

コークス製造システム評価のための シミュレーションモデル

梯 一雄, 億 進一

1. はじめに

都市ガスの製造プロセスには、石炭を原料とした石炭ガス製造プロセス、ナフサを原料とした油ガス製造プロセスおよびLNG（液化天然ガス）を原料とした天然ガス製造プロセス等がある。従来は、石炭ガスならびに油ガスがその中心であったが、昭和40年代後半からの燃料転換による天然ガスへの移行にともない、石炭を原料とするコークス炉による石炭ガス製造プロセスは、むしろコークス製造を主体とするようになってきた。

コークス炉で製造されるコークスのうち、溶解用コークスの製品の種類は、灰分、比重といった石炭の配合により異なるコークスの銘柄とコークスの粒度（サイズ）により多岐にわたっている。また、昨今の省エネルギー、低価格化指向から業界のコークス品質に対する要求は、ますます多様化し、生産側は多品種少量型の生産を余儀なくされており、コークス生産設備を多品種少量型の生産に対してうまくマッチさせていく必要が生じてきた。

そこで今回、トータルコストリダクションのための生産システム戦略として、FA（Factory Automation）化の観点から、生産ラインの合理化はし かずお 大阪ガス㈱ 生産部生産技術チーム 〒541 大阪市東区平野町5-1 おく しんいち オージー情報システム㈱ 技術営業部

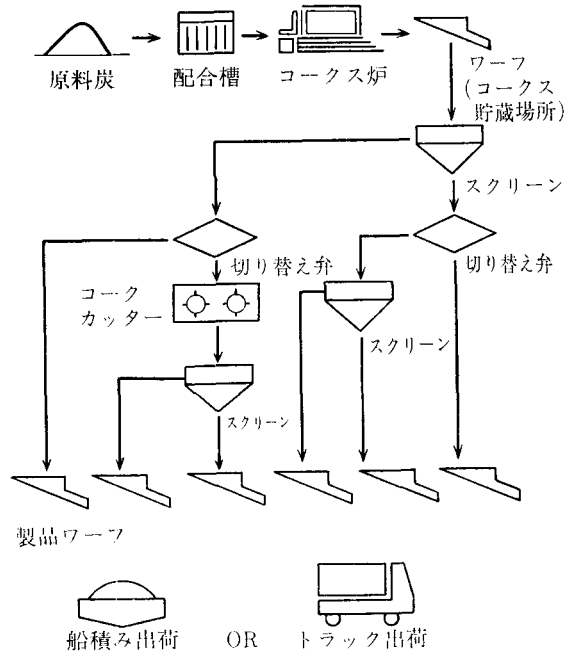


図 1

化および物流の合理化をめざした新しいコークス製造システムの検討を行なった。検討にあたり、設備の最適化システムの評価をシミュレーションプログラムを用いて行なったので、その概要を以下に紹介する。

2. コークス製造工程における検討課題

コークス製造工程の概要を図1に示す。

コークスは、品質を規定する銘柄とコークスの大きさを規定する粒度によって分類されている。

製品コークスの銘柄毎に銘柄の異なる原料炭を

配合し、これが、コークス炉に挿入され、乾留され、コークスとなる。製造されたコークスは、いったんワーフと呼ばれる場所に貯蔵され、ベルトコンベヤにより運搬され、スクリーンにより一定の粒度範囲ごとにふるい分けされる。さらに粒度を調整するために、場合によりコークカッターと呼ばれる割砕機で割砕され、その後、コークスの銘柄・粒度毎に製品ワーフに貯蔵され、トラックかあるいは船により出荷される。

コークスの生産計画は販売情報をもとに立案されるわけであるが、販売銘柄・粒度と生産銘柄・粒度は必ずしも一致しない。というのは、ある粒度の販売銘柄を生産しようとするれば、他の粒度範囲のコークスも併産されるためである。この販売銘柄の他の粒度範囲のコークスは、販売予定が立つまで場内貯蔵される。場内の貯蔵場所には限りがあるため、ある期間を過ぎると別の場所に移動させる必要が生じ、物流費用が発生する。

そこで、生産計画において販売銘柄・粒度と生産銘柄・粒度をできるだけ一致させ、限られた場内の貯蔵場所を有効に活用し、物流コストを下げするために、最適処理工程、設備能力および処理スケジュールの検討をシミュレーションにより行なうことにした。

3. シミュレーション言語の選定

3.1 選定の考え方

従来から、社内においてはLNGタンカーの配船計画、天然ガス転換時の導管内ガスの置換を予測するためのページ計画等、さまざまなシミュレーションモデルが開発されたが、それらは、いずれもその問題特有のシミュレーションモデルであり汎用性がなく、検証期間を含めた開発期間は平均的に半年から1年を要した。

今回のケースは、比較的短期間の検討で、定量的な情報にもとづく意思決定を行なおうとするものであるから、できるだけ少ないマンパワーでかつ短期間でモデル開発の完了を行ない、評価に移

る必要があった。

そういった観点から、今回のシミュレーションには、開発期間の短縮、拡張性ならびに柔軟性といったものが備わった汎用シミュレーション言語の中から選定することにした。

汎用シミュレーション言語を採用することにより以下のような効果があった。

- 1) 開発期間の短縮：ユーザは製造のフローを記述するだけでよく、時間の管理等の複雑なプログラミングの必要がない。
- 2) 拡張性：当初の予定にないフローの追加、統計量の収集にも対応できる。
- 3) 柔軟性：さまざまな分布にしたがう乱数発生機能等、いろいろな試行ができる。

3.2 今回のモデルの特徴

シミュレーションで扱うモデルにもいろいろな種類があるが、コンピュータを用いるシミュレーションでは、離散型モデルと連続型モデルに大別される。すなわち、銀行のキャッシュマシンの待ち行列のような、システムの状態に変化をもたらす出来事が時間軸上で不連続に発生する離散型モデルと、物理的・工学的システムのように、時間の経過とともに従属変数が微分方程式で表わせるような連続型モデルに大別できる。

今回の、コークス処理工程を見れば、コークス炉からワーフへのコークスの流入、出荷のための製品ワーフからの切りだし等の事象が離散的に発生する一方、ベルトコンベヤ上を流れ、スクリーン、コークカッター等により処理されていくコークス自体は、連続量として管理する必要がある。したがって、このコークス処理工程をモデル化するには離散型と連続型の両方のモデル化が必要となる。いわば、今回のモデルは、離散、連続の結合モデルと行うことができる。

3.3 言語の選定

これまでに発表されたシミュレーション言語としては、離散型ではGPSS、連続型ではDYNAMO等が代表的であるが、前述のように離散型と

連続型の両方のモデル化が必要となるため、今回は、Prisker 博士らにより開発された新動向のシミュレーション言語 SLAMII を用いることにした。この言語の特徴としては、次のような項目があげられる。[1]

- 1) 離散型・連続型両者のモデルがサポートされており、しかも両者の併合が可能であるため、より多様な問題に対応できる。
- 2) パッケージで対応できない詳細なモデルの記述や、計算結果出力の編集はユーザが FORTRAN で記述し、容易にリンクすることができる。
- 3) SLAMII は FORTRAN により組まれているため、計算機の依存性がなく、小さいモデルであるならパソコンにでも移植が可能である。これらの特徴は今回のモデル化には非常に適していた。

4. モデル化

一般に離散型シミュレーションのモデル化には以下の2つの考え方がある。

- ① ネットワーク型—モデル化しようとするシステム内を「もの」がどのように動くかを記述する
- ② 事象中心型—事象が発生した時にシステムの状態がいかに変化するかを記述する

SLAMII では、離散型（ネットワーク型、事象中心型）と連続型の合計3つのモデル化機能を有するが、コークス製造システムの場合、このモデル化アプローチの中でネットワーク型と連続型の結合型を用いた。

具体的にはネットワーク型のモデル化は SLAMII で用意している20数種類のノードとアークで示されるシンボルを用いて、システムの中を動く「もの」（要素）の流れを一定規則にしたがって記述することによって行なった。

連続型のモデルは、FORTRAN を用いて微分／差分方程式モデルを SLAMII が規定するサブルーチンで記述することで行なった。

さらに、ネットワーク型モデルと連続型モデルを結合させるために SLAMII では特定のノードが設けられている。このノードは、連続型モデルの状態変化によりネットワーク型モデルに要素を発生させ、ネットワーク型モデルと連続型モデルの融合を可能にする、[1]

本モデルでは、システムの中を動く「もの」をコークス（製品）と捉えることができる。しかしコークスの流れ自体はコークスがいったんプラントの1つの経路を流れたすと、その経路に位置する各設備（ベルトコンベヤ、スクリーン、ワープ等）におけるコークスの量は時間に連続的に変化して行く。

そこで、モデル化するにあたり、次に示すようにシステム内の事象変化をネットワーク型で表現し、ネットワーク型では表現できない量の変化については連続型でモデル化した。

4.1 ネットワーク型のモデル化部分

① コークス処理工程内各経路のネットワーク

コークス処理工程内では、複数の銘柄・粒度のコークスが処理され、各銘柄・粒度の流れる経路は異なる。このネットワークでは、銘柄・粒度別に経路を指定し、その経路の途中に位置する設備が稼働状態となる順序を表わす。シミュレーションの実行上、時間の経過を制御するのはこのネットワークが基本となる。

② 1日のコークス切り出しシフトを表わすネットワーク

作業時間は、24時間作業、午前みの作業、午後みの作業、および出荷時間に合せた作業（8:00～17:00）のシフトがあり、このネットワークではこれらのシフトを制御する。

③ スケジュールの制御を行なうネットワーク

このネットワークではワープが空になってしまったときの出荷および製品ワープの貯蔵量が下限値を下まわったときの上流ワープからのコークス切り出し等のスケジュールを制御する。

④ 各ワープの貯蔵量の状態変化による経路および

設備稼働の制御

このネットワークでは製品ワーフの貯蔵量の変化にともなう経路の変更を制御する。このネットワークで記述される事象は大別すると以下のものである。

- ワーフからの切り出し開始
- 切り換え弁への到着
- スクリーンへの到着
- 製品ワーフまたは出荷場所への到着

等である。

これらの事象の生起過程は、ある1

つの銘柄を例にとると、図2のようになる。生起した事象が“切り換え弁への到着”または“スクリーンへの到着”等、経路の分岐点にあたる設備への到着事象の場合はその時点で設定されている設備の条件にしたがって経路を選定する。また、“ワーフからの切り出し開始”や“製品ワーフや出荷場所への到着”事象の場合はその設備の状態

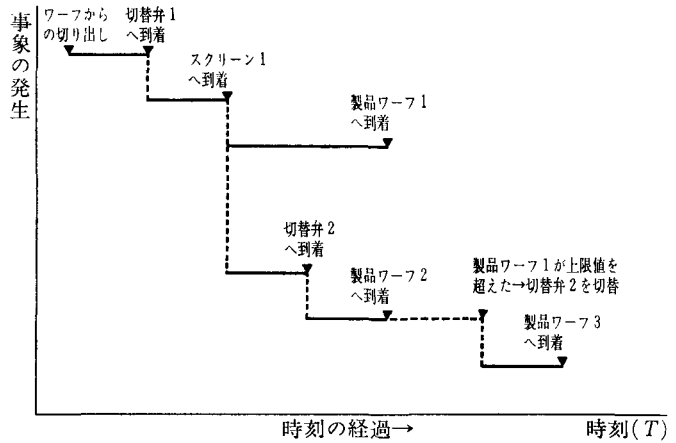


図 2

を稼働状態に移す。SLAMII で記述したネットワーク例を図3に示す。

4.2 連続型モデル化部分

次にシステム内経路上を流れているワークスの各設備における量の変化の連続型モデル化部分について説明する。モデル化に当たっては、各設備の単位時間当りのワークス流入量と流出量を算出す

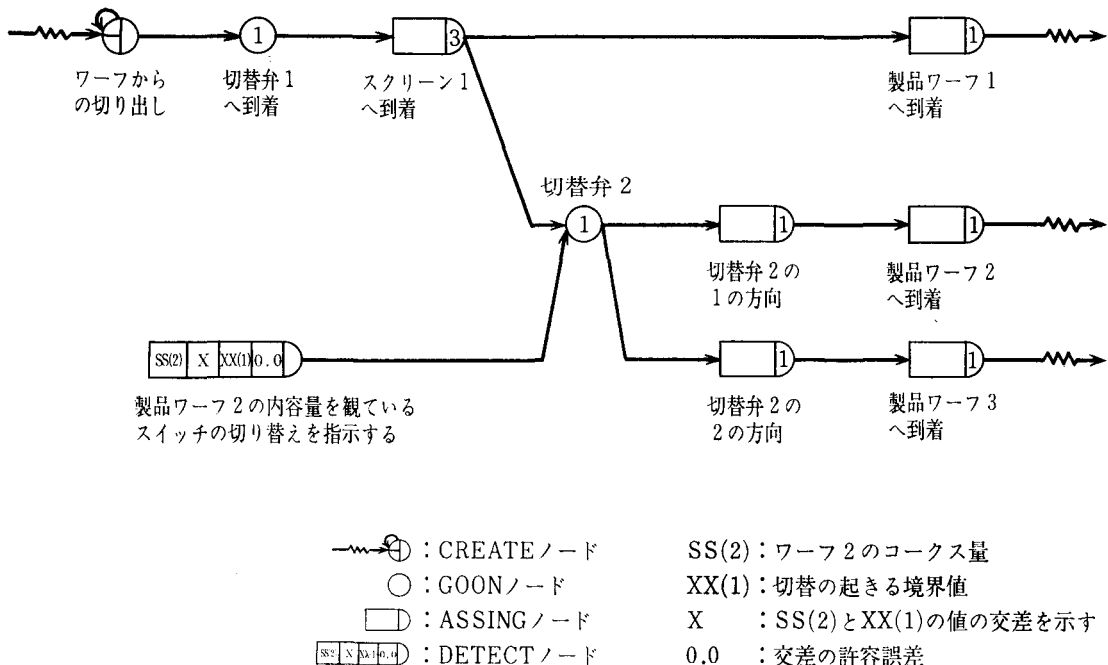


図 3

る差分方程式を設定した。シミュレーション実行過程では、①のコークス製造システム内経路のネットワークにおいて、その時点で稼働状態になっている設備に対してのみ、単位時間ごとに指定した方程式を用いてコークス量が算出される。たとえば、切り出し状態中のワーフとその次に続くコンベヤのコークス量は、ワーフの切り出し能力がFLOWton/分だとすれば次のような式になる。

$$W(t+\Delta t)=W(t)-\Delta t \cdot \text{FLOW}$$

$$B(t+\Delta t)=B(t)+\Delta t \cdot \text{FLOW}$$

ただし、 $W(t)$ ：ワーフ内コークス量

$B(t)$ ：ベルトコンベヤ上コークス量

Δt ：変化を観測する単位時間

また連続的に変化するワーフ内のコークスが、上限値を上まわったとき、または下限値を下まわったとき切り替え弁の作動あるいはワーフからの切り出し等の事象が生じる、

今回のモデルでは、このような連続変化が引き起こす離散事象をSLAM IIの結合機能を用いてモデル化している。

図3における例では、まずCREATEノードにより、要素を生成させ、次に、GOONノードとそれに続くアークで要素の流れる方向をモデル化している。ASSINGノードは、流れはじめたコークスが各設備へ到着したことを示すために使用している。また、離散事象と連続量はDETECTノードにより結合されている。製品ワーフ1のコークス量が上限値を超えたときに、このDETECTノードから事象を起こす要素が発生し、切り替え弁の切り替え等の事象を誘発する。

5. 設計への適用および今後の課題

このシミュレーションモデルを使って、操業データをインプットし、コークス製造システムの評価を行なった結果、ワーフおよび製品ワーフの適正容量、スクリーン、ベルトコンベヤ等の能力を決めるのに有効なデータが得られた。紙面の都合上、計算結果の詳細については紹介できないが、

今回行なったようなシミュレーションによるシステム評価は、エンジニアリングにも有効な手法であると考えられる。

また、今回のシミュレーションモデルでは特に考慮しなかったが、今後パラメータスタディを続けていく上で以下のような点についても考慮していくつもりである。

- 入力のしやすさ
対話方式等による入力方法の工夫。
- 出力の見やすさ
複雑な処理フローや出力情報のグラフィック表示さらにはアニメーションによる表示等の検討。

6. おわりに

以上、離散型、連続型の結合型の特徴をもつシミュレーション言語によるコークス処理工程のシステム評価について簡単に述べた。

今回のテーマにはSLAM IIというシミュレーション言語を使ったが、最近、新しいソフトウェアがどんどん発表されており、離散型と連続型が混在した複雑な系においても、シミュレーションというものがますます有力なものになっていくと思われる。

またユーザとしては出力情報を意思決定者にわかりやすく提供できるよう、グラフィック機能やアニメーション機能がシミュレーションソフトの標準装備になるような方向を期待する。

最後に本稿を執筆するに当たり、ご協力いただいた(株)構造計画研究所の相沢りえ子氏、大井孝志氏に深く感謝する次第である。

参考文献

- [1] 森戸 晋, 相沢りえ子: SLAM II によるシステムシミュレーション入門. 構造計画研究所