図6 エクステリア商品開発のスケジューリング例

6. まとめ

本稿では、プロジェクト・スケジューリング問題を対象とし、納期短縮と経費削減要求を満たすためのスケジューリング調整を2重化ニューラルネットにより示唆する方法を提案し、本手法に基づいて開発したスケジューリング調整システムについて述べた。また、エクステリア製品開発のプロジェクトを対象として、本システムによるスケジューリングを行いシステムの有効性について検証した。

[4] 大久保雅史, 山地泰久, 井上勝敬, 福田収一. 形状モデル CBR を用いたプロジェクト・スケジューリング解法. 日本機械学会論文集 C 編. Vol.60, No.579, pp.97-102(1994).

[5] 福田収一, 志村論. スケジューリングの山くずし法のニューラルネットによる定式化, 日本機械学会論文集 C 編. Vol.60, No.579, pp.92-96(1994).

(1997年3月25日受付)

(1998年5月6日採録)

参考文献

- [1] 関根智明. PERT・CPM. 日科技連. 1965年.
- [2] 柳沢滋. PERTのはなし. 日科技連. 1985年.
- [3] 馬場則夫, 小島史男, 小澤誠一. ニューラルネットの基礎と応用. 共立出版. 1994年.

著者紹介

伊藤照明 (正会員)
工学博士
徳島大学工学部機械工学科
Email: ito@me.tokushima-u.ac.jp

表 4 PERT 計算例

| Work name | (i, j) | days | ES | EF | LS | LF | TF | FF | IF | IdF | CP | VD |
|-----------|-----------|------|------|------|------|------|----|----|----|-----|----|----|
| 開発意図 | (0, 5) | 5 | 2/ 1 | 2/ 6 | 2/ 1 | 2/ 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| デザイン画 | (5, 10) | 10 | 2/ 7 | 2/19 | 2/ 7 | 2/19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 機能確認 | (5, 15) | 3 | 2/ 7 | 2/10 | 2/17 | 2/19 | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| 施工性 | (5, 20) | 9 | 2/ 7 | 2/18 | 2/ 8 | 2/19 | 1 | 1 | 0 | 1 | -3 | 0 |
| ----- | (10, 20) | 0 | 2/20 | 2/19 | 2/20 | 2/19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (15, 20) | 0 | 2/12 | 2/10 | 2/20 | 2/19 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| コンセプト | (20, 25) | 11 | 2/20 | 3/ 4 | 2/20 | 3/ 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 拠点・OEM | (25, 30) | 5 | 3/ 5 | 3/10 | 5/ 7 | 5/12 | 50 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| 特長・比較 | (25, 35) | 8 | 3/ 5 | 3/13 | 5/ 1 | 5/12 | 47 | 0 | 47 | 0 | 0 | 0 |
| 部品加工図 | (25, 40) | 21 | 3/ 5 | 3/29 | 3/ 5 | 3/29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 試作組立図 | (25, 45) | 27 | 3/ 5 | 4/ 5 | 3/25 | 4/24 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (30, 90) | 0 | 3/11 | 3/10 | 5/13 | 5/12 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (35, 90) | 0 | 3/14 | 3/13 | 5/13 | 5/12 | 47 | 47 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 原価試算 | (40, 50) | 5 | 3/31 | 4/ 4 | 4/28 | 5/ 6 | 24 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| 加工手順 | (40, 55) | 5 | 3/31 | 4/ 4 | 3/31 | 4/ 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (40, 60) | 0 | 3/31 | 3/29 | 4/25 | 4/24 | 22 | 6 | 16 | 6 | 0 | 0 |
| ----- | (45, 60) | 0 | 4/ 7 | 4/ 5 | 4/25 | 4/24 | 16 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (45, 75) | 0 | 4/ 7 | 4/ 5 | 4/26 | 4/25 | 17 | 17 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 梱包仕様 | (45, 90) | 10 | 4/ 7 | 4/17 | 4/28 | 5/12 | 18 | 18 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 販直費 | (50, 90) | 5 | 4/ 5 | 4/10 | 5/ 7 | 5/12 | 24 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 部品内作 | (55, 65) | 10 | 4/ 5 | 4/16 | 4/11 | 4/22 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 部品外注 | (55, 70) | 15 | 4/ 5 | 4/22 | 4/ 5 | 4/22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 想定設備 | (60, 90) | 12 | 4/ 7 | 4/19 | 4/25 | 5/12 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (65, 70) | 0 | 4/17 | 4/16 | 4/23 | 4/22 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 部品テスト | (70, 75) | 3 | 4/23 | 4/25 | 4/23 | 4/25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 試作組立 | (75, 80) | 7 | 4/26 | 5/ 7 | 4/26 | 5/ 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 性能テスト | (80, 85) | 3 | 5/ 8 | 5/10 | 5/ 8 | 5/10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 設営 | (85, 90) | 1 | 5/12 | 5/12 | 5/12 | 5/12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 試作発表 | (90, 95) | 3 | 5/13 | 5/15 | 5/13 | 5/15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 試作評価 | (95,100) | 3 | 5/16 | 5/19 | 5/16 | 5/19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 試作改良 | (100,105) | 7 | 5/20 | 5/27 | 5/20 | 5/27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 設備予算 | (105,110) | 5 | 5/28 | 6/ 2 | 6/13 | 6/18 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 外注先選定 | (105,115) | 3 | 5/28 | 5/30 | 7/16 | 7/18 | 42 | 2 | 40 | 2 | 0 | 0 |
| 設計資料作成 | (105,120) | 24 | 5/28 | 6/24 | 5/28 | 6/24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| カタログ企画 | (105,125) | 3 | 5/28 | 5/30 | 7/ 3 | 7/ 5 | 31 | 0 | 31 | 0 | 0 | 0 |
| 取扱説明書 | (105,130) | 16 | 5/28 | 6/14 | 6/25 | 7/12 | 24 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| 強度計算書 | (105,135) | 14 | 5/28 | 6/12 | 7/11 | 7/28 | 38 | 0 | 38 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (110,115) | 0 | 6/ 3 | 6/ 2 | 7/19 | 7/18 | 40 | 0 | 40 | 0 | 0 | 0 |
| 設備外注 | (110,140) | 30 | 6/ 3 | 7/ 7 | 6/19 | 7/24 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 原価の詰め | (115,145) | 2 | 6/ 3 | 6/ 4 | 7/19 | 7/22 | 40 | 0 | 40 | 0 | -3 | 0 |
| 標準図面集 | (120,150) | 10 | 6/25 | 7/ 5 | 6/25 | 7/ 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (120,155) | 0 | 6/25 | 6/24 | 7/ 7 | 7/ 5 | 10 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (125,155) | 0 | 5/31 | 5/30 | 7/ 7 | 7/ 5 | 31 | 21 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| カタログ写真 | (125,160) | 1 | 5/31 | 5/31 | 7/15 | 7/15 | 38 | 38 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| 取説印刷 | (130,170) | 12 | 6/16 | 6/28 | 7/14 | 7/28 | 24 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ----- | (135,170) | 0 | 6/13 | 6/12 | 7/29 | 7/28 | 38 | 38 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 設備試運転 | (140,170) | 3 | 7/ 8 | 7/10 | 7/25 | 7/28 | 14 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 採算試算 | (145,170) | 5 | 6/ 5 | 6/10 | 7/23 | 7/28 | 40 | 40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 特注仕様 | (150,160) | 8 | 7/ 7 | 7/15 | 7/ 7 | 7/15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 |
| カタログ挿入図 | (155,160) | 8 | 6/25 | 7/ 3 | 7/ 7 | 7/15 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| カタログレイアウト | (160,165) | 7 | 7/16 | 7/24 | 7/16 | 7/24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| カタログ校正 | (165,170) | 3 | 7/25 | 7/28 | 7/25 | 7/28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 承認 | (170,175) | 2 | 7/29 | 7/30 | 7/29 | 7/30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 生産部移管 | (175,180) | 2 | 7/31 | 8/ 1 | 7/31 | 8/ 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

ES:最早開始時刻 EF:最早完了時刻 LS:最遅開始時刻 LF:最遅完了時刻 TF:全余裕時間
 FF:自由余裕時間 IF:干渉余裕時間 IdF:独立余裕時間 CP:クリティカル・パス VD:日数変化量